

Kedvenc Kémiai Kísérleteim

Járai Antal

Tartalomjegyzék

Bevezetés	5
1 Fizikai kémiai alapok	9
1.1 Mivel foglalkozik a kémia?	9
1.2 Atomok	11
1.3 Hosszúság, terület, térfogat	17
1.4 Tömeg és súly	28
1.5 Sűrűség	30
1.6 Jég, víz, gőz	37
1.7 Vízmolekulák	46
1.8 Lepárlás	51
1.9 Hőmérők	53
1.10 Nyomás	65
1.11 Gőznyomás	77
1.12 Gőzgépek, gázgépek, örökmozgók	91
1.13 Oldatok	99
1.14 Kristályvíz	122
1.15 Kristályok	133
1.16 Vízbontás	144
1.17 A molekulák mozgása	167
1.18 Eszközök	183
1.19 Megmérjük a molekulák tömegét	192
1.20 Lepárlás mégegyszer	199
2 Alapkísérletek	207
2.1 Színes virágok a kémiában	207
2.2 Mészoltás és mészvíz	214
2.3 A szén-dioxid	219
2.4 Nátronlúg és káliklór	225
2.5 Szerves vagy szervetlen?	233
2.6 Az égés	242
2.7 Ismerkedés a fémekkel	250
2.8 Kísérletek hidrogénnel	271
2.9 Kohó az asztalon	278
2.10 Tiszta oxigén	283
2.11 Hó és kémia	286
2.12 Egy szagos gáz	303
2.13 Ismerkedés a sósavval	310
2.14 A klór	323
2.15 Ionok	328

2.16	A sósav és a fémek	338
2.17	Kén	350
2.18	Puskaport készítünk	359
2.19	Kénsav	367
2.20	Szulfátok	371
2.21	Áram saját forrásból	383
2.22	Elektrolízis	387
2.23	Báriumvegyületek	393
2.24	Salétromsav	396
2.25	Komplex vegyületek	401
2.26	Feloldjuk az ezüstöt és az aranyat	406
2.27	A klór és az oxigén	412
2.28	A klór rokonai	416
2.29	Égessünk el egy csontot	424
2.30	Üveget csinálunk	428
2.31	Fémből sav?	433
2.32	Ásványi kaméleon	436
2.33	Kloroform és a kovalens kötés	441
3 Végig a periódusos rendszeren		445
3.1	A periódusos törvény	445
3.2	Az igazi fémek	465
3.3	A földek fémei	466
3.4	Mérgező és nem mérgező rokonok	469
3.5	Ércképzők és sóképzők	473
3.6	A nemesek és rokonaik	474
4 Szerves kémia		476
4.1	Alifások	476
4.2	Aromások	476
4.3	Heterociklikusok	476
5 Ami nincs, azt csinálunk		477
5.1	Tisztább vegyszereket!	477
5.2	Mire jó a kénhidrogén?	480
5.3	Hulladékból vegyszer	488
5.4	Segít az áram	488
5.5	Még néhány hasznos vegyszer	488
6 Kémiai analízis		489
6.1	Mivel foglalkozik a kémiai analízis?	489
6.2	Elővizsgálatok	489
6.3	Azonosítás: első és második oszlop	489
6.4	Azonosítás: harmadik és negyedik oszlop	489
6.5	Azonosítás: ötödik és hatodik oszlop	489
6.6	Azonosítás: hetedik és nyolcadik oszlop	489

6.7	Összetett analízis	489
6.8	Néhány gyakorlati feladat	489
6.9	Mi van egy szerves vegyületben?	489
7	Táblázatok	490
7.1	Szilárd anyagok adatai	490
7.2	Oldhatóságok vízben, súlyszázalékban	494
7.3	Vizes oldatok sűrűsége, kg/l	507
7.4	Kationok kimutatása	512
7.5	Anionok kimutatása	518
	Irodalom	520
	Mutató	529

Bevezetés

Nem számít, milyen okos vagy, nem számít, milyen szép az elméleted. Ha a kísérletek nem igazolják, rossz.

Richard P. Feynman

A kísérletezésről

Ez a könyv elsősorban a tizenéves korosztálynak szól. A benne leírt kísérleteket egyszerű, sokszor magunk fabrikálta eszközökkel, magunk készítette anyagokkal végezhetjük el, de sokkal közvetlenebb tapasztalatokat szerezhetünk általuk, mint a távolról, esetleg a TV-ben látott és gondosan előkészített kísérletekből. Nagyon sok kísérletet, főleg a könyv elejéről, egyedül, otthoni anyagokkal is el lehet végezni, de azért ne titokban dolgozzatok! Ha nem boldogultok, kérjetek tanácsot, segítséget! Minden kísérletet kipróbáltam, sokhoz fénykép, esetleg video is van, azonban a személyes tapasztalat mindig többet ér, mintha csak mások kísérleteit nézzük végig. Bizonyára sokan szeretnének új dolgokat felfedezni, vagy látványos kísérletekkel elkápráztatni másokat. Türelem! Az otthoni kísérletezés célja, hogy közvetlen tapasztalatból ismerjük meg a természet törvényeit. Eközben adódnak látványos kísérletek is. Az új felfedezéseket hagyjuk későbbre, amikor már biztos és részletes ismereteink lesznek. Nagyon veszélyes kísérleteket, vagy ha nem sikerül az anyagokat beszerezni, megnézhetünk a hálózaton is. Nehéz lenne azonban ezekből megérteni a kémiát. Itt mindent elmagyarázok, de nagyon fokozatosan. Még a víz képletére is csak több mint 100 oldal után kerül sor!

Hét éves voltam, amikor Verne könyvét, a „Rejtelmes sziget”-et olvastam, és ez örökre eljegyzett a tudományokkal. Elsősorban a nitroglicerinnel készítése nyűgözött le. (Verne leírása meglehetősen pontos.) Egy év múlva kaptam Szüleimtől Sztrókay Kálmán „Kémiai kísérletek” című könyvét, majd nemsokára egy rokon vegyészmentőktől, illetve lányától egy kísérletező készletet. Így jó darabig a kémia vonzott legjobban, bár olvastam fizikát, csillagászatot, matematikát és mindenféle műszaki dolgot is (meg általában mindent, amihez hozzáfértem). Természetes volt, hogy a debreceni Vegyipari Technikumba mentem középiskolába. Abban a reményben írom ezt a könyvet, hogy — négy évtizedes egyetemi oktatás után — az általános iskolásoknak és középiskolásoknak is sikerül valamit továbbadnom abból, amit én kaptam a „népszerűsítő” könyvek szerzőitől és tanáraimtól.

A természet- és műszaki tudományok akkor indultak fejlődésnek, amikor felismerték, hogy *kísérletezni* kell. Ki kell próbálni dolgokat, csak így juthatunk ismeretekhez. Aztán, ha felismerünk valamilyen törvényszerűséget, újabb kísérleteket tervezhetünk az ellenőrzésére. Ha igaznak bizonyul, megtartjuk, ha nem, elvetjük, vagy pontosabb összefüggést keresünk. „A kísérlet az elmélet nélkül vak, az elmélet a kísérlet nélkül üres szellemi játék.” Sok összefüggés csak közelítőleg igaz, ilyenkor tudnunk kell, milyen pontossággal. Minden tudományos igazság kizárólagos próbaköve a kísérlet! Minden kísérlet kérdés a természethez, de csak értelmes kérdésre kapunk értelmes választ. Éppen az a célunk, hogy

megtanuljuk az értelmes kérdésés művészetét. Közben sok mindent mélyebben megértünk és sok adatot is megjegyzünk. Az elsődleges cél a megértés.

Mielőtt elvégzünk egy kísérletet, gondosan olvassuk el a leírását. Hiánytalanul gyűjtsük össze a hozzávalókat, hogy ne közben kelljen kapkodni. Sok kísérletekkel foglalkozó könyv a leírás elején összefoglalja a hozzávalókat. Ezt direkt nem tettem, mert szerintem csak arra csábít, hogy ne olvassuk el előre a leírást. A kísérlet leírásának végét □ jelzi. Legjobb a kísérleteket sorban elvégezni. Sokszor előfordul azonban, hogy valami hiányzik, esetleg egyszerűen túl bonyolultnak találjuk a kísérletet, vagy nincs elég időnk rá. Ilyenkor megelégszünk a leírással, és ha sikerül beszerezni az eszközöket, anyagokat, van időnk, kedvünk, akkor visszatérünk rá. A könyv első olvasásra kihagyható, nehezebb részei * és * jelek között vannak, a még nehezebbek ** és ** között. Azt azonban nem ajánlom, hogy valaki mindjárt a könyv végéről kezdjen el kísérleteket kipróbálni. Ilyenkor nincs meg a megfelelő kísérletezői jártassága és anyagismerete, így könnyen baleset lehet a vége. Azt hiszem, az abszolút minimum, amit elég elvégezni, tíz kísérletből egy. Ajánlatos a kísérletek harmadát-felét megcsinálni. Az elméleti magyarázatoknál is nyilván előfordulhat, hogy nem értünk valamit. Nem probléma, nem fogunk felelni belőle. Ilyenkor legjobb átutalni, hogy lássuk, mire is megy ki a dolog. Később majd visszatérhetünk rá, amikor már többet tudunk. Az ember nem mindig egyből érti meg a dolgokat. Hogy ezt a visszatérést megkönnyítsük — ismeretterjesztő könyveknél szokatlanul — a könyvhöz van mutató. Itt betűrendbe felsorolom a fogalmakat, neveket az oldalszámokkal, ahol előfordulnak. A legfontosabb oldalszám, ahol elmagyarázzuk a dolgot vagy ismertetjük az adott anyagot, *dólt* betűvel van megadva. Így felesleges mindent többször elismételni. Ha valami olyannal találkozunk, amit kihagytunk, vagy már elfelejtettünk, könnyen megtalálhatjuk a magyarázatot. Feltétlenül keressük meg az adott anyag ismertetését, ha nem ismerjük vagy nem emlékszünk a tulajdonságaira, mert ezeket nem ismételtetem mindig, hiszen így nagyon hosszú lenne a könyv. Lehet, hogy az adott anyag veszélyes, maró, tűzveszélyes, stb.! Ugyancsak megadom a könyv végén, hogy milyen könyveket használtam fel, még akkor is, ha nem magyar nyelvűek. Táblázatok is vannak a könyv végén különböző adatokkal, hogy ne kelljen más könyvekben illetve a világhálón keresgélni.

Nem árt, ha *laboratóriumi jegyzőkönyvet* vezetünk. Ez egyszerűen egy iskolai füzet, amibe golyóstollal leírjuk a kísérleteket, azonnal felírjuk a mért adatokat. Olyat szoktak választani, hogy ne lehessen feltűnés nélkül lapokat kiszedni vagy beletenni. Egy-egy kísérletre egy oldalt vagy két egymás melletti oldalt szánunk. Az oldal szélére írunk dátumot. Egy mondat, vagy a cím megadja, hogy mi a feladat. Leírjuk, hogy mit tervezünk, vagy megadjuk, hogy honnan vettük a kísérletet, esetleg, hogy min alapul. Felírjuk a méréseket, észleléseket, bonyolultabb esetben lerajzoljuk a készüléket. Ha esetleg valamit hibásan írtunk fel, ne próbáljuk meg kiradírozni vagy átírni, mert egy idő után nem lehet tudni, melyik volt a helyes: egyszerűen húzzuk át, és írjuk fel újra. Végül rövid összegzés jöhet, esetleg további tervek, ötletek, módosítási javaslatok. Ha ezeket később kipróbáljuk, hozzáírhatjuk az eredeti kísérlethez, megadva az újabb dátumot. Ezért ne sajnáljuk, ha néhány sor üresen marad. Nem kell regényt írni! Egyetlen alapelv van: hogy később is meg tudjuk mondani, mi történt. Még akinek nagyon jó a memóriája, az is meglepődik, ha néhány hónap vagy pláne év múlva beleolvas a saját kísérleti jegyzőkönyvébe.

A kémiai kísérletekről

A kémia teljesen megtanulhatatlan kísérletezés nélkül. Színeket, szagokat fogunk megjegyezni, megtudjuk, hány fokos a gyertya lángja, hogy viselkednek a gázok, a fémek, hányszor sűrűbb a víz a gőznél, mi történik az égésnél, és még számtalan más dolgot. Sokan veszélyesnek tartják a kémiai kísérletezést, pedig nem az, ha néhány szabályt betartunk. Én még gyerekkoromban évekig kísérleteztem otthon, majd technikumban heti két napot laboratóriumban, vegyi üzemekben is dolgoztam, de soha nem sérültem meg komolyan.

Feltétlenül betartandó biztonsági szabályok:

I. Először is, minden anyagot, ami a kezetekbe kerül, kivétel nélkül tekintsetek robbanónak, mérgezőnek, marónak, veszedelmesnek és óvatosan bánjatok vele! Természetesen különösen igaz ez ismeretlen anyagokra! Még ha maga az anyag nem is mérgező, lehetnek mérgező szennyezései. Semmi esetre se kóstolgassátok a vegyszereket! Egészen ártalmatlannak látszó anyagok, mint például műtrágyák is mérgezőek már 1–2 dekagrammos mennyiségben is! A vegyszereket zárt helyen, különösen kis gyerekektől elzárva kell tartani! Hogy mit hogyan lehet szakszerűen megsemmisíteni, arról később lesz szó (lásd a mutatóban a megsemmisítés címszót). Kísérletezés közben ne nyúlkáljatok a szátokhoz, szemetekhez, orrotokhoz, mielőtt kezet mostok! A használt edényeket is minél hamarabb el kell mosni, ilyenkor még könnyebb is, és nem maradnak veszélyes anyagok szerteszét. Sok eszközünk a konyhából kerül ki, de ezek legyenek a konyhából leselejtezett eszközök! Ha már vegyszert tettetek bele, ne kerüljön vissza a konyhába. Ne egyetek, igyatok kísérletezés közben, különösen kísérletezéshez használt edényből ne! Ha valamilyen maró, mérgező anyag került rátok, akár csak a ruhátokra, *azonnal* mossátok le, a szennyezett ruhát vegyétek le! Valamilyen a lábat védő cipőt (ne szandált) és régi ruhát vagy egy köpenyt viseljete. Hamarosan meglátszik rajta, mi mindentől kíméltétek meg rendes ruhátokat. Az asztalt borítsátok le mezőgazdasági műanyag fóliával. Legjobb a fekete „tófólia”, ez elég erős, és a feketén a legtöbb kiszóródott vegyszer jól látszik. Maró anyagokkal végzett munkánál védőszemüveget kell viselni, annak is, aki esetleg csak nézi a kísérletet! Kontakt lencsét viszont tilos viselni! A hosszú haját össze kell kötni! Természetesen nem csak enni és inni, hanem dohányozni sem szabad a kísérletek helyszínén! A rendetlenség, kapkodás, dobálás, szaladgálás, játék veszélyes, tartsatok rendet!

II. Másodszor, lehetőleg kevés anyaggal dolgozzatok! Különösen fontos ez, ha mérgező gáz, gőz képződik. A kémiai folyamatok ugyanúgy játszódhatnak le kicsiben, mint nagyban. Ha kicsiben dolgozunk, akkor sem történhet nagy baj, ha eltörik az edény, vagy valamit rosszul csináltunk. Vegyszert is kevesebbet használunk, az eszközök is egyszerűbbek. Egyébként pedig szükségetek lehet rá később, hogy egy csipetnyi anyaggal akár tíz kísérletet is elvégezzetek.

III. Harmadszor, tartsátok be az előírásokat! Ha valamelyik kísérlethez azt írtam, hogy szabadban kell elvégezni, ne próbáljátok meg zárt helyen. Vagy mérgező gázok, gőzök fejlődnek, és veszedelmes mérgezést kaphattok, vagy tűzveszélyes a kísérlet, stb. Ha azt mondjuk, hogy tömény kénsavba nem szabad vizet önteni, ki ne próbáljátok, hogy mi történik, ha mégis megteszitek. Csúnyán megjárhatjátok, arcotokat-kezeteket összeégethetitek, ruhátokat tönkretéhetitek. Ez körülbelül annyira lenne bölcs dolog, mint üres medencébe fejest ugrani. Vegyészek generációi tapasztalták ki, hogy mik a veszedelmes dolgok, tanuljunk a tapasztalataikból. Ide tartozik az is, hogy ne öntögessünk össze-vissza

mindent, hátha kívül belőle valami. Csak olyan kísérletet végezzünk, aminek előre tudjuk az eredményét. Az ismeretlen eredményű kísérletek elvégzését hagyjuk a kutatókra, akik még ilyen esetekben is nagyjából tudják, mi történhet.

IV. A negyedik dolog a tűzveszély. Ez általában nem nagyobb, mint a konyhában, ahol szintén nyílt lánggal dolgozunk. Ha ennél veszélyesebb a kísérlet, arra külön felhívom a figyelmet. Ne legyenek gyúlékony dolgok, például függönyök ott, ahol dolgoztok. Nyílt lángot, veszélyes kémiai folyamatot soha ne hagyjatok felügyelet nélkül! Ha nincs vízcsap, tartások kéznél vizet, egy nagy vizes rongyot vagy pokrócot, esetleg homokot. Kisebb tüzet egy edényben már úgy is elolthatunk, hogy lefedjük az edényt. Vízzel a legtöbb tűz eloltható. Vizes ronggyal leborítva olyan tüzek is elolthatók, amelyek vízzel nem. Például benzin nem oltható vízzel, mert feljön a tetejére és tovább ég. Ilyenkor kell a vizes rongy. Néhány tűz csak homokkal oltható. Veszélyes kísérletek leírása erre figyelmeztet. Mindig gondoljatok arra, hogy esetleg segítséget kell hívni! A könyv végén van egy rövid összefoglaló, hogy baleset esetén mi a teendő.

Budapest, 2017. október 23.

Járai Antal

Fizikai kémiai alapok

Ez a fejezet főleg fizikai jellegű kísérleteket tartalmaz. Persze, a természet nem ismer ilyet, hogy fizika meg kémia. Mi osztottuk fel a jelenségeket „fizikára” meg „kémiaira”. Itt azokkal a legalapvetőbb jelenségekkel foglalkozunk, amiket az emberiség a XVII. és XVIII. században értett meg, és feltétlenül szükségesek a kémia megértéséhez vagy a kémiai kísérletek elvégzéséhez. Elég sok méréssel is találkozunk majd. A fejezet végére összegyűjtünk számos eszközt és leírjuk azt is, még miket kell beszerezni a kémiai kísérletekhez. Már a konyhából leselejtezett vagy egyenesen a hulladékból megmentett eszközökkel elkezdhetünk dolgozni, legfeljebb néhány kémcsőre lesz még szükségünk.

1.1 Mivel foglalkozik a kémia?

1.1.1 Kísérlet. Első kémiai kísérletünkhöz Epokitt (vagy Eporapid, vagy más hasonló, kétféle anyag összekeverésével dolgozó úgynevezett kétkomponensű „epoxigyanta”) ragasztóra lesz szükségünk. A használati utasítás szerint mérjük ki a kétféle anyagot, és keverjük össze. A ragasztó több-kevesebb idővel az összekeverés után megköt, és ha például két fadarabot bekenünk vele és összenyomjuk a két fát, akkor összeragasztja őket. A ragasztó megkötése kémiai reakció, a megkötött ragasztó két összetevőjét nem tudjuk egyszerűen elválasztani. Lényegében az történik, hogy a két anyag részecskéi összekapcsolódnak egymással, mégpedig mindegyiknek egy részecskéje a másiknak több részecskéjéhez is kapcsolódik, azok megint a másik anyag több más részecskéjéhez is kapcsolódnak, stb., és végül az egész keverék egyetlen egésszé áll össze. Figyeljük meg, hogy megadott arányban kell a két összetevőt keverni, például az Epokitt-nél az egyikből kétszer annyit adnak, mint a másiktól, és ebből kétszer annyit kell használni. Ha valamelyikből többet veszünk a kelletténél, nem használódik fel a kémiai reakcióban, és a megkötött ragasztóban marad, gyengítve azt. Egyszer egy ismerősöm nagyon jó ragasztást akart csinálni, és mivel a leírás az egyik anyagot „keményítőnek” nevezte, abból jóval többet vett a megadottnál. A ragasztás teljesen használhatatlan lett.

Ha mérlegen megmérjük a még össze nem kevert ragasztót, és a megkötött ragasztót, ugyanannyinak találjuk. A mi kísérleteinknél és az összes kémiai reakciónál a mérleg nem mutat észlelhető különbséget a kiindulási anyagok és a reakció termékeinek súlya között. Ez az *anyagmegmaradás törvénye*. Persze, például égésnél a kiindulási anyagokba az elhasznált levegőt, a termékekbe pedig a keletkezett gázokat is bele kell mérni. Ezt sokáig nem vették figyelembe, nem is tudtak a levegő és az égéstermékek súlyáról, és ez nagyon sok félreértéshez vezetett.

Az, hogy milyen gyorsan köt meg a ragasztó, nem csak a ragasztó fajtájától, hanem a hőmérséklettől is függ. Például az Epokitt 20 °C-on 24 óra alatt keményedik meg, de 50–60 °C-on a gyártó már 1-2 órát ad meg keményedési időnek. Általában is jellemző a kémiai reakciókra, hogy melegben gyorsabban játszódnak le. Szobahőmérséklet közelében 10 °C-kal emelve a hőmérsékletet általában 2–3-szor gyorsabban játszódnak le a reakciók. Például ha 10 °C-onként megduplázódna a ragasztó megkötésének sebessége, akkor az

Epokitt-ra 30 °C-on kétszer, 40 °C-on négyszer, 50 °C-on nyolcszor, 60 °C-on tizenhatszor kisebb keményedési időt kapnánk, ami 50 °C-on két és fél órát, 60 °C-on egy és egynegyed órát ad, így a kötési sebesség növekedése kicsit nagyobb a kétszeresnél. □

1.1.2 Kísérlet. Mitől függ, hogy milyen erős a ragasztás? Persze, nem bírhat el többet, mint amennyit az összeragasztott anyagok illetve a megszilárdult ragasztó elbírnak. Ezt az anyag részeit összetartó hatást idegen szóval *kohézió*nak hívjuk; ez tulajdonképpen az egyazon anyag részei közötti tapadás. Számít azonban az is, hogy a ragasztó mennyire tapad a ragasztott anyaghoz: egyes anyagokhoz jobban, másokhoz rosszabbul. Például fához, fémekhez, betonhoz, egyes műanyagokhoz jól, más műanyagokhoz pedig rosszul tapad az epoxigyanta: a vele adott keverőlapot és keverőlapátot szándékosan olyan műanyagból készítik, hogy ahhoz ne tapadjon jól. A különféle anyagok közti tapadást idegen szóval *adhézió*nak hívjuk. Nem csak szilárd anyagoknál van kohézió és adhézió, hanem folyadékoknál is, de jóval gyengébb. Ha például egy üvegpohár aljára egy csepp vizet cseppentünk és óvatosan felfordítjuk, a víz nem cseppen le: az üveghez tapasztja az adhézió. Ha olajos vagy zsíros az üveg (ehhez az is elég, ha hajunkhoz vagy homlokunkhoz dörzsöljük, onnan elég zsír kerül rá), akkor gyengébben tapad a víz az üveghez, és cseppekké áll össze. Ha tiszta az üveg, például szappannal vagy mosogatószerrel jól megmostuk, akkor teljesen szétfolyik a víz rajta, mert nagyobb az adhézió, a víz az üveget tökéletesen nedvesíti. Egyes anyagokhoz jól tapad a víz, másokhoz, például a teflonhoz rosszul. Ha egy falapot és egy teflon aljú edény alját vízbe mártjuk, és kiemeljük, a fa egész felülete nedves lesz, a teflon nem lesz nedves. Mindkét esetben lehet érezni a kohéziós, illetve az adhéziós erőt, mikor a falapot, illetve a teflon aljú edényt vízszintesen tartva kiemeljük a vízből. Ha nincs kéznél teflon aljú edény, vékonyan zsírozzuk, vajazzuk vagy olajozzuk be egy edény alját. □

1.1.3 Kísérlet. Tehát jó kohézió és jó adhézió kell a jó ragasztáshoz. Ha például rozsdás vagy lepergő festékes darabokat próbálunk összeragasztani, még ha esetleg jól is tapad a ragasztó a rozsdához vagy a festékhez, az elválík. Ezért ragasztás előtt ha zsír vagy olaj van a felületen, azt szappannal, mosogatószerrel vagy más zsírolódszerrel el kell távolítani, a ragasztandó felületet drótkéfével vagy csiszolópapírral meg kell tisztítani, és az adott anyaghoz ajánlott, ahhoz jól tapadó ragasztóval kell ragasztani. Egyes ragasztók 1 cm²-en akár 100 (az epoxigyanta), sőt, 300 kg súlyát is elbírnák. Vannak azért más szempontok is a ragasztásnál. Például hajlékony, gumyszerű anyagot olyan ragasztóval kell ragasztani, ami maga is hajlékony, nyújtható marad. Forró vízben oldott enyvvel (lényegében szennyezett zselatin) vagy liszttel (ez a csiriz) vagy más alkalmas anyag alkalmas oldatával például tudunk fát vagy papírt ragasztani, nem tudunk azonban üveget vagy fémeket ragasztani, mert a víznek vagy más oldószernek be kell szívódnia vagy el kell párolognia.

Néha éppen azt használjuk ki, hogy zsíros, olajos felületet nem lehet ragasztani. Ha például fába fúrunk egy lyukat, abba epoxigyantát teszünk és egy vékonyan beszírozott vagy olajjal bekent csavart teszünk bele, az epoxi megkötése után (de akár évek múlva is) a csavar kicsavarozható. (Tegyünk a csavarra például egy keménypapír karikát, vagy mélyítsük tovább a lyukat, hogy a csavar megálljon.) Így készíthetünk fába vagy sok minden másba is csavarmenetet. Egy 4 milliméter átmérőjű, 1 centiméter mély így készült menet 25 kg súlyát könnyen elbírná, és ha gépzsírral vagy szilikonolajjal kentem be a csavart, akkor könnyű volt kicsavarni; ha csak a hajamon zsíroztam be, sokkal nehezebb volt kicsavarni. Ha 2,6 milliméter átmérőjű, egészen finom menetű csavart használtam, akkor is



1.2.1 fénykép: kősó kristályai.



1.2.2 fényképek: kősókristály hasítása.

elbírta 25 kg súlyát, kivéve a „hajolajozással” készült menet, az a csavar kicsavarásakor tönkrement. □

Az emberiség természetesen réges-régen használ nagyon sok kémiai reakciót. Legrégében a tüzet, talán félmillió éve.

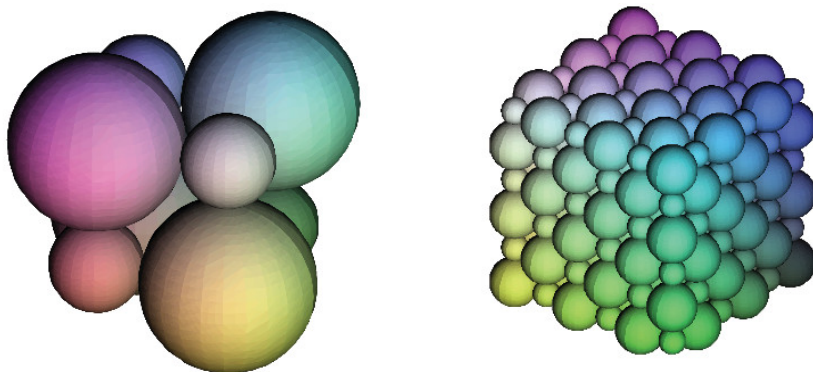
1.2 Atomok

1.2.1 Kísélet. Az emberiség talán legnagyobb felfedezése, hogy az anyag atomokból épül fel. Olyan állandóan mozgó kis részecskékből, amelyek vonzzák egymást, ha kis távolságra vannak, és taszítják egymást, ha egymásba préselik őket.

Az 1.2.1 fénykép kősókristályokat mutat (útszóró só kristályait). Az 1.2.2 fényképen egy kristály hasítását, az 1.2.3 fényképen pedig egy kristályt egy kalapácsütés után láthatunk. Már régen megfigyelték, hogy a kősó (közönséges só, konyhasó) legszebb kristályai kocka alakúak. Egy kősókristályt könnyen szét lehet hasítani valamelyik lapjával párhuzamosan, ha egy kést teszünk rá, és a késre finoman ráütünk. Ha kalapáccsal törjük szét, általában téglatest alakú darabokra esik szét. A hasadási lapok az eredeti kristálylapokkal párhuzamosak. Mivel az eredeti kristálylapok egymásra merőlegesek, a hasadási lapok is. A kalcit nevű ásvány romboéderekre törik szét. (A romboéder úgy keletkezik a

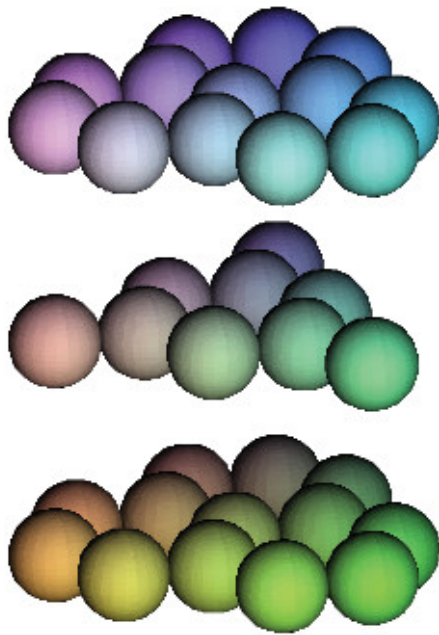


1.2.3 fénykép: kősókristály széttörve.



1.2.4 ábra: kősó elemi cellája és kicsiny kristálya.

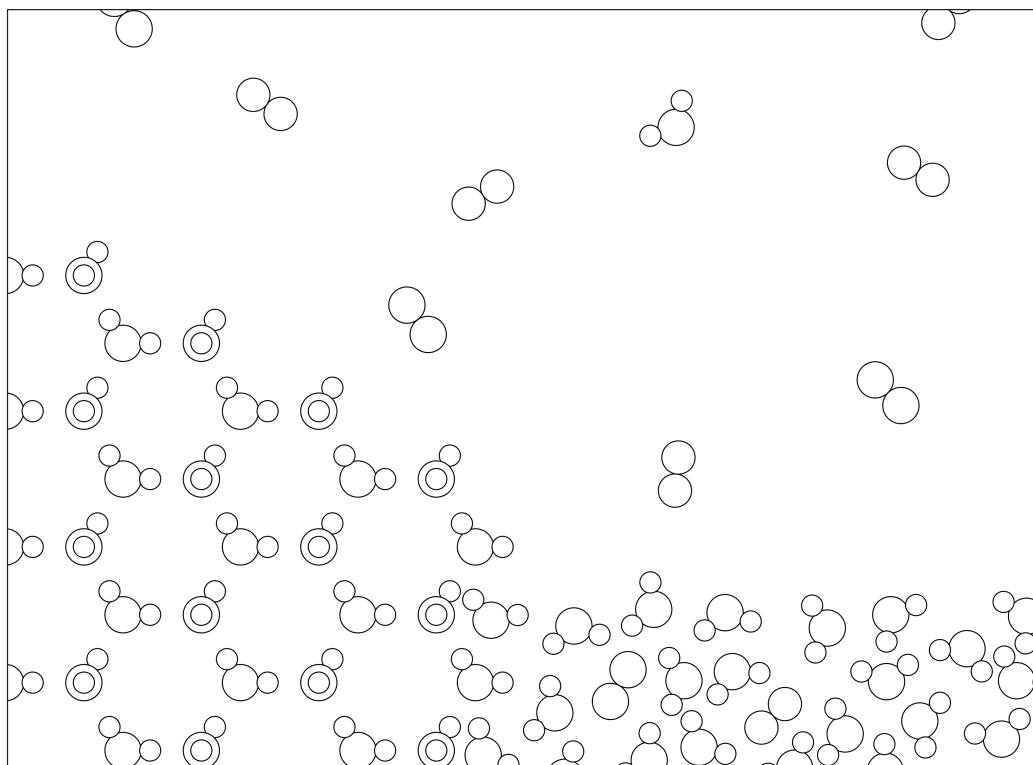
kockából, hogy két szembenlevő csúcsot összekötő irányban a kockát megnyújtjuk vagy összenyomjuk.) A hasadási lapok itt is bizonyos eredeti kristálylapokkal párhuzamosak, és egymással mindig ugyanakkora szöveget zárnak be, minden kalcit kristálynál. A csillám nevű ásvány könnyen hasad vékony lapokra, az azbeszt pedig finom szálakra. A grafit is könnyen hasad vékony lapokra. Mindezeknek a dolgoknak az a magyarázata, hogy a szilárd anyagokban az atomok szabályos rendben rendeződnek el. Az 1.2.4 ábra bal oldalán egy lehető legkisebb sókristályt, egy úgynevezett *elemi cellát* láthatunk. Kétféle atomból áll, mindegyikből négy van benne. A sókristály úgy épül fel, hogy az elemi cella mellé mindkét oldalon, alá-fölé és elé-mögé további elemi cellák sorakoznak. Az ábra jobb oldalán egy nagyobb kristály látható, amely 27 elemi cellából épül fel. Ha semmi nem zavarja a növekedést, a kristály kocka alakú lesz. Ha nem tud minden irányban egyformán növekedni, akkor téglalap alakú lesz, de a lapok az elemi cella lapjaival párhuzamosak. Hasadáskor a sókristály az elemi cella lapjainál hasad könnyen. Az 1.2.5 ábrán grafit kris-



1.2.5 ábra: grafit szerkezete.

tály egy részletét ábrázoltuk. Egyforma atomokból áll, ezek síkokba tömörülnek. A síkok viszonylag távol vannak egymástól, ezért hasad a grafit könnyen lapokra. Amikor grafit ceruzával írunk, ilyen grafitlapok tapadnak fel a papírra. Egyébként az ábrán a középső sík atomjai nem mind az alsó sík atomjai fölé esnek, az atomok fele az alsó síkban levő „lyukak” felett van. A felső sík atomjai pontosan az alsó sík atomjai fölött vannak. □

Az 1.2.6 ábrán jég, víz és levegő látható vázlatosan. A víz molekulái kétféle atomból állnak, az egyik nagyobb, ebből egy van egy vízmolekulában, a másik sokkal kisebb, ebből kettő van egy vízmolekulában. Az ábrán alul víz van. A bal oldalon szilárd állapotban, azaz jégként, mellette folyadékként. (A jégben a vízmolekulák valódi helyzetükben láthatók. Az összes többi molekula „oldalnézetben” van ábrázolva.) Egy-két kóbor vízmolekula felül, a levegőben is van, ez a vízgőz. A levegő molekulái két-két egyforma atomból állnak. A kisebb részük atomjai ugyanolyanok, mint a vízmolekulák nagy atomjai, a nagyobb részük másmilyen, egy picit kisebb atomokból áll. Egy-két kóbor levegőmolekula a vízben is van, ez a vízben oldott levegő. Honnan tudjuk, hogy az atomok így rendeződnek el? Ma már képeket is tudunk készíteni molekulákról és atomokról, sőt filmet a mozgásukról! Bár az atomelmélet már az ókorban felvetődött, csak a modern kémia kialakulásával, a XVII.–XVIII. századtól kezdték komolyan venni, és azóta vegyészek és fizikusok seregének munkája derítette ki a részleteket, és a XX. században vált megcáfolhatatlan tényné. A XIX. század elején fogalmazták meg azt a tényt, hogy a kémiai reakcióknál a reakcióba lépő anyagok súlyának viszonya (aránya) állandó. Ez az *állandó súlyviszonyok törvénye*. Már legelső kísérletünknel láttunk erre példát: a súlyviszony 1:2, a ragasztó egyik összetevőjéből kétszer annyit kell venni, mint a másiktól. Persze, más reakcióknál más ez a súlyviszony, lehet például 1:1,6 vagy 0,83:1, stb. Az állandó súlyviszonyok törvényét az



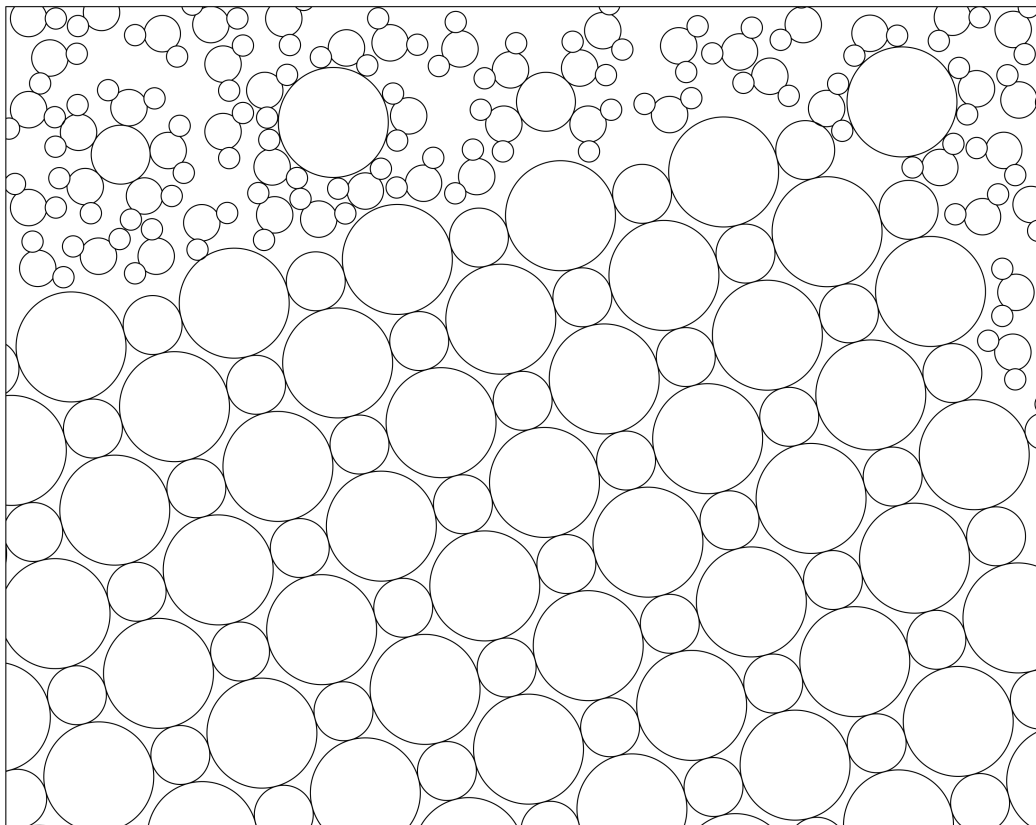
1 nm

1.2.6 ábra: jég, víz, levegő.

magyarázza, hogy a reakcióban az egyik anyag 1 molekulája a másik anyag 1, 2, 3, ... molekulájával reagál, vagy az egyik anyag 1, 2, 3, ... molekulája reagál a másik anyag 1 molekulájával, vagy az egyik anyag 2 molekulája a másik anyag 2, 3, ... molekulájával reagál, stb. Ne felejtsük el, hogy a két anyag molekuláinak súlya nem egyenlő, ezektől is függ a súlyarány!

Az 1.2.7 ábra vázlatosan kőszó oldódását ábrázolja vízben, az 1.2.8 ábra pedig a szén égését. Ezekkel a dolgokkal majd részletesen foglalkozunk, az ábrák csak azt szemléltetik, hogy a kémia az atomok és molekulák „játéka”.

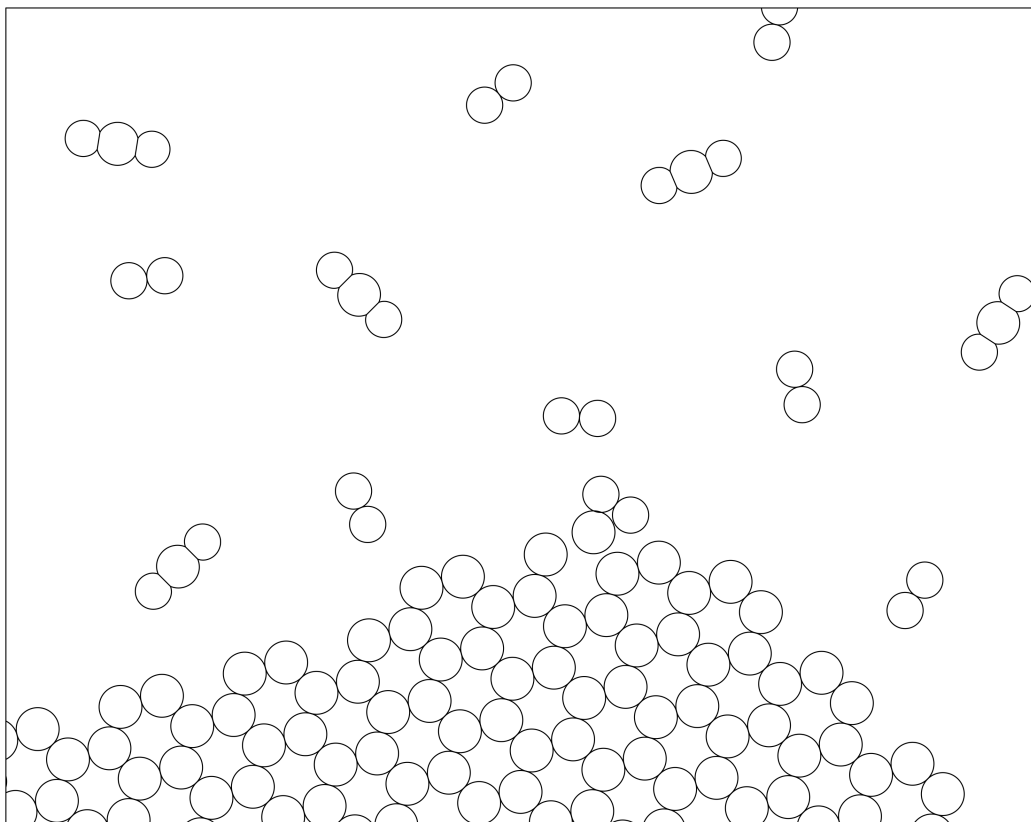
1.2.2 Kísérlet. Minden anyag atomjai állandó mozgásban vannak. A szilárd anyagok atomjai rezegnek a kristályrácsban. A folyadékok molekulái „nyüzsögnek”, forognak, sűrűn egymásnak ütköznek, és bennük az atomok rezegnek. A gázok molekulái gyorsan repülnek és egymásnak ütköznek, bennük az atomok rezegnek. Milyen bizonyítékaink vannak erre a mozgásra? Ha kinyitunk egy kölnis üveget, a kölni szaga gyorsan szétterjed. Molekulái szétrepülnek, ütköznek a levegő molekuláival, és elég hamar messzebbre is eljutnak. Csak annak van szaga, aminek a molekulái eljutnak az orrunkba. Milyen gyorsan mozognak a levegő molekulái? A hang keletkezésénél valami megmozgatja a levegőt. Nézzünk meg például egy működő hangszórót: a tölcseré rezeg. A levegő összenyomódása-



1.2.7 ábra: kősó oldódása.

kitágulása terjed tova a hangban. Milyen gyorsan terjed a hang? Nyilván nem terjedhet gyorsabban, mint ahogy a levegőmolekulák mozognak, de sokkal lassabban sem. A hangsebességet tűzijátéknál megbecsülhetjük, ha tudjuk, nagyjából milyen messze van a tűzijáték, és megmérjük, a robbanás fénye után mennyivel ér oda a hang. (A fény nagyon gyorsan terjed, terjedési idejét nyugodtan figyelmen kívül hagyhatjuk.) Pontos mérést is lehet ezen az elven csinálni. A hang sebessége levegőben szobahőmérsékleten kb. 340 méter másodpercenként. A levegőmolekulák tehát puskagolyó sebességgel mozognak! A hangsebesség a hőmérséklettel nő, tehát melegebb test molekulái gyorsabban mozognak, hidegebbé lassabban.

1.2.3 Kísérlet. Milyen kísérlettel tudnánk még kimutatni ezt a nagy nyüzsgést? Tegyük egy pohár vízbe egy kanál vörös bort. A kanalat töltsük meg, tegyük a víz tetejére, és a bort óvatosan öntsük ki. Ha ügyesek voltunk, a bor nem nagyon keveredik el a vízzel, hanem úszik a víz tetején. Hagyjuk magára nyugodt helyen a poharat. Néha nézzük meg. Ha hozzá sem nyúlunk, akkor is lassan elkeveredik a bor a vízzel. Nekem kb. 1 nap után már egyenletesnek látszott a keverék. Ugyanezt kipróbálhatjuk valamilyen színes szörppel. Ez lesüllyed a víz aljára, mert nehezebb a víznél. Itt 4 nap kellett az elkeveredéshez. Ez az elkeveredés a *diffúzió*. A folyadékokban sokkal lassabb, mint a gázokban

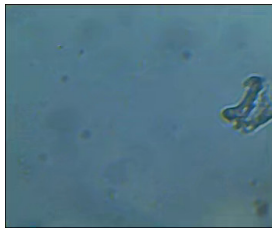


1 nm

1.2.8 ábra: szén égése.

(napok másodpercek helyett), mert a folyadék molekulái nem repülnek szabadon, csak „nyüzsögnek”. Szilárd anyagokban gyakorlatilag nincs diffúzió, legfeljebb magasabb hőmérsékleten, az előállítható legnagyobb hidegtől mért olvadáspontjuk $2/3$ -a felett, akkor is kismértékű, mert a molekulák helyhez kötöttek a kristályrácsban, és csak úgy tudnak elmozdulni, ha helyet cserélnek valamelyik szomszédjukkal. Csak az olvadáspont közelében nő meg a sebessége. Itt már egyes molekulák kimozdulnak a kristályrácsbeli helyükről, ott egy lyuk marad, amibe egy szomszédos molekula átugorhat. Végül annyi lyuk lesz a kristályrácsban, olyan gyors lesz a diffúzió, hogy a kristályrács összeomlik, az anyag megolvad.

* Kicsit gondolkodjunk el, vajon milyen szabályszerűség található a diffúzióban? Ha mondjuk a bor koncentrációja egy rétegben 50%, alatta 1 milliméterrel pedig 49%, akkor azt várjuk, hogy a diffúzió feleannyi, mintha 51%-ról csökkenne 49%-ra a koncentráció, vagyis a diffúzió sebessége arányos az egységnyi hosszra jutó koncentrációkülönbséggel. Persze, az anyag arra diffundál, amerre csökken a koncentrációja. Tegyük fel, hogy valamennyi idő alatt a bor eljutott valamilyen távolságra. Mennyi idő alatt jut el kétszer annyi távolságra? Nem kétszer annyi idő alatt, mert közben az egységnyi távolságra eső



1.2.9 fénykép és videó: Brown-mozgás.

koncentrációkülönbség is felére csökken, hanem négyszer annyi idő alatt. Tehát x -szer annyi távolságra való diffúzióhoz $x \cdot x = x^2$ -szer annyi idő kell. * \square

1.2.4 Kísérlet. A molekulák állandó „nyüzsgését” majdnem közvetlenül is észlelhetjük, ha van egy jó mikroszkópunk. Pár csepp tejet vízzel felhígítva vizsgáljunk meg mikroszkóp alatt, olyan vékony rétegben, hogy színe már alig látszódjon, kb. 800-szoros nagyításban. A tejben lévő apró zsírcseppek „nyüzsögnek”. (Lehet, hogy van valamilyen irányú áramlás is a rétegben, de ne erre figyeljünk. Ez egyébként egy idő után rendszerint megáll.) A jelenség megfigyeléséhez tussal, temperafestékkel is próbálkozhatunk. Ez a mozgás a *Brown-mozgás*; először Brown angol botanikus figyelte meg virágporszemcséken. Ha valakinek nincs mikroszkópja, az a 1.2.9 egy képhez tartozó videón megnézheti a Brown-mozgást. Magyarázata az, hogy a nagyon gyorsan mozgó, de igen kicsi (a mikroszkópban nem látható) molekulák ide-oda lökdösik a kis részecskéket. Ez okozza például a füst diffúzióját levegőben. Mivel minél nagyobbak a molekulák, annál nagyobbak ezek a lökések, és minél kisebbek, annál több kis lökés van időegység alatt, amelyek jobban kiegyenlítik egymást, a Brown-mozgás megfigyeléséből kiszámítható a molekulák nagysága. \square

1.2.5 Kísérlet. Öveges József látványos kísérletet ajánl a Brown-mozgás szabad szemmel, pusztán egy kézi nagyító segítségével való megfigyelésére. Tegyük vízbe egy kevés ezüst gombfestéket. Porfestékként is kapható ezüst festék is jó. Tulajdonképpen alumínium lemezkékből áll. Ha nem keveredik el a vízzel, tegyük hozzá kevés mosogatószeret, és alaposan rázzuk össze. Napok alatt a durvább szemcsék leülepednek, de a folyadékot oldalról erősen megvilágítva (legegyszerűbben egy lézermutatóval) villogó apró pontokat látunk. Tízszeres nagyítású kézi nagyítóval a látvány nagyon szép. Vigyázzunk, a lézer fénye nehogy közvetlenül a szemünkbe jusson, pláne a nagyítón keresztül ne! Voltak kétségeim, hogy valóban az alumínium lemezkék Brown-mozgását látjuk, és nem csak a lézer által felmelegített víz áramlása forgatja őket. Egy téglatest alakú kis lapos, átlátszó műanyag edényben, mikroszkóp alatt, 64-szeres nagyítással, bár a víz áramlik, a szemcsék feltűnnek, eltűnnek, majd újra feltűnnek elég véletlenszerűen, ami Brown-mozgásra utal. Egyébként azt, hogy napok alatt sem ülepednek le, szintén a Brown-mozgás okozza. Nagyon apró részecskék sohasem ülepednek le, és oldalsó megvilágításban még olyan kicsik is láthatóak, amelyeket egyébként nem látnánk: gondoljunk a redőny résén beszűrődő napfényben táncoló porszemcsékre.

1.3 Hosszúság, terület, térfogat

1.3.1 Kísérlet. A hosszúság mértékegységének eleinte az emberi testhez igazodó egy-

előtag	jel	hányszoros	név	10-hatvány
Yotta-	Y	1 000 000 000 000 000 000 000 000	quadrillió	10^{24}
Zetta-	Z	1 000 000 000 000 000 000 000	trilliárd	10^{21}
Exa-	E	1 000 000 000 000 000 000	trillió	10^{18}
Peta-	P	1 000 000 000 000 000	billiárd	10^{15}
Tera-	T	1 000 000 000 000	billió	10^{12}
Giga-	G	1 000 000 000	milliárd	10^9
Mega-	M	1 000 000	millió	10^6
kilo-	k	1000	ezer	10^3
hekto-	h	100	száz	10^2
deka-	da	10	tíz	10^1
–	–	1	egy	10^0
deci-	d	0,1	tized	10^{-1}
centi-	c	0,01	század	10^{-2}
milli-	m	0,001	ezred	10^{-3}
mikro-	μ	0,000 001	milliomod	10^{-6}
nano-	n	0,000 000 001	milliárdod	10^{-9}
piko-	p	0,000 000 000 001	billiomod	10^{-12}
femto-	f	0,000 000 000 000 001	billiárdod	10^{-15}
atto-	a	0,000 000 000 000 000 001	trilliomod	10^{-18}
zepto-	z	0,000 000 000 000 000 000 001	trilliárdod	10^{-21}
yocto-	y	0,000 000 000 000 000 000 000 001	quadrilliomod	10^{-24}

1.3.1 táblázat: SI prefixumok.

ségeket választottak, például a hüvelyk a hüvelykujj szélessége, a láb egy csizmatalp hossza, az öl a kitárt karjainknál az ujjhegyek távolsága. Persze, mindenütt mást értettek ezeken. Később megpróbálták legalább ezeket összehangolni, például az egykori Ausztria-Magyarországon (és az USA-ban ma is) használt egységeknél egy öl 6 láb, egy láb 12 hüvelyk, egy hüvelyk pedig 12 vonás (és az USA-ban a yard 3 láb). 1799-ben Franciaországban szakítottak ezzel a hagyománnyal, az északi sark és az egyenlítő közötti távolság tízmilliomod részét vették, ez lett a méter. Lényegében ma is ezt használjuk. A kisebb és nagyobb egységeket is ebből vezették le, a tizes számrendszer alapján, és minden más egységet is igyekeztek a méterhez igazítani. A régi értékeket átszámolták méterre: 1 osztrák-magyar öl pontosan 1,896483 méter, a fele 0,9482415 méter, míg az USA-yard pontosan 0,91440183 méter, az angol yard egy kicsit kisebb, stb. Ma sem árt azonban, ha tudjuk hüvelykujjunk szélességét, araszunk (kifeszített kezünkön a hüvelykujj és a kisujj hegyének távolsága) és ölünk hosszát, magasságunkat, persze méterben, így mindig van nálunk „mérőeszköz”. MÉRJÜK MEG ÉS JEGYEZZÜK MEG! □

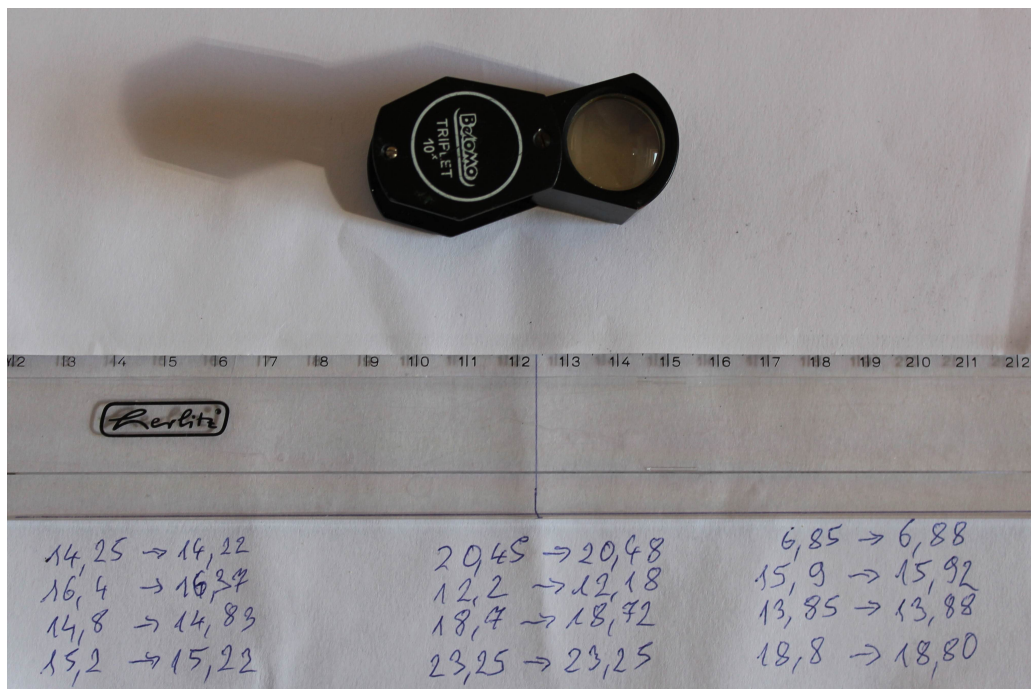
Bár ma mindent méterben mérünk, kényelmetlen lenne például egy csillag távolságát méterben leírni. A kisebb és nagyobb egységek nevével az alapegység neve elé minden mértékegységnél az 1.3.1 táblázatban látható szócska jön.

Tehát például a kilométer 1000 méter, azaz $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$. A fény egy másodperc alatt 299 792 458 métert tesz meg (a méter új definíciója szerint). A Hold távolsága (átlagosan) 380 000 km, azaz 380 Megaméter, rövidítve 380 Mm. A Napé 150 millió kilométer, azaz 150 Gigaméter, rövidítve 150 Gm (ezt a távolságot nevezik a csillagászok csillagászati

egységnek). A legtávolabbi bolygó, a Neptunusz 4,5 Tm-re van a Naptól. A legközelebbi csillag 4,24 fényév, azaz mivel 1 fényév kb. 9,46073 Pm, mintegy 40 Pm távolságra van. A Tejútrendszer átmérője 946 Em, a belátható legnagyobb távolság pedig 130 Ym. Kisebb távolságokra áttérve $1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$. A szabad szemmel látható legkisebb részletek nagyságrendje $0,1 \text{ mm} = 100 \mu\text{m}$, a fénymikroszkóppal láthatóak ennél körülbelül ezerszer kisebbek, $0,1 \mu\text{m} = 100 \text{ nm}$ nagyságrendűek, az elektronmikroszkóppal láthatóak ennél is tízszer-százszor, az atomok mérete pedig ezerszer kisebb, 100 pm nagyságrendű, végül az atommagok méretének nagyságrendje 1 fm . Biztosan nagyon furcsának tűnik, hogy a deka rövidítésére a da használatos, nem a dk, de hát a szabvány ezt írja elő.

Az előbb használtam a nagyságrend fogalmát. Erről érdemes beszélünk, mert sokan nem tudják, mi az. Azonos nagyságrendű azt jelenti, hogy nagyon durván egyforma, legfeljebb néhányszor (két-háromszor, esetleg négyszer) nagyobb vagy kisebb. Egy nagyságrenddel nagyobb azt jelenti, hogy nagyon durván a tízszerese, két nagyságrenddel nagyobb azt jelenti hogy nagyon durván a százszorosa, stb. Sokszor mondják hibásan hogy nagyságrendekkel nagyobb valami a másiknál, ha csak néhányszor nagyobb, pedig ez azt jelenti, hogy legalább a százszorosa–ezerszerese.

Táblázatunk utolsó előtti oszlopához csak annyit jegyünk meg, hogy bár a nagy számok nevei tovább is folytatódnak, ezek ritkán használatosak. Más országokban a nagy számok nevei másként használatosak. Sokkal titokzatosabbnak látszik a táblázat utolsó oszlopa. A száz mellett például az áll, hogy 10^2 . Ez azt jelenti, hogy $100 = 10 \cdot 10$, azaz két tizest kell összeszoroznunk, hogy 100-at kapjunk. Hasonlóan $1000 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^3$, azaz három tizest kell összeszoroznunk és $1000000 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^6$, azaz hat tizest kell összeszoroznunk. Nyilván ez a jelölés sokkal rövidebb. Más esetekben is használjuk, például 2^{10} azt jelenti, hogy 10 darab 2-est kell összeszoroznunk, ez 1024, vagy akár $3,14^{12}$, ez $\approx 918\,662,0518$. Az ilyen kifejezéseket *hatványnak* nevezzük, az utóbbiban például 3,14 az *alap*, a 12 pedig a *kitevő*. Sok zsebszámológép tud hatványozni, és használja a 10 hatványaira a hatvány jelölést. A rövidség mellett további előnye a hatvány jelölésnek, hogy egyforma alapú hatványokat könnyű összeszorozni illetve osztani egymással. Például $10^6 \cdot 10^3 = 10^9$, mert mindkét oldal azt jelenti, hogy összesen 9 darab 10-est kell összeszorozni. Tehát egyforma alapú hatványok összeszorzásakor a kitevők összeadódnak. Másrészt $10^6/10^4 = 10^2$, mert ha 6 darab 10-es szorzatát osztjuk 4 darab 10-es szorzatával, akkor 4 darab 10-essel lehet egyszerűsíteni, így végül 2 darab 10-es szorzata marad. Tehát egyforma alapú hatványok osztásakor a kitevők kivonódnak. Így például $10^3/10^2 = 10 = 10^1$, azaz 10^1 úgy értendő, hogy 10. Ha következetesek akarunk maradni, akkor például $10^3/10^3 = 10^0$, másrészt viszont a hányados nyilván 1, így $10^0 = 1$. Mi lesz 10^{-2} ? Megint, ha következetesek akarunk maradni, akkor például egyszerűen $10^3/10^5 = 10^{-2}$, másrészt a hányados egyszerűsítés után $1/100 = 1/10^2$, azaz a -2 kitevős hatvány 1 osztva a 2 kitevős hatvánnyal, azaz a 2 kitevős hatvány *reciproka*. Ha így értjük a nulla, illetve negatív kitevős hatványokat, akkor ezekre is érvényben marad az a szabály, hogy egyforma alapú hatványok szorzásakor a kitevők összeadódnak, osztásakor pedig kivonódnak. Még egy hasznos szabály, hogy ha egy hatványt hatványozunk, akkor a kitevők összeszoródnak, például $(3,14^3)^4 = 3,14^{12}$, hiszen $(3,14^3)^4$ egy olyan szorzat, amelynek mind a 4 tényezője 3 darab 3,14 szorzata, azaz összesen $3 \cdot 4 = 12$ darab egyforma tényezőt kell összeszorozni.



1.3.2 fénykép: beosztásbecslés.

1.3.2 Kísérlet. A vegyésznek lépten-nyomon szüksége van rá, hogy valamilyen beosztásnál a beosztás tized részeit becsülje. Ezt némi gyakorlással megtanulhatjuk. A 1.3.2 fénykép mutatja, hogyan: a milliméter skálát letakarva, csak a centiméter skálát nézve, becsüljük a millimétereket, majd ellenőrizzük, hogy sikerült a becsülésünk. Néhány becslést és az ellenőrzését a lapra írtam.

Hosszúságot milliméter beosztású vonalzóval, mérőszalaggal tudunk mérni. Tizedmilliméterek becslésekor nem árt ha kézi nagyítót, idegen szóval *lupét* használunk. A jó lupe több lencséből van összerakva, kettőből vagy háromból, és nem az átmérője számít, hanem hogy egészen a szemünkhöz tartva 2–3 cm-ről nézhessük, amit nagyítva akarunk látni és így jó képet adjon. A hatalmas kézi nagyítók legtöbbször használhatatlan. Az 1.3.2 fényképen geológusok, ékszerészek által apró kristályok nézegetésére használt tízszeres nagyítású lupét láthatunk. Pontosan erre fog kelleni nekünk is, hogy apró kristályokat, csapadékokat, finom beosztást nézzünk vele. Kiválóan megfelel egy már nem használt fényképezőgép lencséje, esetleg távcső, mikroszkóp szemlencséje is. □

A becslést rendkívül megkönnyíti egy apró trükk. A milliméterbeosztás alá egy másik beosztást is raknak, amelynek 10 vonala 0,1 milliméterrel közelebb van egymáshoz, mint a milliméterskála vonalai. Ez a segédskála a *nóniusz*. Így ha például a nóniusz negyedik vonala esik egybe egy millimétervonallal, akkor 0,4 millimétert kell hozzáadni az egész milliméterekhez. Van, ahol a segédskála 20 vagy akár 50 részre van osztva. Az 1.3.3 fényképen egy tolómérő látható 20 részre osztott segédskálával. A leolvasás 19,80 mm. Ma már készülnek olyan tolómérők is, amelyek számmal írják ki a mért hosszt. Jó ha van



1.3.3 fénykép: tolómérő.

kéznél egy tolómérő, de a tizedrészek becslését mindenképp érdemes megtanulni, és ezzel is jól elboldogulhatunk. A becsült jegyet mindig oda szoktuk írni a mért adat végére, ezzel a mérés pontosságát is jelezzük: az utolsó jegy bizonytalan, a többi biztos.

1.3.3 Kísérlet. Tegyük fel, hogy két, majdnem egyforma hosszú rúd hosszának a különbségét szeretnénk tudni. Nem jó gondolat megmérni a hosszukat külön-külön, majd az egyikből kivonni a másikat. Sokkal jobb, ha egymás mellé állítjuk a kettőt, és közvetlenül a különbséget mérjük. Ha például az első rúd 1012 mm, a második 981 mm, akkor ha a külön-külön mért hosszaknál csak 1–1 mm-t tévedünk, lehet, hogy a különbség hibája 2 mm lesz. A két rudat egymás mellé állítva, a hosszuk különbségét könnyen megmérhetjük 0,1 mm hibával. Próbáljuk ki! Ha csak lehet, kerüljük tehát az olyan méréseket, amelyeknél két majdnem egyforma mért érték különbsége adja az eredményt. \square

1.3.4 Kísérlet. ** Ha a hosszt mérőeszközünkről csak 0,1 mm pontossággal tudjuk leolvasni, tudunk-e vele 0,01 mm hibával mérni? Első pillantásra ez lehetetlennek tűnik, mégis lehetséges. Legyen a mérendő mennyiség x , és mérjük meg 100-szor, például 100 ember, mindegyik más mérőeszkőzzel. Adjuk össze a mért értékeket, és az összeget osszuk el 100-zal. Mennyi ennek a hibája? Ha az első ember x_1 -et mért, akkor a mért és a valódi érték különbsége, idegen szóval *differentiája* $d_1 = x_1 - x$, stb., a századik emberre $d_{100} = x_{100} - x$. Ha a mért értékeket összeadjuk, és az összeget elosztjuk 100-zal, egy \bar{x} (olvasd: x átlag) mennyiséget kapunk, ami

$$\bar{x} = x + \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_{100}}{100}.$$

alfa	A	α	éta	E	η	nű	N	ν	tau	T	τ
béta	B	β	théta	Θ	θ	kszí	Ξ	ξ	üpszilon	Υ	υ
gamma	Γ	γ	ióta	I	ι	omikron	O	o	fí	Φ	ϕ, φ
delta	Δ	δ	kappa	K	κ, \varkappa	pí	Π	π, ϖ	khí	X	χ
epszilon	E	ϵ, ε	lambda	Λ	λ	ró	P	ρ, ϱ	pszí	Ψ	ψ
zéta	Z	ζ	mű	M	μ	szigma	Σ	σ, ς	omega	Ω	ω

1.3.4 táblázat: A görög abc.

Várható, hogy a hibák részben kiejtik egymást, de mégis, mekkora hiba marad? Legyen $D_2 = d_1 + d_2$, $D_3 = d_1 + d_2 + d_3$, stb. Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a d_3 hiba úgy jön létre, hogy 1/2 eséllyel felfele tévedünk 1 egységnyit, és 1/2 eséllyel lefele. Mennyi lesz D_3 négyzete? $D_3^2 = (D_2 + 1)^2 = D_2^2 + 2D_2 + 1$, ha felfele tévedtünk, és $D_3^2 = (D_2 - 1)^2 = D_2^2 - 2D_2 + 1$, ha lefele. Átlagosan tehát $D_3^2 = D_2^2 + 1$. Ha d_3 nem egységnyi, akkor D_3^2 átlagosan $D_2^2 + d_3^2$. Hasonlóan $D_1 = d_1$ jelöléssel D_2^2 átlagosan $D_1^2 + d_2^2 = d_1^2 + d_2^2$, és folytatva az eljárást D_{100}^2 átlagosan $d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_{100}^2$, tehát a véletlen hibák *négyzetei* adódnak össze. Ez nem csak ebben az esetben igaz, hanem általában is. Így ha a hibák egyformák, akkor D_{100} négyzete 100-szor akkora, mint az egyes hibák négyzete, azaz D_{100} maga átlagosan tízszer akkora, mint az egyes hibák, így \bar{x} hibája, ami ennek a századrésze, tízszer kisebb, mint egy mérés hibája. Általában, 4 mérés átlagának hibája 2-szer, 9 mérés átlagának hibája 3-szor, stb., kevesebbet ingadozik, mint 1 mérés hibája. Sokszor szoktak több mérést végezni, ha pontosabb eredményre van szükség. Szokás a durva hibák elkerülésére a legkisebb és a legnagyobb eredményt kihagyni az átlagolásból. Ne feledjük, hogy csak a véletlen hibák ejtik ki részben egymást! Ha például mind a száz ember ugyanazt a mérőeszközt használja, annak a hibája benne marad az átlagban.

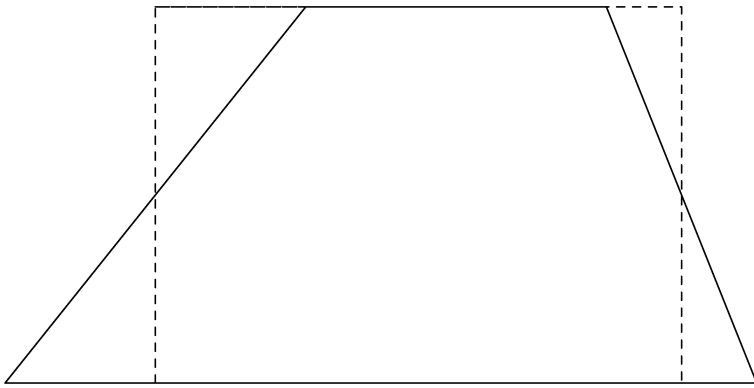
Vajon mérésünk hibájáról is megtudhatunk valamit a mérésekből? Igen, ha n mérést végzünk, és az $(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2$ mennyiséget elosztjuk $n - 1$ -gyel, akkor egy mérés átlagos hibanégyzetét kapjuk.

Hogyan lesz ebből kísérlet? Ha van olyan zsebszámológépünk, amin van véletlenszám generátor, az 0 és 1 közötti véletlen számokat ad, amik 1/2 körül ingadoznak, átlagos hibájuk $\approx 0,3$. Számoljuk ki 4, 9, 16, 25, ... átlagát, esetleg az átlagtól való eltérések négyzetének összegét. A statisztikai gombok a zsebszámológépen éppen erre valók! **

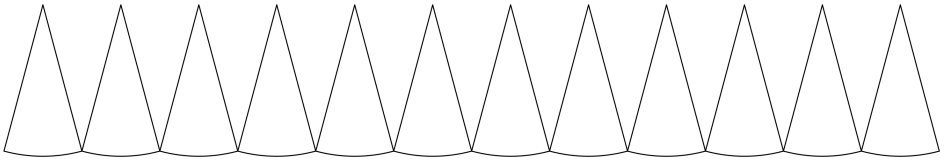
□

Ha valamit felnagyítunk vagy lekicsinyítünk, az összes hossz ugyanolyan arányban változik. Egy kört nagyítva vagy kicsinyítve a kerületének és az átmérőjének az aránya mindig ugyanannyi. Ezt az arányt a π (ejtsd: pí) görög betűvel szokás jelölni. Értékét a matematikusok nagyon pontosan (sok millió tizedesjegyre) kiszámolták, közelítőleg 3,14..., pontosabb közelítése 3,14159265... Mivel ez már a második görög betű, amivel találkozunk, bár nem lesz túl sokszor szükség rá, megadom a görög ABC-t is a 1.3.4 táblázatban. Így még egyes görög szavakat is egész jól ki tudunk olvasni, ha összeolvassuk a táblázatból a görög betűk nevének első betűit.

A terület mérésénél az egységet a hosszúságegységből kapjuk, az egységnyi terület egy 1 m-szer 1 m-es négyzet területe, a négyzetméter, jelben m^2 . Egy téglalap területét úgy kapjuk, hogy a szélességét és a hosszúságát összeszorozzuk. Kisebb területegységek a négyzetdeciméter, dm^2 , a négyzetcentiméter, cm^2 , stb. Vigyázzunk, a dm^2 nem deci-



1.3.5 ábra: trapéz átdarabolása.



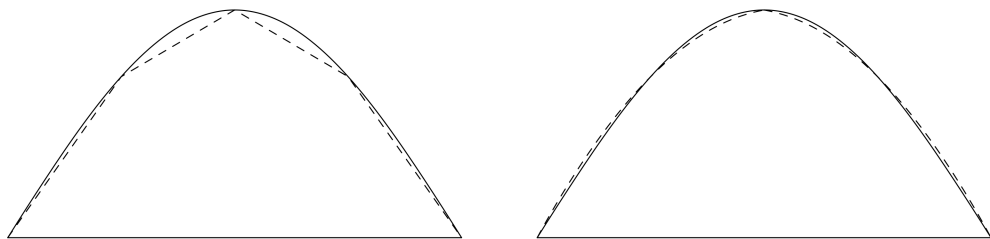
1.3.6 ábra: kör „átdarabolása”.

négyzetméter, azaz a négyzetméter tizede, hanem négyzet-deciméter, azaz a deciméter négyzete (második hatványa), így $1 \text{ dm}^2 = 0,1 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,01 \text{ m}^2$, azaz a négyzetméter százada! Hasonlóan a cm^2 a négyzetméter tízezrede, stb. Nagyobb egységek a négyzetdekaméter, amit *árnak* is neveznek (ma már nemigen használják), a négyzethektométer, amit *hektárnak* is neveznek (hekto-ár), és a négyzetkilométer. Az ár rövidítése a, a hektáré ha. Így

$$1 \text{ km}^2 = 100 \text{ ha} = 10\,000 \text{ a} = 1\,000\,000 \text{ m}^2.$$

Foglalkozzunk most kicsit a terület kiszámításával. Nem árt észrevenni, hogy ha bármilyen síkidomot kétszeresére, háromszorosára, stb., nagyítunk, a területe négyszeresére, kilencszeresére, stb., nő. Ha azonban csak egy irányban nyújtjuk kétszeresére, háromszorosára, stb., és arra merőlegesen nem változtatjuk, akkor a terület is csak kétszeresére, háromszorosára, stb., nő. Egy *trapézt*, azaz olyan négyszöget, aminek két oldala párhuzamos, mint az 1.3.5 ábra mutatja, könnyen átdarabolhatunk téglalappá, aminek szélessége a párhuzamos oldalak távolsága, a trapéz úgynevezett *magassága*, hosszúsága pedig a párhuzamos oldalak hosszának átlaga, azaz a hosszúak összegének a fele lesz. A trapéz területét tehát a magasságából és a párhuzamos oldalak hosszából könnyen kiszámíthatjuk. A háromszög egy speciális trapéz, amelynek az egyik „párhuzamos” oldala nulla hosszú, így a területét úgy kapjuk, hogy valamelyik oldal (az „alap”) hosszának a felét szorozzuk az arra az oldalra, azaz az alapra merőleges magassággal.

A körterület kiszámításának ötletét az 1.3.6 ábrán láthatjuk: szétvagdosva a kört sok kis háromszögszerű darabot kapunk, amelyek mindegyikének a magassága a kör sugara. A háromszögszerű darabok alapjainak összes hossza a kör kerülete, tehát π -szer az átmérő. Ennek a felét, azaz π -szer az átmérő felét kell szorozni a sugárral. Mivel az átmérő fele a



1.3.7 ábra: görbe alatti terület közelítése.

sugár, végül is azt kapjuk, hogy a terület π -szer a sugár négyzete.

Néha előfordul, hogy valamilyen bonyolultabb alakzat, például egy görbe alatti rész területét kell kiszámítanunk. Ezt közelítőleg megtehetjük úgy, hogy trapézokkal közelítjük: lásd az 1.3.7 ábra bal oldalán. Sokkal pontosabb közelítést kapunk, ha az alapot ugyancsak kis részekre osztjuk, de minden kis részen a területet úgy közelítjük, hogy a bal oldali magasságnak, a jobb oldali magasságnak és a középső magasság négyszeresének összegét osztjuk hattal, és ezt szorozzuk az alap megfelelő részének hosszával. Ez a *Simpson-formula*. A magyarázatot a matematikai részben megtaláljuk, itt elégedjünk meg annyival, hogy ez a görbe parabolákkal való közelítésének felel meg. Az 1.3.7 ábra bal illetve jobb oldalán berajzoltuk a trapézokat illetve parabolákat.

1.3.5 Kísérlet. Tegyük fel, hogy egy alumínium fóliából levágott csík területét kell megmérni. A vágások egyenesek, de nem sikerültek párhuzamosra. A fólia szélességét (a trapéz magasságát) megmérve, azt 29 cm-nek találtuk, de hibáztunk, 3 mm-rel nagyobbak mértük, mint amekkora valójában. A hiba ≈ 1 százalék (századrész), azaz 1%. A párhuzamos oldalakat megmérve, azokat 9 cm-nek és 11 cm-nek találtuk, 1 mm-rel illetve 2 mm-rel nagyobbak, mint amekkora valójában. A párhuzamos oldalak hosszának átlaga mérésünk szerint 10 cm, másfél százalékkal, azaz 1,5%-kal nagyobb, mint amekkora valóban. A kiszámolt terület 290 cm^2 , ami $1,015 \cdot 1,01 = 1,02515$ -ször, azaz nagyjából 2,5%-kal nagyobb, mint a valódi, így a valódi $1/1,02515 \approx 0,975$ -ször, azaz nagyjából 2,5%-kal kisebb, mint a kiszámolt. Másik példaként tegyük fel, hogy a trapéz magasságát 1%-kal kisebbnek mértük, mint a valódi, a másik hiba ugyanakkora, mint az előbb. A kiszámolt terület most $1,015 \cdot 0,99 = 1,00485$ -ször, azaz nagyjából 0,5%-kal nagyobb, mint a valódi, így a valódi $1/1,005 \approx 0,995$ -ször, azaz nagyjából 0,5%-kal kisebb, mint a kiszámolt. Az látjuk tehát, hogy szorzáskor a kis hibák nagyjából (előjelesen) összeadódnak, osztáskor pedig kivonódnak. Ezt gyors fejszámolásra is felhasználhatjuk: ha szorzásnál vagy osztásnál valamelyik számhoz közel van egy másik, kerek szám, akkor azzal számolunk, majd az eredményt helyesbítjük annyi százalékkal, amennyi az eltérés volt. \square

1.3.6 Kísérlet. Tegyük fel, hogy egy egész tekercs alumínium fólia területét szeretnénk kiszámolni. A fólia szélességét megmértük, és a mérésünk hibája 1%. Területszámoláshoz hiába tudjuk a kb. 20 m-es hosszúságát akár egy tizedredrés hibával, azaz egy század százalék (‰) hibával megmérni, nem nagyon érdemes, mert a terület hibája úgyszólván 1% körül lesz. Elég lesz a hosszúságot 1‰ (egy ezrelék, azaz egy ezredrés) hibával mérni, mert ez a hiba már nem befolyásolja lényegesen az eredmény hibáját, az 0,9% és 1,1% között lesz. Általában, a legpontatlanabb adat hibája határozza meg az eredmény hibáját, a többi adat hibáját nem nagyon érdemes ennek a tizedénél tovább csökkenteni. \square

1.3.7 Kísérlet. Egy üveg nyakának belső átmérője tolómérővel mérve 16,75 mm. Mennyi a keresztmetszet területe? Zsebszámológéppel számolva $\pi \cdot (16,75/2)^2 \text{ mm}^2 = 220,3532722 \text{ mm}^2$. Félrevezető azonban ezt írni, mert az sugallja, hogy az eredmény nagyon-nagyon pontos. Jobb, ha azt írjuk, hogy 220,4 mm², mert a kiindulási adat, az átmérő hibája 3‰ körül van, így a sugár hibája is ennyi, a sugár négyzetének hibája pedig már 6‰, így a végeredményé is. A zsebszámológép beépített π billentyűjével számoltam, de elég lett volna a 3,14 közelítés is, hiszen ennek a hibája 0,5‰ körül van. A 220,4 mm² azt sugallja, hogy az utolsó jegy pontatlan, az utolsó előtti pedig valószínűleg pontos. Ha azt kérdezzük, hogy 1 cm³ víz mennyivel emeli meg a vízszintet, a válasz 1 cm³/220,4 mm² = 1000 mm³/220,4 mm² \approx 4,54 mm. Az utolsó jegy bizonytalan. □

Elég gyakran előfordul a fordított probléma is: ismerjük a területet, és keressük az átmérőt vagy a sugarat. Például 1 mm² keresztmetszetű drótnak mennyi az átmérője? Mivel a kör területe $\pi \cdot r^2$, azt kapjuk, hogy $r^2 \approx 0,3183 \text{ mm}^2$, de nekünk r kellene. Próbálgatással célt érhetünk: $0,5^2 = 0,25$, kevés, $0,6^2 = 0,36$, sok, $0,55^2 = 0,3025$, kevés, $0,57^2 = 0,3249$, sok, $0,56^2 = 0,3136$, kevés, $0,565^2 = 0,3192$, sok, stb. Az utolsó közelítés elég jó, akár meg is állhatunk: 0,3183 és 0,3192 között az eltérés csak $\approx 3‰$, és mivel négyzetreemeléskor a hiba nagyjából megduplázódik, most nagyjából megfelelődik. Így kevesebb, mint 2‰ hibával az átmérő $\approx 1,13 \text{ mm}$. Az ilyen típusú problémák megoldását, azaz ha egy adott y mennyiséghez azt az ismeretlen x mennyiséget keressük, amire $x^2 = y$, *négyzetgyökvonásnak* nevezzük, és a megoldásra az $x = \sqrt{y}$ jelölést használjuk. A legtöbb zsebszámológépen van $\sqrt{\quad}$ jel.

A térfogat egységét is a hosszúságegységből kapjuk, az egységnyi térfogat egy 1 m-szer 1 m-szer 1 m-es kocka térfogata, a köbméter, jelben m³. Egy téglatest térfogatát úgy kapjuk, hogy a szélességét, a hosszúságát és a magasságát összeszorozzuk. Kisebb térfogategység a köbdeciméter, dm³, a köbcentiméter, cm³, stb. Vigyázzunk, itt is a dm³ nem deci-köbméter, azaz a köbméter tizede, hanem köb-deciméter, azaz a deciméter köbe (harmadik hatványa), így 1 dm³=0,1 m·0,1 m·0,1 m=0,001 m³, azaz a köbméter ezrede! Hasonlóan a cm³ a köbméter milliomod része, stb. A mindennapi életben elterjedtebb a liter. Jelölése l, és megegyezik a dm³-rel. Tízszerese a dekaliter (dal), százszorosa a hektoliter (hl), tizede a deciliter (dl), százada a centiliter (cl), ezrede a milliliter (ml), stb. Ezeket gyakran használjuk a kémiában.

Nézzük a térfogatszámítást. A legfontosabb eszme *Cavalieri elve*, amit az 1.3.8 fénykép szemléltet: ha a kártyákat elforgatjuk, eltoljuk, a kártyacsomag térfogata nem változik. Sőt, akkor sem változna, ha az egyes kártyák alakját megváltoztatnánk, feltéve, hogy a területük (és persze a vastagságuk) nem változik. Ez akkor is igaz marad, ha a kártyák nem egyformák. A térfogat tehát csak egy adott síkkal párhuzamos területektől függ: ha ezek ugyanazok, ugyanaz a térfogat is. Így mindjárt megkapjuk olyan testek térfogatát, amelyeknek a teljes magasságában mindenütt ugyanaz a keresztmetszet területe: alapterület szorozva magassággal. Ha változik a keresztmetszet területe, alkalmazhatjuk *Kepler hordó formuláját* (ami tulajdonképpen a Simpson-formula): az alaplap területének, a fedőlap területének és a középlap (a fél magasságban vett keresztmetszet) négyszeres területének összegét osztjuk hattal és szorozzuk a magassággal. Ez a képlet nem csak „hengersizű”, hanem „kúpszerű” és „csanakakúpszerű” testek, sőt meglepő módon gömb és gömbszelet, és bizonyos hordószerű alakzatok esetén is pontos eredményt ad! Itt „kúpszerű” testen olyan testet értünk, amely úgy keletkezik, hogy egy akármilyen síkbeli alaplap minden



1.3.8 fénykép: Cavalieri elve.

pontját összekötjük egy adott térbeli ponttal. Ha ezt elvágjuk egy, az alaplappal párhuzamos síkkal, kapjuk a „csonkakúpszerű” testet. Ha nagyon vadul változik a keresztmetszet, még mindig felszeletelhetjük a testet, és ezekre a szeletekre alkalmazzuk Kepler hordó formuláját. Itt is érvényes, hogy ha a testet egy irányban kétszeresére, háromszorosára, stb. nyújtjuk de arra merőlegesen nem változtatjuk, akkor a térfogata kétszeresére, háromszorosára, stb. nő.

1.3.8 Kísérlet. Mérjük meg egy kémcső térfogatát! Mint az 1.3.9 fényképen láthatjuk, a kémcsövek egyik végükön zárt, legömbölyített végű, tűzálló üvegből készült csövek. Gyertyaláng felett nyugodtan melegíthetjük. Ilyenkor *kémcsőfogónak* egy (lehetőleg fa) ruhacsipeszt használunk. Lehet, hogy a ruhacsipesz nyílását reszelővel meg kell növelnünk, vagy fa hosszabbítókat kell rá ragasztanunk. Készítsünk néhány ilyen kémcsőfogót! Melegítéskor a kémcső nyílása ne irányuljon senki felé, mert lehet, hogy a benne lévő anyag kifröccsen! (Kezdetben esetleg kémcső helyett néhány leselejtezett pálinkás-pohárral is elboldogulhatunk, de ezek nem hőállóak, és nem is egyenes a keresztmetszetük.) Például vegyszerboltban, borászati boltban juthatunk kémcsőhöz. A képen látható állványt magunk is elkészíthetjük, de egy befőttes üveg is megteszi helyette. A kémcső belső átmérője tolmérővel mérve 13,75 mm volt. A teljes belső hosszt — bedugva egy ceruzát — 158,0 mm-nek mértem, amiből a legömbölyített rész magassága 3,6 mm. A keresztmetszet területe tehát $148,5 \text{ mm}^2$, így a henger alakú rész térfogata $1,485 \cdot 15,44 \approx 22,93 \text{ cm}^3$. A legömbölyített rész egy olyan „összenyomott félgömb”, amely egy $148,5 \text{ mm}^2$ keresztmetszetű gömb 7,2 mm-re való összenyomásával keletkező



1.3.9 fénykép: kémcsőállvány kécsövekkel.

„összenyomott gömb” fele. Kepler hordó formulájával számolva, az „összenyomott gömb” térfogata $(0 + 4 \cdot 148,5 + 0) \cdot 7,2/6 \approx 713 \text{ mm}^3$, azaz a legömbölyített rész térfogata $\approx 0,36 \text{ cm}^3$. \square

Nem mindig képezzük a kisebb részeket tízzel, százzal, stb. való osztással. Az ókorban igen kedvelték a hatvan felé osztást, mivel így a fél, harmad, negyed, ötöd, hatod, tized, tizenketted, tizenötöd, huszad, és a harmincad is egész számú hatvanadrészből áll. Innen ered, hogy az órát hatvan percre, a percet pedig hatvan másodpercre osztjuk. Maga az óra onnan ered, hogy kezdetben a nappalt és az éjszakát is külön-külön 12 órára osztották. Így persze a nappalok hosszával változott az órák hossza is, ezért később áttértek a nap 24 egyforma órára való osztására. A tudományban csak a másodpercet (latinul secundum) használjuk időegységnek, jele s. (** A föld forgása nem teljesen egyenes, például a sarki jégsapkák olvadása-megfagyása miatt. Ezért nagyon pontos tudományos méréseknél a másodpercnél azt a meghatározását használják, hogy egy bizonyos atomfajta, a cézium-133 által bizonyos körülmények között kibocsátott rádióhullám 9 192 631 770 hullámának ideje.**) A világegyetem kora $\approx 13,5$ milliárd év, azaz ≈ 426 Ps. Az emberi élet néhány Gs. A fény a naptól 480 s alatt ér ide. Ha százig számolunk, hogy egyszer, kétszer, ..., tízszer, tizenegyszer, tizenkettő, ..., akkor nagyjából a másodperceket számláljuk. Az első mikroprocesszorok egy számítási lépése 1 μ s-ig tartott, a maiaké 200 ps-ig. A fény ennyi idő alatt 6 cm-t tesz meg.

A szögmérésben is hatvanad részeket használunk: egy fok (jele $^\circ$) 60 szögperc (jele $'$), egy szögperc pedig 60 szögmásodperc (jele $''$). Azt, hogy egységként miért a fokot, a

teljes kör 360-ad részét használjuk, nem tudjuk biztosan. Lehet, hogy az egyenlő oldalú háromszög egy szögét osztották 60 részre. Az is lehet, hogy mivel az év $\approx 365,2425$ nap és így a Nap egy nap alatt a teljes kör $1/365,2425$ -ad részével mozdul el a csillagokhoz képest, ezért osztották a teljes kört 360 részre. Talán mindkét szempont közrejátszott.

Mindenesetre szögeknél és (gyorsírásként) időnél is írhatunk ilyesmiket, hogy $3^{\circ}24'35''$, ami 3 fok 24 szögperc 35 szögmásodperc, illetve 3 óra 24 perc 35 másodperc.

1.4 Tömeg és súly

A vegyész leggyakrabban tömeget, térfogatot és *hőmérsékletet* mér. A hőmérséklet mérésével később majd részletesen foglalkozunk, nagyjából úgyis érezzük. Egyelőre elég lesz annyi, hogy $^{\circ}\text{C}$ -ban (ejtsd: celziusz fokban) mérjük. A hűtőszekrényben általában 5°C van, a mélyhűtőben pedig kb. -18°C . Általában 5°C -ig az mondjuk, hogy *hideg*, 5 és 15°C között, hogy *hűvös*. A *szobahőmérséklet* 15 – 28°C . A vizet 28 – 40°C között *langyosnak* nevezzük. E felett már nem nagyon bírja el a kezünk, 75°C -ig *melegnek*, a fölött *forrónak* nevezzük.

A *tömeg* (azaz az anyagmennyiség) egységét a méterrendszerben a méterhez igazították. Egy cm^3 (hideg) víz tömegét választották egységnek, ez a gramm (jele g). Pontosabban, készítettek egy 1 dm^3 -es kockát, és az ebbe beleférő víz tömegével egyenlő tömegű mérő súlyt, ez az alap kilogramm. Minden más mérő súlyt ehhez hasonlítottak. Ezt nagyon pontosan meg lehet tenni kétkarú mérleggel, az összehasonlítás hibája a százaléknak a milliomodrésze, azaz 1‰‰‰ . Később kiderült, hogy az alapkilogramm 28 milliomodrésszel, azaz 28‰‰ -kel nagyobb tömegű, mint 1 dm^3 víz, de már nem változtattak rajta, és lényegében ma is ezt használjuk. Az eltérés a gyakorlatban elhanyagolható. Az 1 Mg-nak más neve is van, ez a *tonna* (jele t).

A tömeg mérésére szükségünk lesz egy jó mérlegre. Manapság már nagyon sok háztartásban van 5 kg-ig mérő, 1 g érzékenységű *digitális mérleg*. Ez tökéletesen megfelelő nekünk. Még jobb az a típus, amely 5 kg-ig 1 g, de 500 g-ig 0,1 g, azaz 1 dg érzékenységű. Ha nem jutunk digitális mérleghez, akkor egy régi tolósúlyos mérleg is megteszi, ezzel 12 kg-ig 1 dag (dekagramm) érzékenységgel mérhetünk. Ezzel már nem minden kísérletet tudunk elvégezni. Ennél pontatlanabb mérleggel nem sokat tudunk kezdeni. Később szükségünk lesz 1 cg érzékenységű mérlegre. Persze, a konyhai mérlegeknél sokkal érzékenyebb digitális mérlegek is kaphatók, de elég drágák.

1.4.1 Kísérlet. Esetleg bosszantónak tűnhet, hogy 1 dm^3 víz tömege nem pontosan 1 kg. Hogyan követhettek el ilyen hibát? Próbáljuk meg magunk megmérni 1 dm^3 víz tömegét! Egy üres fazék tömegét 1486 g-nak mértem, vizet öntöttem bele, így a tömege 4650 g lett, tehát a víz tömege 3164 g. A fazék átmérőjét 257 mm-nek mértem, míg a víz mélységét (középen) 59,3 mm-nek, ahonnan a víz térfogata 3076 cm^3 . Ebből 1 dm^3 víz tömegére 1,029 kg adódik. Inkább csodálkozunk kell, milyen pontosan mértek több, mint kétszáz éve. Az én mérésem hibája több, mint ezerszer akkora. \square

Talán meglepő, de a csodaszép digitális mérleg, bár sokkal kényelmesebb használni, semmivel sem pontosabb, mint egy jó kétkarú mérleg. Például a Holdon teljesen használhatatlan lenne, a valódi tömegnek kb. a hatodát mutatná. Ezt még nem bánnánk, de a Földön is hogy mennyit mutat, attól függ, hol van. Ez azért van, mert a digitális

mérleg tulajdonképpen nem tömeget, hanem a Földnek az adott tárgyra ható vonzóerejét, a tárgy *súlyát* méri. Igaz, a kétkarú mérleg is, de azt a súlyokra ható vonzóerővel hasonlítja össze. Így ahányszorosára változik az egyik, annyiszorosára változik a másik is, és a kétkarú mérleg a Holdon is pontos lenne. Mekkora eltérést várhatunk a digitális mérlegnél? Ha egy 5 kg-os tömeget például a Duna szintjéről felviszünk a Kékes csúcsára, mennyit mutat a mérleg? A Föld vonzóereje a középpontjától mért távolság négyzetével fordítva arányos, azaz ahogy nő a távolság négyzete, úgy csökken a vonzóerő. Az északi saroktól az egyenlítőig a távolság 10 000 km, így a Föld kerülete 40 000 km, tehát a sugara $40\,000/(2 \cdot \pi) \approx 6366$ km. A Kékestető $\approx 0,9$ km-rel magasabban van, mint a Duna, tehát $\approx 0,14\%$ -kel távolabb van a Föld középpontjától, így a távolság négyzete $\approx 0,28\%$ -kel nagyobb, a vonzóerő tehát $\approx 0,28\%$ -kel kisebb. Így az 5 kg-os tömegnél 1,4 g-nak megfelelő eltérés várható! Még rosszabb a helyzet, ha a digitális mérleget az északi sarkra vagy az egyenlítőre viszzük. A sarkon kb. $2,6\%$ -kel nagyobb a vonzóerő, az egyenlítőnél pedig kb. $2,6\%$ -kel kisebb, mint az északi sark és az egyenlítő között félúton, a tengerszinten. (Ez főleg abból adódik, hogy a Föld nem tökéletes gömb, hanem lapult, a sarkok közelebb vannak a középpontjához, mint az egyenlítő.) Az európai nagyvárosoknál $\pm 1\%$ körüli az ingadozás, tehát 5 kg-nál ± 5 g! Ezt a problémát úgy szokták kiküszöbölni, hogy a jobb digitális mérlegekhez adnak egy „beállítótömeget”, és ezzel be lehet állítani, hogy az adott helyen helyesen mérjen.

Néha nem is tömeget, hanem erőt akarunk mérni. Ilyenkor ideális a digitális mérleg, különösen, ha erőegységnek azt az erőt választjuk, amivel 1 g tömeget az adott helyen a Föld vonz, ez lenne a pond (jele p), amit régebben használtak. Sajnos, mint fentebb láttuk, így az erőegység függne a helytől. Inkább olyan erőt kellene használni, ami nem függ a helytől. Ha egy úrhajón, a súlytalanság állapotában egy 1 tonnás szekrény repül felénk másodpercenként 1 métert téve meg, azaz 1 m/s sebességgel, ugyanúgy a falhoz lapít, mint a Földön, ha nem szedjük össze minden erőnket, hogy megállítsuk. Pedig ez a sebesség elég kicsi, 3600 méter óránként, azaz 3,6 km/ó, lassú séta sebessége! Ha 1 s időnk van rá, hogy megállítsuk, kb. 102 kp (kilopond) erőre lesz szükségünk. Az erő egységét ilyen alapon választották meg: 1 newton (jele N) az az erő, ami egy 1 kg tömegű test sebességét 1 s alatt 1 m/s-mal változtatja meg. A sebesség időegység alatti változását *gyorsulásnak* hívjuk. Másként tehát 1 newton az az erő, ami egy 1 kg tömegű testet 1 m/s² gyorsulással gyorsít. Az egységet Newton angol fizikusról nevezték el. (A személyekről elnevezett mértékegységeket nagy betűvel jelöljük.) A fentiek szerint kifejezhető a tömeg, a hosszúság és az idő egységeivel, tehát nem igazán új egység: $1\text{ N} = 1\text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$. (Ezért is nem függ a helytől.) A pondra azt mondták, hogy legyen $1\text{ p} = 9,80665\text{ mN}$ (pontosan), ez majdnem pontosan az az erő, amivel 1 g tömeget az északi sark és az egyenlítő között félúton a tengerszinten a Föld vonz. A newton tehát kb. 2% -kal nagyobb, mint a kp tizede.

1.4.2 Kísérlet. Ha egy szekrényt arrébb tolunk, munkát végzünk. A munka függ attól, hogy milyen hosszan toltuk a szekrényt, és mekkora erővel. Ha csak nekitámaszkodunk, nem végzünk munkát. Ha jégen toljuk, kisebb erő kell, kevesebb munkát végzünk. A munka illetve a munkavégző képesség egységének az a munkát választották, amit akkor végzünk, amikor 1 N erővel 1 m úton mozgatunk valamit, például 1 N súlyú testet 1 m magasra emelünk fel. Ennek a neve Joule (ejtsd dzsúl) angol fizikus nevéből joule (jele

J). Másként $1 \text{ joule} = 1 \text{ newtonméter}$, azaz $1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$. A régi egység a méterkilopond, azaz $\text{m}\cdot\text{kp}$ volt.

A teljesítmény az időegység alatt végzett munka. A teljesítmény egységét Watt-ról nevezték el, aki az első nagy teljesítményű gőzgépeket készítette bányavíz szivattyúzására. Ez az egység a watt (jele W), másodpercenként 1 joule munka. Watt gőzgépeinek teljesítményét lóerőben adta meg: úgy találta, hogy nehéz testű, bányavíz szivattyúzására használt lovak másodpercenként $75 \text{ m}\cdot\text{kp}$ munkát képesek végezni. Ezt a teljesítményt nevezte lóerőnek. Az ember teljesítménye tartós munkában körülbelül $0,07\text{--}0,08$ lóerő. Hogy rövid időre mennyi, azt magunk is megmérhetjük, ismerve testsúlyunkat, ha fel-futunk néhány emeletet, mérve az időt. Próbáljuk ki! Számoljuk ki a teljesítményünket $\text{m}\cdot\text{kp}$ -ban és lóerőben! Számoljuk át a lóerőt wattrra:

$$1 \text{ LE} = 75 \text{ m}\cdot\text{kp}/\text{s} \approx 75 \cdot 9,81 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{s} \approx 736 \text{ J}/\text{s} = 736 \text{ W} = 0,736 \text{ kW}.$$

□

1.5 Sűrűség

1.5.1 Kísérlet. Néha sokkal kényelmesebb térfogatot mérni, mint tömeget. A szakácskönyvekben például ilyesmiket találunk, hogy 1 csapott evőkanál liszt, vagy 2 kávéskanál olaj. Hogy ez mennyi is, ahhoz tudnuk kell a kanál térfogatát és a liszt vagy az olaj sűrűségét: a tömeg és a térfogat hányadosát. A kanál térfogatát könnyen megmérhetjük, ha megmérjük 1 kanál víz tömegét. Ha nem elég érzékeny a mérlegünk, mérjük 10 kanál víz tömegét. Például azt találtam, hogy egy evőkanál víz tömege $8,8 \text{ g}$, egy kávéskanál víz tömege $3,6 \text{ g}$, egy mokkáskanál víz tömege pedig $1,7 \text{ g}$, így a térfogatok rendre $8,8 \text{ ml}$, $3,6 \text{ ml}$, illetve $1,7 \text{ ml}$. Persze a kanalak nem egyformák. Pontosabb méréshez készítsünk mérőkémcsövet: egy kémcsőre ragasszunk cellulxszal egy milliméter beosztású papírszalagot (a beosztás legyen befelé) úgy, hogy a 0 mm a kémcső gömbölyű alja belső részének alsó harmadánál legyen. Ez azért kell, mert a gömb térfogata kétharmada az azonos keresztmetszetű henger térfogatának (Kepler hordó formulája!). A ragasztószalagot ne tekerjük körbe a kémcsővön, mert nagyon zavarja a leolvasást, hanem hosszában ragasszuk fel. A kémcső belső átmérőjéből is kiszámolhatjuk, hogy 1 mm hány ml -nek felel meg, de pontosabb lesz, ha majdnem a beosztás tetejéig megtöltjük a kémcsövet hideg vízzel, leolvassuk, hogy hány mm , majd kiöntve megmérjük a víz tömegét. □

1.5.2 Kísérlet. Teljesen hasonlóan készíthetünk mérőhengert egy keskeny, magas üveg-ből. Az 1.5.1 fényképek közül a bal oldali a mérőhengert, a jobb oldali pedig a skála leolvasását mutatja. A mérőhengernek vízszintes felületen kell állnia, és a felülről homorú vízfelület aljának (közepének) magasságát olvassuk le úgy, hogy a szemünk egy szintben van a víz szintjével. Mivel itt az üveg alja nem gömbölyű, kétszer kell megmérni a kiöntött hideg víz tömegét: egyszer úgy, hogy éppen csak ellepje az üveg alját, egyszer pedig, amikor már majdnem tele van, de még nem éri el az elkeskenyedő részt. Azért a kiöntött víz tömegét mérjük, mert a mérőhengert rendszerint folyadékok kimérésére használjuk, és ilyenkor a kiöntött folyadék számít. Egy kevés a mérőhenger falán marad. Például én $194,7 \text{ mm}$ -nél $29,4 \text{ g}$ vizet mértem, $269,1 \text{ mm}$ -nél pedig $295,6 \text{ g}$ vizet. (A skála nem 0 mm -nél kezdődött, de ez nem is lényeges.) Így 1 mm $(295,6 - 29,4)/(369,1 - 194,7) \approx 1,5264 \text{ ml}$ -nek felel meg. Ha például valamilyen folyadék a mérőhengerünket $212,5 \text{ mm}$ -ig tölti meg, akkor térfogata



1.5.1 fényképek: mérőhenger és leolvasása.

$29,4 + (212,5 - 194,7) \cdot 1,5264 \approx 56,6$ ml. Persze az utolsó jegy bizonytalan. Ez a számítás feltételezi, hogy az üveg keresztmetszete mindenütt ugyanannyi. Igyekezzünk olyan üveget választani, aminél nincs szemmel látható egyenetlenség. A gyári mérőhengerek közvetlenül ml beosztással készülnek és nem kell számolgatni. Egy jó mérőhenger skálája legalább 50 részre van osztva, és be van maratva az üvegbe. Ha rosszabb mérőhengerhez jutunk, magunk is ellenőrizhetjük hideg víz és mérleg segítségével, azaz idegen szóval *kalibrálhatjuk*. Az eltéréseket írjuk fel és pontos méréseknél vegyük figyelembe! Ugyanígy kalibrálhatjuk saját készítésű mérőhengerünket. Azt is megtehetjük, hogy felírjuk, hány mm a folyadék szintje, majd megmérjük, hogy addig a szintig feltöltve hideg vízzel, az hány gramm. Kisebb folyadékmennyiségek pontosabb kiméréséhez gyógyszerárban olcsón kapható, például 1, 2 vagy 5 ml-es orvosi fecskendőt is használhatunk.

Vegyészek gyakran használnak mérőlombikot meghatározott mennyiségű, például 1 dl vagy 2 dl, 0,5 l vagy 1 l oldat készítéséhez. A gyári mérőlombikok nem olcsók, de könnyen készíthetünk helyettük például 1 l-es mérőüveget. Ragasszunk egy 1 l-es üveg nyakára celluxszal mm beosztású papírszalagot. A skála befelé legyen. Tegyük a mérlegre, és öntsünk bele pontosan 1 kg tömegű hideg vizet. Olvassuk le a vízszint állását, és ezt a leolvasást írjuk rá az üvegre. Ha megmérjük az üveg nyakának belső átmérőjét, az 1 l-től kicsit eltérő folyadékmennyiségeket is bemérhetünk. Például az üveg nyakának belső átmérője nekem 16,75 mm volt, így 1 mm emelkedés 0,2204 ml-nek felel meg. Persze, igyekezzünk olyan üveget választani, amelyik nyakának a keresztmetszete állandó, nincs szemmel látható egyenetlenség. Nem árt, ha néhány egészen kicsi mérőüveget is készítünk.



1.5.2 fénykép: mérőedények.

□

1.5.3. Kísérlet: cseppszám. A gyógyszerészek kis folyadékmennyiségeket gyakran cseppszám alapján adagolnak. A cseppszám 1 g folyadék cseppjeinek a száma egy 3,2 mm átmérőjű, a hosszára mérőlegesen elvágott és simára csiszolt végű üvegrúdról csepegtetve. Víznél 20, tömény szesznél 63, különböző olajoknál 36–57. A cseppszámot mérleggel magunk is meghatározhatjuk. Üvegrúd helyett használhatjuk egy golyóstoll külső műanyag burkolatát, aminél a végének a külső átmérője kb. 4 mm. A vége tiszta legyen, ha zsíros, csiszoljuk meg finom csiszolópapíron mérőlegesen a hosszára! Mártsuk a folyadékba, fogjuk be a felső végét, esetleg kicsit megnyálazva az ujjunkat. Finoman lazítva az ujjunk nyomását, csepegtessük a folyadékot. Próbáljunk meg kisebb vagy nagyobb cseppeket csepegtetni: nem nagyon fog sikerülni. Mindenesetre ha pontosan egyforma cseppeket akarunk, lassan csepegtessünk, mondjuk 10 másodpercenként egy cseppeket. A vegyszerek egy csiszolt üvegdugóval záródó úgynevezett bemérőedényben szoktak folyadékot lemérni, hogy a mérés alatt a folyadék ne párologjon. Nekünk megteszi egy jól záródó fedelű pici orvosságos üveg. Mérjük le a fedelével. Csepegtessünk bele minél több cseppeket, zárjuk le, és mérjük le újra. Számítsuk ki egy csepp tömegét. Nekem vízre 0,057 g adódott. A 1.5.2 fényképen két gyári mérőhenger, egy bemérőedény és három mérőlombik látható. □

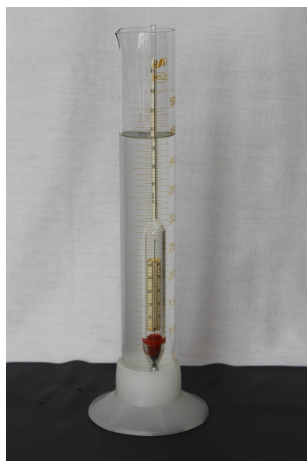
Ha térfogat alapján adott tömegű anyagot akarunk kimérni, akkor tudnunk kell, hogy egy l hány kg. Ez a *sűrűség*.

1.5.4. Kísérlet: piknométer. A sűrűség mérésének több módja is van. Folyadékok sűrűségét legegyszerűbben *piknométerrel* mérhetjük meg. A mi piknométerünk egyszerűen egy olyan üveg lesz, amelynek a dugója nem szívja be a folyadékot, sík vagy domború, hogy levegő ne szoruljon alá és perem van rajta, így mindig pontosan ugyanaddig dughatjuk a dugót az üvegbe. Mérjük meg az üveget szárazon a dugóval, majd töltjük meg hideg vízzel, dugjuk bele a dugót, kívülről töröljük szárazra, és így is mérjük meg. Ezzel megkapjuk a térfogatát, ezt rá is írhatjuk az üvegre. Ha hengeres a dugó, hosszában mélyen karcot karcoljuk be, különben nem tudjuk belenyomni a folyadékkal teli üvegbe. Próbáljuk ki: a folyadékok gyakorlatilag összenyomhatatlanok, ugyanúgy mint a szilárd anyagok, és nem úgy, mint a gázok. A vegyészek piknométerének üvegdugója hosszában ki van fúrva, és a furatban pontosan egy jelig állítják a folyadékszintet. Mivel nekünk nincs 0,1 mg érzékenységu mérlegünk, erre nem lesz szükségünk. A piknométer kiszáritása után a mérendő sűrűségű folyadékkal ugyanígy járunk el, és megkapjuk ugyanannyi térfogatú folyadék tömegét. A tömeget osztva a térfogattal kapjuk a sűrűséget.

Például nekem az üres piknométer (dugóval) 613 g volt, ez a „tára”. Hideg vízzel megtöltve 970 g volt, ez a „bruttó” tömeg. Csak a víz tömege, a „nettó” tömeg tehát 357 g, azaz a piknométer térfogata 357 ml. A denaturált szesz sűrűségét mérjük meg, mert denaturált szeszre úgysis szükségünk lesz. Festékboltban kapható. Óvatosan bánjunk vele, mert gyúlékony. Ne legyen a közelben égő láng, és nyissuk ki az ablakot! Megtöltve a piknométert denaturált szesszel, nekem a bruttó tömeg 916 g, tehát a nettó tömeg 303 g, azaz a sűrűség $303/357 \approx 0,848$ g/ml volt. Egy táblázatból megállapíthatjuk, hogy a ráírt 90%-nál kicsit hígabb, kb. 86%-os, de biztosat csak akkor állíthatnánk, ha 0,1 g pontossággal mérnénk. □

1.5.5 Kísérlet. Kicsit bonyolultabb szilárd anyagok sűrűségét megmérni piknométerrel. Ha például a szép fehér, kicsit áttetsző és nagyon kemény, késsel nem karcolható kavicsok sűrűségét szeretnénk tudni, akkor a tiszta és száraz kavicsokból annyit rakunk a megmért piknométerbe, amennyi csak belefér, újra megmérjük, a többlet a kavicsok tömege. Most teletöltjük a piknométert hideg vízzel, bedugjuk, szárazra töröljük és újra megmérjük. A növekmény megadja a kavicsok által szabadon hagyott térfogatot. Ezt levonva a piknométer térfogatából, megvan a kavicsok térfogata is. Nagyobb kavicsoknál persze széles szájú üveget kell használnunk. A kavicsok anyaga *kvarc*, sok kő legfontosabb összetevője. Sűrűsége 2,65 kg/l. □

1.5.6 Kísérlet. Egy másik sűrűségmérési módot fedezett fel Archimédész az ókorban. Ez azon alapul, hogy egy folyadékba mártott testre *felhajtóerő* hat. Ez felfelé irányul, és annyi, amennyi a test által kiszorított folyadék súlya. Látszólag tehát a test annyival könnyebb, amennyi az általa kiszorított folyadék súlya. Mivel valaminek tartania kell a testet, ha egy mérlegre teszünk egy vizes edényt, és egy cérnán vagy műanyag fonálon (például horgászszinóron, nylonharisnya vékony fonalán) belelógatjuk a testet, mi annyival kevesebbet tartunk, a mérleg viszont annyival többet mutat, amennyi a test térfogatának megfelelő víz súlya. Így megmértük a test térfogatát. Megmérve a tömegét is, megvan a térfogat és a tömeg. Így megmérhetjük például az alumínium, a vas, a vörösréz vagy az ólom sűrűségét, amelyek rendre 2,70 kg/l, 7,86 kg/l, 8,91 kg/l illetve 11,35 kg/l. (Sokféle anyagnak többféle adatát, így a sűrűségét is megtaláljuk a könyv végén lévő táblázatokban.) Megfordítva, esetleg el tudjuk dönteni, hogy valami miből van, ha megmérjük a sűrűségét. Például egy alumíniumnak látszó tárgy tömege 162 g volt, és a mérlegen lévő



1.5.3 fényképek: sűrűségmérők.

vízbe lógatva, a mérleg 61 g-mal mutatott többet, így a sűrűsége $\approx 2,66 \text{ g/ml} = 2,66 \text{ kg/l}$. Szinte biztos, hogy a tárgy alumínium. Egyébként folyadékok sűrűségét is meg tudjuk így mérni, ha ismert térfogatú testet lógatunk a folyadékba. \square

1.5.7 Kísérlet. Persze, ha a test sűrűsége kisebb, mint a vízé, akkor még el sem merül, máris annyit csökken a súlya, hogy nulla lesz: úszik a vízen. Így például a polietilénből (jele PE) és polipropilénből (jele PP) készült műanyag tárgyakat könnyen meg tudjuk különböztetni más műanyagoktól, mert csak ez a két műanyag könnyebb a víznél. Vékony tárgyaknál vigyázzunk, mert a tapadó levegőbuborékok könnyen becsaphatnak: tegyünk a vízbe pár csepp mosogatószert, akkor a buborékok nem tapadnak olyan jól. (A habok is azért úsznak a vízen, mert levegő van bennük.) A PE és PP egyébként áttetsző, de nem átlátszó, és a gyertya anyagához hasonló tapintású és kinézetű. Mindkettő ellenáll a legtöbb vegyszernek, ezért jó, ha meg tudjuk különböztetni őket más műanyagoktól. (Nagyobb tárgyakon, edényeken sokszor meg is találjuk a PE illetve PP jelzést.) Manapság gyakran használják őket laboratóriumokban, mert a vegyszereknek jobban ellenállnak, mint akár a tiszta kvarcból olvasztott *kvarcüveg* vagy a nemes fémek. Még jobban ellenálló műanyag a drága *teflon* (jele PTFE). \square

1.5.8 Kísérlet. A harmadik sűrűségmérési módszer az úszáson alapul: minél kisebb egy folyadék sűrűsége, annál mélyebben merül bele egy úszó test. A beosztással ellátott úszó test a *sűrűségmérő* vagy idegen szóval *aerométer*. A mi sűrűségmérőnk egy kémcső lehet, amelybe belülről egy mm beosztású papírszalagot ragasztunk. A szalagot úgy vágjuk le, hogy, hasonlóan, mint a mérőkémcső készítésénél, a 0 mm a kémcső gömbölyű *külső* részének alsó harmadánál legyen, a teteje pedig pontosan a kémcső tetejénél. Ezután az aljából levágunk 1–2 cm-t, majd úgy ragasztjuk a kémcső belsejébe, hogy a mm beosztás kifelé nézzen, és a szalag teteje a kémcső tetejénél legyen. Most nehezeknek forrasztóon darabkákat dobálunk a kémcsőbe. Ha sűrűségmérőt csinálunk, legjobb, ha mindjárt kettőt készítünk. Az egyikbe csak annyi forrasztóon teszünk, hogy éppen megálljon a vízben. Ezt víznél könnyebb folyadékok sűrűségének mérésére tudjuk használni. A másikba annyi



1.5.4 fénykép: gázsűrűség mérése.

forrasztóönt teszünk, hogy majdnem a pereméig merüljön a vízbe. Ezt víznél nehezebb folyadékok sűrűségének mérésére tudjuk használni. Mindkettőnél legjobb, ha gyertyaláng felett megolvasztjuk a forrasztóönt, majd felírjuk, hogy pontosan hány mm-ig merül a sűrűségmérő hideg vízben. A gyári sűrűségmérők beosztását úgy készítik, hogy a skála egyből kg/l-ben mutassa a sűrűséget. (Az 1.5.3 fényképek közül a bal oldalin egy ilyen sűrűségmérőt láthatunk, a másik kettőn pedig saját készítésű sűrűségmérőt; középen a víznél könnyebb, jobbra a víznél nehezebb folyadékokhoz valót.) Nekünk egy kicsit számolnunk kell: ahányszor több millimétert merül az adott folyadékba a sűrűségmérőnk, mint a vízbe, annyiszor kisebb az adott folyadék sűrűsége, tehát egy osztással kapjuk a sűrűséget. A nagyon régi sűrűségmérőket úgy készítették, hogy ameddig a vízbe merül, oda 0°-ot írtak, ameddig pedig a 10°-s tartalmú sósvízbe (sűrűbb, mint a víz), oda 10°-ot, majd a skálát mindkét irányba egyenletesen folytatták. Ez a Baumé (ejtsd bomé) fok. Sajnos, nem írtak mínusz előjelet a másik irányba sem, így tudnunk kell, hogy víznél sűrűbb vagy ritkább anyagról van-e szó. Ha esetleg találkoznánk ezzel a régi egységgel, annyit kell tudnunk, hogy ha sűrűségmérőnk 144,3 mm-ig merül a vízben, akkor rajta 1 mm éppen 1 Baumé foknak felel meg. □

1.5.9 Kísérlet. Nehezebb lesz gázok sűrűségét megmérni. Szén-dioxid sűrűségét fogjuk megmérni, mert szódavíz készítéshez patronban kapható, így ha kiengedjük, könnyen megmérhetjük a gáz térfogatát és a tömegét is. Használható egy habszifon patron is, ami tejszínhab készítéshez kapható. Ez ugyan más gázt tartalmaz, de teljesen véletlenül annak a gáznak is ugyanannyi a sűrűsége. A „berendezés” az 1.5.4 fényképen látható.

Megmérjük egy tele szén-dioxid patron tömegét, lehetőleg cg, de legalább dg pontossággal. Beletesszük egy vékony műanyag zacskóba, egy szűrőszerszámmal együtt, aminek a hegyére valamilyen műanyag kupakot teszünk, hogy ne szűrje ki a zacskót; én egy golyóstollnak csavartam le a végét. A szűrőszerszám lehet egyszerűen egy szeg, amit átütöttünk egy lécdarabon. A zacskót nagyjából lesimítjuk, kiszorítva a levegő nagy részét, majd szoros csomót kötünk a szájára. A csomón átfűzünk egy madzagot is. A madzaggal egy erős cső egyik végére kötözzük a zacskó száját. Legjobb, ha a cső vége át van fúrva, így könnyű hozzákötözni a zacskót. Most valamilyen nagy edényben (én egy polietilén hordót használtam) a rúdnál fogva teljesen víz alá nyomjuk a zacskót, és megmérjük, vagy megjelöljük, hogy meddig emelkedik a víz. Persze, nem buborékolhat a levegő, mert akkor lyukas a zacskó. Egy műanyag hőmérővel megmérjük és felírjuk a víz hőfokát is. Óvatosan levesszük a szűrőszerszámról a kupakot, és kiszűrjük vele a szénsavas patron. A szén-dioxid kiáramlik, lehül a patron, és köd is képződik a zacskóban. Várunk egy percet, majd újra víz alá nyomjuk a zacskót. Most is megmérjük vagy megjelöljük, hogy meddig emelkedik a víz. Kivesszük a zacskót, az alsó szintig feltöltjük az edényt vízzel, majd egy megmért edénnyel vizet töltögetünk, mindig megmérve az edény súlyát, egészen a felső szintig. Az utolsó adag megmaradt vizet megmérjük („visszamerjük”). A vízadagok össztömege adja a szén-dioxid térfogatát. Például én egy kancsóból öntöttem a vizet. A kancsó tömege 1115 g volt. Az első vízadag a kancsóval együtt 2352 g, így maga a víz 1237 g, stb. Az utolsó vízadag a kancsóval együtt 2268 g volt, de maradt belőle a kancsóval együtt 1824 g, így csak 444 g vizet használtam az utolsó adagból. Összesen 4049 g vizet használtam, tehát a szén-dioxid térfogata $19,3\text{ °C}$ -on 4,049 l volt. Megmérve az üres patron tömegét, megkapjuk a a szén-dioxid tömegét, ez nálam 7,7 g volt, így a szén-dioxid sűrűsége $7,7/4,049 \approx 1,90\text{ g/l}$. Pontosabb értéket majd később számolunk, mert az is számít, mennyire nyomjuk a zacskót a víz alá. Azt kellene tudni, hogy milyen mélyen van az a pont, ahol a zacskó már nem domborodik, hanem amennyit az egyik irányba homorodik, a másik irányba domborodik. Ezt 30 cm-nek becsültem. A zacskó egyébként a mérés után néhány óra alatt teljesen leeresztett. Egyes műanyagok eléggé áteresztik a gázokat, főleg a szén-dioxidot, ezért nem szabad túl sokat vacakolni.

Tulajdonképpen még egy kísérletet végeztem. Az első vízbe merítés után a műanyag zacskót megtörölgettem. Mielőtt kiszűrtam a patron, megmértem — egy levágott tetejű műanyag palackba állítva — a lezárt zacskót, és a kiszűrés után is újra megmértem. Könnyebb lett 5,6 g-mal! Némi gondolkodás után rájöhetünk, mi ennek az oka. Megnőtt a térfogata, és 4 l levegő súlyának megfelelő felhajtóerő hat rá. (A hőmérséklet $21,6\text{ °C}$ volt.) Ezt a felhajtóerőt minden pontos tömegméréskor figyelembe kell venni. Mérésünk szerint a levegő sűrűsége $\approx 1,35\text{ g/l}$. A mérés elég pontatlan, mert ha a zacskón vízcseppek maradnak, akkor azok egy része leesik, és ez meghamisítja a mérést. Pontosabb érték 1,194 g/l lenne. Szerencsére ez a sűrűség nagyságrendben ezerszer kisebb, mint a szilárd anyagok és folyadékok sűrűsége. Így a levegő felhajtóereje nagyságrendben 1‰ hibát okoz. Ez a mi méréseinknél nem okoz gondot. □

1.5.10 Kísérlet. Sokszor kényelmes lenne valamilyen vegyszert térfogat alapján kimérni mint a háziasszony a lisztet. Ilyenkor az úgynevezett *halmazsűrűséget* kellene tudnunk: az anyag látszólagos sűrűségét, ha csak úgy beleöntjük egy üvegbe. Például egy vaspornál azt találták, hogy a halmazsűrűség 2,20 kg/l. Ha néhányszor, mondjuk harmincszor odaütjük az üveget az asztalhoz, a látszólagos sűrűség megnő. Ez a *rázott sűrűség* a vaspornál

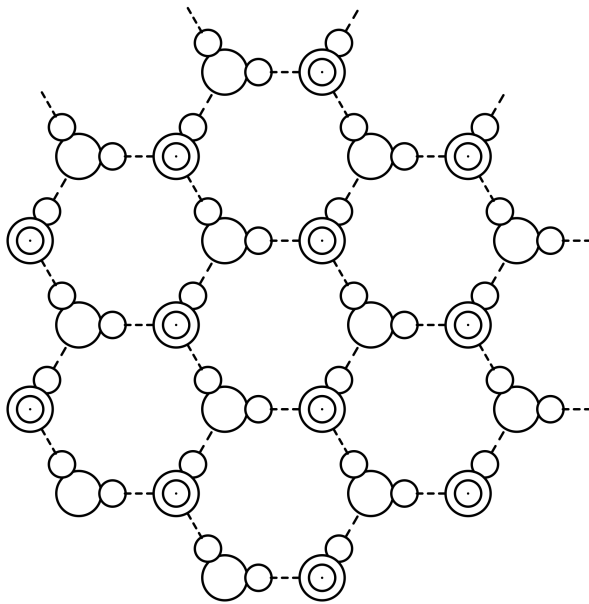
2,69 kg/l volt, míg a sűrűség 7,86 kg/l. Van még *döngölt sűrűség* is. Legegyszerűbb, ha a műanyag edényben is tartható anyagok edényébe teszünk egy műanyag kiskanalat, és megmérjük, mennyi fér a laza anyagból a kiskanálba. Ha különböző kis mennyiségeket is ki akarunk így mérni, használjunk gyógyszerek adagolására használatos kis műanyag edényt. Használhatunk \square keresztmetszetű műanyag lécből levágott darabot is. Mérjük meg, hogy 1 mm hosszának mennyi anyag felel meg, és írjuk rá az üvegre. Így vonalzóval mérhetünk tömeget. Persze a két szélén lévő ferde résznek csak a fele hossza számít. Ennek a mérési módnak a hibája 10 % körül van; értelemszerűen nagyobb, mondjuk 25 mm feletti hosszánál kisebb, kisebb hosszánál jóval nagyobb. \square

1.6 Jég, víz, gőz

1.6.1 Kísérlet. Mint mindenki tudja, ha a vizet lehűtjük $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá, megfagy, jég lesz belőle, ha pedig nagyon megmelegítjük, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölé, akkor felforr, és gőz lesz belőle. A jég, víz és gőz egy anyagnak, a víznek három halmazállapota: a szilárd, folyadék illetve gőz (vagy gáz) halmazállapot. Ha egy műanyag palackot megtöltünk vízzel és betesszük a mélyhűtőbe, megfagy, jég lesz belőle, és eléggé megnő a térfogata, tehát kisebb lesz a sűrűsége. Ezt tudjuk is tapasztalatból: a jégkocka úszik a vízen. A jég sűrűsége egyébként $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on $0,9168\text{ kg/l}$. Ha a vizet teljesen megtöltött és lezárt üvegpalackban tesszük be a mélyhűtőbe, széttöri a palackot: pont akkora erővel feszíti, ami ahhoz kellene, hogy a jeget összenyomjuk arra a térfogatra, amit vízként foglalt el. (A gyakori megfagyás-kiolvadás sziklákat, betont bír szétrepeszteni, szétrombolni.) Az, hogy megdermedéskor kitérül valami, igen ritka, a gyakran előforduló anyagok közül csak a víz ilyen. Ha például egy kis gyertyát, úgynevezett „teamécset” alumínium tokjával (a belet kivehetjük belőle) egy kis lábasba teszünk, némi vizet öntünk alá (nem süllyed el, úszik a vízen) és a vizet melegítjük, akkor a gyertya anyaga, a *paraffin* megolvad, még mielőtt a víz felforrna, azaz $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt. Ha hagyjuk lehűlni, a paraffin megdermed, és a teteje kissé behorpad: dermedéskor összehúzódik.

A jég különös viselkedését a jégkristály szerkezete magyarázza. Az 1.6.1 ábrán látható a jégkristály egy rétege. A vízmolekulák egy nagyobb és két kisebb atomból állnak. Nincsenek egy síkban, azok, amelyeken felül van az egyik kisebb atom, feljebb vannak, mint a többi. Minden második molekula így áll. A kisebb atomok kapcsolódnak egy másik vízmolekulához, a kapcsolódást szaggatott vonal jelzi. A felül lévő kis atomok kapcsolódnak a következő réteg pontosan felettük lévő molekuláihoz: ezt a kapcsolódást csak egy pont jelzi, „a szaggatott vonal felülről csak pontnak látszik”. A következő réteg eggyel elforgatva (azaz 60° -kal elforgatva) jön erre a rétegre, így annak alul lévő molekulái pontosan az előző réteg felül lévő molekulái fölé kerülnek, és hozzájuk kapcsolódnak. A kis atomok elmozdulhatnak a szaggatott vonalak mentén. Látható, hogy elég nagy „lyukak” vannak a jégben, ezért kicsi a sűrűsége. A szerkezet „hatszögletessége” magyarázza azt is, miért „hatszögletesek” a hópelyhek. \square

1.6.2 Kísérlet. A jég megolvasztásához hő kell, a víz felforralásához még több. Mi a hő? Foglalkozunk most ezzel. Szükségünk lesz két egyszerű műanyag szobahőmérőre. Ezzel pontosan megmérhetjük a hőmérsékletet. Készítsük el az 1.6.2 fényképen látható egyszerű szerkezetet, a *kalorimétert*. A hő mennyiségét fogjuk vele mérni, nem a hőmérsékletet. A külseje egy műanyag palackból készült, és 2 cm vastag kemény műanyag habból (úgynevezett polisztírol habból, jele PS) éles késsel vágunk néhány beleillő korongot. (Ilyen



1.6.1 ábra: a jég szerkezete.

habot csomagolásra használnak, így hulladék anyag.) Egy korongot alulra teszünk, bele-
 rakunk két egymásba rakott 2 dl-es műanyag poharat, és körbetömködjük a műanyag hab
 szétmorzsolt darabjaival. (Nem árt, ha 1 dl-es és 3 dl-es műanyag poharakat is tartunk
 készletben.) A belső poharat kivesszük, kiborítjuk az esetleg behullott habdarabok-
 kat, öntünk bele fél dl vizet, visszatesszük. Egy harmadik pohár aljának a szélén néhány
 kis lyukat fúrunk vagy vágunk egy ollóval, teszünk bele vagy egy dl jeget, és lassan be-
 leeresztjük a belső pohárba. A jég teljesen legyen átfagyva, legalább egy napig legyen
 a mélyhűtőben, mert ha víz maradt a belsejében, az hibát okoz! Egy korongon lyukat
 vágunk a műanyag hőmérőnek. Átdugjuk a hőmérőt a lyukon, lefedjük a koronggal a
 poharat, és a hőmérőt betuszkoljuk a jégkockák közé. A hőmérőt forgatva a koronggal,
 kevergetjük a jeges vizet.

Valószínűleg meglepetés ér bennünket: lehet, hogy a hőmérő nem mutat nulla fokot.
 Nem, nem a víz vagy a jég romlott el, hanem a hőmérő pontatlan. Ezeket az olcsó hőmé-
 rőket nem állítják be pontosan. Várunk egy pár percet, kevergetjük a jeges vizet: ha már
 nem mozdul a hőmérő folyadékszála, leolvassuk, hogy mennyit mutat. Az első hőmérő,
 amivel próbálkoztam $+2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot mutatott. Erre filctollal ráírtam, hogy $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ez arra
 emlékeztet, hogy mindig, amit mutat, abból $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot le kell vonni. A másik hőmérőm
 $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot mutatott, erre ráírtam, hogy $+0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$; ez arra emlékeztet, hogy mindig, amit
 mutat, ahhoz $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot hozzá kell adni. \square

1.6.3 Kísérlet. A kalorimétert azért burkoltuk be ilyen gondosan műanyag habbal, mert
 az jó hőszigetelő. Próbáljuk ki, mennyire jó a hőszigetelés! Tegyük mérlegre a kalorimétert,
 vegyük le a fedelét a hőmérővel, kapcsoljuk be a mérleget, és vegyük ki a belső, lyukas
 poharat, a vizet óvatosan visszacsorgatva. A súlycsökkenés a jég súlya. Rakjunk vissza
 mindent, és egy óra múlva ismételjük meg az egészet. Így látjuk, mennyi jég olvadt el



1.6.2 fénykép: kaloriméter.

egy óra alatt. Megint rakjunk vissza mindent, és hagyjuk a kalorimétert egészen addig, amíg már elég kevés jég marad. Nekem 62 g jégből az első 20 percben 4 g olvadt el, az első másfél órában 22 g, és három óra alatt 48 g, így óránként 16 g. Még jobb lenne a hőszigetelés, ha nem használnánk hőmérőt, hanem csak egy fedelet, de hát a hőmérőre szükség lesz. A hőmérő folyadékszála egész idő alatt nem mozdul: amíg víz is, jég is van, a hőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Azt is mérjük meg és írjuk fel, hogy a szobának mennyi a hőmérséklete: nekem $23,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt. \square

1.6.4 Kísérlet. Az első kísérletünkből sejtethetjük, hogy a jég elolvasztásához jelentős mennyiségű hő kell. Tegyük a kaloriméterünkbe kevés vizet, és $1/2$ – 1 dl jeget. Készítsünk meleg vizet! Ha beállt a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérséklet, vegyük ki a jeget, megmérve a súlycsökkenést, és öntsünk a kaloriméterbe vagy 1 dl megmért hőmérsékletű, például $\approx 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os,

≈ 20 °C-os, ≈ 40 °C-os meleg vizet, majd tegyük vissza a jeget. Kezdjük el mérni az időt, és ha visszaállt a 0 °C, mérjük meg, mennyi jég maradt! Néhány próbálkozás után levonhatjuk a következtetést: az elolvadt jég mennyisége arányos a víz mennyiségével is, hőfokával is. Ebből adódik a hőmennyiség első egysége: az a hőmennyiség, ami 1 g víz hőmérsékletét 1 °C-kal emeli; ezt a hőmennyiséget *1 kalóriának* (jele: cal) nevezzük. Azt is megkapjuk, hogy 1 g jég elolvasztásához hány cal kell. Nekem például 84 g jéghez 37 °C-os vízből hozzáadva 58 g-ot $8'$ múlva állt vissza a hőmérséklet nullára, és 52 g jég maradt. Így számoltam: 32 g jég olvadt el. Mivel óránként 16 g jég úgymint elolvad a beszivárgó hó miatt, 2 g-ot levontam. Így $58 \cdot 37 = 2146$ cal kell 30 g jég elolvasztásához, 1 g jég elolvasztásához tehát 72 cal kell. (Pontosabb mérések szerint $79,7$ cal.) Ez a jég *olvadáshője*. Más szilárd anyagok olvadáshőjét hasonlóan mérhetjük meg. \square

1.6.5 Kísérlet. A következő kísérletben azt vizsgáljuk meg, hogy mi történik, ha hideg és meleg vizet összekeverünk. Persze, langyos víz lesz, de megtanuljuk kiszámolni, hogy hány fokos. Nem nagy varázslat: minél több a meleg víz, annál melegebb lesz. A kaloriméterünkbe legyen valamivel kevesebb, mint 1 dl víz, meg némi jég. Míg beáll a 0 °C-os hőmérséklet, melegítsünk egy lábasban vizet, hőmérővel mérve, hogy hány fokos. Ne melegítsük fel annyira, hogy a hőmérő folyadékszála teljesen felmenjen, mert széttöri a hőmérőt! Kapcsoljuk ki a melegítést, a kaloriméterből vegyük ki a jeget, tegyük fel a mérlegre, és kivéve a jéghideg vizet is, mérjük meg, hogy hány gramm. Tegyük vissza, és a megmért hőmérsékletű meleg vízből öntsünk hozzá körülbelül ugyanannyit, megmérve a tömegét. Tegyük fel a fedelét, és a hőmérővel megkeverve mérjük meg a hőmérsékletét. Például én 82 g jéghideg vízhez 89 g 35 °C-os vizet öntöttem, és így 171 g vizet kaptam $19,6$ °C-os hőmérséklettel. Így számolhatunk: 89 g meleg vízben a jéghideghez képest $89 \cdot 35 = 3115$ többlet kalória van. Ez oszlik el a 171 g vízre, így annak hőmérséklete $3115/171 = 18,2$ °C lesz. Nem ennyit kapunk, ez lehet például mérési hiba: a műanyag pohár tömegét, az általa felvett hőt, a hőmérőt, a beszivárgó hőt, stb. nem vettük figyelembe, a hőmérő pontatlan, stb. Az is lehet, hogy különböző hőmérsékleteken 1 g víz hőmérsékletének 1 °C-kal való emeléséhez nem ugyanannyi hő kell. Ez is igaz, hideg és a forró víznél is kb. 1% -kal több hő kell 1 °C hőfokemeléshez, mint 30 °C körül (így a kalória nem valami jó egység), ez azonban pont ellenkező irányú hibát okozna. Tehát mérési hibáról van szó, ami nem is csoda kezdetleges eszközeinkkel. Valószínűleg a pohár tömegének figyelmen kívül hagyása a legnagyobb hibaforrás. A digitális mérleg egy pohár tömegét nullának mutatja, de kettőét már 6 g-nak! Egyes digitális mérlegek direkt nem írják ki a kis tömegeket, erre vigyázzunk. Ha a pohár 3 g-os tömegét levonjuk a jéghideg víz tömegéből, a hőmérsékletre $3115/168 \approx 18,5$ °C-ot kapunk. \square

1.6.6 Kísérlet. Nem minden anyagnak van meghatározott olvadáspontja. Vegyünk egy kis üveg mézet. Ha majdnem tele van, fordítsuk fel, és mérjük meg, a levegőbuborék mennyi idő alatt ér az üveg tetejére. Nekem ez $3''$ volt: a méz nem könnyen folyik, elég sűrűn folyós, nagy a *belső súrlódása*, idegen szóval *viszkozitása*. A mézet betéve a hűtőbe, 5 °C-on már $30''$ kellett ugyanehhez, a mélyhűtőben, -18 °C-on pedig már 2 óra. Végül -28 °C-ra állítva a mélyhűtőt, 3 nap. Egy másik, sűrűbb mézből már kevés volt az üvegben, ezért azt mértem, mennyi idő alatt folyik le az üveg aljára. Szobahőmérsékleten $3'$ kellett, 5 °C-on $15'$, végül -18 °C-on még 1 hét alatt is csak félig folyt le, talán 2 hét kellett volna, így tovább nem is próbálkoztam. A folyadékok viszkozitása a hőmérséklet növekedésével csökken, a vízé például °C-onként kb. 2% -kal.

* Mi is a belső súrlódás? Két sima, egyene fémlemez, például késpenge közé tegyük kevés mézet. Az egyik késpengét ide-oda mozgatva érezzük, hogy valamilyen erővel próbálja magával vinni a másik késpengét. Ha a pengék nagyobb felületen érintkeznek (a mézen keresztül), akkor nagyobb ez az erő, tehát a felületegységre eső erőt (ami nyomás jellegű) érdemes tekinteni. Minél vékonyabb a mézréteg, és minél gyorsabb a mozgás, az-az minél nagyobb az egységnyi távolságra eső sebességváltozás, annál nagyobb az erő. A viszkozitást tehát az egységnyi sebességváltozásnál felületegységre ható erővel mérhetjük. A hosszegységre eső sebességváltozás egysége $(\text{m/s})/\text{m}=1/\text{s}$, tehát a viszkozitás egysége $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$. Mélni úgy szokták, hogy egy álló hengerbe teszik a folyadékot, és abban forog egy másik henger, közel a külső henger falához. Azt az erőt mérik, amivel a folyadék igyekszik magával ragadni az álló hengert. (A víz viszkozitása például $20\text{ }^\circ\text{C}$ -on majdnem pontosan $1\text{ mN}\cdot\text{s}/\text{m}^2$.) Egy másik mérési lehetőséget már láttunk is: bebizonyítható (nagyon nehéz), hogy az η viszkozitású folyadékban egy r sugarú kis gömb v sebességgel való mozgatásához $F = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$ erő kell; ez Stokes képlete. Így megmérve a mézben felszálló buborék sugarát és sebességét kiszámíthatjuk a viszkozitást. *

A viszkozus anyagok hűtve egyre sűrűbbek lesznek, és végül már teljesen szilárdnak tűnnek, de igazából folyadékok. Ezeket *amorf* anyagoknak nevezzük. Ilyen például az aszfalt, a szurok és a pecsétviasz is. A legfontosabb amorf anyag az *üveg*. Nincs határozott olvadáspontja, és így olvadáshője sem, hanem melegítve fokozatosan meglágyul, majd egyre hígabb lesz. Tulajdonképpen nincs határozott különbség azok között az anyagok között, amelyek kristályosan illetve amelyek amorf állapotban szilárdulnak meg, csak annyi, hogy egyes anyagokban lassabban jönnek létre kristályok és lassabban növekednek, és hűtve olyan nagy lesz a folyadék viszkozitása, hogy már nem tudnak kristályok létrejönni és megnövekedni, mert a kristálynövekedés sebessége fordítva arányos a viszkozitással, és nagyobb viszkozitásnál a kristályok képződése is lassul. A méz például szobahőmérsékleten általában egy-két év alatt kikristályosodik. Az üveget is a lágyulási hőmérséklet közelében tartva hosszú idő alatt kikristályosodik. Másrészt olyan anyagokat, mint a víz vagy a fémek, nagyságrendben 1 ms alatt több száz $^\circ\text{C}$ -kal lehűtve, amorf állapotúak lesznek. □

1.6.7 Kísérlet. Más anyagok felmelegítéséhez általában kevesebb hő szükséges, mint a víznél. Az 1 g anyag hőmérsékletét $1\text{ }^\circ\text{C}$ -kal emelő hőmennyiséget az adott anyag *fajhőjének* nevezzük. Persze ez függhet a hőmérséklettől (bár általában nem nagyon gyorsan változik), így csak valami átlagfajhőt mérünk. Mérjük meg az alumínium átlagfajhőjét szobahőmérséklet és $100\text{ }^\circ\text{C}$ között! Keressünk egy minél nagyobb alumíniumdarabot, ami belefér kaloriméterünk poharába, és öntsünk rá annyi vizet, hogy ellepje. Vegyük ki, mérjük meg a tömegét, kössünk rá valami cernát, és tegyük bele egy lábasba. Öntsünk rá annyi vizet, hogy bőven ellepje, és melegítsük a vizet. Közben mérjük meg, hogy mennyi víz maradt a kaloriméterben, tegyük rá a fedelét, és mérjük meg a víz hőmérsékletét. Ha a lábasban már egy ideje fő a víz, vegyük ki az alumínium darabot, gyorsan csurgassuk le róla a vizet, és tegyük át a kaloriméterbe. Mérjük meg a víz hőmérsékletét. Például nekem 162 g forró alumíniumot 228 g $20,7\text{ }^\circ\text{C}$ -os vízbe téve, a víz hőmérséklete $30,8\text{ }^\circ\text{C}$ -ra emelkedett, tehát $(30,8 - 20,7) \cdot 228 \approx 2303$ kalóriát vett fel, az alumínium tehát ennyit adott le. Így $1\text{ }^\circ\text{C}$ -ra $2303/(100 - 30,8) \approx 33,28$, tehát 1 g -ra és $1\text{ }^\circ\text{C}$ -ra $33,28/162 \approx 0,208$ kalória esik. Táblázatban az alumínium fajhőjére $0,214\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ -ot találunk. Hasonlóan mérhetjük meg folyadékok és gázok fajhőjét is, bár a gázoknál gondot okoz, hogy kicsi a sűrűségük, és így nagy térfogattal kell dolgozni. Például a vízgőz

fajhője kb. $0,5 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$. \square

1.6.8 Kísérlet. Miért kellett mindig várni egy pár percet, miután a mélyhűtőből kivett jeget beraktuk a kaloriméter vizébe? Egyrészt a víznek le kellett hűlni 0°C -ra, másrészt a jégnek a mélyhűtő általában -18°C -os hőmérsékletéről fel kellett melegednie 0°C -ra. Eközben némi jég elolvad, de az is lehet, hogy némi víz megfagy! A jég fajhője $\approx 0,5 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$. Tervezzünk egy kísérletet, amelyben megmérjük a jég fajhőjét! \square

1.6.9 Kísérlet. Foglalkozunk egy kicsit a hővezetéssel. Tapasztalatból tudjuk, hogy egyes anyagok rossz hővezetők: ezeket megfogva melegnek érezzük, mert a kezünkkel érintkező réteg gyorsan átmelegszik, és nem vezetődik el a hő. Más anyagok, például a fémek (különösen az ezüst, a vörösréz és az alumínium) jó hővezetők, ezeket hidegnek érezzük, mert a hőt gyorsan elvezetik a kezünktől. Egyszerű kísérlet, hogy az egyik kezünkben tartott pénzdarabot melegítjük a másikban tartott gyufával. A pénzt hamarabb eldobjuk, mint az égő gyufát. (Ha esetleg megégetnénk a kezünket, csorgassunk rá pár percig hideg vizet.) Az ezüstöt akár meg is tudjuk különböztetni így más fémektől. Egy kis polisztirol habdarabot gyufával melegítve megolvad, esetleg meg is gyullad. Elég sokáig a kezünkben tudjuk tartani, amíg a „körmünkre ég”, mert nagyon rossz hővezető. (Azért 1 cm -nél ne engedjük közelebb az ujjunkhoz, mert — tapasztalatból mondom — nagyon megéget, ha az olvadt polisztirol az ujjunkra ragad.) A víz is elég rossz hővezető. Tegyük egy kémcsőbe egy-két darab jeget, valamilyen összetekert drótdarabot fölé, hogy nyomja le a víz alá. Töltsük fel a kémcsövet hideg vízzel. A ferdén tartott kémcső tetejét gyertyával melegítve, ott a vizet akár fel is forralhatjuk úgy, hogy a jégdarab nem olvad el. \square

1.6.10 Kísérlet. Időegység alatt annál több hő megy keresztül valamilyen anyagnak a rétegén, minél vékonyabb a réteg és minél nagyobb a hőfokkülönbség. Tehát a hőmérsékletesés, azaz a hőfokkülönbség és a vastagság hányadosa számít. Természetesen a réteg teljes területével és az eltelt idővel arányos az átmenő hőmennyiség. A különböző anyagok *hővezetési tényezője* azt adja meg, hogy egységnyi hőfokesésnél egységnyi területen időegység alatt mennyi hő áramlik át. Becsüljük meg kaloriméterünk hőszigetelésének hővezetési tényezőjét. Az enyémben a hőszigetelő fal vastagsága kb. 2 cm , a pohár átmérője középen 56 mm , magassága 98 mm . Így a poharat alul és felül összesen kétszer $\pi \cdot 2,8^2 \text{ cm}^2$, körben pedig $\pi \cdot 5,6 \cdot 9,8 \text{ cm}^2$, összesen $\approx 220 \text{ cm}^2$ területű fal veszi körül. Mivel óránként 16 g jég olvadt meg, 1280 cal áramlott be óránként, azaz másodpercenként és négyzetcentiméterenként $\approx 0,0016 \text{ cal}$. Mivel a hőmérsékletkülönbség 23°C , a vastagság 2 cm , a hőmérsékletesés $11,5^\circ\text{C}/\text{cm}$. Tehát $1^\circ\text{C}/\text{cm}$ hőmérsékletesésre $\approx 0,0016/11,5 \approx 0,00014$ kalória jut másodpercenként és négyzetcentiméterenként. Így a hővezetési tényező $\approx 0,14 \text{ mcal}/(\text{s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}) = 14 \text{ mcal}/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; az átszámításnál a cm helyére egyszerűen beírjuk, hogy $0,01 \text{ m}$. Ez nagyságrendben annyi, mint a levegő hővezetési tényezője, annak kb. $2,5$ -szerese. Nem véletlen: azok a jó hőszigetelő anyagok, amelyekben sok levegő van: habok, parafa, ruhaneműk, összegyűrt papír, összegyűrt alufólia, stb., mert a levegő jó hőszigetelő. Tökéletes hőszigetelő a *vákuum*, azaz a *légüres tér*. A termosz két üvegfala között légüres tér van. \square

1.6.11 Kísérlet. Most próbáljuk megmérni valamilyen fém hővezető képességét. Válasszunk ki valamilyen kör keresztmetszetű rudat. (Én egy vastag, hosszú acél csavart választottam, amelynek csak a végén volt menet.) Ennek a hővezetési tényezőjét fogjuk



1.6.3 fénykép: hővezetés.

megmérni. Kaloriméterünk egyik kerek tetején fúrjunk lyukat úgy, hogy a rúd kényelmesen átmenjen rajta. Egy sima aljú műanyag dobozon (én egy nagy tejfölös poharat használtam) szintén fúrunk lyukat, de ebben szoruljon a rúd. Próbáljuk ki, hogy ha vizet öntünk a dobozba, kifolyik-e? Ha igen, ragasszuk be a rudat. A rudat átdugva a kifúrt tetőn, az elég jól beleérjen a kaloriméter poharába, felfelé pedig a dobozba. Az **1.6.3 fénykép** mutatja az összeállítást. A kaloriméter lyukas poharába tegyünk majdnem a tetejéig jeget, öntsünk rá vizet, és várjunk pár percet, amíg beáll a nulla fok. Közben készítsünk kb. 40 °C-os vizet egy lábasban. Mérjük meg, mennyi a jég a kaloriméterben, az időt is felírva, majd tegyük fel a lyukas tetőt, dugjuk át rajta a rudat, az edénybe öntsünk meleg vizet, írjuk fel az időt, és hőmérővel kavargatva a meleg vizet, mérjük meg a hőmérsékletét. Én 10°52'-kor mértem meg a jeget, 80 g volt, 10°55'-kor öntöttem a felső

edénybe kb. 8 dl vizet, a hőmérséklete 41,5 °C volt. Gyors fejszámolás: 80 g jég elolvastásához kb. 6400 cal kell, azaz ennyinek kell a kaloriméterbe áramlani az edényből, így ott a hőmérséklet 8 °C-ot csökkenne. Mivel szeretnénk, ha a hőmérsékletkülönbség nem nagyon változna, az edénybe időről időre öntünk egy kis forró vizet, felírva a hőmérsékletet előtte, az időpontot és a hőmérsékletet némi kavargatás után. Én 11°10'-kor öntöttem utána némi forró vizet, előtte a hőmérséklet 37,5 °C volt, utána 39,5 °C lett. Végül felírva az időt, szedjük szét a berendezést, és mérjük meg a maradék jeget. Én 11°20'-kor szedtem szét a berendezést, és 11°21'-kor mértem meg a maradék jeget, ami 59 g volt. Látható, hogy akár háromszor annyi ideig is mérhettem volna, akkor sem fogyott volna el teljesen a jég. Mivel ez a mérés úgyszólván elég pontatlan, nem érdemes megismételni.

Számoljunk: a kísérlet teljes ideje 29' volt, a szobahőmérséklet 21 °C. Ezalatt kb. 7 g jég mindenképp elolvadt volna a kaloriméter falán át beszivárgó hőtől. A csavaron át beszivárgó hó tehát 14 g jeget olvasztott el, ehhez 1120 cal kell. Mivel a csavar átmérője 16,5 mm, így keresztmetszete $\approx 214 \text{ mm}^2 = 2,14 \text{ cm}^2$ volt, 1 cm^2 -en $1120/2,14 \approx 523$ kalória áramlott át 25' = 1500'' alatt, így másodpercenként 0,349 cal. A kaloriméterben a hőmérséklet végig 0 °C volt. Az első 15' elején a hőmérsékletkülönbség 41,5 °C, a végén 37,5 °C, tehát átlagosan 39,5 °C volt. A második 10'-ben átlagosan 38,5 °C volt a hőmérsékletkülönbség. Így átlagosan $(15 \cdot 39,5 + 10 \cdot 38,5)/25 = 39,1$ °C volt a hőmérsékletkülönbség. A legnagyobb probléma, hogy nem tudjuk, milyen hosszú darabon lépett fel ez a hőmérsékletkülönbség. Ha ezt 4 cm-nek vesszük, akkor a hőmérsékletesés 39,1/4 °C/cm, így 1 °C/cm hőmérsékletesésre 0,349/(39,1/4) cal/(s·cm²) jut, azaz a mért hővezetési tényező 0,036 cal/(s·cm·°C)=3,6 cal/(s·m·°C). Valójában az acél hővezetési tényezője sokkal nagyobb, kb. 12 cal/(s·m·°C). Így „mérésünk” legfeljebb nagyságrendi becslésnek jó. A durva hibát az okozza, hogy jelentős hőmérsékletkülönbség lép fel a víz és az acél közötti hőátadáskor. A hőt hosszabb úton kellene vezetni a kívülről hőszigetelt acélrúdban, és annak a belsejében kellene mérni két, pontosan ismert távolságú helyen a hőmérsékletet. Elvileg hasonlóan lehetne mérni folyadékok és gázok hővezetési tényezőjét, de itt külön gondot okoz a folyadék illetve a gáz áramlása. Folyadékok és szilárd anyagok hővezetési tényezője nem sokat változik, még több száz fokos hőmérsékletváltozásnál sem. Kristályos anyagoknál általában csökken a hőmérséklet növekedésével, üvegeknél nő, de 100 °C növekedésnél a változás csak 2...20%. A gázok hővezetési tényezője a hőmérséklet növekedésével nő. □

1.6.12 Kísérlet. Eddig úgy beszéltünk a hőről, mintha valami folyadékszerű anyag volna, ami egyik testből átfolyik a másikba. Pedig elég a kezünket jó erősen összedörzsölni, hogy érezzük, hő keletkezik. Ugyancsak felmelegedést érzünk, ha egy fémdrótot hajtogatunk, fémet fűrészelünk, fűrünk, kalapálunk. Persze, fa fűrészelésekor is felmelegszik a fűrészlap. Az emberiség nagyon sokáig úgy gyújtott tüzet, hogy egy keményfa pálcát erősen nyomva egy puhafa lécebe gyorsan forgatott. Tulajdonképpen ha bármilyen más energiatípus „elvezet” látszik sűrűlőadáskor, akkor hővé alakul. A hőenergia (pontosabb nevén a belső energia) az energia egy fajtája, az anyag atomjainak mozgási-forgási-rezgési energiája. Ha például leejtünk valamit, a test helyzeti energiája mozgásivá alakul, közben kis része a levegőhöz való sűrűlőadással hővé alakul, majd mikor a test a padlóhoz csapódik, az energia egy kis része tovaterjed hangként, egy másik kis része esetleg a test eltörésére fordítódik, de a nagy része hővé alakul. Miért nem vesszük ezt észre? Mert kevés a keletkezett hő, nagy a test, és így csak igen kicsit melegszik fel. Fontos felismerés volt, hogy az energiatípusok átalakulásakor energia nemvész el és nem is keletkezik. Ez az

energiamegmaradás törvénye, vagy más néven a hőtan első főtétele. □

1.6.13 Kísérlet. Próbáljuk meghatározni, hogy mechanikai munkából mennyi hő keletkezik. Ez többek között Joule mérte meg először. Igen nehéz mérés, de azt kipróbálhatjuk, hogy ha mondjuk két percig 3-4 dl vizet erősen keverünk egy 500 W teljesítményű háztartási keverőgéppel, akkor 2-3 °C-kal felmelegszik. Persze, ez így rendkívül pontatlan eljárás, például az elektromos munka egy része már a keverőgépben hővé alakul, a víz párolog, stb. Sokkal pontosabb eredményt kaphatunk, ha az elektromos munkát közvetlenül alakítjuk hővé egy elektromos vízforralóban. Én egy 2 200 W-os vízforralót használtam (a teljesítmény rá van írva), 756 g vizet tettem bele, ami 29,6 °C-os volt. A vizet 2'15" alatt forralta fel. Mivel másodpercenként 2 200 J munkát végez, összesen 297 000 J munkát végzett, és ez $756 \cdot 70,4 \approx 53\,374$ kalóriának felel meg. Így $\approx 5,56$ J munka 1 kalória. A mérésünk pontatlan, például a vízforraló nincs hőszigetelve. A pontosabb mérések szerint $\approx 4,2$ joule 1 kalória, a pontos érték attól függ, a kalóriát hogyan értjük. Mivel már úgymint vagy négy féle kalória volt forgalomban, számúzték az energiamértékegységek közül, és csak a joule-t tartották meg. Pontosabban azt mondták, legyen ezentúl $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$. □

1.6.14 Kísérlet. A következő kísérletünkben egy kávéfőző tűzálló üvegedényében vagy egy jénai üvegtálban vagy kémcsőben forraljunk fel vizet. Kívül szárazra törölve az edényt, kezdjük lassan, egy vaslemez lángelosztón vagy villanytűzhely főzőlapján, a kémcsőnél gyertyaláng felett melegíteni, és figyeljünk meg mindent gondosan. Gázlángon vagy gyertyalángon melegítve kezdetben némi víz csapódik ki a lángból a hideg edény külsejére. Később ez elpárolog, az edény belső falán apró buborékok jelennek meg. Ez a vízben oldott levegő, ami melegítésre kiválik. (Egy liter vízben 0 °C-on 29,18 ml, 10 °C-on 22,84 ml, 20 °C-on 18,68 ml, 30 °C-on pedig 15,64 ml levegő oldódik.) Közben a víz áramlik az edényben: a meleg víz sűrűsége kisebb, felemelkedik, a hideg víz lesüllyed. Az áramlást ki is vetíthetjük egy erős, pontszerűen világító zseblámpával. Fehér papírra vetítve a vizen át jól látszik az áramlás. A buborékok az edény alján megnőnek, majd felemelkedve összemolnának, nem jutnak el a felszínre, a víz „zubog”. Végül a buborékok már nem omlanak össze, eljutnak a felszínre, a víz forni kezd. Figyeljük meg, hogy az edény falának némely pontjáról rengeteg buborék indul ki, míg máshonnan egy se. Forralva a vizet, az lassan fogy, tehát rengeteg hő kell az elforraláshoz. Kivetítéssel láthatjuk a feláramló gőzt: szintelen, csak feljebb látszik fehér pára, ahol hideg levegővel keveredik és finom vízcseppek válnak ki. Az edény felső, hidegebb részein a vízgőzből vízcseppek válnak le. Pár perc forralás után szüntessük meg a fűtést, majd ha lehűlt egy kicsit a víz, kezdjük újra melegíteni. Most nem képződnek apró buborékok, a levegőt már kiforraltuk a vízből. A forrás sokkal egyenletlenebbül indul meg, hirtelen egy-egy nagy buborék képződik, a víz lökdösve forr. (Ha az oldott gázokat el akarjuk távolítani a vízből, kiforralással megtehetjük. Akkor van vége a kiforralásnak, ha a víz lökdösve forr.) Lógassunk egy cérnaszálat a vízbe: a cérnaszál körül a vízből számtalan kis buborék képződik, a forrás egyenletes lesz. Ugyanígy hat bármilyen lyukacsos anyag, például fa, tégl- vagy porcelántörmelék, de éles szélű üveg- vagy kvarctörmelék is. Ha el akarjuk kerülni, hogy valamilyen folyadék lökdösve forrjon, ezeket is használhatjuk a legtöbb könyvben ilyen „forrkőnek” ajánlott horzsakő (lyukacsos megszilárdult láva) helyett. Kikapcsolva a fűtést, a víz tetején legtöbbször apró vízkő lemezek látszanak. Kiöntve a vizet és megszárítva az edényt, rendszerint az alján is némi fehér vízkő lerakódás látható a vízben oldott anyagokból. Ezeket a jelenségeket

Anyagfajta	Égéshő J/g	Anyagfajta	Égéshő J/g
lőpor	≈3350	dinamit	≈5400
szén-monoxid	10130	lignit	8400-16800
keményfa	12500-18800	fenyőfa	16800-19060
barnakőszén	17600-22600	faszesz	22210
denaturált szesz	27810	feketekőszén	26800-33900
faszén	27600-30140	koksiz	≈30000
állati zsír	39000-41000	növényi olaj	39000-41000
paraffingyertya	43000	háztartási tüzelőolaj	44400-45600
benzin	≈46000	petróleum	46000-49000
propán-bután gáz	≈49400	acetilén	49440
földgáz	≈54000	hidrogén	140140

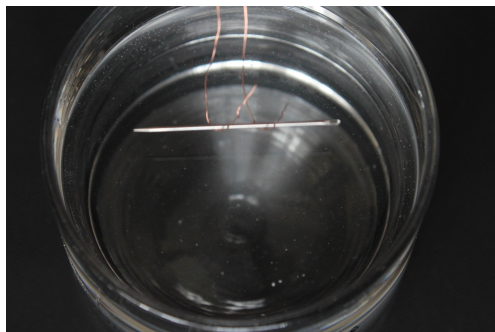
1.6.4 táblázat: égéshők.

most még nem tudjuk megmagyarázni, de apránként mindet meg fogjuk. □

1.6.15 Kísérlet. Határozzuk meg a víz *forráshőjét*, azaz hogy 1 g víz gőzzé alakításához 100 °C-on mennyi hő kell. Vegyük elő újra a vízfórallót, mérjük meg mondjuk benne félgy vízzel. Hagyjuk nyitva a tetejét, hogy ne kapcsoljon ki, és forraljuk a vizet mondjuk 3'-ig, kapcsoljuk ki, fedjük be, és mérjük meg újra. Így megtudjuk, mennyi víz forrt el. Nekem ez 140 g volt, az elektromos munka pedig $2\,200\text{ W}\cdot 180\text{ s} = 396\,000\text{ J}$. Innen a forráshő $396\,000/140 \approx 2829\text{ J/g}$. A pontosabb érték 2257 J/g. A nagy hiba nem meglepő, a vízfóralló nincs hőszigetelve. □

1.6.16 Kísérlet. Bár a víz fajhője elég nagy, mégis, egyetlen gyufával is tudunk vizet forralni. Mérjünk mérőkémcsővel, fecskendővel vagy cseppszám alapján 0,5 ml vizet egy kémcsőbe. Ha ügyesek vagyunk, egy szál gyufával fel tudjuk forralni, pedig az égésnél keletkező hő nagy része veszendőbe megy, a levegőt melegíti. Valamely anyag *égéshője* az égésekor keletkező hőmennyiség. Az 1.6.4 táblázat néhány anyag égéshőjét tartalmazza. □

1.7 Vízmolekulák



1.7.1 fényképek: varrótú a vízen.

1.7.1 Kísérlet. Talán megdöbbenő, de szinte mindent tudunk ahhoz, hogy megbecsüljük a vízmolekulák méretét. Csak a felületi feszültséggel kell egy kicsit megbarátkoznunk. Ha varrótűt (lásd az 1.7.1 fényképeket) vagy egyéb vékony, egyenes drótot, esetleg zslittpengét nagyon óvatosan vízre teszünk, akkor nem süllyed le, különösen, ha zsíros egy kicsit. Ha viszont egy kicsit is lenyomjuk a víz alá, akkor már lesüllyed. (Ha nem tiszta a víz felszíne, egy papírlap élével egyszerűen „letörölhetjük”). Egyes rovarok, például a molnárkák is szaladgálni tudnak a víz felszínén. Olyan, mintha a víz felszínét valami rugalmas hártya burkolná. Még egy kicsit be is hajlik a molnárkák lába vagy a varrótű alatt. Ez a *felületi feszültség*. A jelenség oka, hogy a víz felszínén levő vízmolekulákat a víz belsőjében levő molekulák befelé húzzák (kohézió). Ez okozza, hogy a folyadéksugár egyben marad. A víz — hasonlóan más folyadékokhoz — arra törekszik, hogy a felszíne minél kisebb legyen, és ha adhézió nincs, akkor gömbölyű cseppekké áll össze. Ezt egyébként olajcseppeken is megfigyelhetjük. Rázzunk össze üvegben vizet étolajjal. Fehéres, tejszerű folyadék keletkezik, víz és olaj *emulziója*. Ha sok vizet kevés olajjal ráztunk össze, akkor olajcseppek úsznak a vízben. Ha sok olajat kevés vízzel ráztunk össze, akkor vízcseppek úsznak az olajban. Nagyítóval megfigyelhetjük, hogy ahol nem érnek a falhoz, ott a cseppek gömbölyűek. Az olajcseppek illetve a vízcseppek ha találkoznak, egyesülnek, így még kisebb lesz a felszín. Idővel az olaj teljesen feljön a víz tetejére. Egyébként a tej is emulzió, zsírcseppek (és még sok minden más) vízben. □

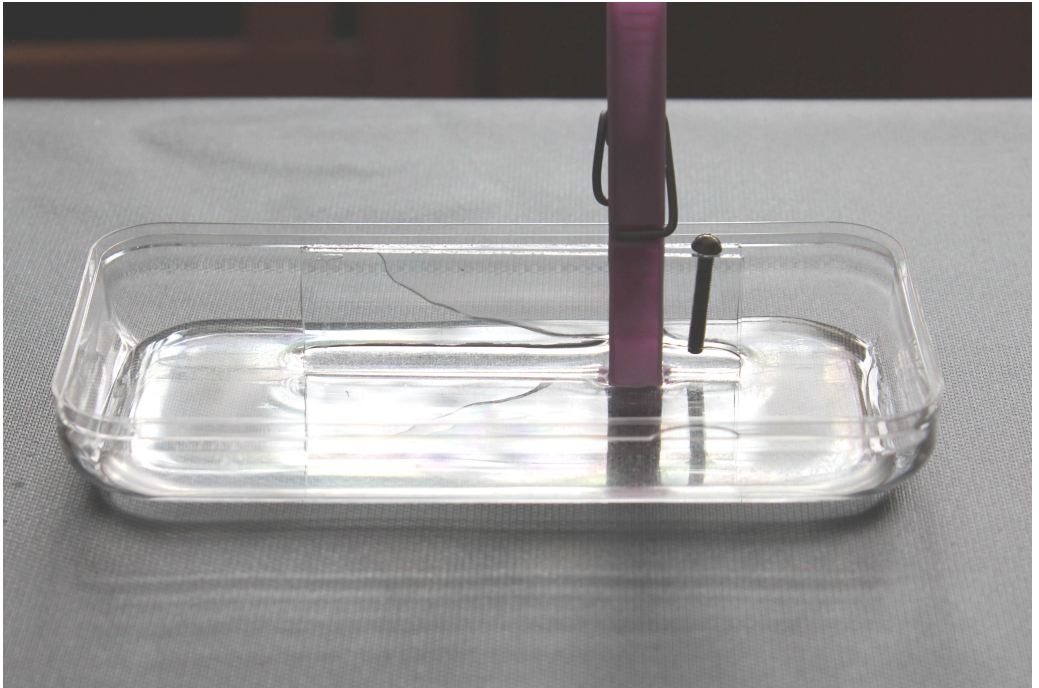
1.7.2 Kísérlet. Csavaros fedelű üveg fedelébe fúrjunk egymástól egyforma távolságra, a fedő széle felé három lyukat. Töltsük meg az üveget vízzel, tegyük rá a fedőt és fordítsuk fel: ha függőlegesen tartjuk, a víz nem folyik ki. Ha megdöntjük, a legfelső lyukon bebuborékol a levegő, a legalsón pedig folyik ki a víz. A harmadik lyukon ha a legfelsőhöz van közel, szintén bebuborékol a levegő, ha viszont a legalsóhoz, akkor folyik ki a víz. Közte találhatunk olyan helyzetet, ahol a harmadik lyuknál semmi sem történik. Nekem 2 mm átmérőjű lyukaknál 2–3 cm szintkülönbség kellett ahhoz, hogy meginduljon a víz kifelé. Nagyobb lyukaknál kisebb különbség is elég, 4 mm átmérőnél csak kb. 1 cm szintkülönbség kellett. Ha a lyukak átmérője 8 mm volt, már nem tudtam úgy tartani az üveget, hogy ne folyjon ki a víz.

A jelenség magyarázata a felületi feszültség. Mint valami vékony hártya akadályozza a felület a víz kifolyását illetve a buborékok kialakulását, és így a levegő beáramlását. Persze akármennyi lyuk is lehet, akkor se változik a helyzet. Ha egész kicsik a lyukak, akkor még nagyobb szintkülönbség esetén sem folyik ki a folyadék. Régen például az étolajos palackok száját csak egy vászondarabbal kötötték be. Még ha felborult is a palack, az olaj nem folyt ki. A levegő persze akadálytalanul átjut a lyukakon, ha nincs ott olaj. A gázoknak nincs felületi feszültsége, ezért mindig kitöltik az egész térfogatot. A kísérletnek sok más változata van: a befőttes üveget lyukacsos hálóval is beköthetjük, sőt, elég, ha egy kartonpapírt teszünk rá: ekkor az üveg szélénél akadályozza meg a felületi feszültség a levegő be- illetve a víz kijutását. □

1.7.3 Kísérlet. Egy másik felületi feszültséggel kapcsolatos kísérlet szappanbuborékok fúvása. Folyékony mosogató-, kézmosó- vagy mosószert hígítsunk fel egy tálkában vízzel, esetleg oldjunk fel szappant vízben. Készen is kaphatunk szappanbuborék fúvásához oldatot. Egy szívószállal belefújva az oldatba szép buborékok képződnek. Ha kivesszük a szívószálat, a végén maradt oldatot néha sikerül buborékká felfújnunk. Még nagyobb buborékokat fújhatunk, ha drótból egy 3–4 cm átmérőjű karikát hajlítunk, és az összecsa-

vert drótból álló szárát alkalmasan meghajlítva, belemártjuk az oldatba. Ha marad rajta folyadék réteg, elég erősen belefújva szép nagy gömb alakú buborékot kaphatunk. Azért lesz gömb alakú, mert a felületi feszültség minél kisebb felületűre próbálja összehúzni, a bezárt levegő térfogata viszont adott. Ha a tálkában szívószállal fújunk buborékokat, észrevehetjük, hogy ha egy szép nagy buborékban benn hagyjuk a szívószálat, az lassan „leereszt”. Némi ügyeskedéssel a szívószálon kiáramló levegőt kimutathatjuk, ha egy gyertyalángra irányítjuk, esetleg sikerül el is fújni a gyertyalángot. □

1.7.4 Kísérlet. De miért kell a mosogatószer vagy szappan a vízbe a szappanbuborékok fúvásánál? A szerepük az, hogy csökkentik a víz elég jelentős felületi feszültségét, és így könnyebben képződnek buborékok. Ennek kimutatására tegyünk egy tálkában tiszta vízre egymással párhuzamosan két fogpiszkálót, és közöttük érjünk a vízhez egy harmadik mosogatószerbe mártott végű hegyével. A fogpiszkálók szétugranak. A köztük levő víz felületi feszültsége csökkent, a másik oldalon viszont megmaradt, ez rántja arrébb a fogpiszkálót. Ugyanez történik, ha szappandarabbal érünk a fogpiszkálók között a vízhez. Nem véletlen, hogy éppen a mosogatószer csökkenti a felületi feszültséget: kisebb felületi feszültségű folyadék könnyebben behatol a piszok alá. □



1.7.2 fénykép: két üvegcsík.

1.7.5 Kísérlet. Ebben a kísérletben nem csak a kohézióból származó felületi feszültség, hanem az adhézió is szerepet játszik. Két (tiszta!) üvegcsík közé egyik végüknél tegyünk egy vékonyabb csavart vagy egy gyufaszálat, középen pedig fogjuk össze őket egy csipesszel. Tökéletesen megfelelnek a mikroszkópoknál használt, 2 mm vastag, 24 mm-szer

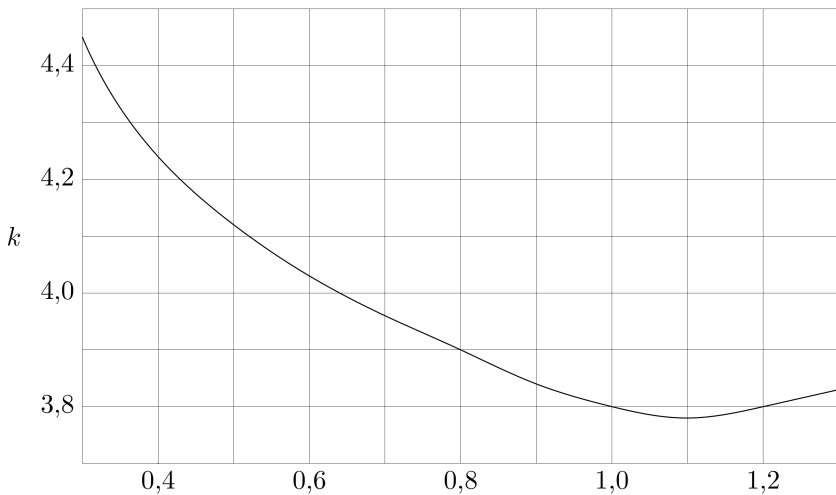
50 mm-es úgynevezett *tárgylemezek*, de magunk is vágathunk üvegcsíkokat. Mártuk az egész összeállítást vízbe. A víz az üvegcsíkok között felemelkedik, minél kisebb a rés, annál jobban: lásd az 1.7.2 fényképet. A víz és az üveg közötti adhézió erős, a víz nedvesíti az üveget, ezért emelkedik fel. Vékony üvegcsőben is felemelkedik a víz, minél vékonyabb a cső, annál jobban. A vegyészek gyakran kihasználják ezt: egy nagyon kis cseppet, ami még nem cseppen le, is felvihetünk egy üveglemezre, ha hozzáértetjük a vékony üvegcsövet. Ha vizet vagy más hasonló folyadékot töltünk, egy üvegbotot teszünk az üveg szájához: a vízszög az üvegbot mentén folyik le, így könnyen irányíthatjuk.

Ha nem jutunk mikroszkóp tárgylemezekhez, magunknak kell üvegcsíkokat vágni vékony ablaküvegből (egy kitört darab is megfelel). Kétféle üvegvágót használnak, az egyikben gyémántszilánk, a másikban acélkerék végzi a vágást. Az üveglapot megtisztítjuk, sima asztallapra fektetjük, amelyre például papírt teríthetünk, hogy egyenletesen, teljes felületén feküdjön fel az üveglap. Vonalzó mellett vágunk, 2–3 mm-nél vastagabb üveg esetén egy rongyot terpentinbe, petróleumba, vagy a kettő keverékébe mártunk, és a vonalzó mentén bekenjük vele az üveget. Most egy mozdulattal az üveg egyik szélétől a másikig végighúzzuk az üvegvágót. Nem szabad többször végighúzni! Vékony, 2–3 mm-es üvegnél alig kell nyomni, vastagabbnál kicsit erősebben, minél vastagabb, annál jobban. A gyémánt vágót kicsit előredöntjük; a gyémánt akkor vág jól, ha halk hangot ad, „énekel”. A vágás után a vágásvonalat az asztal széléhez húzzuk, majd gyenge, de hirtelen mozdulattal letörjük a leeső részt. Néhány centiméter széles csíkok levágásánál az üvegvágó nyelét a leeső rész alá fogva törjük le azt. Különösen vastagabb üveg vágásánál a vágásvonalat az üvegvágó szélével alulról megkocogtatjuk: ilyenkor az üvegvágó által okozott repedés továbbterjed. Vastag üvegből keskeny csíkot nem fog sikerülni levágni. □

1.7.6 Kísérlet. Az előző kísérlet magyarázza, hogy száraz kréta, papír, gipsz, téglá miért szívja fel a vizet, márvány az olajat. Hogy a téglá valóba tele van finom lyukakkal, *hajszálcsövekkel*, idegen szóval *kapillárisokkal*, arról meggyőződhetünk, ha a két végébe két lyukat fúrunk, ezekbe két beleillő csövet teszünk, és az egyikbe belefújunk: a másikon kiáramló levegővel gyertyát fújhatunk el. □

1.7.7 Kísérlet. Az, hogy a varrótű fennmarad-e a vízen, nem függ a hosszától, csak a vastagságától. A *felületi feszültséget* azzal a maximális erővel mérhetjük, amellyel a folyadék egységnyi hosszú tűre hat. Pontosabban, egységnyi hosszon a tű egyik oldalán, mert mindkét oldalon hat ez az erő. Hogyan mérhetnénk meg ezt az elég kis erőt? Tulajdonképpen már meg is mértük, mégpedig több különböző folyadékra is, amikor cseppszámot mértünk. A lecseppenő csepp addig „hízik”, amíg a súlya egyenlő nem lesz a kerületen ható, a felületi feszültségből származó erővel. A gyógyszerész cseppentője 3,2 mm átmérőjű üvegrúd, aminek a kerülete ≈ 10 mm. A cseppszám víznél 20, tehát egy csepp tömege 0,05 g. A súlya tehát $0,05 \text{ p} \approx 0,5 \text{ mN}$. Így a felületi feszültség $\approx 0,5 \text{ mN/cm} = 5 \mu\text{N/m}$. Pontosabb értékhez azt is figyelembe kell venni, hogy a cseppek a lecseppenés előtt már egy kicsit „befűződnek”: ahol a folyadékoszlop el fog szakadni, annak a résznek a kerülete nem 2π -szer a cseppentő sugara, hanem kisebb. Hogy hányszor a sugár, azt az 1.7.3 grafikonról olvashatjuk le.

A grafikonon a függőleges tengelyen az a k érték van megadva, amivel a sugarat kell szorozni 2π helyett a számolásban. A vízszintes tengelyen $r\sqrt{\rho/(2\kappa)}$ van megadva, ahol ρ a fajsúly, κ pedig a felületi feszültség. De hiszen ez borzasztó! A felületi feszültség kiszámolásához tudnunk kéne a felületi feszültséget! Nem kell megijednünk. Tudunk egy



1.7.3 ábra: a cseppszámhoz.

közelítést a felületi feszültségre, és ennek segítségével kiszámolunk egy jobb közelítést, stb. A fajsúly az egységnyi térfogatnyi anyag súlya. Ez vízre 1 p/cm^3 , azaz $\approx 9,81 \text{ mN/cm}^3$. Innen a $\rho/(2\kappa)$ hányados $9,81 \text{ mN/cm}^3$ osztva 1 mN/cm -rel, tehát $9,81/\text{cm}^2$. Mint tudjuk, a $\sqrt{\quad}$ négyzetgyök jel a négyzetreemelés fordítottját jelenti, tehát azt, hogy a négyzetgyökjel alatti mennyiséghez olyan mennyiséget kell keresni, aminek ő a négyzete. Az eredményt szorozva $0,16 \text{ cm}$ -rel, $0,50$ -ot kapunk. A grafikonon ehhez $k = 4,13$ tartozik. Így felületi feszültségnek $0,62 \text{ mN/cm}$ adódik. Ezzel újraszámolva mindent, $k = 4,02$ és $\kappa = 0,72 \text{ mN/cm}$ adódik. Ha még egyszer újraszámolunk mindent, már nincs lényeges változás, tehát ez a helyes felületi feszültség. (Ha az én csepptömeg méréssel és a 4 mm -es átmérővel számolnánk, a $0,45$, $0,71$ és $0,68 \text{ mN/cm}$ közelítések adódnának.) \square

1.7.8 Kísérlés. Most egy gondolat-kísérlést fogunk végezni. Csak elgondoljuk, mit csinálnánk. Vegyünk egy 1 cm^3 -es vízkockát, és vágjuk ketté. A felülete 2 cm^2 -rel nőtt. Mennyi munkát végeztünk? Egy cm hosszon a felületi feszültség $0,72 \text{ mN}$ erőt képvisel, és ez ellen dolgoztunk 2 cm hosszon, így $2 \text{ cm} \cdot 0,72 \text{ mN} = 14,4 \mu\text{J}$ munkát végeztünk. Szeleteljük fel a „vízkockát” egy vízmolekula vastagságú rétegekre. Nyilván nagyon sokszor kell szétvágunk. Nem tudjuk hányszor, jelöljük n -nel. Most egy másik oldallappal párhuzamosan is ismételjük meg ezt, majd egy harmadikkal párhuzamosan is. Összesen $3n$ vágást végeztünk. Végeredményben vízmolekulákra bontottuk a vizet. Ugyanez a végeredmény akkor, ha a vizet felforraljuk, elgőzöltetjük, majd a gőzt (kitágítva) lehűtjük. Ha például 20°C -ről indulunk, akkor 80 cal energiát kell befektetnünk a víz melegítéséhez, 40 cal energiát visszakapunk a gőz hűtésekor, és 2257 J munka kell az elgőzöltetéshez. Ez összesen $40 \cdot 4,1868 + 2257 \approx 2424 \text{ J}$. Ez ugyanannyi kell legyen, mint a „szeleteléskor” végzett munka. (Ezek szerint a felületi feszültségnek lassan csökkennie kell a hőmérséklet növekedésekor. Ez így is van.) Tehát azt kaptuk, hogy $3 \cdot n \cdot 14,4 \mu\text{J} = 2424 \text{ J} = 2424 \cdot 10^6 \mu\text{J}$. Innen $n \approx 56 \cdot 10^6$. Tehát a vízmolekulák mérete 1 cm -nek az ötvenhatmilliomod része, $0,18 \text{ nm}$. Tűrhető közelítést kaptunk, bár a vízmolekulák persze nem kocka alakúak. A vízmolekulák számára 1 g vízben azt kapjuk, hogy az $n^3 \approx 1,76 \cdot 10^{23}$. Valójában $\approx 0,33 \cdot 10^{23}$.

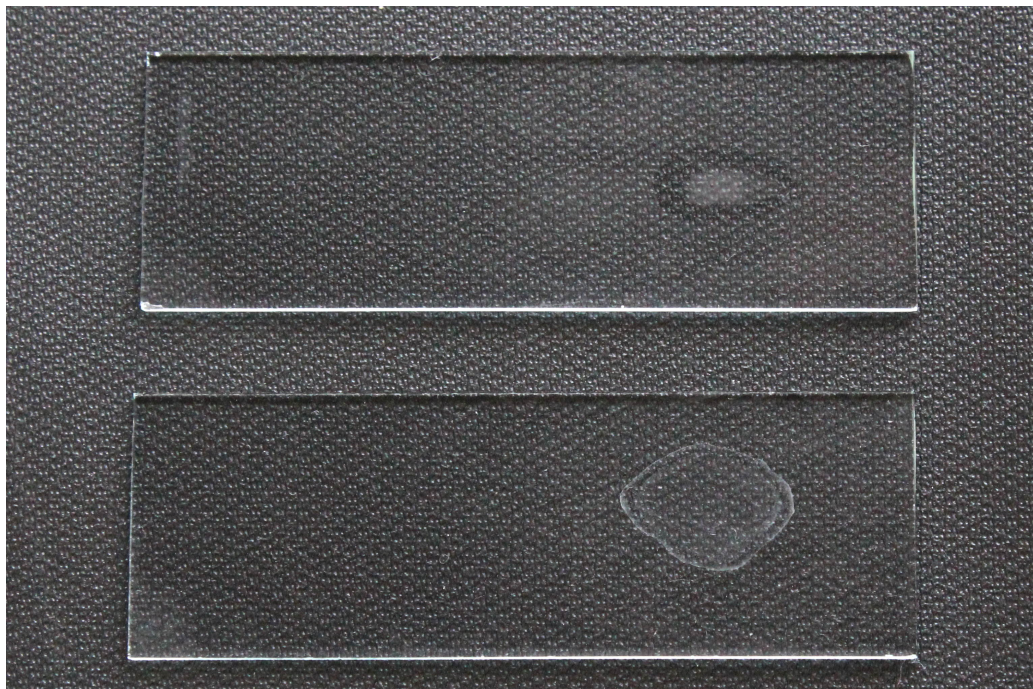
□

1.8 Lepárlás

1.8.1 Kísérlet. A víz forralásáról már volt szó. Öntsünk most egy lábasba vagy 2 dl vörösbort. Tegyük a lábasra egy fedőt, ha van üvegfedőt vagy jénai üvegtálat, egy kis tálka hideg vízbe pedig egy kis pohárkát. Kezdjük lassan melegíteni a bort. Lassan felforr, és a fedő alján színtelen cseppek gyűlnek össze. Ha már elég sok csepp van, vegyük le a fedőt, és megdöntve csurgassuk a pohárkába a cseppeket. Tegyük vissza a fedőt, és gyűjtünk további *párlatot*. Nem kell sok. Kivételesen kóstoljuk meg a párlatot: nem lehet mérgező, hiszen élelmiszer. Olyasmi íze van, mint valami gyenge pálinkának. Tulajdonképpen az is, a neve *borszesz*. Egy kanálba öntve és megmelegítve megpróbálhatjuk meggyújtani. Nemigen fog sikerülni, de a gyufától esetleg valami ellobbanó lángot látunk. Amit csinálunk, az a *lepárlás*, idegen szóval *desztillálás* egy primitív változata. A borban van szesz, és a szesz alacsonyabb hőfokon forr, mint a víz. Kezdetben a párlatban több szesz van, mint a borban, de van benne víz is bőven. Viszont a borban lévő szilárd színező anyagok teljesen visszamaradtak. Ha a párlatot újra lepárolnánk, szeszben még töményebb lenne. Ezt most nem érdemes kipróbálnunk, de később, tökéletesebb berendezéssel visszatérünk rá. Azt hihetnénk, hogy többszöri lepárlással akármilyen tömény szeszt készíthetünk. Ez nem így van, 95,6%-nál töményebb szeszt nem tudunk készíteni, mert ennek a forráspontja a legalacsonyabb, alacsonyabb, mint a 100%-os borszeszé. Ez az úgynevezett *azeotróp elegy*; a görög szóösszetétel azt jelenti, hogy „forralásnál nem változik”. A maradék víztől csak kémiai úton tudunk majd megszabadulni. □

1.8.2 Kísérlet. Tiszta szeszt kaphatunk gyógyszertárban is: a *legtöményebb szesz* 96%/-os, a *tömény szesz* 90%/-os, a *hígított szesz* 70%/-os. Nagyon drága, erősen megadóztatják, mert likórt, pálinkát lehetne belőle készíteni. Sokkal olcsóbban kaphatunk *denaturált szeszt*. Ez is borszesz, amihez mérgező és nagyon rossz ízű anyagokat kevertek. Általában rá van írva, hogy hány százalékos, pl. 90 vagy 96. Lehet kapni ipari *vízmentes szeszt* is (néha *bioetanol* néven), ez közel 100, általában 99%/-os, de ez is ihatatlan és mérgező is, denaturálva van. Nekünk jó lesz a denaturált szesz is, nem meginni akarjuk. Első kísérletként mérjük egy kisebb mérőüvegbe térfogatának 45%/-áig vizet, majd az üveget ferdén tartva, óvatosan öntsünk fölé denaturált szeszt (nem kell vízmentesnek lennie), majdnem a beosztás tetejéig. Látjuk, hogy a szesz úszik a vízen, tehát sűrűsége kisebb a víznél. Dugjuk be az üveget, és rázzuk össze. Az üveg érezhetően felmelegszik. Ha lehült, nézzük meg a folyadékszintet: alacsonyabb lett, a térfogat csökkent. Nekem például 147 g víz és 182 g 90%/-os denaturált szesz összekeverés előtt 355,8 ml, utána lehülve 351,7 ml volt. A felmelegedés is, meg a térfogatcsökkenés is arra mutat, hogy a víz és a borszesz molekulái erősen vonzódnak egymáshoz. Ez magyarázza az azeotróp elegy keletkezését. □

Elég szerencsétlen módon a borszesz összetételét, töménységét — idegen szóval *koncentrációját* — térfogatszázalékban szokták megadni, mi is ezt használtuk. Ez azt mutatja, hogy a tiszta borszesz térfogata hány százaléka a keverék térfogatának. Mivel a keveredéskor összehúzódnás történik, a borszesz tartalom térfogatszázalékban és a víztartalom térfogatszázalékban együtt több, mint 100%. Ráadásul melegeledéskor másként tágul a tiszta szesz, a víz és a keverék, így változik a térfogat százalék. Kicsit kevésbé problémás



1.8.1 fénykép: desztillált víz és csapvíz.

a vegyes százalék vagy ezrelék, ami azt mondja meg, hogy a tiszta anyagból hány gramm van a keverék 1 dl-ében illetve 1 l-ében, de hőmérséklet változáskor ez is változik. Ezért a továbbiakban ha egy keveréknél egyszerűen százalékról vagy ezrelékről beszélünk, mindig tömeg százalékra illetve ezrelékre fogunk gondolni. Ez azt mondja meg, hogy 100 g illetve 1000 g keverékben hány g a tiszta anyag.

1.8.3 Kísérlet. A vegyészek régebben gyakran használtak borszeszégőt. Kapni is lehet, de magunk is csinálhatunk egy lehetőleg alacsony és széles üvegből, aminek a szája 1 cm vagy nem sokkal nagyobb átmérőjű, kívülről rátehető vagy rácsavarható kupakkal. De-naturált szeszt öntünk bele, és egy feltekert vászon- vagy posztócsíkból, vastag kötélből, redőnyhúzó gurtniből vagy más hasonlóból készült kanócot teszünk bele. A lényeg az, hogy jól felszívja a szeszt, amit meggyújtunk. Ha nagyobb lángot akarunk, kijebb húzzuk a kanócot. Nagyon vigyázzunk, fel ne boruljon! Legjobb, ha valamibe beleállítjuk, például egy eldobható alumínium edénybe. Nagyobb lángot ad, mint egy gyertya, és nem kormoz. □

1.8.4 Kísérlet. Ismételjük meg a lepárlást, de most vízzel. Egy egyébként tiszta, de a hajunkon kicsit bezsírozott üveglapra, például tárgylemezre tegyünk egy cseppet a kapott desztillált vízből és mellé egy cseppet a csapvízből. A lemezt tegyük valamilyen fekete papírra, és a cseppeket hagyjuk beszáradni. Gyorsabban beszáradnak, ha egy (nem energiatakarékos) asztali lámpával melegítjük őket felülről. A desztillált víz cseppje nem hagy nyomot, vagy a nyom alig látható, a csapvíz helyén viszont fekete alapon jól látható fehér nyom marad: lásd az 1.8.1 fényképeket. Ezt a csapvízben lévő 1–2‰ oldott



1.9.1 fényképek: alumínium csík belógása.



1.9.2 fényképek: szilárd test hőtágulása.

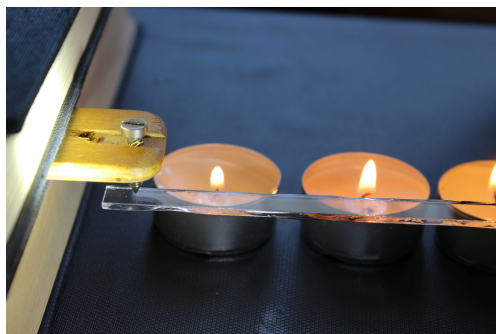
szilárd anyag okozza, ami a beszáradáskor visszamaradt. Így bármikor megállapíthatjuk, hogy egy folyadékban van-e valami szilárd szennyező anyag. Mivel a legtöbb kísérletnél a szennyezések zavarnak, desztillált vizet használunk. (Egyébként amit desztillált vízként árulnak, manapság legtöbbször nem desztillálással, hanem ioncserével készül. Hogy mi az ioncsere, arra majd visszatérünk. Az egyszerűség kedvéért desztillált vízről fogunk beszélni, akár desztillálással, akár ioncserével készült.) Szerencsére a desztillált víz elég olcsón kapható. Egy cseppet beszáritva ellenőrizhetjük, hogy elég tiszta-e? Már 1–2 μg szilárd maradék észrevehető! \square

1.9 Hőmérők

A Földön, szabadban mért leghidegebb hőmérséklet $-90\text{ }^\circ\text{C}$. A normális testhőmérséklet embernél $36,7\text{ }^\circ\text{C}$. A gáztűzhely lángjának hőmérséklete mintegy $1500\text{ }^\circ\text{C}$. Izzólámpa szála kb. $3000\text{ }^\circ\text{C}$ -os. A Nap felszínének hőmérséklete $5600\text{ }^\circ\text{C}$. Bár ilyen magas hőmérsékleteket ritkán kell egy vegyésznek mérnie, mintegy $-50\text{ }^\circ\text{C}$ -tól $1100\text{ }^\circ\text{C}$ -ig terjedő hőmérséklet mérése nem ritka, és elég könnyen meg is oldható. Ismerkedjünk meg a hőnek azokkal a hatásaival, amelyekre hőmérő alapozható. Legfontosabb a hőtágulás: melegítve kitágulnak a szilárd anyagok, még jobban a folyadékok, de legerősebben a gázok.

1.9.1 Kísérlet. Szilárd testek hőtágulásának bemutatására az egyik legegyszerűbb, de látványos kísérletet az 1.9.1 fényképek mutatják. Vágjunk alumínium fóliából egy $0,5 \dots 1\text{ cm}$ széles, elég hosszú csíkot, és a két végét szorítsuk könyvek közé. Teamécsekkel melegítve a csík megnyúlik, a közepe láthatóan belóg. Ha elveszük a mécseseket, a csík újra összehúzódik. A játék akárhányszor eljátszható. Ne tegyük a mécseseket túl közel a csíkhöz, mert megolvad! Megkérdezhetjük, hogy mi történik, ha nem engedjük a csíkot összehúzódni? Ilyenkor megfeszül és megnyúlik. \square

1.9.2 Kísérlet. A kísérletnek egy alig bonyolultabb, de mérésre is alkalmas formája az



1.9.3 fényképek: üvegcsík meghajlása.

1.9.2 fényképeken látható: a fémrúd (például kötőtű) vagy fémcső egyik végét rögzítjük, én egy háromszög keresztmetszetű reszelő éléhez nyomtam egy könyvvel, a másik végét pedig egy fémsínen vagy fémlemezen gördülő tűhöz nyomja ugyanannak a könyvnek a súlya. A tűt egy szívószál közepén szúrjuk át, ez lesz a mutató. Ellenőrizzük, hogy a tű középen van-e? Ha valamelyik oldal nehezebb, akkor ott vágjunk le egy kicsit a szívószálból. Azt is ellenőrizzük, hogy a fémsínt vagy fémlemezt kicsit megmozdítva, a mutató szabadon mozog-e? Ha igen, kezdhethetjük a kísérletet, mécsesekkel melegítjük a rudat. Ha alumínium, akkor itt se melegítsük meg túlságosan, mert pár száz fokon már túl puha lesz, nekem egy kísérletnél elgörbült a könyv súlya alatt. Az elrendezés mérésre is alkalmas: ha például vízgőzt vezetünk át a csövön, akkor az $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra melegszik. Megmérve a mutató szögelfordulását és a tű átmérőjét, kiszámíthatjuk, hogy mennyivel nyúlt meg a rúd a szobahőmérséklet és $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ között. Vasnál ez minden $^{\circ}\text{C}$ -ra kb. 1‰ , azaz egy százvezred rész, vörösréznel ennek a másfélszerese, alumíniumnál a kétszerese. A pontos értékeket számos anyagra megtalálhatjuk a könyv végén lévő táblázatban. (Közelítő a Grüneisen-szabály: a fémek teljes hőtágulása az elérhető legalacsonyabb hőmérsékletektől az olvadáspontig összesen $\approx 2\%$, nagy hidegben csökken a hőtágulási együttható, a szobahőmérséklet felett viszont csak kicsit növekszik. Így a magas olvadáspontú fémeknek kicsi a hőtágulási együtthatója.) Ha nem engedjük tágulni a rudat, akkor megfeszül, akkora erő lép fel, ami az adott arányban való összenyomásához szükséges, végül el is görbülhet. (Nyáron, nagy melegben a táguló vasúti- vagy villamossínek a fellépő hatalmas erők hatására néha meggörbölnek, ha nem elég erősen vannak rögzítve.) \square

1.9.3 Kísérlet. Még egy kísérlet látható szilárd test hőtágulására az 1.9.3 fényképeken. Ha az egyik végén befogott ablaküvegcsíkot mécsesekkel melegítjük, akkor meggörbül. Az üveg nem nagyon jó hővezető, az alsó része melegebb, mint a felső. Az alsó rész jobban megnyúlik, mint a felső, ehhez a csíknak meg kell görbülnie. Ez ugyan elég kis elmozdulást okoz, de jól észrevehető, ha lupével megfigyeljük a csík vége felett lévő hegyes csavar (lehet facsavar is) hegye és annak a tűkörképe közötti távolságot. Ha valaki ügyes, érintkezőt szerelve az üvegcsíkra, például zseblámpát kapcsolhat be a görbüléssel. Minél vastagabb az üvegcsík, annál nagyobb a két oldal közötti hőmérsékletkülönbség, és így a görbület. Ha az üveget nem engedjük meggörbülni, akkor lényegében nagy erővel görbítjük ellentétes irányba. Az üveg, mint rideg anyag, ezt rendszerint nem bírja ki és eltörik. Ezért törnek el a közönséges üvegből készült üvegtárgyak hőmérsékletkülönbség



1.9.4 fényképek: víz hőtágulása.

hatására, mégpedig minél vastagabbak, annál könnyebben. A kémiai laboratóriumokban kis hőtágulású üvegből készült elég vékony edényeket használunk. □

1.9.4 Kísérlet. Sok hőmérő folyadék hőtágulásán alapul. A legegyszerűbbnek tűnik folyadék hőmérőnköt vízzel tölteni. Vizsgáljuk meg a víz hőtágulását. Egy kisebb, de lehetőleg hosszú nyakú üveg nyakára ragasszunk mm beosztású papírcsíkot, ugyanúgy, mint a mérőkémcső készítésekor. Nem kell, hogy 0 mm-től kezdődjön, és egy későbbi kísérlet miatt jobb, ha a kisebb számok vannak felfele. Én egy 3,5 dl-es pálinkásüveget használtam. Az 1.9.4 fényképek közül a bal oldalin látható. Egy nagyobb műanyag palacknak vágjuk le a tetejét, tekerjük körül valamilyen hőszigetelő anyaggal, és alá is hőszigetelő anyagot téve, állítsuk valamilyen edénybe, hogy ne boruljon fel. Én egy két literes kólás palackot használtam egy nagy tejföls pohárba állítva. Készítsünk vagy 4 liter 0 °C-os vizet: műanyag palackban tegyünk be a mélyhűtőbe vizet, és amikor egy része már megfagyott, tegyük át a hűtőbe, ahol lassan olvadozik. Először 0 °C-on fogjuk a víz sűrűségét mérni. A műanyag palack aljára tegyünk jégkockákat. Az üveget öblítsük át 0 °C-os vízzel, hogy lehűljön, majd töltsük fel a beosztás aljánál kicsit fentebbig megmért tömegű 0 °C-os vízzel. Tegyük bele a műanyag palackba az üveget. Töltsük fel a palackot is 0 °C-os vízzel, néhány jégkockát is téve bele. Egy kampón akasszunk a palackba egy hőmérőt. Az egész elrendezést az 1.9.4 fényképek közül a középső mutatja. Az üveget emelgetve, keverhetjük a palackban a vizet. Az üvegben a hőmérséklet jó ideig 0 °C marad. Mindig megkeverve, olvassuk le és írjuk fel a vízszintet. A jég elolvad, a hőmérséklet lassan emelkedik. Időnként kevergetve, olvassuk le a hőmérsékletet és a vízszintet. Mivel a palacknak jó a hőszigetelése, a hőmérséklet lassan fog emelkedni. Az üveg viszont nem olyan jó hőszigetelő, így feltehető, hogy az üvegben levő víz hőmérséklete ugyanannyi, mint a műanyag palackban. Ügyeljünk arra, hogy 4 °C-on feltétlenül olvassuk le a vízszintet.

Ha a hőmérséklet elérte a szobahőmérsékletet, a vízszint már nem emelkedik tovább. Vegyük ki az üveget és a hőmérőt, és tegyük át őket egy vízzel töltött nagy fazékba. Az üveg alá tegyünk egy alumínium szalagból vagy függőnysínből hajlított háromágú csillagot. Így nem ér hozzá a fazék forró aljához, és nem fog elrepedni. (Ezt az elrendezést *vízfürdőnek* nevezzük, tehát röviden *vízfürdőben* melegítjük az üveget. Lehet *gőzfürdőben*

Hőm. °C	Skála mm	Mért g/ml	Számított g/ml	Táblázatból g/ml
0,0	167,0	0,999330	0,999446	0,999840
2,5	167,0	0,999330	0,999374	0,999952
4,0	168,0	0,999972	0,999972	0,999972
4,6	167,5	0,999651	0,999646	0,999969
5,8	167,0	0,999330	0,999278	0,999943
8,3	167,0	0,999330	0,999205	0,999829
9,5	166,5	0,999009	0,998849	0,999740
9,9	166,0	0,998689	0,998518	0,999708
11,3	166,0	0,998689	0,998477	0,999574
15,7	165,0	0,998048	0,997708	0,998991
19,5	164,0	0,996770	0,996321	0,998307
20,6	164,0	0,996770	0,996289	0,998079
31,5	161,5	0,995813	0,995017	0,995187
38,8	158,5	0,993905	0,992900	0,992672
45,8	156,0	0,992320	0,991114	0,98988
100,0	121,0	0,970658	0,967951	0,95835

1.9.5 táblázat: a víz sűrűsége, I.

is óvatosan melegíteni: a *gőzfürdő* ugyanolyan mint a vízfürdő, de a csillag alá csak annyi vizet töltünk, hogy ne lepje el, és a rajta lévő edényt csak a gőz melegíti. Ha magasabb hőfokot akarunk, akkor egy lábasba homokot teszünk, és abba tesszük az edényt.) Szóval melegítsük lassan a fazékban a vizet. Próbáljunk meg meghatározott hőmérsékleteket egy darabig tartani, az üveggel kevergetve a vizet, majd olvassuk le a hőmérsékletet és a vízszintet. Ha már olyan forró a víz, hogy a hőmérőnkkel nem bírjuk mérni, vegyük ki a hőmérőt és forraljuk fel a vizet. Mindaddig forraljuk, amíg a vízszint emelkedik. Ezt is írjuk fel, ez lesz a 100 °C-hoz tartozó vízszint. Én 343 g vízre az 1.9.5 táblázatban szereplő eredményeket kaptam (első és második oszlop, a skála felfele csökken)

Meglepő, hogy kezdetben a vízszint melegeledéskor nem hogy emelkedne, még csökken is egy kicsit, később pedig rohamosan emelkedik. A víz tehát biztosan nem jó hőmérő készítésére. Nem biztos, hogy a térfogatcsökkenést sikerül észlelnünk, mindenesetre az elején nincs emelkedés. Pontos mérések szerint a víz 4 °C-on a legsűrűbb, sűrűsége 0,999972 g/ml. Ezt a „legsűrűbb vizet” vették alapul a tömegegység megállapításánál, mint arról már volt szó. Más folyadékok nem viselkednek így, melegítésre kitágulnak. A természetben nagyon fontos, hogy a víz ilyen furcsán viselkedik. Ha egy tó teteje 4 °C feletti hőmérsékletű, és lehül, a víz nehezebb lesz, és lesüllyed az aljára. Ez a folyamat 4 °C-nál megáll. További hűtésre a víz könnyebb lesz és nem süllyed le. A tó teteje befagy, de az alja még 4 °C-os, és csak lassan hül le, hővezetéssel. Így a mélyebb tavak soha nem fagynak be, és a halak életben maradnak. Ezért kell a jeges vizet gyakran megkeverni, nehogy csak a teteje hűljön le. A sűrűségkülönbség nem nagy: 0 és 8 °C között a víz sűrűsége kevesebb, mint 0,2‰-kel tér el az 1 g/ml-től. Ezt használtuk fel térfogatmérő eszközök hideg vízzel való „bemérésére”.

Számoljuk ki méréseinkből a víz sűrűségét a mért hőmérsékleteken. Mivel az üveg nyakának belső átmérője 16,75 mm volt, 1 mm emelkedés 0,2204 ml-nek felel meg. A

168,0 mm leolvasásnak 343 g és így 343/0,999972 ml felel meg, a sűrűség a 4 °C-ra érvényes 0,999972 g/ml. Ahány mm-rel kisebb a leolvasás, annyszor 0,2204 ml-t kell a térfogathoz hozzáadni. A 343 g-ot osztva ezzel a térfogattal, kapjuk a víz sűrűségét az adott hőfokon. Ezek az értékek szerepelnek a harmadik oszlopban. Kicsit pontosabbá tehetjük mérésünket, ha figyelembe vesszük az üveg hőtágulását. Minden °C melegeedésre az üveg hossza 9,7 milliomodrésszel, a térfogata pedig háromszor ennyivel megnő. Mivel 4,0 °C-ból indultunk ki, ahány fokkal ennél magasabb a hőmérséklet, annyszor 29,1 milliomodrésszel meg kell növelni a térfogatot. Az így számított sűrűségértékek vannak a negyedik oszlopban. Ez a javítás némileg növeli a pontosságot, főleg a magasabb hőmérsékleteknél. Végül az utolsó oszlopban egy igen pontos mérések alapján készült táblázatból vett értékek vannak. Látható hogy az általunk mért értékek a negyedik tizedesjegyben nagyon bizonytalanok, néha a harmadik tizedesjegy is hibás, tehát az utolsó két jegyet kerekíteni kellett volna. Nem is várhatunk ennél nagyobb pontosságot, hiszen már a térfogatmérésünk is 0,1 ml körüli hibájú, és még sok más hibaforrás is van. Például az üveg hőtágulását sem mértük, hanem csak egy táblázatból vett értékkel becsültük, pedig különböző fajta üvegek hőtágulása különböző, stb. □

1.9.5 Kísérlet. Ha valaki szeretné pontosabban észlelni, hogy a víz melegeedéskor először összehúzódik, és csak 4 °C-tól kezd tágulni, annak pontosabb formában kell megismételnie az előző kísérletet. Ehhez egyrészt több vizet, azaz nagyobb üveget használhatunk, másrészt az üveg nyaka helyett egy sokkal szűkebb csövet. Én egy 7,5 dl-es üveget, és egy golyóstoll átlátszó műanyag burkolatát használtam, aminek belső átmérője 6,65 mm volt. Így vagy 12–15-ször akkora vízszintemelkedést kapunk. Ez az összeállítás az 1.9.4 fényképek közül a jobb oldalin látható.

A műanyag csövet egy jól záró átfűr dugóba kell tennünk, és ezzel zárjuk le az üveget. Mivel erre a „berendezésre” később is szükségünk lesz, ne sajnáljuk az elkészítésére a fáradságot. Én egy borosüveg műanyag dugóját használtam. A vegyészek *dugófúrás*hoz kiélezett szélű fémcsöveket használnak. A kívánt lyukátmérőnél kb. 1 mm-rel kisebb külső átmérőjű csövet válasszunk. A csövet az 1.9.6 fényképen látható módon egy ollóval élezzük ki, és az ugyanott látható módon nyomjuk a dugóba. Forgatva és nyomva lassan átfűrja a dugót. A dugódarabokat egy erős dróttal vagy vékonyabb csővel kitolhatjuk a dugófúrónkból. Vigyázzunk, nehogy a kezünkbe menjen, például tehetünk a dugó másik oldalára egy fadarabot. Amikor már kezd látszani, hogy hol fog kijönni a fűrő, vegyük ki, és a másik oldalról fejezzük be a fúrást, így nem szakad ki a lyuk széle. (Persze, fűrőállványon is fűrhatunk, ha van, lassú fordulatszámmal.) Gumidugót és parafadugót ugyanígy fűrhatunk. A parafadugót a fúrás előtt meg kell puhítani, így jobban fog zárni. Ez úgy történik, hogy egy deszkadarabbal erősen az asztalra nyomva görgetjük. Ha az a gyanúnk, hogy a dugó átereszt, dugjunk be vele egy üveget, és nyomjuk forró vízbe. Ha rossz a dugó, a kitáguló levegő kibuborékol. Parafadugó zárását megjavíthatjuk, ha olvadt paraffinba áztatjuk. A gyári dugófűrő készletek vékonyfalú sárgaréz csövekből készülnek, és gyári élezőt is lehet hozzá kapni. Használhatunk alumínium vagy vörösréz csöveket is. Vascsó is jó, de túl kemény, elég gyorsan kiveszi az olló élet, ezért inkább fűr=ba fogott kúpos köszörűkövel élezzük ki! Ha végképp nem sikerül dugófűrőt csinálnunk, egy izzó dróttal is átégethetjük a dugót és utána kör keresztmetszetű türeszelővel tágíthatjuk a lyukat. Ne sajnáljuk a dugófúrás megtanulására az időt, mert a vegyésznek sokszor van rá szüksége! A képen egyébként egy saját készítésű szilikongumi dugót fűrök ki. Úgy készült, hogy vékony, egyszer használatos műanyag pohárba tömítőanyagnak használt szilikongu-



1.9.6 fénykép: dugófúrás.

mit öntöttem. Lassan szilárdul meg, napok alatt, utána letörtem róla a poharat. Az átfúrt dugóba a csövet, különösen az üvegcsövet a dugóhoz közel fogva csavarjuk be, és ugyanígy fogjuk a kicsavaráskor. A becsavarás könnyebb, ha a csövet megnyálazzuk. A dugót, ha szorul, az üveget két kézzel fogva és a dugót két hüvelykujjunkkal kétfelől nyomva szedjük ki.

Ha megvan a jól záró átfúrt dugó a műanyag csővel, hasonlóan járunk el, mint az előző kísérletnél. A műanyag csőre tegyünk alkalmi skálát mm beosztású papírszalagból, cellulsszal odaerősítve. Megtöltve az üveget 0 °C-os vízzel, nyomjuk bele a dugót, és állítsuk a jeges vizes, hőszigetelt palackba. Ha túl magas a vízszint, összesodort papírcsíkkal szívatunk fel a vízből. Ezután mindent úgy csinálunk, mint az előző kísérletnél. Az 1.9.7 táblázat az én mérési eredményeimet tartalmazza. A víz tömege 762,1 g volt, és 1 mm vízszintemelkedés $\pi \cdot (6,65/2)^2 \approx 34,73 \text{ mm}^3$ -nek felel meg.

Igazság szerint nekem elsőre nem sikerült ez a kísérlet. Buborékok váltak ki, és a vízszint egyre csak nőtt. Ilyenkor nem kell elkeseredni, hanem inkább gondolkozzunk, mi lehet a baj. Ebből tanulhatunk a legtöbbet! Nyilván a buborékok a vízben oldott levegőből származnak. Felforraltam vagy öt liter vizet, forraltam egy pár percig, hogy minden levegő eltávozzon, majd lehűlés után színültig töltöttem műanyag palackokban tettem be a mélyhűtőbe. Ekkor már nem jelentkeztek a buborékok.

Látható, hogy a pontosság egy nagyságrendet javult, de így is az utolsó számjegyet kerekíteni kellett volna. Természetesen bőven maradtak hibaforrások: az üvegben a víz hőmérséklete kisebb, mint a palackban mért hőmérséklet; az üvegnek némi „memóriája” van: a tágulásához és összehúzódásához is idő kell; stb. De az, hogy a víz kezdetben

Hőm. °C	Skála mm	Mért g/ml	Számított g/ml	Táblázatból g/ml
0,3	556,0	0,999762	0,999870	0,999858
0,8	554,3	0,999840	0,999933	0,999887
1,1	553,3	0,999885	0,999969	0,999903
1,6	553,3	0,999885	0,999955	0,999966
2,0	552,8	0,999908	0,999966	0,999940
2,5	552,2	0,999936	0,999980	0,999952
3,0	552,0	0,999945	0,999974	0,999964
3,4	551,8	0,999954	0,999971	0,999967
4,0	551,4	0,999972	0,999972	0,999972
4,5	551,3	0,999977	0,999962	0,999968
5,0	551,0	0,999990	0,999961	0,999964
5,6	551,2	0,999981	0,999934	0,999950
6,1	551,2	0,999981	0,999920	0,999936
7,1	551,8	0,999954	0,999864	0,999897
8,0	552,3	0,999931	0,999815	0,999849
9,3	553,9	0,999858	0,999704	0,999767
10,3	555,1	0,999803	0,999620	0,999672
11,1	557,2	0,999708	0,999501	0,999595
11,9	559,2	0,999617	0,999387	0,999509
12,6	560,9	0,999539	0,999289	0,999426
13,6	563,0	0,999444	0,999165	0,999298
16,0	571,0	0,999080	0,998731	0,998944
24,4	583,9	0,998493	0,997899	0,997198

1.9.7 táblázat: a víz sűrűsége, II.

összehúzódik, ebből a kísérletből egyértelmű. □

* Vajon hogyan kerestem ki táblázatból az utolsó oszlopban álló számokat? Nem valószínű, hogy találunk olyan táblázatot, amely a víz sűrűségét $0,1$ °C-onként tartalmazza. Én olyan táblázatot használtam a [28] könyvből, amely 1 °C-onként tartalmazza a sűrűséget. A trükk az, hogy feltesszük, ezen a kis közön egyenletesen (lineárisan) változik a sűrűség. *Elsőfokú közelítést*, idegen szóval *lineáris interpolációt* fogunk alkalmazni. Például ha $x_1 = 5$ °C-nál $y_1 = 0,999964$ g/ml, $x_2 = 6$ °C-nál pedig $y_2 = 0,999940$ g/ml a sűrűség, akkor kiszámoljuk az $y_{1,2} = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)$ (elsőrendű) *különbségi hányadost* vagy idegen szóval *osztott differenciát*. Most ez $-0,000024$ g/(ml°C). Ezután, mivel $x = 5,6$ °C-nál keressük a sűrűséget, az $x - x_1$ különbséget szorozzuk az osztott differenciával. Ez most (kerekítve) $-0,000014$ g/ml. Ezzel javítjuk y_1 értékét, azaz ezt hozzáadjuk. Képletben

$$y \approx y_1 + (x - x_1) \cdot y_{1,2}.$$

Azt kapjuk, hogy $y \approx 0,999950$ g/ml. Honnan tudjuk hogy ez elég pontos? A sűrűség $x_3 = 7$ °C-nál $y_3 = 0,999902$ g/ml. Számoljuk ki az $y_{2,3} = (y_3 - y_2)/(x_3 - x_2)$ osztott differenciát is! Ez most $-0,000038$ g/(ml · °C). Az ezzel számolt javítás (kerekítve) $-0,000023$ g/ml. Az eltérés elfogadható. *

** Mi van, ha a táblázatban csak az található meg, hogy a víz sűrűsége 0 °C -tól 10 °C -onként $0,999840\ 0,999700\ 0,998206\ 0,995650\ 0,992219\ 0,98805\ 0,98321\ 0,97779\ 0,97183\ 0,96532\ 0,95835\text{ g/ml}$. Most ha $x_1 = 10\text{ °C}$, $x_2 = 0\text{ °C}$ és $x_3 = 20\text{ °C}$, akkor $y_{1,2} = -0,000014\text{ g/(ml}\cdot\text{°C)}$, és így a javítás (kerekítve) $0,000062\text{ g/ml}$. Az $y_{2,3}$ osztott differencia viszont $-0,0000817\text{ g/(ml}\cdot\text{°C)}$, amivel a javítás (kerekítve) $0,000360\text{ g/ml}$. Ez elég nagy eltérés. Ilyenkor a javítást is javítjuk. Számoljuk ki az $y_{1;2;3} = (y_{2,3} - y_{1,2})/(x_3 - x_1)$ (másodrendű) osztott differenciát. Javítsuk meg az $y_{1,2}$ osztott differenciát, hozzáadva $x - x_2$ -szőr a másodrendű osztott differenciát. Ezzel a javított differenciával fogunk számolni. Képletben

$$y \approx y_1 + (x - x_1) \cdot (y_{1,2} + (x - x_2) \cdot y_{1;2;3}).$$

Ez a négyzetes közelítés vagy kvadratikusan interpoláció. Nekünk $y_{1;2;3} = -0,00000677$, így $y_{1,2}$ javítása $-0,0000379$. Innen y_1 javítása (kerekítve) $0,000228$, tehát $y \approx 0,999928$. Az eljárást tovább is lehetne folytatni, de ennyi nekünk bőven elég lesz. Készíthetünk rá egy kis programot. **

1.9.6 Kísérlet. Jó folyadék hőmérő készítéséhez olyan folyadékot kell használnunk, aminek a hőtágulása „egyenletes”. Az első használható hőmérőket Fahrenheit német fizikus készítette. Kezdetben tömény szeszt használt. Hogy ez tényleg használható, arról egy felbontatlan üveg pálinkával is könnyen meggyőződhetünk, vagy felhasználhatjuk az egy előző kísérletnél keletkezett víz-denaturált szesz keveréket. MÉRJÜK MEG, HOGY HÁNY MM-re áll a pálinka a dugó aljától. Nekem ez $14,5\text{ mm}$ volt $24,5\text{ °C}$ -on. Tegyük be a hűtőbe, ahol egy nap alatt lehül $\approx 5\text{ °C}$ -ra. MÉRJÜK MEG ÚJRA: most a távolság $36,2\text{ mm}$. Ha a dugó ugyanolyan, mint az előző üvegnél, akkor ez $0,2204 \cdot 21,7 \approx 4,783\text{ ml}$, azaz $4,783/19,5 \approx 0,245\text{ ml}$ minden °C -ra. Ez, mivel az üveg fél literes volt, $0,49\%$ minden °C -ra. Tegyük be a mélyhűtőbe. Ne féljünk, nem fagy meg vagy -50 °C -ig. Egy nap alatt lehül $\approx -18\text{ °C}$ -ra. Ha lehet, újra mérjük meg, és számítsuk ki, most mennyi az összehúzódság 1 °C -ra. Nálam ennek már nem volt értelme, mert annyira összehúzódsott, hogy lejjebb volt, mint ahol az üveg nyaka kezdődik. Ezért megismételtem a kísérletet egy előző kísérletnél kapott, mérőüvegben lévő víz-denaturált szesz keverékkel. Ennél $22,7\text{ °C}$ -on $109,4$, 5 °C -on $126,4$, -18 °C -on $150,3$, -28 °C -on $158,5\text{ mm}$ volt a leolvasás. Ez rendre $355,92$, $352,17$, $346,90$ és $345,90\text{ ml}$ -nek felel meg. Így az 1 °C -ra eső térfogatváltozás a legkisebb térfogatnak rendre $0,61$, $0,66$ és $0,29\%$ -e. Nyilván nagy pontatlanságot okoz, hogy a hűtőszekrényben nem áll be gyorsan a hőmérséklet, és nem pontos a hőmérője.

Fahrenheit hőmérői már hasonlóan néztek ki, mint a mai (szintén általában borszeszes) hőmérők, bár nagyobbak voltak. Nagy hőmérőnél, mint például egy pálinkásüvegnél nagy a hőkapacitás (azaz a fajhő és a tömeg szorzata), és a hőmérő nagyon lassan, sok hőt felvéve vagy leadva veszi fel a környezet hőmérsékletét. Ez persze rontja a pontosságot. Fahrenheit alsó alappontnak (nullának) a legalacsonyabb hőmérsékletet vette, amit elő tudott állítani. Ez kb. a mélyhűtő hőmérséklete. Az emberi test hőmérsékletéhez tette a beosztás tetejét. Az olvadó jég hőmérséklete 32 °F lett, az emberi testé pedig 96 °F (nagyon pontatlan). A beosztást felezéssel készítette. Az USA-ban ma is az ő skáláját használják. Később áttért a higanyra a szeszről. Felső alappontnak a víz forráspontját vette, de a skálát nem változtatta meg, így a víz forráspontja 212 °F lett. (Szesznél nem lehetett a víz forráspontját alappontnak használni, mert alacsonyabb hőfokon forr, mint a víz.) A ma használt skála Celsius svéd csillagász nyomán alappontnak a víz fagyáspontját (0 °C) és forráspontját (100 °C) használja. □



1.9.8 fényképek: gázturbina és Galilei-hőmérő.

1.9.7 Kísérlet. Sok megfigyelés mutatja, hogy a gázok is kitágulnak melegítéskor, még-hozzá jelentős mértékben. Például frissen elmosogatott poharat vagy üveget sima felületre letéve, néha arrébb táncol: a melegedő és táguló levegő emeli meg. Hűtőbe, pláne mélyhűtőbe tett lezárt műanyag palack behorpad, mert benne a levegő összehúzódik. Ha viszont előbb lehűtjük, és úgy zárjuk le, akkor felmelegedve erősen megfeszül: a benne lévő levegő tágulna. Ha kinyitjuk, levegő áramlik ki. A meleg levegő felszáll: felmelegedve kitágult, sűrűsége kisebb lett, felhajtóerő hat rá. Például egy főzőlap, gázláng, gyertya felett felszálló levegő kavargása pontszerű fényforrással kivetítve jól látható. Egy gázláng által melegített levegő az 1.9.8 fényképek közül a baloldalin látható módon kis „gázturbinát” hajthat. A gázok hőtágulására alapozva a világon először Galilei készített hőmérőt. Ilyen hőmérő látható az 1.9.8 fényképek közül a jobb oldalin: egy mérőüveg fejjel lefelé egy szűk nyakú, vízzel jól megtöltött üvegbe állítva. Elég érzékeny: ha kezünkkel megfogjuk, máris láthatjuk a levegő tágulását. Felhasználhatjuk tehát a hőmérséklet változásának jelzésére, *termoszkópnak*. Ha letakarjuk valamilyen fekete ronggyal vagy papírral és kitesszük a napra, elég sok levegő buborékol ki belőle. Ha viszont alumínium fóliával takarjuk le, akkor még a napon is jóval kevésbé tágul ki a levegő. Nekem kb. 20 mm különbség adódott. Mint majd látni fogjuk, ez durván 4 °C-nak felel meg. Ezért nem szabad a hőmérőket a napon használni. A napon a sötét anyagok elnyelik a Nap fény- és hősugarait, és nagyon felmelegsznek. A világos anyagok sokkal kevesebb hő- és fénysugarat nyelnek el, nem melegsznek fel annyira. Napon tehát nem a hőmérsékletet, hanem a hőmérő hősugár el-

Hőmérséklet °C	Bruttó tömeg g	Nettó tömeg g
1,7	404	383
10,9	419	398
18,9	431	410
28,8	451	430
36,0	455	434
50,6	466	445

1.9.9 táblázat: gáz tágulása.

nyelő képességét mérjük. Ha a levegő hőmérsékletét akarjuk megmérni, akkor a hőmérőt árnyékba, levegő járta helyre állítsuk. Egyébként a sok hősugarat elnyelő anyagok sok hősugarat is bocsátanak ki, a keveset elnyelők pedig keveset. Ezért szokták a termoszok üvegedényét beezüstözni. □

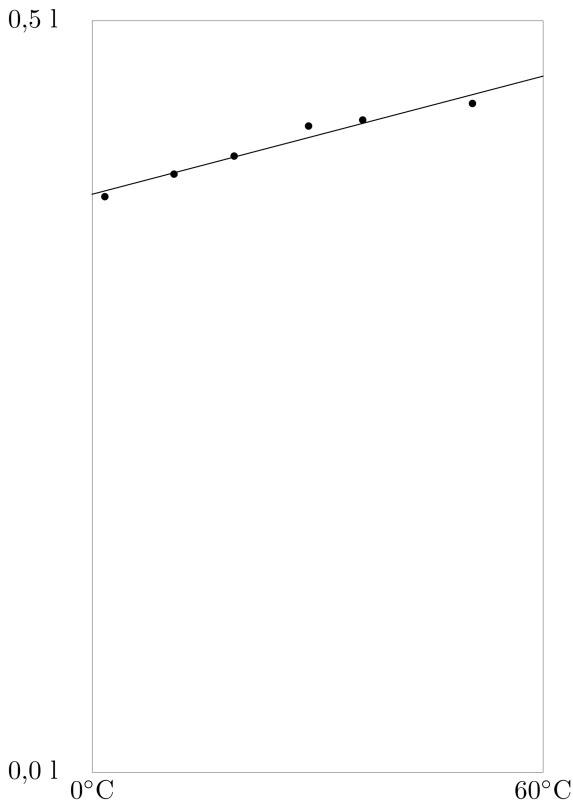
1.9.8 Kísérlet. Mérjük meg a levegő hőtágulását! A Galilei-hőmérő nagy üvegét nehéz lenne pontosan egy adott hőmérsékletre beállítani. Többek között ezért azt az eljárást fogjuk inkább használni, amit a szén-dioxid sűrűségének meghatározására használtunk. Most azonban egy közönséges uzsonnás zacskó használunk, amiben nagyjából fél liter levegőt hagyva, szoros csomót kötünk rá és rákötözzük az ott is használt csőre. Egy nagy befőttes üvegbe fogjuk belenyomni, amit a mérlegre rakunk. Nem érhet hozzá az üveg falához vagy aljához, mert a sűrűlódás nagy mérési hibát okoz. Ezt abból is észrevesszük, hogy nagyon ingadozik a mérleg által mért súly. Ha kell, több helyen is kötözzük a zacskót a rúdhoz. Először a befőttes üveget megtöltjük hideg vízzel, és jégkockákat is rakunk bele. Jól megkavarjuk, és belenyomjuk a zacskót, leolvasva a súlynövekedést. Ez adja a térfogatot. Utána megmérjük a hőmérsékletet. A sok víz hőmérséklete lassan változik, nem kell sietnünk. Öntsük ki a hideg víz felét, engedjük a helyére csapvizet, és ismételjük meg az egészet. Ezután csapvízzel, majd kicsit langyos vízzel, langyos vízzel, stb., mérünk, amíg csak a hőmérőnk engedi. Igyekezzünk mindig ugyanolyan mélyre nyomni a zacskót. Nem árt, ha a csapvíz hőmérsékletén újra mérünk a végén, hogy nem szivárog-e a zacskó. Legvégül ollóval több helyen vágjuk ki a zacskót, és így ismételjük meg a mérést. Ez adja azt a térfogatot, amit a rúd, zacskó és madzag elfoglal. Nekem ez a tára 21 g volt. A mérés eredményeit az 1.9.9 táblázat mutatja.

Tulajdonképpen 100 °C-on is megpróbáltam mérni, de a zacskó belsejében apró vízcseppek jelentek meg. Vízgőz került bele, ami nyilván meghamisítja a mérést. (Néhány műanyag eléggé átengedi a vízgőzt.) Ha felrajzoljuk az eredményeket egy „kockás” papírra — még jobb milliméterpapírra —, látszik, hogy nagyjából egy egyenesre esnek. (Lásd az 1.9.10 ábrát.) Mi a legjobban illeszkedő egyenes? Jelölje x a hőmérsékletet, y a térfogatot. A legjobban illeszkedő egyenes valamilyen $y = a \cdot x + b$ egyenletű egyenes. Részletes magyarázat nélkül elmondjuk, hogyan lehet az a és b számokat meghatározni. Először ki kell számolnunk a mért x -ek átlagát. Összeadjuk őket, és elosztjuk a mérések számával, itt most 6-tal. Az eredmény nekem $\bar{x} = 24,48$. Ugyanígy kiszámoljuk a mért y -ok átlagát, ez nekem $\bar{y} = 416,67$. Az egyenes átmegy az \bar{x}, \bar{y} ponton, azaz $\bar{y} = a \cdot \bar{x} + b$. Ha most a értékét meg tudjuk határozni, b értékét már ki tudjuk számolni. Minden mért x -re számoljuk ki $(x - \bar{x})^2$ -et, és ezeket adjuk össze. Ez 1568,1 lett. Ugyancsak minden mért x, y párra számoljuk ki $(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$ értékét is, és ezeket is adjuk össze. Ez

2054,95 lett. Az utóbbi összeget osztva az előbbivel, kapjuk a értékét, ami tehát 1,31. Ki számolva b -t, az 384,6. A levegő tehát — amennyire méréseink pontosak — egyenletesen tágul, minden °C hőmérséklet emelkedésre ugyanannyival nő a térfogata, és minden °C hőmérsékletcsökkenéssel ugyanannyival csökken. Ez viszont azt jelenti, hogy előbb-utóbb nulla lesz! Számoljuk ki, hogy mikor! Ha $y = 0$, akkor $x = -b/a = -294$ °C. Pontosabb mérések szerint ez $-273,15$ °C. Ami meglepő, más gázokra is ugyanezt az értéket kapjuk! Például megismételhetnénk a mérést szén-dioxiddal vagy a habpatronban lévő gázzal, hasonló eredményt kapnánk. Ennek oka, hogy a gázok nagyon hasonlóak: szabadon száguldozó és ütköző molekulák. Ezt a törvényt Charles francia fizikus fedezte fel, de sokszor Gay-Lussac francia fizikus nevéhez kapcsolják, aki később végezte méréseit. Kissé merész következtetéssel arra gondolhatunk, hogy ennél alacsonyabb hőmérséklet nincs is, mert azon a gázok térfogatának negatívnak kellene lenni! A $-273,15$ °C az abszolút nulla pont, és innen érdemes mérni a hőmérsékletet. Ez valóban így van, ez az abszolút nulla pont, és ennél alacsonyabb hőmérséklet nincs. Ha innen mérjük a hőmérsékletet, de a skála beosztása ugyanolyan sűrű, mint Celsius skáláján, akkor a Kelvin angol fizikusról elnevezett abszolút hőmérsékleti skálát kapjuk, ezen az egység a kelvin (jele: K). Ezen a skálán a víz fagyáspontja 273,15 K (nem kell fok), forráspontja pedig 373,15 K. Charles törvénye ekkor úgy hangzik, hogy a gázok térfogata arányos az abszolút hőmérséklettel. Ez azonban csak addig igaz, amíg a gáz nem cseppfolyósodik, és előbb-utóbb minden gáz cseppfolyósodik.

A gázhőmérők bevezetésével egyúttal az a kérdés is megoldódott, hogy melyik folyadék az „igazi” a hőmérőkészítéshez, mert például a szesz másként tágul, mint a higany. Legjobb a gáz, és akármelyik jó, mert mind egyformán tágul! A Galilei-hőmérővel mindjárt kelvinben mérhetjük a hőmérsékletet. □

1.9.9 Kísérlet. Sajnos, a gázhőmérőkkel elég nehéz mérni. A gyakorlatban ezért másféle hőmérőket használnak, amiket a gázhőmérőkhöz igazítanak. Leggyakrabban folyadék-hőmérőket. Fémek hőtágulásán alapulnak az úgynevezett bimetal („két fém”) hőmérők. Ezek működési elvét már megismertük az „üvegcsíkos” kísérletnél. Két különböző hőtágulású fémből, például vörösréz-ből és vasból készült csíkot egymásra fektetnek és gondosan összeerősítik. Hőmérsékletváltozás hatására ez egyik fém jobban megnyúlik mint a másik, a csík elgörbül. A kis görbülés hosszú mutatót mozgat. * A ma leggyakrabban használt hőmérők a hőelemes hőmérők. Ha van érzékeny voltmérőnk, akkor ezt könnyen kipróbálhatjuk: egy réz- és egy vasdrót végét összecsavarjuk, és ezt a helyet gyertyalángba tartjuk. A drótok másik vége között 1–2 mV feszültség mérhető. Sajnos, a vas és réz esetén ez csak kb. 200 °C-ig nő, aztán csökken. Még visszatérünk ilyen hőmérő készítésére, de készen is kapható például konyhai hőmérőként. Ha nincs érzékeny voltmérőnk, akkor is elvégezhetjük ezt a kísérletet. Érzékeny feszültségérzékelőként egy fülhallgatót fogunk használni, de erősítő bemenete, főleg egy érzékeny mikrofon- vagy egyéb előerősítő bemenete még jobb is lehet. Az összecsavart drótvégeket melegítve, érintgessük a másik két drótvéget a fülhallgató csatlakozójának két érintkezőjéhez. A fülhallgatóban halk, de határozott zörgés, kattanások hallhatóak, jelezve a fennálló feszültségkülönbséget.* ** A többi hőmérővel a fizikában fogunk részletesen foglalkozni. Más elektromos hőmérők is vannak. Egyes fajtáik azt használják ki, hogy fémek és más anyagok ellenállása változik a hőmérséklettel. Más fajtáik azon alapulnak, hogy diódák nyitóirányú feszültsége függ a hőmérséklettől: 2 mV-tal változik (csökken) °C-onként, ha az áram 100 μ A. A változás csökken, ha az áram nő, mégpedig minden tízszeresre növekedésnél 0,3 mV/°C-kal. Ez germánium és



1.9.10 ábra: gáztágulás, grafikon.

higany olvadáspontja	-38,87 °C	glaubersó olvadáspontja	32,38 °C
fixirsó olvadáspontja	48,0 °C	ón olvadáspontja	231,8 °C
ólom olvadáspontja	327,3 °C	cink olvadáspontja	419,45 °C
antimon olvadáspontja	630,50 °C	alumínium olvadáspontja	660,1 °C
ezüst olvadáspontja	960,8 °C	arany olvadáspontja	1063,0 °C
réz olvadáspontja	1083,0 °C	vas olvadáspontja	1539 °C
platina olvadáspontja	1773 °C	molibdén olvadáspontja	2600 °C
volfram olvadáspontja	3380 °C		

1.9.11 táblázat: hőmérsékleti alappontok.

szilícium diódákra is igaz. A diódák záróirányú árama is felhasználható hőmérsékletmérésre. Ez 10 °C hőmérsékletemelkedéskor megduplázódik, úgy (nem véletlenül), mint a kémiai folyamatok sebessége. ** □

1.9.10 Kísérlet. Mivel nehéz hőmérőket egy gázhőmérőhöz hasonlítani, azt csinálták, hogy gázhőmérővel pontosan megmérték néhány anyag olvadáspontját illetve forráspontját. (Ezekkel az anyagokkal később még sokszor találkozunk.) Hőmérőket ilyen *hőmérsékleti alappontok* segítségével kalibrálhatjuk. Néhány alappont a víz fagyás- és

forráspontján kívül az 1.9.11 táblázatban található.

A hitelesítés úgy történik, hogy kis edénykében kevergetjük az adott anyagot, lassan melegítve. Az olvadás illetve a forrás alatt a hőmérséklet az olvadáspont, illetve a forráspont, és a hőmérő végig ugyanannyit mutat. Felírjuk az eltérést. Ha az anyag fémdrót, elég, ha a hőmérő érzékelője köré csavarjuk. Ezen az alapon lángok hőmérsékletét is megbecsülhetjük. A gyertyalángban egy vékony alumínium fólia csík láthatóan megolvad, bár nem cseppen le. (A felületén elég, és a keletkező timföld csak 2000 °C-on olvad. Ha sokáig tartjuk a lángba, a timföld réteg olyan vastag lesz, hogy már nem látjuk, belül olvadt-e vagy sem.) A hőmérséklet tehát legalább 700 °C. Valami elromlott készülék hálózati vezetékéből vékony rézdrótot szerezhettünk. A drót vékony legyen, mert a réz jól vezeti a hőt, és a vastag drót egyrészt nem melegszik eléggé fel, másrészt megégeti a kezünket! A gyertyaláng külső szélén, ha átdugjuk a lángon, esetleg sikerül a végét legömbölyíteni. Itt tehát 1100 °C van. A borszeszegő lángjában így cseppé tudjuk olvasztani a rézdrót végét. A gázlángban a rézdrót könnyedén megolvad. Egy ruhacsipeszbe fogott acél varró tű finom végét sem a borszeszegő lángjában, sem a gázlángban nem tudjuk megolvasztani, bár a gázlángban nem csak izzik, de szikrázik is. Az 1.9.12 táblázat azt mutatja, hogy a különböző izzási színek milyen hőmérsékletet jelentenek. Ez a táblázat vasra vonatkozik, ami a lángban sötét szürke, majdnem fekete lesz. Kevésbé sötét anyagok, például alumínium izzítva nem világítanak annyira, ezért nehéz megítélni a hőmérsékletüket. Például a borszeszegő lángja kevésbé világít, mint a gyertya lángja, amiben izzó koromszemcsék vannak, pedig melegebb. Kempingvilágításra használt gázlánggal például úgynevezett izzóharisnyát izzítanak, ami tízszeresére növeli a láng fényét. □

sötétben kezdődő vörös	525 °C
kezdődő sötét barnásvörös	550 °C
barnásvörös	600 °C
sötétvörös	700 °C
sötét cseresznyepiros	800 °C
cseresznyepiros	900 °C
világos cseresznyepiros	1000 °C
narancssárga	1100 °C
sárga	1200 °C
fehéressárga	1300 °C
fehér	1400 °C
hegesztési fehér	1500 °C
vakító fehér	>1500 °C

1.9.12 táblázat: izzítási színek.

1.10 Nyomás

1.10.1 Kísérlet. Ha egy vízzel töltött, lezárt műanyag palackot megpróbálunk összenyomni, nem megy. Ha levegővel van töltve, valamennyire össze bírjuk nyomni. A folyadékok összenyomhatósága 20–100-szor nagyobb a szilárd testekénél, de kicsi a gázokéhoz képest.

Ha Galilei-hőmérőnk üvegét megemeljük, az üveg nyakában lejjebb száll a vízszint, ha jobban belenyomjuk a vízbe, akkor feljebb: a víz nyomásának változása tágitja illetve



1.10.1 fénykép: érzékeny nyomásmérő.

összenyomja a benne lévő levegőt. Ezt a hatást könnyen kiküszöbölhetjük, ha leolvasás előtt az üveget addig emeljük, míg a külső és a belső vízszint egyforma, azaz kiegyenlítjük a vízszint változását. Hogy a hőmérőnket a kezünkkel ne melegítsük, kötözünk rá három madzagot, és azoknál fogva emeljük. (A fénykép már eleve így mutatja.) Sajnos a levegő nyomása egyébként is változik, a magassággal és az időjárással. A magassággal való változást könnyen kimutathatjuk, ha liftes házban lakunk. Vegyük elő a víz sűrűsége változásának pontosabb mérésére használt átfúrt dugós nagyobb üvegünket és csináljunk belőle egy nagyon érzékeny Galilei-hőmérőt; lásd az 1.10.1 fényképet. Ezt most érzékeny nyomásmérőnek fogjuk használni. Tegyük ki a lift közelébe, hogy felvegye a hőmérsékletet. Mérjük meg a hőmérsékletet is, nekem 26 °C volt. Állítsunk be jól leolvasható vízszintet. A felső üveget csak a madzagoknál fogva foghatjuk meg, mert egyébként változik a hő-

mérséklete is! A liffel menjünk néhányszor fel-le. Nekem öt emeletnél 16 mm-t változott a vízszint. Ez a valódi nyomásváltozásnál kisebbnek felel meg, mert nem egyenlítettük ki a vízszintváltozást. □

1.10.2 Kísérlet. Pontosabban úgy mérhetünk, hogy az üveg emelgetésével visszaállítjuk az üvegben az eredeti térfogatot. Menjünk fel a legfelső emeletre, olvassuk le, hogy hány mm-nél van a külső vízszint a vékony csőre erősített skálán, és 20–30 s múlva olvassuk le azt is, hány mm-nél van a belső vízszint ugyanazon a skálán. Nekem a külső vízszint 459 mm-nél volt (a skála nem nullától indult), a belső pedig 486,5 mm-nél. Most le a földszintre. A külső nyomás nő, az üvegben a levegő összenyomódik. Az üveg emelésével állítsuk be a belső vízszintet pontosan ugyanahhoz a beosztáshoz, 486,5 mm-hez, aminél az előbb volt, várjunk 20–30 s-ot a belső szintet folyamatosan utánaigazítva, és olvassuk le a külső vízszintet. Nekem ez most 480 mm-nél volt (a skála lefele nőtt). A levegő térfogata nyilván ugyanannyi, az üveget pedig ehhez 21 mm-rel kellett emelnem. Ez azt jelenti, hogy a légnyomás változása 21 mm magas vízoszlop nyomásának felel meg. Még két mérést végeztem, a másodiknál 24 mm-t, a harmadiknál pedig 18 mm-t kaptam, az átlag 21 mm. (Látható, hogy a mérés nem valami pontos, a hőmérsékletingadozás nagy pontatlanságot okozhat.) Meg kell még mérnünk a magasságkülönbséget is. Vagy egy emelet magasságát mérjük meg, vagy madzagon leeresztünk valamit. A magasságkülönbség nekem 2056 cm volt. Ez azt jelenti, hogy 20560 mm magas levegőoszlop nyomása ugyanannyi, mint 21 mm magas vízoszlop nyomása, azaz a levegő sűrűsége nagyjából 1000-szer kisebb, mint a vízé. Ez egybevág régebben kapott eredményünkkel. A légnyomás időjárással való változását légnyomásmérővel mérhetjük. Általában nem nagyobb, mint 1 %, de kivételes időjáráskor több százalék is lehet. Ez a Galilei-hőmérőnél néhány, kivételesen 10 °C-nak megfelelő változást okoz. □

1.10.3 Kísérlet. Harmadik kísérletként készítsünk egy Pascal-buzogányt! Szúrjunk túvel néhány kb. 1 mm átmérőjű lyukat egy műanyag palackon mindenféle irányba, töltsük meg vízzel, csavarjuk rá a kupakját, és nyomjuk össze. A víz minden irányban nagyjából egyforma sebességgel spriccel ki a lyukakon. Ebből arra következtethetünk, hogy a nyomás a folyadékokban (és a gázokban is) minden irányban egyformán terjed. Azért mondtuk, hogy „nagyjából”, mert ha nem nyomjuk a palackot, a kép megváltozik. A legfelső nyíláson levegő áramlik be, a vízszint alattiakon pedig láthatóan különböző sebességgel, és az előzőnél sokkal lassabban folyik ki a víz. Ez azért van, mert most csak a felette levő vízoszlop nyomása nyomja ki a vizet. Ez annál nagyobb, minél lentebb van a nyílás. A nyomás minden irányban egyformán terjed, de mindig hozzáadódik a szintkülönbségből adódó nyomás, amit a folyadék- vagy gázoszlop súlya okoz. Csináljunk egy másik Pascal-buzogányt, csak négy lyukat fúrva egymás felett, nagyjából egyforma távolságban. Töltsük meg vízzel! A lentebb lévő lyukakon jobban folyik a víz. Csavarjuk rá a kupakot. Egy rövid ideig még folyik a víz, majd a legfelső lyukon levegő kezd bebuborékolni, a másik három lyukon folyik ki a víz. A kifolyó víz miatt nőtt a víz felett lévő levegő térfogata, csökkent a nyomása, végül a legfelső lyuk szintjénél is kicsit kisebb lesz a nyomás, mint a külső levegő nyomása, így az kezd befelé áramlani. Fogjuk be ezt a lyukat! Rövid idő múlva a felülről második lyukon buborékol be a levegő, az alsó kettőn pedig folyik ki a víz. □

1.10.4 Kísérlet. Szeretnénk megtudni, mennyi is a levegő (átlagos) nyomása, és hogyan

változik a gázok térfogata a nyomással. A levegő nyomását elvileg egy tapadókoronggal is megmérhetjük. Tapasszunk fel egy tapadókorongot egy sima felületre, és próbáljuk meg leszakítani. Jelentős erővel sikerül csak. Egy horgászok által használt halmérleggel megmérhetjük az erőt. Én egy 50 mm átmérőjű tapadókorongnál 15 kp erőt mértem. Ezek szerint a nyomás, azaz az egységnyi felületre eső nyomóerő $15 \text{ kp}/(\pi \cdot 2,5^2 \text{ cm}^2) \approx 0,76 \text{ kp/cm}^2$. Számoljuk át a régebben használatos kp/cm^2 -t szabványos egységre! A szabványos egység a N/m^2 , amit pascalnak is neveznek (jele: Pa). $1 \text{ kp/cm}^2 = 9,80665/0,0001 \text{ N/m}^2 = 98066,5 \text{ Pa}$. A pascal tehát kellemetlenül kis egység a régi egységhez képest. Ezért használják a bar-t is (ejtsd bár). $1 \text{ mbar} = 1 \text{ hP}$, így a bar csak kb. 2%-kal nagyobb a régi egységnél. Egyébként tapadókorongos mérésünk elég pontatlan volt, húzáskor a korong húzódik össze, levegő mehet alá, stb. Az átlagos levegőnyomás a Duna szintjénél 1 bar. □

1.10.5 Kísérlet. A gázok összenyomásával kapcsolatos törvényszerűségnek a vizsgálatára legjobb egy 1, 2 vagy 5 ml-es orvosi fecskendő. Gyógyszertárban olcsón kapható. Olyat válasszunk, amelyre a cső keresztmetszetéhez képest lehetőleg kicsi a súrlódás. A súrlódást úgy tudjuk megmérni, hogy a dugattyút egy digitális mérlegre nyomjuk, és a füleket fogva megmérjük, mekkora erő kell a dugattyú megmozdításához. (Ha a fecskendő hengerét fogjuk, összeszorítjuk, és nagyon változik a súrlódás.) Én végül egy 2 ml-es fecskendőt választottam, amin azért 3 ml-ig volt beosztás. A 2 ml-es, azaz 2 cm^3 -es beosztás a nullától 2,65 cm-re volt, azaz a henger keresztmetszete $2 \text{ cm}^3/2,65 \text{ cm} = 0,755 \text{ cm}^2$. A súrlódási erő 200–300 p volt, elég nagy.

Nyomjuk be teljesen a dugattyút. Dugjuk be valamivel a fecskendő nyílását! Először egy hurkapálca hegyével próbálkoztam, de nem zárt elég jól, ezért olvasztott paraffinba áztattam. Így már használható volt. Még jobb, ha egy injekciós tűt használunk. Olvad paraffinba mártjuk a hegyét, vagy még jobb, ha gyertyalángban megmelegítve a tűt, fogóval kihúzzuk a kupakból, és utána a kupak nyílását a láng felett összeolvasztjuk. Húzzuk hátra a dugattyút! Elég erősen kell húzni, nagyjából állandó erővel. Ha elengedjük, visszavágódik a 0 ml-hez. Ha nem így lenne, nem jól dugtuk be, beszívárog a levegő. Mérjük meg, hogy mekkora erővel kell húzni! Kössük a dugattyút egy madzaggal egy nagyobb, vízzel töltött palackhoz, és a füleknél fogva emeljük a fecskendőt. Mivel nagy a súrlódás, azt próbáljuk megmérni, mennyi a legnagyobb erő, amivel húzni lehet a dugattyút, és mennyi a legkisebb, aminél még helyben marad, és a kettő átlagát vesszük. Az én méréseim:

Térfogat ml	Erő, max. p	Erő, min. p	Erő, átlag p	Nyomás kp/cm^2
1	800	530	665	0,88
2	800	560	680	0,90
3	800	570	685	0,91

Nyilván hibát okoz a bedugott csőben maradó levegő, a fecskendő „holttere”. Az eredmény durván megfelel annak, hogy a levegő nyomása nagyjából 1 kp/cm^2 . □

1.10.6 Kísérlet. Most engedjük a fecskendőbe 1 ml levegőt, és úgy dugjuk be. A külső levegő nyomóerejét 680 p-nak fogjuk tekinteni, mert most is ugyanannyi a holtter. Mérjük meg most is, mekkora erővel kell húzni a dugattyút! Az eredmények:

Térfogat ml	Erő, max. p	Erő, min. p	Erő, átlag p	Teljes erő p
1	0	0	0	680
2	580	100	340	340
3	600	300	450	230

Végül engedjük a fecskendőbe 3 ml levegőt, és nyomjuk a dugattyút a digitális mérlegre. Az eredmények:

Térfogat ml	Erő, max. p	Erő, min. p	Erő, átlag p	Teljes erő p
3	0	0	0	680
2	580	210	395	1075
1,5	850	580	715	1395
1	1400	1100	1250	1930
0,5	3000	2700	2850	3530

Azt láthatjuk, hogy ha a térfogat nő, a nyomóerő, tehát a nyomás csökken, ha pedig csökken, akkor a nyomóerő, tehát a nyomás is nő. Azt is észrevehetjük, hogy ahányszorosára nő a térfogat, annyiadrészére csökken a nyomás, és ahányadrészére csökken a térfogat, annyiszorosára nő a nyomás. Tehát a nyomás és a térfogat szorzata (adott hőmérsékleten) állandó! Más gázokkal is megismételhetjük a kísérletet és más hőmérsékleten is, az eredmény nem változik. Ezt a törvényt Boyle angol vegyész és (jóval később) Mariotte francia fizikus találta. A Gay-Lussac törvény szerint a térfogat (adott nyomáson) arányos az abszolút hőmérséklettel. Így ha a nyomás és a térfogat szorzatát osztjuk az abszolút hőmérséklettel, a hányados állandó. Tehát a két törvényt összekombinálva kapjuk az *egyesített gáztörvényt*: ha p a gáz nyomása, V a térfogata, és T az abszolút hőmérséklete, akkor $p \cdot V/T$ mindig ugyanannyi egy adott gáz adott mennyiségére. Elég tehát adott gázra 1 g gáz térfogatát tudnunk egy adott nyomáson és egy adott hőmérsékleten, akárhány gramm gáz térfogatát ki tudjuk számolni akármilyen hőmérsékleten és nyomáson. A gáz sűrűségét is elég ismernünk. Legtöbbször 25 °C-ot, azaz 298,15 K-t szokás „adott hőmérsékletnek” választani. Ezt *normál hőmérsékletnek*, idegen kifejezéssel *standard hőmérsékletnek* (ejts sztenderd) nevezzük, és T^0 -al fogjuk jelölni. (Régebben a 0 °C-ot használták normál hőmérsékletnek.) „Adott nyomásnak” 1 bar nyomást szokás választani, ez a *normál nyomás*, jele p^0 . (Régebben az 1 atm-át használták normál nyomásnak, lásd később.) □

Próbáljuk meg megérteni az egyesített gáztörvényt! Ha a gázmolekulák által elfoglalt térfogat nulla lenne, és a molekulák között semmilyen taszító vagy vonzó erő nem hatna, akkor egy ilyen „*ideális gáz*” térfogatát a fecskendőben a dugattyúval felére csökkentve, egy adott molekula kétszer annyiszor ütközne a dugattyúba, azaz a nyomás, ami a molekulák „lökődéséből” ered, kétszeresére nőne. Ha növeljük a hőmérsékletet, a molekulák gyorsabban mozognak, egyrészt gyakrabban ütköznek a dugattyúba, másrészt lökéseik is erősebbek, a nyomás nő. Az abszolút nulla fokon a molekulák mozgása megállna, adott térfogaton a nyomás (vagy adott nyomáson a térfogat) nullára csökkenne.

Mennyire pontos az egyesített gáztörvény? Nem lehet tökéletesen pontos, mert nagyon nagy nyomáson a térfogatnak kisebbnek kellene lennie a gázmolekulák össztérfogatánál. Mivel a gázok sűrűsége légköri nyomáson nagyságrendben ezerszer kisebb a folyadékok

sűrűségénél, a molekulák által elfoglalt térfogat a teljes térfogatnak nagyságrendben ezredrésze. Ennek megfelelően nagyságrendben ezer bar nyomáson az egyesített gáztörvény már nagyon pontatlan a molekulák által elfoglalt térfogat és a köztük igen erős összenyomáskor fellépő taszítás miatt, viszont a nyomás csökkentésével egyre pontosabb lesz. Légköri nyomáson a hiba a legtöbb gáznál csak $\frac{1}{100}$ nagyságrendű, elhanyagolható. Nagyobb, néhány %-os hiba csak akkor tapasztalható, ha a gáz már közel van a cseppfolyósodáshoz. Ennek oka, hogy itt a gázmolekulák között fellépő vonzás már úgy hat, mintha csökkenne a molekulák száma.

Nézzünk egy példát az egyesített gáztörvénnyel való számolásra. A szén-dioxid sűrűségét 30 cm mély vízoszlop alatt 19,3 °C-on 1,90 g/l-nek mértük. Mennyi a sűrűsége normál körülmények között? A 30 cm-es, 1 cm² keresztmetszetű vízoszlop súlya 30 p. Így a nyomás a normál nyomásnál 0,03 kp/cm²-tel, körülbelül 3 %-kal nagyobb, a térfogat tehát ennyivel lesz nagyobb a normál nyomáson. A normál hőmérséklet 298,15/(273,15+19,3) \approx 1,0195-ször nagyobb, mint a mérés hőmérséklete, tehát a térfogat 1,0195 \cdot 1,03 \approx 1,05 l, így a normál sűrűség 1,81 g/l. (Pontosabb mérés szerint 1,77 g/l.)

1.10.7 Kísérlet. Biztosan van, aki nagyon pontatlannak találja előző mérésünket. A nagy súrlódást kellene kiküszöbölni. A megoldás egyszerű: használjunk vizet dugattyúnak! Egy mérőhengerré átalakított üveget töltsünk meg feléig-kétharmadáig vízzel. Dugjuk be az átfúrt dugóval, fordítsuk fel és húzzunk a dugóban lévő műanyag csőre egy vízzel teljesen megtöltött hajlékony műanyag csövet, amelynek a másik vége egy lavór vízben van. Legjobb, ha a fürdőszobában dolgozunk. Ha emeljük az üveget, csökken benne a vízszint. Először emeljük ki a hajlékony cső másik végét a vízből, és emeljük fel addig, amíg egy szintbe nincs a két vízszint. Most leolvassuk a beosztást, megkapjuk a bezárt levegő térfogatát. Tegyük vissza a műanyag cső másik végét a lavórba. Mérjük meg, milyen messze van a lavór széle a padlótól, és a lavórban a vízszint a lavór szélétől. Így megkapjuk a vízszint padlótól mért távolságát. Most emeljük fel valameddig az üveget, és olvassuk le a térfogatot, valamint mérjük meg a vízszint távolságát a padlótól. (Én a fregoli különböző állásaihoz állítottam a magasságot, így utólag is ráér az ember megmérni.) Így megkapjuk a vízszint távolságát a lavórban lévő vízszinttől. Kicsit változik ugyan a lavórban a vízszint, de ez jelentéktelen. Számoljuk ki több különböző magasságra a mért térfogat és a teljes nyomás szorzatát. (Két mérés közt legjobb, ha az üveget betesszük a vízbe, hogy ne nagyon melegegjen fel.) A levegő nyomását vehetjük a normál nyomásnak, 1020 p/cm²-nek. Az én mérési eredményeimet a táblázat tartalmazza.

Térfogat cm ³	Magasság cm	Túlnyomás p/cm ²	Nyomás p/cm ²	Szorzat m·kp
204,4	0	0	1020	2,085
223,8	68	-68	952	2,131
242,3	161	-161	859	2,081
263,2	216	-216	804	2,116
282,5	273	-273	747	2,110
302,6	328	-328	692	2,094

Most nyomjuk össze a levegőt. Az üvegben lehet több levegő, a hajlékony műanyag cső végét pedig tegyük egy félig vízzel telt befőttes üvegbe. Ezt fogjuk felemelni, és megint a térfogatot és a vízszintek közötti magasságkülönbséget mérjük. Az én mérési eredményeim

a táblázatban. □

Térfogat cm ³	Magasság cm	Túlnyomás p/cm ²	Nyomás p/cm ²	Szorzat m·kp
296,4	0	0	1020	3,023
284,5	60	60	1080	3,073
261,7	112	112	1132	2,962
252,4	206	206	1226	3,094
240,8	262	262	1282	3,087
221,6	316	316	1336	2,961

1.10.8 Kísérlet. Persze, a kísérlet úgy teljes, ha a levegő nyomását is megmérjük, és azzal számolunk. Tervezzünk egy ilyen kísérletet! Ehhez be kell beszerezünk egy erős falú, például pezsgős üveget, mert a levegő nyomása egy kisebb autó súlyával nyomja össze az üveget, és könnyen összeroppanhat. (Egy ilyen „berobbanáskor” szerteszét repülnek az üvegdarabok, és könnyen megsérülhetünk.) A vizet forraljuk fel, mert az oldott levegő nagyon zavar, majd hűtsük le. A hideg vizet öntsük egy vederbe, buborékmentesen töltsük meg vele az üveget és a hajlékony csövet, majd az üveget megfogva, a vedret egy kötélre engedjük le a negyedik emeletről vagy fentebről. A cső nem túl kis átmérőjű és nagyon vastag falú úgynevezett vákuumtömlő (vákuum = légüres tér) kell legyen, hogy a légnyomás ne nyomja össze. Jelöljük be a kötélre, hogy mennyire kell leengedni, hogy az üvegben légüres tér jelenjen meg. Meglepő, de az üvegben a hideg víz felforr! A kísérlet ugyan megpróbáltam elvégezni, de nem sikerül, mert nem volt vákuumtömlőm. Egy 12 m hosszú vákuumtömlő elég drága. A hálózaton számos fényképet találunk a kísérletről. A vízszintkülönbségből megkapjuk a légnyomást vízoszlopmilliméterben, amit v.o.mm-nek szoktak rövidíteni. Ebből megkaphatjuk a nyomás pascalban, ha tudjuk a víz sűrűségét és 1 l víz súlyát. A sűrűséget, mivel hideg vízről van szó, 1 kg/l-nek tekinthetjük, 1 l víz súlyát pedig 9,81 N-nak. Mivel 1 l víz 1 mm magas, 1 m² alapterületű vízoszlopnak felel meg, tehát 1 v.o.mm ≈ 9,81 P. Látjuk, hogy a v.o.mm nem lenne jó nyomásegység, mivel függ a víz sűrűségétől és a helytől, ezért már régen nem használják.

A levegő nyomását ezzel a módszerrel észlelték először: a vizet nem sikerült 10 m-nél magasabbra szivattyúzni. Torricelli a kísérletet higannyal végezte el, amely 13,6-szer sűrűbb, mint a víz. Így a kísérlet már egy 1 m hosszú, egyik végén zárt üvegcsővel is elvégezhető. A levegő átlagos nyomását a tengerszinten, félúton az északi sark és az egyenlítő között 760 mm magas higanyoszlop nyomásával találta egyenlőnek, vagyis ahogy régebben mondták, 760 higanymilliméterrel (760 Hgmm). Ezt is választhatjuk a nyomás egységének, ez az *atmoszféra* („légkör”), jele atm. Ma már nem használjuk. Azt mondták, hogy értéke legyen 101 325 P (pontosan). 1 atm = 760 torr (Torricelli nevéből), de a teljesen elavult Hgmm helyett (ami függ a hőmérséklettől és a helytől) bevezetett *torr* egységet sem használjuk már. □

1.10.9 Kísérlet. * A vegyésznek gyakran van szüksége légritkításra. Ilyenkor *vízszugár-szivattyút* használ. Üvegből készült vízszugár-szivattyú látható az 1.13.3 fényképen középen. Úgy működik, hogy a rövid bevezető csövet egy erős gumi vagy műanyag csővel a vízcsapra szereljük, csőbilincsekkel fogatva oda a hajlékony csövet. Ha megnyitjuk a vízcsapot, az erős beáramló vízszugár összeszűkül és felgyorsul a bevezető cső nyílásában, és magával ragadja a kamrában lévő levegőt a 20–30 cm hosszú kifolyó csövön át. Az oldalsócsövet egy



1.10.2 fényképek: Descartes-búvár és lekötözés.

vákuumcsővel kötjük össze a légritkítandó térrel. A maradék nyomás ott 20–30 mbar-ig csökken. Műanyagból is készül, nem túl drágán kapható, de sokáig nem lesz szükségünk rá. Ha nem akarunk túl sok vizet pazarolni, fúrógéppel hajtott kis szivattyúval pumpálhatjuk bele a vizet a fürdőkádból. Levegő pumpálására is felhasználhatjuk, ha a befolyó csőre nem teszünk semmit, a kifolyó csövet pedig háromfuratú dugóval egy nagy, erős palackba vezetjük. A másik két csőből az egyik a palack fenekéig ér, ezen távozik a víz, a másik csak a tetejéig, ezen a levegő.

Ha magunk akarunk vízszugárszivattyút készíteni, legegyszerűbben fából, két darabból tehetjük, fémcsövekkel. Hasznos, ha a kifolyócső belső vége enyhén összeszűkül (befelé), mert a kiömlő vízszugár keresztmetszete annyszor nagyobb kell legyen mint a beömlő, ahányszor nagyobb a légkör nyomásánál a beömlő vízszugár nyomása. Mivel a vízvezetékben a víz nyomása rendszerint 2–10 bar-ral nagyobb, mint a légkör ≈ 1 bar nyomása, 3–11-szer nagyobb területű kiömlőnyílás kell, mint a néhány mm átmérőjű beömlőnyílás. A táguló csőben a vízszugár mintegy „magát szabályozza”. A két fa felet kifaragva, vonjuk be epoxigyantával, hogy ne nedvesedjen. Összeállítva a fémcsövekkel, összeszorítva próbáljuk ki. Ha jól működik, epoxigyantával ragasszuk össze. * □

1.10.10 Kísérlet. Sokszor elég az a légritkítés is, amit egy porszívó bír létrehozni. Egy tapadókorong letépéséhez a porszívó csőveről csak kb. 1 kp erő kellett. Mivel a cső átmérője 3,2 cm volt, a keresztmetszet területe $1,6^2 \cdot \pi$, így a légritkítés csak $9,8 \text{ N}/8,04 \text{ cm}^2 \approx 122 \text{ mbar}$. □

1.10.11 Kísérlet. Hogyan mérhetnénk a nyomást? Egy mérőkémcsőből készítsünk egy Descartes-féle búvárt: lásd az 1.10.2 fényképek közül a bal oldali. Egyszerűen ragasszuk egy mérőkémcső szájához némi összetekert drótot, úgy, hogy szájával lefelé ússzon a vízben. Tegyük bele egy műanyag palackba, ami majdnem tele van vízzel. Lezárva és összenyomva a palackot, a búvár elsüllyed, mert a levegő térfogata csökken, és így a felhajtóerő is. Leolvassva a levegő térfogatát az összenyomás előtt és után, a Boyle-törvény alapján kiszámíthatjuk, hogy a nyomás hányszorosa a légköri nyomásnak. Ha van pezsgősüvegünk, a Descartes-búvárral nagyobb nyomásokat is mérhetünk, vagy 10 bar-ig. Megmérhetjük

például, hogy egy pumpa mekkora nyomást bír létrehozni. Legyen az üveg majdnem tele vízzel, mert ekkor ha széttörük is, nem történik baj, a víz alig tágul. Ha sok lenne az üvegben a levegő, az kitágulva szerte repítené az üvegcserepeket. Az átfúrt dugót dróttal úgy kötözzük az üveg szájához, mint ahogy a középső fényképen látszik, vagy madzaggal ahogy a jobb szélső fényképen látszik. A légkörinél kisebb nyomást is mérhetünk így, kb. 0,1 bar-ig. □

1.10.12 Kísérlet. Hogyan mérhetnénk meg a légköri nyomást pontosan? Erre alkalmas eszközt, idegen szóval *barométert* Galilei-hőmérőnkéből készíthetünk. Mérjük a hőmérsékletet, és leszámítjuk a hőmérséklet okozta térfogatváltozást, így megkapjuk a légnomást okozta térfogatváltozást. Egyszer azonban meg kell tudnunk a légnomást. Ezt a világhálóról tudhatjuk meg az adott időpontban lakóhelyünkre. Azonban nem a tényleges légnomást adják meg, hanem a tengerszintre átszámítottat. Hogyan számoljuk ki belőle a ténylegest? A levegő normál sűrűsége 1,17 g/l. Először kiszámoljuk a levegő sűrűségét az aznapi hőmérsékleten és tengerszinti nyomáson. Ha mondjuk ez 1,1 g/l, akkor a következőképpen számolhatunk tovább: 1 m² keresztmetszetű, 1 m³ térfogatú levegőoszlop súlya 1,1 kp, tehát $1,1 \cdot 9,8 \approx 10,8$ N. Ezek szerint minden méter emelkedéssel 10,8 P-lal csökken a nyomás. (Egyébként pont ezt mértük meg „liftes” kísérletünkkel, úgyhogy annak eredményéből kiszámolhatjuk a levegő sűrűségét. Sajnos, az elég pontatlan mérés volt.) Ha mondjuk a térképről azt olvastuk le, hogy 200 m magasan lakunk, akkor 2160 P-lal, azaz 21,6 mbar-ral kisebb a nyomás, mint a tengerszinten. Most tudva a valódi légnomást és a hőmérsékletet, kiszámolhatjuk, hogy normál állapotban mit mutatna Galilei-hőmérőnk. Ezt írjuk fel rá. Ha gáztérfogatot mérünk, és ennek a normál nyomásra és hőmérsékletre való átszámolásához kell a légköri nyomás, akkor tulajdonképpen nem is kell kiszámolnunk a nyomást, csak megnézni, hogy Galilei-hőmérőnk a normál térfogat hányszorosát mutatja, és ezzel osztani a mért gáztérfogatot, hogy megkapjuk a gáz térfogatát normál állapotban.

Az az eljárás, amivel kiszámoltuk a valódi légköri nyomást, közelítő. Ezzel számolva, kb. 8500 m magasan nulla lenne a nyomás, egyáltalán nem lenne levegő. Valójában ott a nyomás a tengerszinten mért nyomásnak kb. a harmada. A hibát az okozza, hogy nem vettük figyelembe, felfelé haladva a nyomás csökken és ezzel együtt csökken a levegő sűrűsége is. Egyébként a hőmérséklet is változik. □

1.10.13 Kísérlet. Szó esett már a pumpáról. Mindenki tapasztalta, hogy ha huzamosabb ideig pumpálunk például egy biciklipumpával, akkor felmelegszik. Ezt főleg az okozza, hogy a levegő összenyomáskor felmelegszik. A pumpa is alul a legmelegebb, nem feljebb, tehát nem a súrlódás játssza a fő szerepet. Hogy pontosabban megértsük, honnan is ered ez a felmelegedés, kezdjük egy egyszerű kísérlettel. Egy kémcsőbe tegyünk harmadáig vizet, és egy uzsonnás zacskóból kinyomva a levegőt, ragasszuk cellulsszal a kémcső szájára a zacskó száját úgy, hogy jól zárjon. A zacskót például egy ruhacsípessel megfogva, lógassuk a kémcsövet borszeszegő vagy gázláng fölé. A víz felforr, a gőz egy része lecsapódik, felmelegíti a kémcsövet, majd a zacskót is, végül a gőz felfújja a zacskót. Ne melegítsük tovább, mert kidurran! Mi itt a meglepő? Ha jól meggondoljuk, a gőz munkát végzett, amikor a zacskót felfújta. Ne mondjuk rögtön, hogy ez nekünk haszontalan munka! Vezethettük volna a gőzt egy hengerbe, amiben egy dugattyú van, például egy felfelé fordított fecskendőbe. Ha engedjük az egészet lehűlni, a levegő nagy erővel nyomná vissza a dugattyút, és valamit felemelhetnénk vele. Tehát hóból munkát kap-

hatunk! Így működött az első gőzgép, Papin gőzgépe. Mennyi munkát kaphatunk így? Tudnunk kellene, 1 g vízből mennyi 100 °C-os gőz fejlődik. Ezt majd később megmérjük, 1 bar nyomáson kb. 1,7 dm³. Ha ezt egy 1 cm² keresztmetszetű hengerbe vezetjük, akkor a dugattyú 1,7 dm³/1 cm² = 1700 cm = 17 m hosszon mozdul el, az erő pedig 1 bar·1 cm²=100000 N/m² · 0,0001 m²=10 N (nagyjából 1 kp). Innen a végzett munka 10 N·17 m=170 J. Ha a keresztmetszet valahányszor nagyobb, az erő is annyiszor nagyobb, viszont az út annyszor kisebb: a munka mindig a nyomás szorozva a térfogattal. Mennyi hőt fektettünk be? Ha 20 °C-ról indultunk, akkor 80·4,1868+2257 ≈ 2592 joule-t. Ennek legjobb esetben is csak 5,7 százalékát kaptuk vissza. Később majd foglalkozunk a gőzgép tökéletesítésével. □

1.10.14 Kísérlet. Térjünk vissza a pumpához. Az összenyomáskor munkát végzünk. Ez a munka alakul át hővé, ezért melegszik fel a levegő. Mivel a gáznak kicsi a tömege, nem olyan könnyű a felmelegedést kimutatni, pláne pontosan mérni, pedig elég erős. A fordítottját egyszerűbb kimutatni: a kitágulásakor lehűlés következik be, mert a gáz munkát végez a környezetén (arrébb tolja a levegőt). Egyszer már észrevettük ezt, amikor a szén-dioxid sűrűségét mértük meg: a lehűlés igen jelentős volt. Sokkal egyszerűbben is észrevehetjük a lehűlést. Ha a kézfejünkre lehelünk, meleget érzünk: a kilehelt levegő olyan meleg, mint a testünk belseje. Ha azonban jól felfújt szájjal, vékony sugárban fújjuk a levegőt kézfejünkre, hideget érzünk, minél nagyobb nyomással fújjuk, annál inkább. Az összenyomott, testhőmérsékletű levegő tágulásakor lehűl, mert munkát végez (arrébb nyomja a többi levegőt). □

1.10.15 Kísérlet. Mégis, hogyan mérhetnénk meg a levegő felmelegedését összenyomáskor illetve lehűlését kitágulásakor? Mivel a levegő sűrűsége kicsi, a tömeg kicsi, így nagyon kicsi, de rendkívül érzékeny hőmérőre lenne szükségünk. Ilyenünk nincs, mégis boldogulhatunk! A trükk az, hogy érzékeny hőmérőnek magát a levegőt fogjuk használni. A „berendezés” egy nagy üvegpalack. Én egy 5 l-es demizsont használtam. Száraz legyen és hagyjuk a mérés helyén állni, hogy felvegye az ottani hőmérsékletet. Mérjük meg a hőmérsékletet és a nyomást is. A palackot dugjuk be egy jól záró kétfuratú dugóval. Az egyik furat 3–5 mm átmérőjű legyen. A másik furatba jön egy cső, amire egy elég hosszú, 2–3 m-es átlátszó hajlékony műanyag (PVC=poli-vinil-klorid) csövet húzunk. Könnyebb felhúzni, ha forró vízbe mártva megpuhítjuk; melegítésre lágyul. Engedjük le a műanyag csövet és töltsük meg nem túl hosszan buborékmentesen vízzel; ez könnyebb, ha egy-két csepp mosogatószert adunk a vízhez. Dugjuk be a dugó másik nyílását. Lassan emeljük fel a műanyag csövet. A víz összenyomja az üvegben lévő levegőt, ami picit felmelegszik. Várjunk egy kicsit, 1–2 perc alatt újra lehűl és a vízszint megállapodik. (Ha nem állapodik meg, nem jól zár a dugó.) Az asztalra tegyünk egy derékszögű vonalzót, még jobb fém derékszöveget, és olvassuk le a vízszintek különbségét. Legjobb, ha a palack felőli csőben a skála nulla osztásához állítjuk a vízszintet, és a másikat leolvassuk. Húzzuk ki a dugót a lyukból egy másodpercre, majd azonnal dugjuk be újra. A palackból levegő áramlik ki, a bennmaradó levegő pedig lehűl. 1–2 perc alatt újra felmelegszik a környezet (és a palack) hőmérsékletére. A vízszint megint megállapodik: ezt a különbséget is leolvassuk. Ismételjük meg a mérést többször, más–más magasságban tartva a csövet a kezdeti összenyomást megelőzően. Jelölje p_1 a kezdeti vízszintkülönbségnek megfelelő nyomást, p_2 pedig a végső vízszintkülönbségnek megfelelő nyomást. Milyen hőmérsékletnek felelnek ezek meg? Jelölje p a nyomást, V az edény térfogatát, T a hőmérsékletet. A lyuk kinyitása

után beálló T_2 hőmérsékletet keressük. Az általános gáztörvény szerint

$$\frac{p \cdot V}{T_2} = \frac{(p + p_2) \cdot V}{T},$$

ahonnan T_2 -t kiszámolhatjuk:

$$T_2 = T \cdot \frac{p}{p + p_2} \quad \text{és} \quad T - T_2 = T \cdot \frac{p_2}{p + p_2}.$$

Az én mérésemnél a légnyomás 999 mbar volt, a hőmérséklet 21,5 °C. A következő eredmények adódtak:

p_1 /v.o.mm	38	33	34	24	33
p_2 /v.o.mm	15	8	5	10	12
$(T - T_2)$ /mK	433	231	145	289	347

Látjuk, hogy minél nagyobb a kezdeti túlnyomás, annál nagyobb a végső túlnyomás. A v.o.mm átszámításához vegyük figyelembe, hogy 1 mm-es, 1 m² területű vízréteg térfogata 1 dm³, így súlya \approx 1 kp, azaz \approx 9,81 N. Innen 1 v.o.mm \approx 9,81 P.

A mérés nem valami pontos. Azt gondolhatjuk, hogy a térfogat változik egy kicsit. Ez is igaz, de ez nem okoz jelentős hibát. A fő hibaforrás, hogy a palack falának közelében nagyon gyorsan felmelegszik a levegő. Ezen segít valamit, ha nagy palackot választunk, hogy a faltól való átlagos távolság minél nagyobb legyen. A másik hibaforrás, hogy a kiáramlás nem szűnik meg azonnal, ahogy a nyomás kiegyenlítődtött, hanem tovább folytatódik, majd visszaszívás következik be, aztán újra kiáramlás, stb. Elvileg legjobb lenne addig nyitvahagyni a palackot, amíg a külső és belső nyomás egyenlő nem lesz, de nyomásmérőnk túl lassú, még akkor is, ha kevés vizet hagyunk a PVC csőben. Ha kicsi a túlnyomás (6–20 v.o.mm) és nagy a palack (akár 70 l) akkor pontosabb a mérés. □

Vajon akkor is lehül a táguló levegő, ha nem végez munkát? Ezt először Joule vizsgálta meg. Egy tartályból egy légüres tartályba engedett át levegőt, amíg a nyomás ki nem egyenlítődtött. Az egészet kaloriméterbe tette. Nem tapasztalt hőmérsékletváltozást. (Későbbi, pontosabb mérések a legtöbb gáznál némi lehülést, néhánynál némi felmelegedést mutattak ki, és a hőmérséklettől meg a nyomástól is függ, hogy mi történik. Ezt a molekulák közötti erők okozzák, és kis nyomásváltozásoknál a hatás elhanyagolható, jóval kisebb, mint amit a kézfejükön érzünk.) Fontos, hogy jól megértsük: „ideális gáz” esetén lehülés akkor következik be, ha a gáz munkát végez, és a lehülés a végzett munkának megfelelő. Ha egy henger dugattyúval elválasztott egyik felében valamilyen gáz van, a másik felében légüres tér, akkor ha a dugattyút fogva, engedjük a gázt kitágulni, az munkát végez nekünk, és lehül. Ha csak elengedjük a dugattyút, az jól felgyorsul, neki-ütközik a henger másik végének, energiája hővé alakul, és visszamelegíti a gázt, végül is nincs hőmérsékletváltozás. Hasonló jelenség játszódik le, ha a dugattyú helyén csap van. Ha kinyitjuk a csapot, a gáz nagy sebességgel áramlik át a légüres térbe. Ha útjába egy kis gázturbinát teszünk, és ezen keresztül munkát végeztetünk a gázzal, akkor lehül. Ha ki se vezetjük a gázturbina tengelyét, jól felpörög, majd lassan megáll, mozgási energiáját visszaadja a gáznak, és végeredményben a hőmérséklet nem változik. Ha mi hajtjuk kívülről a gázturbina tengelyét, akkor tovább melegíti a gázt.

A molekuláris magyarázat egyébként az, hogy a gázmolekulák mozgásának, forgásának, rezgésének energiája adja a gáz energiáját, az úgynevezett „belső energiát”. Ez csak

a hőmérséklettől függ, nem függ attól, hogy a molekulák milyen sűrűn vannak. Tehát nem függ a nyomástól mindaddig, amíg a molekulák közötti erők nem játszanak lényeges szerepet. Egyébként már fel is használtuk ezt az eredményt, amikor úgy okoskodtunk a vízmolekulák méretének meghatározásakor, hogy a 100 °C-os 1 atm nyomású gőzt kiterjesztjük, és nem számoltunk hőmérsékletváltozással. Ugyanott azt is használtuk, hogy az „ideális gáz” fajhője sem függ a nyomástól. Ez is azért van, mert a gáz hőmérsékletének emelése a belső energiát növeli, és ez csak a hőmérséklettől függ. Pontosabban, ez csak akkor igaz, ha a gáz térfogata állandó. Ha a nyomása állandó, akkor a gáz melegítéskor munkát végez: a munkája a nyomásszor a térfogatváltozás. Ezt a munkát is hő alakjában veszi fel, a belső energia növeléséhez szükséges hő mellett. Tehát a gázok állandó nyomáson mért fajhője nagyobb, mint az állandó térfogaton mért fajhője. Azonban „ideális gáz” esetén a térfogati munka sem függ a nyomástól: ahányszor kisebb a nyomás, annyszor nagyobbak a térfogatok, és így a térfogatváltozás is. A továbbiakban, ha külön nem mondjuk, az állandó nyomáson vett fajhőre gondolunk, mivel rendszerint állandó, légköri nyomáson dolgozunk. Van, amikor az állandó nyomáson mért fajhőnek az állandó térfogaton mért fajhő csak a 60 %-a, a hőfelvétel 40 %-a a térfogati munkára fordítódik. Tulajdonképpen nem csak gázoknál van térfogati munka, de szilárd anyagoknál és folyadékoknál, mivel a térfogatváltozás kicsi, közönséges nyomáson elhanyagolható. Ennek ellenére a szilárd anyagok és folyadékok állandó térfogaton mért fajhője jelentősen kisebb az állandó nyomáson mért fajhőnél — bár nem annyival, mint a gázoknál — mert állandó térfogaton óriási erők lépnek fel.

1.10.16 Kísérlet. Az előző kísérletben sokkal több van, mint első látásra gondolnánk. Meg tudjuk belőle határozni a levegő állandó térfogaton és állandó nyomáson mért fajhőjét is. Nem is kell új kísérletet végeznünk, csak gondolkodnunk. Az általános gáztörvény szerint a nyomás szorozva a térfogattal és osztva az abszolút hőmérséklettel állandó. Persze, ez az állandó függ a gáz mennyiségétől is, de nagyon egyszerűen: adott hőmérsékleten és nyomáson kétszer annyi tömegű gáz térfogata kétszer annyi, stb. Tehát azt írhatjuk, hogy nyomásszor térfogat osztva a hőmérséklettel egyenlő tömegszer egy másik állandó, amely már nem függ a gáz mennyiségétől, csak a fajtájától. Ebben az alakban írva fel a gáztörvényt a kísérletre,

$$\frac{(p + p_1) \cdot V}{T} = m \cdot K \quad \text{és} \quad \frac{(p + p_2) \cdot V}{T} = m_2 \cdot K,$$

ahol K az állandó, m a palackban lévő gáz tömege a kinyitás előtt, m_2 pedig a palackban maradó gáz tömege. A kiáramló gáz $m_1 = m - m_2$ tömegét innen kiszámolhatjuk: mindkét egyenletet szorozzuk végig T -vel, és az első egyenletből vonjuk ki a másodikat. Azt kapjuk, hogy

$$T \cdot K \cdot (m - m_2) = T \cdot K \cdot m_1 = (p_1 - p_2) \cdot V.$$

Az m_1 tömegű gáz (legalábbis majdnem pontosan) p nyomáson és T hőmérsékleten áramlik ki, így térfogata $(p_1 - p_2) \cdot V/p$, az általa végzett munka pedig ennek p -szerese, azaz $(p_1 - p_2) \cdot V$. Ez a munka a teljes gáz belső energiájából fedeződik, ebből ered a lehülés, azaz

$$m \cdot c_V \cdot (T - T_2) = (p_1 - p_2) \cdot V.$$

Behelyettesítve a $T - T_2$ -re kapott kifejezést,

$$m \cdot c_V = \frac{p_1 - p_2}{p_2} \cdot \frac{(p + p_2) \cdot V}{T}.$$

A jobb oldali törtenben p_2 nagyon kicsi p -hez képest. Elhagyva p_2 -t a kapott tört az általános gáztörvény szerint $p^\theta \cdot V^\theta / T^\theta$. Mivel $m/V^\theta = \rho^\theta$, a levegő normál sűrűsége (1,17 g/l), azt kapjuk, hogy

$$c_V = \frac{p_1 - p_2}{p_2} \cdot \frac{p^\theta}{\rho^\theta \cdot T^\theta}.$$

Egyszerű képletet kaphatunk a c_p/c_V hányadosra is. Gondoljuk el, hogy a felmelegedés során a gázt állandó p nyomáson, vagyis a cső két szájában a vízszintet egyforma magasan tartjuk. A levegő persze jobban kiterjed, a térfogata legyen V_2 . A végzett munka $p \cdot (V_2 - V)$. Mivel $p \cdot V_2 = (p + p_2) \cdot V$, az kapjuk, hogy a végzett munka $p_2 \cdot V$. Most a teljes hőfelvételt

$$m \cdot c_p \cdot (T - T_2) = m \cdot c_V \cdot (T - T_2) + p_2 \cdot V;$$

picit csaltunk, mert itt m helyett m_2 -nek kellene szerepelnie, de a különbség igen kicsi. Osszuk el ezt az egyenletet azzal az egyenlettel, amiből c_V -t számoltuk! Azt kapjuk, hogy

$$\frac{c_p}{c_V} = \frac{(p_1 - p_2) \cdot V + p_2 \cdot V}{(p_1 + p_2) \cdot V} = \frac{p_1}{p_1 - p_2}.$$

Ebből kiszámolhatjuk c_p -t is. Másrészt ellenőrizhetjük mérésünket is, mert a hányados mért értéke levegőre szobahőmérsékleten 1,40. Az én méréseimből számolt eredmények:

$p_1/v.o.mm$	38	33	34	24	33
$p_2/v.o.mm$	15	8	5	10	12
$c_V/(mJ/(g \cdot K))$	440	896	1663	401	502
c_p/c_V	1,65	1,32	1,17	1,71	1,57

Mint látjuk, az eredmények nagyon ingadoznak. Ennek okairól már volt szó. A két szélsőt elhagyva, a három középső átlaga $c_p/c_V = 1,51$ és $c_V = 613 \text{ mJ}/(g \cdot K)$. Egyébként c_V értéke pontos mérések szerint $721 \text{ mJ}/(g \cdot K)$. \square

1.11 Göznyomás

1.11.1 Kísérlet. Mint tudjuk, a víz nem csak 100°C -on párolog el. Már kipróbáltuk, hogy ha üveglapra egy csepp vizet cseppentünk, szobahőmérsékleten kb. fél óra alatt elpárolog. Azt is tudjuk, hogy gyorsabb a párolgás, ha melegítjük, például egy fekete alátétre téve erős (nem energiatakarékos!) lámpával melegítjük felülről. A lámpa hősugarai felmelegítik a fekete alátétet, az pedig az üveglapot. A meleg vízcseppben gyorsabban mozognak a vízmolekulák. A leggyorsabb molekulák elhagyják a cseppet: a víz párolog. Az is gyorsítja a párolgást, ha levegőt fújunk a cseppre. Ilyenkor a csepp feletti gőzből a vízmolekulák nem tudnak visszalépni a cseppbe, mert a levegő kicserélődött. Zárt edényben a párolgás megáll: egy idő után ugyanannyi vízmolekula lép vissza a vízbe, mint amennyi kilép belőle. Még a jég is párolog, csak lassan: télen, nagy hidegben az autó belülről fűtött ablakáról néha anélkül párolog el a jég, hogy megoldvadna. \square

1.11.2 Kísérlet. Nyilván érdekel bennünket, hogy a vízzel végzett Torricelli-kísérletnél miért forrt fel a víz? Tegyük egy kémcsőbe harmadáig-felég vizet, és gyertyaláng felett forraljuk fel. Forraljuk pár percig, hogy minden levegőt kiűzzünk a vízből és a kémcsőből is. Megfigyelhetjük, hogy a kiáramló vízgőz szintelen. Dugjuk be egy nagyon jól záró

gumidugóval. (Dugókat borászati szaküzletben kaphatunk.) Először csak tegyük bele a dugót a kémcső szájába, és forraljuk még egy kicsit a vizet, majd nyomjuk be erősen a dugót és egyúttal vegyük is el a kémcsövet a láng felől. A víz lassan tovább forr. Ha a dugónál fogva felfordítjuk a kémcsövet, a víz lassan forr. Ha hűtjük a felfordított kémcső alját egy nedves ronggyal, a forrás megélenkül, a gőz felül, a hűtött részen lecsapódik. Végül már kézzel is meg tudjuk fogni a kémcsövet, és a víz még mindig forr, miközben felül, a hűtött részen lecsapódik a gőz. Előbb-utóbb a beszivárgó vagy bentmaradt levegőnyomok tönkreteszik a kísérletet, de elvileg még a jégből is gőz képződne. A kísérlet után elég nehéz kihúzni a gumidugót: a kémcsőben majdnem nulla a nyomás. □

1.11.3 Kísérlet. Ugyanezt egy nagyobb (10 vagy 20 ml-es) orvosi fecskendővel is kipróbálhatjuk. Töltsük meg a fecskendőt meleg vízzel félig, dugjuk be, és húzzuk hátra a dugattyút. A vízben buborékok jelennek meg. Ezek nagy része gőz és ha visszaengedjük a dugattyút, újra lecsapódik. Marad egy kis levegő ami a vízben volt oldva. Kinyitva a fecskendőt, ezt kinyomjuk, majd megismételjük az előbbit. A víz felforr, de visszaengedve a dugattyút a gőz újra lecsapódik. Figyeljük meg, hogy miközben a víz forr, a dugattyú húzásához állandó erő kell, tehát a nyomás nem változik. Egyébként hiába hűl a víz, többször megismételhetjük a játékot, míg végül a beszivárgó levegő tönkreteszi a kísérletet.

Mi is történik itt? Csökkentettük a nyomást (vagy a kémcsőnél csökkent a gőz lecsapódása miatt), de a meleg víznek van valamekkora gőznyomása. Ha ez meghaladja a nyomást, a víz belsejében is buborékok képződnek: a víz felforr. A hidegebb részekben a gőz lecsapódik, csökken a nyomás, a víz tovább forr, stb. A víz tehát annál alacsonyabb hőfokon forr, minél kisebb a nyomás. Ezért a víz forráspontja nem is mindig 100 °C, hanem függ a nyomástól. A 100 °C normál légköri nyomásra, 1 atm-ra vonatkozik. □

1.11.4 Kísérlet. Vajon a nyomás növelésekor meg nő a forráspont? Igen, például a kukta fazékban ezt használjuk fel: megnövelt nyomáson nő a víz forráspontja, a forróbb vízben gyorsabban puhul meg az étel. Nézzünk erre is egy kísérletet. Egy nagyobb (20, 50 vagy 100 ml-es), felfelé fordított, üres orvosi fecskendőbe hideg időben *szabadban, a közelben minden lángot eloltva, izzást megszüntetve* spricceljünk egy kevés butángázt vagy öngyújtózást. A „gáz” (bután vagy propán-bután keverék, főleg bután) tulajdonképpen nyomás alatt cseppfolyósított folyadék. Gyorsan elpárolog, hátranyomja a dugattyút, és a fecskendő lehül. Ha maradt még folyadék, felfelé fordítva a fecskendőt, mert a butángáz nehezebb a levegőnél, várjuk meg, míg mind elpárolog. Közben a fecskendő szájánál kiáramló gőzön átnézve láthatjuk az „árnyképet”. Dugjuk be a fecskendőt, és jó erősen nyomjuk előre a dugattyút! Elég nagy nyomásnál a gőz (vagy legalábbis egy része) cseppfolyósodik. Ha hátraengedjük a dugattyút, a folyadék elpárolog. Gyorsan dolgozzunk, mert a hideg gáz kisebb nyomásnál cseppfolyósodik. Többször próbálkozva észrevehetjük, hogy ha felmelegszik a fecskendő, nagyobb nyomás kell a cseppfolyósításhoz. A propán-bután keverékkel is megy a kísérlet, de nagyobb nyomás kell, a propán nehezebben cseppfolyósodik, mint a bután. Egyébként a „bután” is keverék, mert kétféle bután van, és nem egyforma a forráspontjuk. □

1.11.5 Kísérlet. Vajon összenyomással minden gázt sikerül cseppfolyósítani? Gondolkozzunk el az előző kísérleten. Ha nő a hőmérséklet, nő a forráspont, és sokkal nagyobb nyomás kell a butángáz cseppfolyósításához. A nagyobb hőmérsékleten a folyadék sűrűsége kisebb. A sokkal nagyobb nyomás miatt viszont a butángáz sűrűsége nagyobb. Egyszer

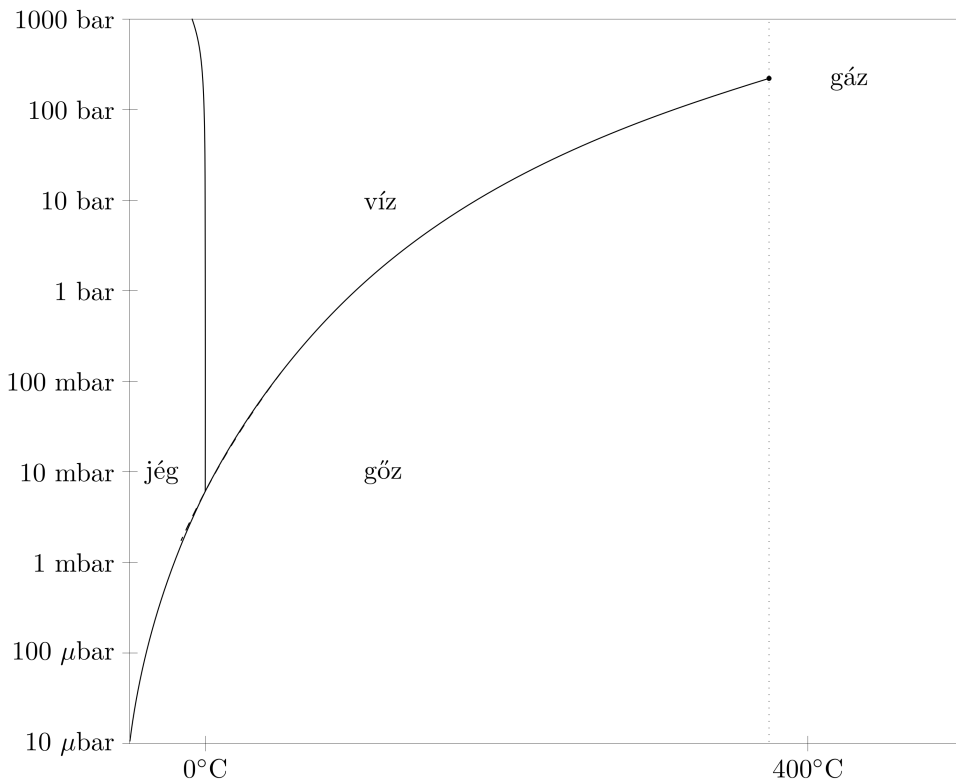


1.11.1 ábra: kritikus állapot.

csak elérünk egy olyan hőmérséklethez és olyan nagy nyomáshoz, hogy a cseppfolyós bután és a butángőz sűrűsége egyforma. Ekkor mindkettőben butánmolekulák mozognak össze-vissza, és átlagosan egyforma sűrűn vannak. Mi különbözteti meg ekkor a kettőt? Semmi! Valóban van ilyen hőmérséklet, nyomás és sűrűség minden anyagra. Ezt szokás *kritikus hőmérsékletnek*, *kritikus nyomásnak* és *kritikus sűrűségnek* nevezni. Ezen hőmérséklet felett nincs külön cseppfolyós és gőz halmazállapot, csak kisebb-nagyobb sűrűség. Szokás csak e fölött *gázzal* beszélni, ez alatt *gőzzel*, de ezt nem nagyon fogjuk betartani. Persze a kritikus nyomás jó nagy, nagyságrendben 100 bar kell legyen, hiszen közönséges nyomáson a gázok sűrűsége több százszor kisebb, mint a folyadékoké. A kritikus hőmérséklet általában a forráspontnak másfélszerese, ez a *Guldberg–Guye-szabály*. (Hasonló, közelítő szabály az olvadáspontra, hogy az nagyjából a kritikus hőmérséklet 44 %-a.) Az anyagok a kritikus hőmérséklet felett kis nyomáson tipikus gázok, nagyon nagy nyomáson, úgynevezett *szuperkritikus* állapotban viszont inkább a folyadékokhoz hasonlítanak, sok anyagot feloldanak, de a viszkozitásuk kicsi, inkább a gázokéhoz áll közel. Sok szép ásvány ilyen szuperkritikus vízből vált ki.

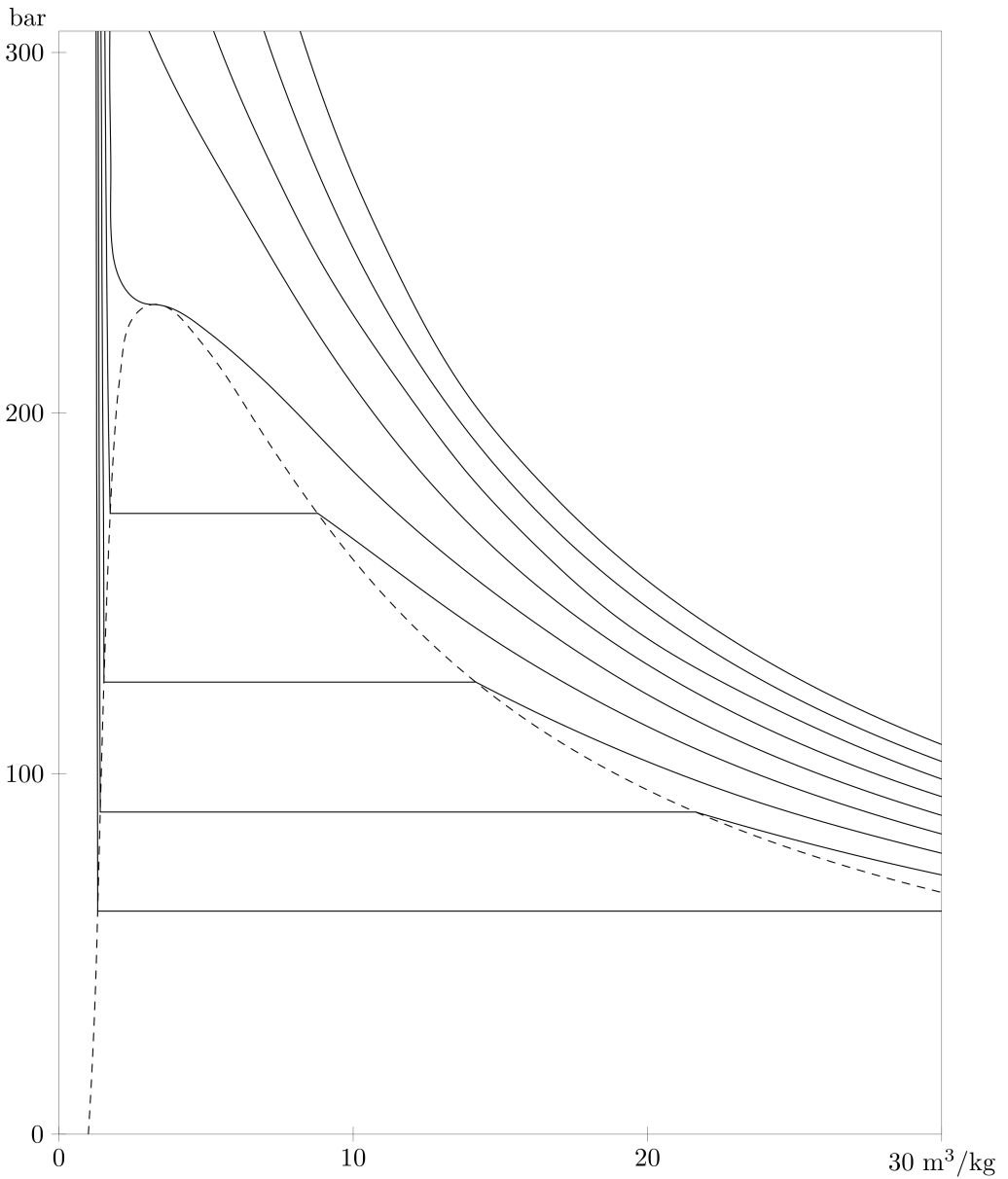
Jó lenne a kritikus állapotot látni is. Egy vastag falú üvegcsőbe zárva a butánt és melegítve, látható a kritikus állapot bekövetkezése. Ez azonban elég veszélyes kísérlet, mivel ha az üvegcsővön akár csak egyetlen karcolás van, a nagy nyomástól könnyen szétrobbanhat. Biztonságosabb egy acélcső, és anyagnak választhatjuk a szén-dioxidot, aminek kritikus hőmérséklete 31,0 °C, kritikus nyomása 73,8 bar (ezt az acélcső kibírja). De hogy fogjuk észrevenni a kritikus állapot bekövetkezését? A trükk, hogy egy szén-dioxid patronból kis mérleget készítünk, az 1.11.1 fényképeken látható módon. Melegben, vagy langyos vízben 31 °C fölé felmelegítve a kis mérleget, a patron tologatásával elérhetjük, hogy nagyjából egyensúlyban legyen, és kibillentve az egyensúlyi helyzetből, abba visszabilenjen. Tegyük be a mérlegecskét a mélyhűtőbe! A szén-dioxid egy része cseppfolyósodik. Most kibillentve az egyensúlyi helyzetből, a folyadék a lentebbi részre folyik, és a mérlegünk úgy marad. Ha a másik fele billentjük, ott is megáll; lásd a bal oldali és a középső képet. Ha felmelegszik, a szén-dioxid homogén gáz lesz, a patron újra mérlegként billeg: lásd a jobb oldali képet. Ez csak akkor következik be pontosan a kritikus hőmérsékleten, ha a patronban éppen a kritikus sűrűségnek (0,468 kg/l) megfelelő tömegű szén-dioxid van. Ha kevesebb van, akkor már a kritikus hőmérséklet alatt az összes elpárolog, és homogén gőz tölti meg a patron. Ha több van, akkor a folyadék egyre tágul, és homogén folyadék tölti be a patron, mielőtt elérnénk a kritikus hőmérsékletet. Ezért is nehéz bemutatni a kritikus állapotot. Ha mégis látni szeretnénk, keressünk képeket a világhálón. A kísérlet egyébként a habszifon patronban lévő gázzal is elvégezhető: annak kritikus hőmérséklete 36,43 °C, kritikus nyomása 72,7 bar, kritikus sűrűsége pedig 0,4525 kg/l. □

1.11.6. A víz állapotábrája. Az 1.11.2 ábra a víz úgynevezett *állapotábrája*. A hő-



1.11.2 ábra: a víz állapotábrája.

mérséklet és a nyomás függvényében megadja, hogy a víz milyen halmazállapotban van. Alacsony nyomáson gőz (pontosabban *telítetlen gőz*) állapotban, magasabb nyomáson a hőmérséklettől függően vízként (azaz folyadékként) vagy jégként (azaz szilárd anyagként) van jelen. A kritikus hőmérséklet, $374,5\text{ °C}$ felett, a pontozott vonaltól jobbra már gázhalmazállapot van, a nyomástól függetlenül. Nyilván mindegyik (jég, víz, gőz, gáz) *fázis* tartományában — bizonyos határok között — a hőmérséklet és a nyomás is szabadon változhat. Erre azt mondjuk, hogy a rendszer *szabadsági foka* kettő. A víz és gőz tartományának közös határán levő görbe a víz gőznyomását adja meg a hőmérséklet függvényében, ez a *gőznyomásgörbe*. Fordítva is felfoghatjuk, hogy a görbe a forráspontot adja meg a gőznyomás függvényében; ekkor azt mondjuk, hogy ez a *forráspontgörbe*. A görbén mozogva két fázis van, víz és gőz, de csak egy szabadsági fok: a hőmérséklet meghatározza a nyomást, és fordítva is. Ebben a helyzetben, amikor a gőz vízzel érintkezik, *telített gőzről* beszélünk. Ennek a görbének a végpontja a kritikus pont. A jég és víz tartományának közös határa az *olvadási görbe*. Mint látjuk, a nyomás növekedésével az olvadáspont csökken. Végül a jég és gőz tartományának közös határát alkotó görbe a jég párolgásának felel meg, ez a *szublimációs görbe*; ezen mozogva a jég (telített) gőzzel van egyensúlyban. Ezekon a görbéken mozogva is két fázis van és egy a szabadsági fok. Végül ahol a három görbe találkozik, ott három fázis van és nulla szabadsági fok. Ez a víz *háromspontja*. Figyeljük meg, hogy az anyagok száma (itt egy) plusz kettő a fázisok



1.11.3 ábra: a víz nyomása.

száma plusz a szabadsági fokok száma. Ez bonyolultabb rendszereknél is így lesz, ez a *fázisszabály*.

Mi a helyzet a térfogattal? Amikor csak egy fázis van, az anyagmennyiség (azaz a tömeg) a nyomással és a hőmérséklettel meghatározza a térfogatot. Ha két fázis van, akkor a nyomásból és a hőmérsékletből csak az egyiket, de mindkét fázis tömegét ismernünk

kell, hogy meghatározzuk a térfogatot. Végül ha három fázis van, azaz a hármaspontban, a nyomás és a hőmérséklet adott, de mindhárom fázis tömegét ismernünk kell, hogy meghatározzuk a térfogatot. Az 1.11.3 ábra a kritikus pont közelében ábrázolja a nyomás függését a térfogattól (folytonos görbék), rendre 275, 300, 325, 350, 374,1 (ez a kritikus hőmérséklet), 400, 425, 450 és 475 °C-on. A kritikus hőmérséklet alatti görbéken látjuk, hogy a telítetlen gőz nyomása a térfogat csökkentésével nő, majd megkezdődik a víz lecsapódása, és a térfogat csökkentésével a nyomás nem nő tovább. Ez felel meg a vízszintes szakasznak. Ekkor telített gőz és forráspontján lévő víz van jelen. Ez addig tart, míg a telített gőz mind le nem csapódik, utána a további térfogatcsökkentéstől a folyadék nyomása igen gyorsan emelkedik. A kritikus hőmérsékleten is a térfogat csökkentésével nő a nyomás, de a kritikus pontnál, azaz a kritikus térfogatnál (3,18 l/kg), amikor a nyomás a kritikus nyomás (221,29 bar), a görbe vízszintesbe fordul, de aztán tovább emelkedik. Még magasabb hőmérsékleten a görbe jobban hasonlít egy ideális gáz összenyomási görbéjéhez. Egyébként a kritikus hőmérséklethez közeledve a párolgási hő egyre gyorsabban csökken, és a kritikus hőmérsékleten nullává válik.

* Van-e valamilyen, legalább közelítő összefüggés a sűrűségre? Igen: a T hőmérsékleten a folyadék vagy szilárd anyag $V(T)$ térfogatának illetve $\rho(T)$ sűrűségének és a V_k kritikus térfogatának illetve ρ_k kritikus sűrűségének hányadosa nagyjából

$$\frac{V_k}{V(T)} = \frac{\rho(T)}{\rho_k} = 1 + 2,73\sqrt{1 - 0,95T/T_k},$$

ahol T_k a kritikus hőmérséklet. (A képlet a kritikus hőmérséklet közvetlen közelében nem érvényes.) Például vízre a térfogatot 273,15 K-en 1 l/kg-nak véve, a kritikus térfogatra 3,11 l/kg-ot kapunk; egész tűrhető közelítés. *

1.11.7 Kísérlet. Miközben a víznek fecskendőben, alacsony hőmérsékleten való forrását vizsgáltuk, először mindig kivált az oldott levegő. A nyomást növelve, és rázogatva a vizet a levegővel, egy része visszaoldódik, de jobb lesz ezt a folyamatot a vízben jobban oldódó gázzal megvizsgálni. A szén-dioxid sokkal jobban oldódik vízben, mint a levegő. A vízben való oldásával készül a *szódavíz*. Szívjunk fel egy nagyobb fecskendőbe kb. félig szódavizet vagy szénsavas ásványvizet. Kinyomva a levegőt, dugjuk be a fecskendőt. Hátrahúзва a dugattyút, buborékok keletkeznek, de visszaengedve nem tűnnek el azonnal. Ezek nem gőz, hanem szén-dioxid buborékok. Nyomjuk erősen a dugattyút és rázogassuk a fecskendőt. A szén-dioxid jó része újra elnyelődik. A játékot többször megismételhetjük. Elég sok szén-dioxidot felszabadítva a szódavízből, óvatosan nyomjuk ki a víz egy részét a kicsit meglazított dugó mellett. Elég nagy nyomással még mindig szinte az összes szén-dioxidot el tudjuk nyeletni a kevesebb vízzel is. A gázok folyadékokban való oldódását idegen szóval *abszorpciónak* nevezzük. (A *szorbcio* szó elnyelést jelent, ellentettje a *deszorpcio*.) Az abszorpcióra *Henry törvénye* érvényes: az oldott gáz mennyisége (egyensúlyban) arányos a nyomással. A magyarázat egyszerű: adott hőmérsékleten az időegység alatt a folyadékfelületbe ütköző gázmolekulák száma arányos a nyomással, ezek lépnek be a folyadékba. A folyadékból kifelé haladó, a felületen átlépő gázmolekulák száma pedig a oldatbeli koncentrációval arányos. Egyensúlyban a kettőnek meg kell egyeznie. Ez a törvény mégis csak közelítés, akkor érvényes, ha a gázmolekulák nem reagálnak a folyadékkal. Ha van kémiai reakció a folyadék és a gáz között, akkor rendszerint nagyon nagy az oldhatóság, tehát Henry törvénye általában akkor érvényes, ha nem túl nagy az oldhatóság. A legtöbb



1.11.4 fényképek: száraz jég.

folyadékra és gázra szokásos nyomásokon jó közelítés. A gázok oldhatósága folyadékban függ a hőmérséklettől is, a hőmérséklet növekedésével általában erősen csökken. Egyébként egyéb anyagok oldása is csökkenti a gázok oldhatóságát: megszóva a szódavizet, felpezseg. □

1.11.8 Kísérlet. A butánnal végzett kísérletnél észrevettük, hogy erősen lehűlt a fecskendő, mikor belespricceltük a „gázt”. A párolgás lehűléssel jár. Ezért szoktuk megfűjni a forró levest: gyorsítjuk a párolgást, és ezzel a lehűlést. A párolgáskor a leggyorsabban mozgó molekulák hagyják el a folyadékot, ha a felszínen éppen kifelé mozognak. A visszamaradó molekulák átlagsebessége kisebb lesz, így a folyadék lehűl. Tévedés lenne azonban azt hinni, hogy a gőzben lévő molekulák átlagsebessége nagyobb lesz: gyorsabb mozgásuk többletenergiája arra használódik el, hogy elszakadjanak a folyadéktól, tulajdonképpen hogy legyőzzék a felületi feszültséget. Mennyi hó kell a párolgáshoz, például víznél? Ha felmelegítjük a vizet a forráspontonra, elforraltjuk, kiterjesztjük a gőzt, és lehűtjük, ugyanott vagyunk, mintha elpárologtatjuk a vizet. Mivel minden °C melegítéshez grammonként $\approx 4,2$ J kell, aminek a felét visszkapjuk a gőz lehűtésekor, a párolgáshó 1 g-ra 100 °C alatt fokonként 2,1 J-lal nagyobb a forráshőnél. A párolgáshőt kimutathatjuk, ha például vizes vattát tekerünk egy hőmérő gömbje köré és egy befőttes gumival odafogatjuk. A hőmérőt kössük egy madzagra, és kb. 1 percre forgassuk, majd olvassuk le. A forgatás célja, hogy élénk levegőáramlás legyen a hőmérő körül. Vegyük le a vizes vattát, hagyjuk vagy 10 percre így a hőmérőt, és újra olvassuk le a hőmérsékletet. Én a forgatás után 16,5 °C-ot mértem, később 22,0 °C-ot. (A kísérlet nem mindig sikerül, lásd egy kicsit később.) Még nagyobb különbséget kaphatunk denaturált szeszrel (ez mindig sikerül). A borszesznek ugyan kisebb a párolgáshője, mint a víznek, de alacsonyabb a forráspontja, így gyorsabban párolog. Bután „gázzal” a különbség drasztikus: pillanatok alatt akár 30 °C-kal is csökkenhet a hőmérséklet. □

1.11.9 Kísérlet. Még nagyobb hőmérsékletesést kaphatunk egy szén-dioxid patronnal. Tegyük be a mélyhűtőbe egy szűrőszerszámmal, egy konyhai kesztyűvel és egy vászondarabbal együtt. Egy nap múlva vegyük ki, a kesztyűvel fogva a vászondarabból formáljunk a patronra kis zsákot, majd ezen keresztül szűrjük ki a patron. A kiáramló folyékony szén-dioxid olyan gyorsan párolog, hogy egy része megfagy. Ez a szilárd szén-dioxid a

„szárazjég”, $-78,5\text{ °C}$ -os. Az 1.11.4 fényképeken az így készült szárazjeget láthatjuk fél percenként fényképezve. (A patron külsején a levegőből kifagyott vízpára van.) Figyeljük meg, hogy a szárazjég nem olvad el, hanem megolvadás nélkül elpárolog: innen a neve. Ez a jelenség a szublimálás. Az magyarázza, hogy a szárazjég gőznyomása jóval előbb eléri az 1 atm-át, mint ahogy megolvadna. Az olvadáspontja $-56,4\text{ °C}$, itt a gőznyomása már 5,13 atm. Fa hengerben fa dugattyúval szokták összepréselni és így hozzák forgalomba. Így 20 g akár három-négy óráig is megmarad. Hűtő hatása még erősebb, ha olyan folyadékkal keverjük össze, amely nem fagy meg, például szesszel. Még erősebb lesz a hűtő hatás, ha csökkentjük a nyomást: Faraday így ért el először -100 °C -ot. Egyébként a levegőből a vízgőznek a patron külsejére való kifagyása a szublimálás ellentéte.

Hogy van ez? Amikor arról volt szó, hogy a gázok táguláskor lehűlnek, a szén-dioxidot hoztuk fel példának, most meg azt állítottuk, hogy a lehűlést a folyékony szén-dioxid párolgása okozza. Valójában mindkét jelenség szerepet játszik. Most jól lehűtöttük a patron, így főleg a folyadék párolgása játszott szerepet. Ha viszont a szén-dioxid kritikus hőmérséklete, $31,0\text{ °C}$ felett szűrjük ki a patron, biztosak lehetünk benne, hogy csak a gáz tágulásáról van szó. □

1.11.10 Kísérlet. Ha nagyobb darab szárazjéghez jutunk, érdekes jelenséget láthatunk, ha egy vasgolyót teszünk rá. Ropogó hang hallatszik, és a golyó forgásba jön. A jelenség magyarázata, hogy a csaknem 100 °C -kal melegebb jó hővezető vasgolyó alatt gyorsan szublimál a szén-dioxid. Ez adja a ropogó hangot és hozza forgásba a golyót. Hasonló jelenséget tapasztalunk, ha elég forró vaslapra ($240\text{--}350\text{ °C}$) vizet cseppentünk: kis gömb alakú vízcseppek szaladgálnak sisteregve összevissza. Gőzréteg választja el őket a vaslaptól, és az egyenetlenül fejlődő gőz lökdösi ide-oda. Alacsonyabb hőfokon szétfolynak és gyorsan elpárolognak. □

1.11.11 Kísérlet. Látványos kísérlet, ha egy pohár vízbe egy darab szárazjeget dobunk. A szárazjég gyorsan párolog, szén-dioxid buborékol ki a vízből, és köd gomolyog az asztal közelében: a hideg szén-dioxid hatására vízpára csapódik ki. Ha nem jutunk szárazjéghez, keressünk a hálózaton egy videót erről. □

1.11.12 Kísérlet. Más anyagok is vannak, amelyek szublimálnak. Mindenki ismeri a mondást: „eltűnt, mint a kámfor”. A kámfor is szublimál, ezért látszólag nyomtalanul eltűnik, valójában elpárolog. * A gyakran kezünkbe kerülő anyagok közül a *koffein*, a tea és a kávé hatóanyaga szublimál. Ezen az alapon könnyen ki is nyerhetjük. Egészen kis méretekben csak két mikroszkóp tárgylemezre lesz szükségünk. Ha tudjuk, az egyiket vágjuk hosszában félbe. Ezt a keskeny üvegcsíkot fogjuk a bal kezünkbe és a végére tegyünk pár tealevelet, egy összetört kávészem darabkáit, vagy egy kevés neszkávét. A másik üveglemezt fogjuk jobb kezünkbe, és a bal kezünk felőli élével támasszuk a keskeny csíkra a bal kezünkhöz közel, úgy, hogy elég kis szöveget zárjon be a kettő. Kis gyertyaláng felett, először magasabban, kezdjük az anyagot melegíteni. 5–10 másodperc után vegyük el a láng felől, és csúsztassuk fölé a felső üvegcsíkot. Kis folt jelenik meg a felső lemezen. Ha már nem nő tovább, csúsztassuk vissza a felső üvegcsíkot, és melegítsük újra 5–10 másodpercig az anyagot. Az első néhány alkalommal csak a vízgőz desztillál a felső lemezre és el is párolog. Ha már kiszáradt az anyag, esetleg kicsit erősebben melegítve, a kis folt megmarad. (Számítsunk arra, hogy túl erős melegítéstől az üvegcsík elpattan.) Tovább ismételve a játékot, ha már úgy érezzük, nem nő tovább a folt, csúsztassuk arrébb a felső lemezt. Ha nem keletkezik újabb folt, a szublimáció befejeződött. A koffein rúd alakú

kristálykái a felső lemezen csak mikroszkópban, kb. 100-szoros nagyításban látszanak. *

□

1.11.13 Kísérlet. Tegyük egy lábasba valamennyi vizet, és tegyük bele az alumínium szalagból vagy függőnsínből hajlított háromágú csillagot. Egy csavaros fedelű üveget töltsünk meg kb. 2/3-áig vízzel, csavarjuk rá a fedelét, majd fejjel lefelé tegyük a lábasba, és a víz alatt csavarjuk le a fedelet és vegyük ki. Kezdjük az egészet melegíteni. Az üveg az alumínium csillagon álljon, hogy a lábas forró aljától nehogy elpattanjon. Az üvegben a „levegő” elkezd tágulni, és még mielőtt a víz felforr, kezd kibuborékolni az üvegből. Hogy lehet ez, mikor az abszolút hőmérséklet legfeljebb 1/3-ával emelkedett, és a levegő még a felég sem tölthetné meg az üveget? A víz is párolog, a vízgőz nyomása hozzáadódik a levegőéhez, az üvegben a kb. 1 bar nyomás nagyjából felét a levegő nyomása, másik felét a vízgőz nyomása adja ki. Ha forraljuk egy darabig a vizet, majd hagyjuk az egészet lehűlni, látjuk, hogy alig maradt levegő az üvegben. Ami kibuborékol, annak kezdetben a fele, később már nagy része vízgőz. □

1.11.14 Kísérlet. Végezzük el a kísérletet mérésre is alkalmas formában. Majdnem ugyanarra a berendezésre lesz szükségünk, amit annak kimutatására használtunk, hogy a levegő táguláskor lehül. Egy borosüveget dugjunk be nagyon jól záró gumidugóval, amit átfúrunk, és például fémcső nyúlik át rajta. A fémcsőnek az üvegből kiálló végére húzzunk vagy 2–3 m-es átlátszó hajlékony PVC csövet. A cső nagy részét töltsük meg vízzel buborékmentesen. A víznek a cső két szárában egyforma magasan kell állnia, ha buborékmentes. Dugjuk be a dugóval az üveget, a csövet az üveg nyaka mellett vezessük lefele. Kötözzük ki valamihez az üveg nyakát a csővel, nehogy felboruljon, és a cső másik végét is megfelelő magasan. (Én a konyhaszekrény felső részének fogantyúin dugtam át egy csövet, és ahhoz kötöttem.) Ha az üveget bedugjuk a dugóval, a cső két szárában beáll valamilyen vízszint. Egy hosszabb injekciós tűt szúrjunk át a gumidugón. Óvatosan, lassan nyomjuk, mert könnyen elhajlik! Derékszögű vonalzóval vagy inkább fém derékszöggel mérjük meg mindkét szárban a vízszint magasságát az asztaltól. (Egyformának kell lennie.) A tűhöz csatlakoztatott fecskendőből meghatározott mennyiségű gázt nyomunk az üvegbe. Én 20 ml öngyújtógázt használtam. A cső emelésével újra állítsuk be az üveghez közeli szárban a vízszintet az előzőre, és mérjük meg a másikban. Nekem a beállított vízszint 20 mm volt, a mért vízszint 288 mm. A nyomásnövekedés $268 \cdot 9,81 \approx 2629$ P. A légnyomás 1003,2 mbar volt. A palack térfogata 767 ml, a cső belső átmérője 4 mm, és mintegy 30 cm-ben volt levegő, így a teljes térfogat 771 ml. A gáz nyomása a palackban a levegő nélkül $1003,1 \cdot 20/771 \approx 26,02$ mbar, azaz 2602 P lenne. Megállapíthatjuk, hogy a gázok saját *részleges nyomása* — idegen szóval *parciális nyomása* összeadódik. Ez *Dalton törvénye*. Mivel az általános gáztörvény nem pontos, ez is csak közelítő jellegű. A kísérletet könnyen megismételhetjük más gázokkal, illetve más mennyiségekkel is: a fecskendőt kivesszük, esetleg más méretre cseréljük, és más gázzal, például szén-dioxiddal, habpatronban lévő gázzal töltjük meg egy műanyag zacskóból, amelyet úgy töltünk meg a gázzal, mint a széndioxid sűrűségének mérésekor tettük.

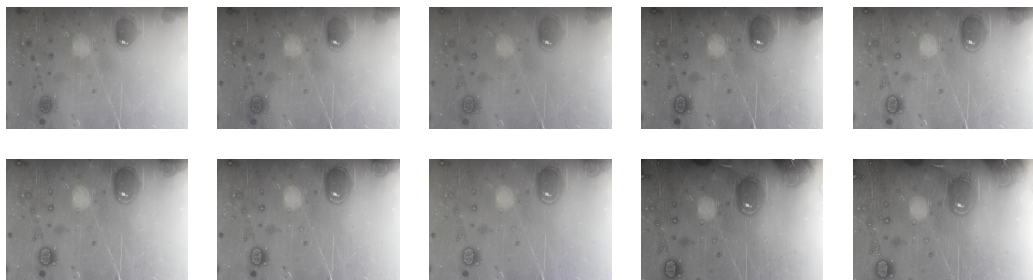
1.11.15 Kísérlet. Bár mérésre nem alkalmas, kémiai szempontból fontos az előző kísérletet megismételni gőzökkel. Dugjuk be az száraz üveget a gumidugóval, és határozzuk meg a vízszint magasságát az asztal felett mindkét szárban (most nem egyforma). Egy kis, mondjuk 1 ml-es fecskendőbe szívjunk fel néhány tized ml gyógyszerári benzint. A tűt szúrjuk át a gumidugón, és lassan csepegtessük a benzint a palack aljára. Állítsuk be

az üveghez közeli szárban a vízszintet az előző magasságra, és olvassuk le az új szintkülönbséget. Húzzuk ki a tüt, és egy másik fecskendőből csepegtessünk vizet a palack oldalára, megdöntve a palackot és lassan forgatva. Újra mérjük meg a nyomásnövekedést: az nagyobb lett. Érthető, a palackban most már benzingőz mellett vízgőz is van. Csak tájékoztatásul: nekem a kezdeti 10 v.o.mm túlnyomás a benzintől 133 v.o.mm-re nőtt, majd a víztől tovább nőtt 263 v.o.mm-re. A kísérlet azért nem alkalmas mérésre, mert a benzin összetétele változó, és mindig tartalmaz a levegő valamennyi vízpárát. Ráadásul a párolgás lehűléssel is jár.

Ismételjük meg a kísérletet, de most denaturált szeszszel és vízzel. A kezdeti 15 v.o.mm túlnyomás a denaturált szesztől 151 v.o.mm-re nőtt. A víz beadásakor tovább emelkedett, de hamarosan elkezdett csökkenni, és 98 v.o.mm-nél állapotodott meg. Mi magyarázza ezt? A víz és a benzin nem keverednek. Ha egy vízmolekula a benzinfelülethez ütközik, visszapattan. Hasonlóan, ha egy benzinszész molekula vízfelülethez ütközik, visszapattan. A víz és a benzin gőznyomása egymástól független. Nem így a szesz és a víz: ezek keverednek. Kezdetben a palack oldalán lévő vízcseppekből elpárolgó víz megnöveli a nyomást. Azonban a szeszecseppekhez ütköző vízmolekulák belépnek a cseppbe, és felhígítják azt. Ebből már ritkábban lépnek ki szeszecseppek. Hasonlóan, a vízcseppekhez ütköző szeszecseppek belépnek a cseppbe, és az ilyen cseppből már ritkábban lépnek ki vízmolekulák. Végül az összes cseppben a szesz és a víz koncentrációja egyenlő lesz. Egy ilyen cseppből vegyesen lépnek ki víz- és szeszecseppek, gőznyomása nagyobb, mint a vízé, de kisebb, mint a denaturált szeszé. □

Mi történik, ha vizet és benzint együtt desztillálunk? NE PRÓBÁLJUK KI! A kettőnek a gőznyomása összeadódik, így a keverék gőznyomása mindkettőnél hamarabb eléri a külső légnyomást. Mindkettő párolog, és a lecsapódott gőz szétválik vízre és benzinre. A benzint ugyan nincs értelme így desztillálni, mert magában is kiválóan desztillálható, de az elvet felhasználják *illóolajok* lepárlására, például a rózsa, levendula olajának és más illatos olajoknak a kinyerésére. Ezek az olajok olyan magas hőfokon forrnak, hogy ott már el is bomlanak, így egyszerű lepárlással nem nyerhetők ki. A vízzel nem keverednek, így ha (rendszerint külön fejlesztett) vízgőzt vezetünk egy tartályban lévő rózsaszirmokhoz, a rózsaolaj gőznyomása hozzáadódik a víz gőznyomásához, így az is párolog: innen az illóolaj elnevezés. A gőzöket lecsapatva az illóolaj elválik a víztől. Ez az eljárás a *vízgőzdesztillálás*.

1.11.16 Kísérlet. Egy lehetőleg fekete kólásdoboznak vágjuk le a tetejét. Tegyük bele feléig-harmadáig vizet, egy hőmérőt, amivel előzőleg megmértük a levegő hőmérsékletét, egy jégkockát, és kezdjük el kavargatni. Figyeljük a külsejét, hogy mikor lesz párás. Ezért jó, ha fekete a külseje, mert azon hamarabb meglátszik a pára. Amikor bepárásodik, olvassuk le a hőmérőn a hőmérsékletet. Ez a *harmatpont*. Nekem 28,2 °C-nál a harmatpont 19,1 °C volt. A magyarázat az, hogy a levegő általában nem teljesen telített vízgőzre, kivéve ha minden úszik a vízben. Alacsonyabb hőmérsékleten kisebb a víz gőznyomása. azon a hőmérsékleten, amin a levegő telített lesz vízgőzre, tehát amikor a víz parciális nyomása (ami a hűtéssel nem változik) egyenlővé válik a víz gőznyomásával az adott hőmérsékleten, akkor kezd kiválni a pára „harmatként”. Az én kísérletemben a harmatpont 19,1 °C volt. Ezen a hőmérsékleten a víz gőznyomása 2209 Pa. A levegő hőmérséklete 28,2 °C volt. Ennél a víz gőznyomása 3824 Pa. Tehát a páratartalom a maximálisnak csak $2209/3824 \approx 0,5778$ -ed része, azaz nagyjából 58 %-a. Ez a *relatív páratartalom*. Közvetlenül is lehet mérni, a műszer készítését lásd a fizika részben. Fő alkatrésze egy szőke



1.11.5 fényképek: kis cseppek.

női hajszál. Legtöbbször a relatív páratartalmat adják meg.

Most meg tudjuk magyarázni, a vizes vattás hőmérő forgatásánál miért mondtuk, hogy a hőmérő rendszerint lehül: mert 100 %-os relatív páratartalomnál nincs párolgás, nincs lehülés, de ez ritka. Szesztes vattánál biztos a lehülés: 100 %-os relatív szesztartalom nem szokott lenni a levegőben. □

1.11.17 Kísérlet. Nagyon egyszerű eszközökkel egy nagyon fontos kísérletet fogunk elvégezni. Csak egy jó erősen nagyító lupéra van szükségünk. Fogjunk egy jól zárható kis üveget, vagy még jobb, egy kis téglatest alakú műanyag dobozt, és leheljünk bele. Pára csapódik le a belső felületen. Zárjuk be, világítsuk meg oldalról erősen zseblámpával, és figyeljük a nagyítóval a parányi cseppeket. Kezdetben valószínűleg nem is látjuk őket, olyan kicsik. Pár perc alatt egyes cseppek megnőnek, a pára nagy része pedig eltűnik, különösen a nagyobb cseppek közelében. Valóságos „udvar” alakul ki a nagyobb cseppek körül. Ez a folyamat egyre lassabban, de tovább folytatódik, a kis cseppek elpárolognak, a gőz a nagy cseppekre csapódik le. A folyamat az 1.11.5 fényképsorozaton is megfigyelhető, de egy tízszeres nagyítású jó lupéval még jobban látható.

Mi is történik itt? Emlékezzünk vissza a vízmolekulák méretét meghatározó gondolat-kísérletünkre, amelyben egy 1 cm³-es vízkockát vágunk szét $\approx 0,2$ nm-es vízmolekulákra. Ha csak minden tizedik vágást csináljuk meg, akkor 1000 vízmolekulából álló kis kockákat kapunk, és a munka tizedrészét végezzük el. Ezek a kockák 10 %-kal kevesebb munkával párologtathatók el, tehát gőznyomásuk 10 %-kal nagyobb, mint a nagy kockáé. Ha csak minden századik vágást végezzük el, akkor 1 000 000 vízmolekulából álló kockákat kapunk, amelyek gőznyomása 1 %-kal nagyobb, mint a nagy kockáé. Végül ha ezerszer kevesebb vágást végzünk, akkor az 1 000 000 000 vízmolekulából álló kocka gőznyomása még mindig 1 %-kal nagyobb, mint egy nagy kockáé. Persze, nem kell, hogy kockák legyenek, ugyanez a helyzet kicsi cseppeknél. Az 1 000 000 000 000 vízmolekulából álló csepp mérete már 2–3 μm , mikroszkópban már jól látható, és még mindig 1 %-kal jobban párolog, mint egy nagy vízcsepp.

Ez egyúttal megmagyarázza azt is, miért húznak a repülőgépek néha „kondenzcsíkot” a levegőben. Hiába túltelített már a levegő vízgőzre, ha nagyon tiszta, nem tud megindulni a vízcseppek kiválása, mert a nagyon pici, mondjuk 1000 molekulából álló cseppek gőznyomása jóval nagyobb. Ha ilyen levegőbe szilárd szennyeződések (például koromrészecskék) kerülnek, azokon válnak ki — idegen szóval kondenzálódnak — a vízmolekulák, és a képződő kis cseppek már könnyen tovább híznak. Az így keletkező kondenzcsík nem mindig marad meg: ha a túltelítettséget csak az üzemanyag égésekor keletkező víz okozta,

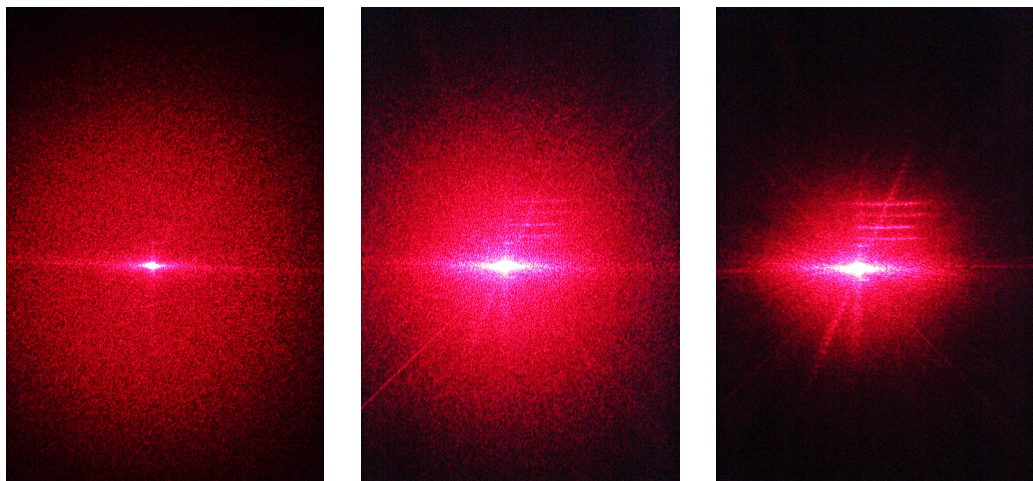
a cseppek gyorsan el is párolognak. (Az anyag szilárd és cseppfolyós állapotát egy szóval szokás *kondenzált állapot*nak is nevezni.)

Nyáron a párás, meleg — ezért könnyebb — levegő felszáll, mivel fenn kisebb a nyomás, kitágul és lehűl. Túltelítetté válik, és egy bizonyos hőmérséklet alatt megindul a vízcseppek kiválása, felhő képződik. Ez a határ jól látható, a felhő alja vízszintes. A lefelé hulló vízcseppek a túltelített rétegben kövérre híznak, záporosó képződik. A kicsapódó víz visszatott párologáshője melegeíti a levegőt, a sűrűségkülönbség még nagyobb lesz, a feláramlás erősödik. Így jön létre a zivatar. Ha a levegő fagypontra alá hűl, jégkristályoknak kellene kiválnia, de itt is az a helyzet, mint a kis vízcseppeknél: a piciny jégkristályok gőznyomása magasabb, mint a nagyoké, a levegő túltelítetté válik. Ha végül magasabban, erősebb túltelítésnél megindul a jégkristályok kiválása, a lefelé hulló jégkristályok a túltelített rétegben kövérre híznak, jégeső képződik. Télen az ilyesmi ritka, a levegő a föld közelében nem melegszik fel annyira és kevesebb vízpárát tartalmaz. A túltelítés nem lesz annyira erős, a növekedés lassúbb, szép hópelyhek képződnek.

Egyébként a víz is túlhűthető néhány fokkal, ha nagyon tiszta és rázkódásmentesen hűtjük. Egy apró jégkristály hatására azonban azonnal megindul a fagyás. Olvadáskor viszont nem tapasztaltak „túlmelegedést”. □

1.11.18 Kísérlet. Most meg tudjuk magyarázni a „vízforralós” kísérletünk néhány jelenségét is. Tiszta vízben egy piciny buborék egy „negatív csepp” belsejében kisebb — amíg nagyon kicsi, jóval kisebb — a gőznyomás, mint egy nagy buborékban. Így nagyobb hőmérséklet kell, hogy elérje a külső nyomást. Amíg van levegő a vízben, a kiváló levegőbuborékokba könnyen „belepárolog” a vízgőz, de ha elfogy a levegő, akkor inkább csak szilárd anyagok kis darabjain, az üvegfal apró kis egyenetlenségein képződnek a gőzbuborékok. Ha ilyenek nincsenek, akkor a víz jelentősen túlmelegedhet, és ha végül létrejön egy kis buborék, az nagyon gyorsan megnő, a folyadék „lökdösvé” forr. Ezt elkerülhetjük, ha lukacsos, állandóan apró buborékokat leadó tégladarabkát vagy mázatlan porceláncserpet teszünk a folyadékba. Különösen könnyen túlhevül a víz a mikrohullámú sütőben, ha nem is mozog. Amikor megmozdítjuk, vagy pláne beletesszük a kávé vagy teát, kifut. □

1.11.19 Kísérlet. Meg tudnánk-e mérni a vízpára cseppjeinek átmérőjét? ** Igen, elég egyszerűen. Belehelve egy kis téglatest alakú átlátszó kis műanyagdobozba és lezárva, gyorsan nézzünk rajta keresztül sötétben pontszerű fényforrás (mondjuk egy zseblámpa) felé. Elég nagy átmérőjű színes kört látunk, a külseje vöröses, a belseje kékes. A jelenség annak megfelelő, mint mikor párás levegőben a Hold körül vagy az utcai lámpák körül fényudvart látunk. A kör átmérője gyorsan lecsökken, a színek is kifakulnak, ahogy a cseppek növekednek, és átmérőjük már nem egyforma. A kísérletet mérésre is alkalmas formában úgy végezhetjük el, hogy sötétben lézermutatóval átvilágítjuk a párás dobozkat. Fehér lapra világítva egy fényes pont körül szórt fényű gyűrűt látunk. Ahogy a cseppek növekednek, a gyűrű átmérője gyorsan csökken. Ezt mutatja az 1.11.6 fényképsorozat. Az elméleti számítások szerint a fényes gyűrű átmérőjének és távolságának a hányadosa $\approx 0,82$ -ször a fény hullámhosszának és a cseppek átmérőjének hányadosa. Mivel 120 cm-ről vetítve a gyűrű átmérője (az első képen) 20 cm volt, a hullámhossznak $\approx 6 \cdot 0,82 = 4,92$ -szerese a cseppek átmérője. A lézerre rá van írva a fényének hullámhossza: 650 nm (vörös lézer). Innen a vízcseppek átmérője kezdetben $\approx 3,2 \mu\text{m}$. A fehér fényű zseblámpával azért látszanak színes körök, mert a fehér fény különböző tiszta színű fények keveréke:



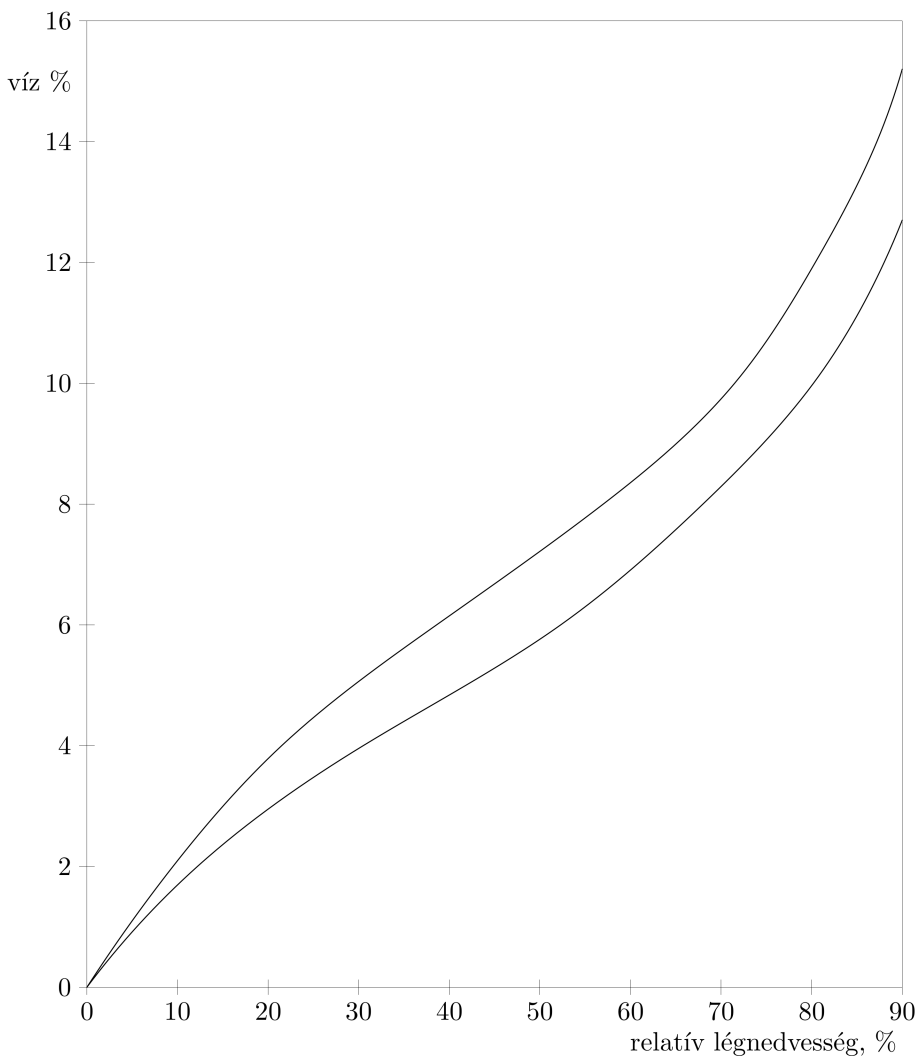
1.11.6 fényképek: fényeltérítés.

vörös, narancs, sárga, zöld, kék és ibolya, a szivárvány színei. Ezek hullámhossza ebben a sorrendben csökken, így egyre kevésbé térülnek el. ** □

1.11.20 Kísérlet. ** Hagyjuk sötétben egy zseblámpa fehér fényét egy CD vagy DVD fényes felületén visszatükröződni a falra vagy valamilyen sima, fehér felületre. Gyönyörű szivárványszíneket látunk, amelyek körívekben helyezkednek el, elárulva, hogy a lemezre apró, még mikroszkópban is alig látható pontok és rövid vonalak felírt információ körök mentén helyezkedik el. Ha sötétben egy esernyő sűrű szövésű szövetén keresztül a zseblámpára nézünk, a fény kereszt alakban térül el, jelezve a szövetben keresztben és hosszában elhelyezkedő szálakat. A látható fény csak egy kis részét adja az elektromágneses hullámok nagy családjának, hullámhossza 380 nm-től 760 nm-ig terjed. Az ennél hosszabb hullámhosszú *infravörös* („vörösön inneni”) fény, a *hősugárzás* hullámhossza nagyságrendben 0,1 mm-ig terjed, onnan kezdve egészen sok kilométeres hullámhosszig *rádióhullámokról* szokás beszélni. Lefele, 380 nm alatt egészen 10 nm-es nagyságrendig *ultraibolya* („ibolyán túli”) sugárzásról beszélünk, ez alatt 10 pm nagyságrendig *röntgensugarakról*, majd γ -sugárzásról.

A sugárzás akkor adja a legtöbb információt a részletekről, ha hullámhossza a részletek méretének nagyságrendjébe esik, vagy ennél legfeljebb 1–2 nagyságrenddel nagyobb. Ezért az atomok méretéről és elrendeződéséről röntgensugarakkal sikerült a legtöbb információt megszerezni. Lényegében az történik, mint amikor lézerrel átvilágítjuk az esernyő szövetét, és a falra vetülő fénysugár eltérüléséből következtetünk a szövet szerkezetére. Próbáljuk ki! ** □

1.11.21. Adszorbció. Mit tehetünk, ha levegőből meg akarjuk kötni vízgőzt? Ezt megtehetjük például 150 °C-on jól kiszáritott (és jól záró üvegben tárolt) vattával. Mi a száraz vatta „működésének” magyarázata? Általában megfigyelhető, hogy nagy felületű anyagok, amilyen a vatta anyaga, a gyapot is, a felületükön gázokat, gőzöket, oldott anyagokat kötnék meg. Ennek az oka általában az *adhézió*, ezért *adszorbciónak* nevezzük. Tulajdonképpen nem csak nagy felületű anyagoknál történik ez meg, de csak ott válik jelentőssé, mert ezeknél a felület több száz négyzetméter is lehet grammonként. Az anyag általában



1.11.7 ábra: víz adszorbcója gyapoton 20 °C-on.

egy vagy néhány atom vastagságú rétegben kötődik meg a felületen. A megkötésben az adhézió mellett kémiai erők vagy elektromos vonzás is szerepet játszhat. Ha kémiai erők játszódnak a főszerepet, akkor *kémisorpció*ról beszélünk. Az is szerepet játszhat, hogy a finom lyukak, hajszálcsövek belsejének felületén megkötött gőz mintegy buborékot, „negatív cseppet” képez. Ebben a gőznyomás kisebb, esetleg jóval kisebb, mint a folyadék normál gőznyomása, így a gőz lecsapódik, a hajszálcső megtelik folyadékkal. Ez az úgynevezett *kapillárkondenzáció*. Általában minél közelebb van egy gáz a cseppfolyósodáshoz, annál több kötődik meg belőle.

Az 1.11.7 ábra a víz adszorbcóját ábrázolja gyapoton. Hasonló anyagoknál hasonló ábrát kapunk, például papír esetén, de a rongyból készült, jóminőségű papír 1,2–1,3-szor,

a fából készült, rossz minőségű papír, például újságpapír $\approx 1,7$ -szer több vizet köt meg. Más megkötő anyag — *adszorbens* — vagy megkötött anyag — *adszorbátum* — esetén más jellegű görbét is kaphatunk. Itt természetesen a relatív páratartalom helyén a gáz vagy gőz vagy az oldott anyag koncentrációja (például g/l-ben) szerepel a vízszintes tengelyen. Például ha az adhézió a fő ok, akkor a görbe hasonlóan kezdődik, de vízszintesbe hajlik, az anyag telítődik, stb. Miért van két görbe? Tulajdonképpen nagyon hosszú idő, napok alatt általában egyensúly áll be, de mivel a finom lyukakban a diffúzió nagyon lassú, az adszorbciónál ezért rövid idő alatt adott koncentrációnál kevesebb anyag kötődik meg, deszorbciónál viszont fordítva, több anyag marad megkötve, mint egyensúly esetén.

1.11.22 Kísérlet. Biztosan vannak, akik észrevették, hogy az ebben a fejezetben tanultak szerint a Galilei-hőmérőből készült légnomásmérőnk nem is jó, pontosabban pontatlan: mivel a zárófolyadék víz, a belsejében lévő levegő vízgőzzel telített, és a vízgőztartalma a hőmérséklettel változik. Szerencsére ezen könnyen segíthetünk: használjunk zárófolyadéknak valamilyen, észrevehető mértékben nem párolgó folyadékot. A legegyszerűbb az étolaj lenne, de sajnos könnyen avasodik, ezért jobb, ha gyógyszerárban kapható paraffinolajat használunk. \square

1.12 Gőzgépek, gázgépek, örökmozgók

Már volt szó Papin gőzgépéről. Úgy, mint a mi kísérletünkben is, ha egy edényben, ami dugattyúval van elzárva, vizet forralunk, a víz lecsapódásakor létrejövő (majdnem) légüres tér munkát képes végezni. A hő munkává alakított része azonban az ott kiszámoltnál is jóval kisebb, mert nagy része az edény melegítésére fordítódik. Ezen kívül a gép igen lassan is működik, mert mindig meg kell várunk, amíg a gőz lecsapódik. Az első, aki ezeket a problémákat megoldotta, és az első használható gőzgépeket készítette a XVIII. század elején, Newcomen volt. A vizet külön kazánban forralta, a gőzt onnan vezette a hengerbe. Amikor a gőz a dugattyút hátranyomta, hideg vizet fecskendezett a hengerbe, így a gőz hirtelen lecsapódott. Persze, a gőz nagy része még így is kárbaveszett, mert a lehűlt hengert melegítette. Lényegesen jobb, nagyobb *hatásfokú* gőzgépeket Watt készített. Mit is értünk hatásfokon? Azt, hogy a kazánba hő formájában bevitt energia hagyard része alakul át hasznos munkává. Watt nagyobb nyomású gőzt használt, és azt felváltva vezette a dugattyú két oldalára. A másik oldalról kitóduló „fáradt” gőzt hideg vízbe, „kondenzátorba” vezette, így a gőz lecsapódott, növelve a nyomáskülönbséget, de a henger nem hűlt le. Ezek a gőzgépek indították el az ipari forradalmat: már nem kellett patakok mellé építeni a meghajtást igénylő gépeket.

1.12.1 Kísérlet. Egyébként modell szinten már akkor is léteztek gőzturbinák. Ma már szinte csak gőzturbinákat használunk, nem dugattyús gépeket. Magunk is készíthetünk gőzturbina-modellt. Egy felbontatlan kólás doboz aljába fúrunk egy 1 mm-es lyukat, vagy egyszerűen üssünk bele egy vékony szeget. Engedjük ki a kólát a lyukon. Ha már nem jön több, a dobozt tartjuk forró víz alá: felmelegszik, és további folyadék folyik ki. Hűtsük le: levegő vagy víz áramlik be, attól függően, hogy hogy tartjuk. Ezt használva mossuk ki, majd szívassunk bele valamennyi vizet és tegyük fel a tűzhelyre vagy melegítsük gyertyalánggal. A víz felforr, és gőz áramlik ki. Figyeljük meg, hogy a kiáramló gőz láthatatlan. Ha légturbina modellünket a gőzsugár útjába tartjuk, forogni kezd. \square

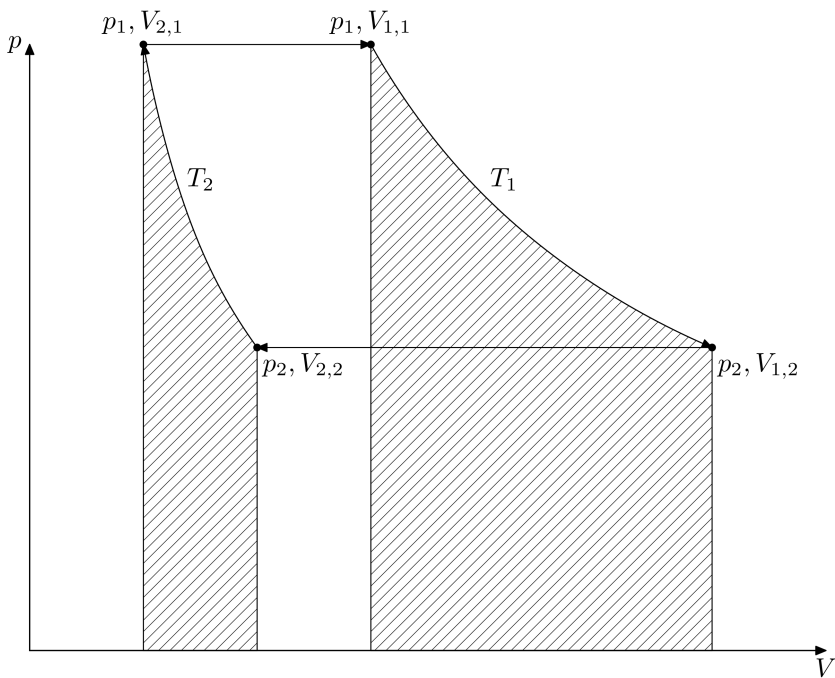
* Vajon meddig lehet a hatásfokot javítani? Talán tudnánk 100% hatásfokú gőzgépet vagy más hasonló gépet készíteni? Akkor például a tengervíz hőjét vezetnénk bele, és a tenger egy kicsit lehűlne, mi viszont nagyon sok munkát kapnánk. Ez gyakorlatilag egy örökmozgó lenne, egy „másodfajú örökmozgó”, amely az energiamegmaradás tételének nem mondana ellent. Óvatosságra inthet bennünket az, hogy soha nem látunk olyan folyamatot, amiben valami önként lehűl, és hőjének egy része mozgási energiává alakul. Például ha egy pingponglabda pattog, végül megáll, a padló és a labda kicsit felmelegszik. Olyan azonban nem látunk, hogy a labda felpattan, miközben a padló és a labda kicsit lehűl. Ehhez a padló illetve a labda molekulái rendezetlen mozgásának kellene rendezett mozgássá átalakulni. Ilyet azonban nem tapasztalunk. *Nincs olyan folyamat, aminek a végén semmilyen más változás nincs, csak a hőenergia egy része kerül át hidegebb testről melegebb testre. Ez a hőtan második főtétele.* Ebből már következik, hogy nem lehet másodfajú örökmozgót készíteni, ugyanis vele (például dörzsöléssel) egy akármilyen meleg testet még melegebbé tehetnénk. Megmutatjuk, hogy a másodfajú örökmozgó lehetetlenségéből következik a második főtétel, és az is, hogy ha egy hőt munkává alakító gép, egy hőerőgép körfolyamatban valamilyen T_1 abszolút hőmérsékleten („kazánban”) felvesz Q_1 hőmennyiséget, és egy $0 < T_2 < T_1$ hőmérsékleten („kondenzátorban”) lead Q_2 hőmennyiséget, akkor $Q_2/T_2 \geq Q_1/T_1$, azaz a kinyert $Q_1 - Q_2$ munka és a bevitt Q_1 hő hányadosa, a hatásfok legfeljebb $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$, mert $(Q_1 - Q_2)/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1 \leq 1 - T_2/T_1 = \eta$.

*

A bizonyításhoz egy gondolkísérletet fogunk végezni. A gondolkísérlet felhasznál egy szerkezetet, a *regenerátort*. Képzeljük el, hogy gázzal fűtünk egy kemencét. A füstgázokat vezessük felülről két kavicsal lazán telerakott, álló hengerbe. A füst felmelegíti a kavicsot, felül jobban, alul kevésbé. Mikor már elég meleg, vezessük alulról a gázt az egyik, a levegőt a másik hengerbe. Az így előmelegített gázzal és levegővel tápláljuk a lángot. Nyilván forróbb lesz, mint az előmelegítés nélkül. A füstgázokkal két másik regenerátort fűtünk. Amikor az első két regenerátor már valamennyire lehűlt, megcseréljük a két regenerátorpár szerepét, stb. Ezt a *regeneratív tüzelést* Siemens találta fel, és üveglasztó kemence fűtésére használta, de így működnek az acéolvasztó Siemens–Martin-kemencék is.

** Gondolkísérletünkben egy gázzal működő hőerőgépet tervezünk. A gép két dugattyús hengerből és egy, a csövüket összekötő *regenerátorból* áll. A regenerátor egy jól hőszigetelt cső rossz hővezető anyagból, rossz hővezető, lyukacsos, nagy tömegű szilárd anyaggal töltve, amelynek az egyik vége (majdnem) T_1 hőmérsékletű, a másik pedig (majdnem) $T_2 < T_1$ hőmérsékletű, közben egyenletesen csökkenő hőmérséklettel. Kezdetben az egyik hengerben T_1 hőmérsékletű, p_1 nyomású, „ideális” gáz van. Az ideálisba most nem csak azt értjük bele, hogy eleget tesz az egyesített gáztörvénynek, hanem azt is, hogy a fajhője nem függ a hőmérséklettől és a nyomástól. Az úgynevezett nemes gázok, például a hélium, nagyon jól megközelítik ezt. Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a készülék körül légüres tér van. Ez nem lényeges, de egyszerűsíti a számolásokat.

Legyen a kezdeti térfogat $V_{1,1}$. Lassan terjesszük ki a gázt $p_2 < p_1$ nyomásra állandó T_1 hőmérsékleten. Mivel a hőmérséklet állandó, a gáz belső energiája nem változik. Valamennyi munkát végezz, ami megegyezik a kiterjesztés során felvett Q_1 hőenergiával. A térfogata megnő, a kiterjesztés végén legyen $V_{1,2}$. Most állandó p_2 nyomáson nyomjuk át a regenerátoron a másik hengerbe. A gáz a regenerátortól lehűl. Közben a regenerátort



1.12.1 ábra: körfolyamat.

kicsit felmelegíti, de mivel a regenerátor tömege nagy, ez nem jelentős. Az átnyomáshoz persze kell egy kis nyomáskülönbség, de ha elég lassan nyomjuk át a gázt, akkor ez jelentéktelen. Végül a másik hengerben van a teljes gázmennyiség T_2 hőmérsékleten és p_2 nyomáson. Legyen a térfogata $V_{2,2}$. Lassan nyomjuk össze állandó T_2 hőmérsékleten. Mivel a belső energia nem változik, a leadott Q_2 hőenergia megegyezik az összenyomás alatt végzett munkával. Amikor a nyomás p_1 , legyen a térfogat $V_{2,1}$. Végül lassan engedjük át a gázt a regenerátoron a másik hengerbe. Eközben felmelegszik. Visszajutunk a kezdő állapotba, tehát *körfolyamatot* végeztünk. Az egész körfolyamat során a nyomás és a térfogat változását az 1.12.1 ábra mutatja. Mivel a gáz fajhője nem függ a nyomástól és a hőmérséklettől, az utolsó lépésben éppen annyi hőt vesz fel a regenerátorból, amennyit a második lépésben leadott neki. Az utolsó lépésben a gáz által végzett munka $p_1(V_{1,1} - V_{2,1})$, a második lépésben az általunk végzett munka pedig $p_2(V_{1,2} - V_{2,2})$. (Ezek megfelelnek az ábrán a vízszintes egyenes szakaszok alatti téglalapok területének.) Mivel ideális gázzól van szó, az egyesített gáztörvény szerint

$$\frac{p_1 \cdot V_{1,1}}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_{1,2}}{T_1} = \frac{p_1 \cdot V_{2,1}}{T_2} = \frac{p_2 \cdot V_{2,2}}{T_2} = K,$$

valamilyen állandó, idegen szóval *konstans*. Innen a térfogatok kifejezhetőek, pl. $V_{1,1} = K \cdot T_1/p_1$, stb. Ezeket behelyettesítve, azt kapjuk, hogy a negyedik lépésben a gáz által végzett munka és a második lépésben az általunk végzett munka is $K \cdot (T_1 - T_2)$, egyenlőek, tehát kiejtik egymást.

Hátra van még a Q_1 és Q_2 munkák kiszámítása. Ezt nem tudjuk könnyen megtenni, mert nem csak a térfogat, hanem a nyomás is változik. Szerencsére azért össze tudjuk hasonlítani őket. Ezek a munkák az 1.12.1 ábrán a vonalkázott területeknek felelnek meg. Miközben az első lépésben T_1 hőmérsékleten a nyomás p -ről egy tőle csak kicsit kisebb p' -re csökken, a térfogat $V = K \cdot T_1/p$ -ről $V' = K \cdot T_1/p'$ -re nő. A gáz által végzett munka közelíthető a

$$\frac{p + p'}{2} (V' - V) = \frac{p + p'}{2} K \cdot T_1 \left(\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} \right)$$

szorzattal. Ez egy kis trapéz területe, amely a T_1 jelű görbe alatti terület egy részét közelíti. A harmadik lépésben teljesen hasonló adódik az általunk végzett munkára, de T_1 helyett T_2 -vel. Egyszerűen a Q_2 -nek megfelelő terület a Q_1 -nek megfelelő terület T_2/T_1 -szerese, belőle vízszintes irányban való összenomással keletkezett! Innen a hatásfok $\eta = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1 = 1 - T_2/T_1$. Így azt kaptuk, hogy gépünk hatásfoka $(T_1 - T_2)/T_1$, vagy legalábbis ezt tetszőlegesen megközelítheti.

Gépünk azt is mutatja, hogy ha a második főtétel nem lenne igaz, akkor lehetne másodfajú örökmozgót csinálni: ha valamilyen folyamat alacsonyabb hőmérsékletű testről magasabb hőmérsékletűre vinne át hőt, a magasabb hőmérsékletéről gépünkkel visszavinnénk a hőenergia egy részét az alacsonyabb hőmérsékletre, és közben a maradékát megkapnánk munkaként. Ezt ismételve, másodfajú örökmozgót kapnánk.

Honnan tudjuk, hogy ennél jobb hatásfok nincs? Tegyük fel, hogy valakinek sikerül egy jobb hatásfokú gépet csinálni. Ez T_1 hőmérsékleten $Q'_1 > Q_1$ hőenergiát vesz fel és T_2 hőmérsékleten Q_2 hőenergiát ad le, miközben $Q'_1 - Q_2 > Q_1 - Q_2$ munkát végez. Működtessük a munka $Q_1 - Q_2$ részével gépünket *visszafelé*: az 1.12.1 ábrán minden nyilat megfordítva, a lépéseket ellenkező irányba hajtjuk végre. Ekkor a gép *hűtőgépként* működik: az alacsonyabb T_2 hőmérsékleten Q_2 hőt vesz fel és a magasabb T_1 hőmérsékleten Q_1 hőt ad le, miközben $Q_1 - Q_2$ munkát használ fel. Marad $Q'_1 - Q_1$ munka, másodfajú örökmozgót kaptunk! Ellenvetés lehet, hogy nem tudjuk pontosan megfordítani a gép működését, de az is elég, ha majdnem meg tudjuk fordítani: ekkor (elég lassan működtetve) $Q_1 - Q_2$ -nél több, de $Q'_1 - Q_2$ -nél azért kevesebb munkát használ fel a gépünk, és még mindig örökmozgót kaptunk, ami ellentmond a hőtan második főtételének.

Ez a gondolatmenet azt is mutatja, hogy *megfordíthatóan* működő gép hatásfoka pontosan $(T_1 - T_2)/T_1$ kell legyen, hiszen több nem lehet, ha pedig kevesebb lenne, akkor a két gép szerepét megcserélve kapnánk az előző gondolatmenettel örökmozgót. A nem megfordíthatóan működő gépek hatásfoka ennél kisebb. Persze, valójában megfordítható gép nincs is, csak arról van szó, hogy elég gondosan építve meg a gépet és elég lassan működtetve, a megfordíthatósághoz tetszőlegesen közel kerülhetünk. Más körfolyamatok is használhatók (közel) megfordítható gépek építéséhez. A gáz felmelegítését az alacsonyabb hőmérsékletéről a magasabbra például hőszigetelt hengerben való összenomással is végezhetnénk. Ilyen gépet Carnot vizsgált először. A mi általunk vizsgált gép a Stirling-motor egyik fajtájához áll közel. Azért ezt vizsgáltuk, mert itt tudtuk elvégezni a számításokat. A gyakorlatban nem használnak olyan gázgépeket, amelyekbe a hőt kívülről vezetik be. Inkább a hőt az üzemanyagnak a henger belsejében való elégetésével előállító *belsőégésű gépek* terjedtek el. **

* Ha valaki eddig figyelmesen követte is a fenti, nem egyszerű megfontolásokat, azt mondhatja: jó, jó, tanultam valamit a hőerőgépekről, de mi köze ennek a kémiához?

Most levezetünk egy olyan összefüggést, ami fontos a kémiában. Meg tudnánk-e mondani, mennyit nő a forráspont a nyomás növelésekor? A matematikában, fizikában és kémiában szeretik a változásokat a görög Δ (ejtsd: delta) betűvel jelölni. Legyen tehát az eredeti forráspont abszolút hőmérséklete T , a nyomás p , és növeljük a nyomást egy kicsit, Δp -vel, azaz legyen az új nyomás $p + \Delta p$. Ekkor a forráspont is nő valamilyen ΔT -vel, és most már $T + \Delta T$ lesz. Szeretnénk összefüggést találni Δp és ΔT között. A forráskor a folyadék hőtartalma megnő a (T hőmérsékleten mért) H elforralási hővel, és a térfogata is megnő. Jelölje a térfogatnövekedést ΔV . A keresett összefüggés a *Clapeyron-egyenlet*:

$$\frac{\Delta p}{\Delta T} \approx \frac{H}{T \cdot \Delta V}$$

Az összefüggés tulajdonképpen egyenlőség abban az értelemben, hogy minél kisebb Δp és ΔT , annál közelebb van az egyenlőséghez. Ezt úgy szokás kifejezni, hogy

$$\frac{\Delta p}{\Delta T} \rightarrow \frac{H}{T \cdot \Delta V}, \quad \text{ha } \Delta T \rightarrow 0,$$

és úgy olvassuk ki, hogy $\Delta p/\Delta T$ tart $H/(T \cdot \Delta V)$ -hez, ha ΔT tart nullához, és azt fejezi ki, hogy annál jobb közelítéssel áll fenn egyenlőség, minél közelebb van ΔT nullához.

Milyen mennyiségű folyadékra vonatkozik? Akármilyenre: ha nő a folyadékmennyiség, nő az elforraláshoz szükséges hőmennyiség, de nő a térfogatváltozás is. A kettő hányadosa állandó marad.

Mivel kis nyomáson a folyadék térfogata elhanyagolható a gőz térfogata mellett, ΔV -t helyettesíthetjük a gőz V térfogatával. A gőzt ideális gáznak tekintve, $p \cdot V/T = K$. Innen kifejezve V -t és beírva a Clapeyron-egyenletbe,

$$\frac{\Delta p}{\Delta T} \rightarrow \frac{p \cdot H}{K \cdot T^2}, \quad \text{ha } \Delta T \rightarrow 0.$$

Számítsuk ki például, hogy mennyi a víz gőznyomása 1 K-nel a forráspontja alatt. 1 g gőz térfogata 100 °C-on 1 atm nyomáson $\approx 1,700$ l, így $K \approx 101325 \cdot 0,001700/373,15$ J/K, azaz $K \approx 0,4616$ J/K és

$$\frac{H}{K \cdot T} \approx \frac{2257}{373,15 \cdot 0,4616} \approx 13,1.$$

(Ez a szorzó egyébként a legtöbb 0 és 200 °C közötti forráspontú folyadékra a forráspontján $\approx 10,5$. Ez a *Trouton-szabály*. Borszeszre 13,7.) Így vízre $\Delta p/p$ a $\Delta T/T$ -nek 13,1-szerese, azaz $13,1 \cdot 1/373,15 \approx 0,035$, tehát $\Delta p \approx 0,035 \cdot 1,01325$ bar, azaz 35 mbar. Ha a víz forráspontját használjuk hőmérsékleti alappontnak, akkor annak a nyomástól való függését így figyelembe tudjuk venni!

Mint a levezetésből is látni fogjuk, az egyenlet akármilyen halmazállapot változásra is érvényes. Ha azt kérdezzük, hogy mennyit változik a jég olvadáspontja, ha a nyomás 1 bar-ral nő, akkor 1 g jéggel számolva,

$$\frac{10^5 \text{ Pa}}{\Delta T} \approx \frac{79,7 \cdot 4,1868 \text{ J}}{273,15 \text{ K} \cdot (1 - 1/0,9168) \text{ cm}^3},$$

ahonnan

$$\Delta T \approx \frac{273,15 \cdot 10^5 \cdot (1 - 1/0,9168) \cdot 10^{-6}}{79,7 \cdot 4,1868} \text{ K} \approx -0,0074 \text{ K}.$$

A negatív előjel azt jelenti, hogy a jég olvadáspontja a nyomás növelésével csökken!

Ha azt kérdezzük, hogy 1 K hőmérsékletváltozásra mennyit változik a gőznyomás 0,01 °C-on víznél illetve jégnél, akkor a $\Delta T/T$ értéket $H/(T \cdot \Delta V)$ -vel kell szorozni, ahol $T = 273,16 \text{ K}$ és ΔV is majdnem ugyanannyi, de H a jégnél jóval nagyobb, mert a 0,01 °C-os víz párolgáshőjéhez hozzáadódik a jég olvadáshője is. Így a jég gőznyomása gyorsabban csökken, mint a vízé. Egyébként 0,01 °C az a hőmérséklet, ahol a víz gőznyomása ugyanannyi, mint a jégé. Ha más anyag nincs jelen, ezen a hőmérsékleten, a víz és jég közös gőznyomásán egymás mellett létezhet víz, gőz, és jég: már volt szó róla, ez az úgynevezett hármaspont. Ez alatt a hőmérséklet alatt légmentes térben csak jég és gőz, e fölött csak víz és gőz létezhet egymás mellett, egészen a kritikus pontig. Egyébként az abszolút hőmérsékleti skála két alappontjának az abszolút nulla pontot és a víz hármaspontját választották, ez 273,16 K. *

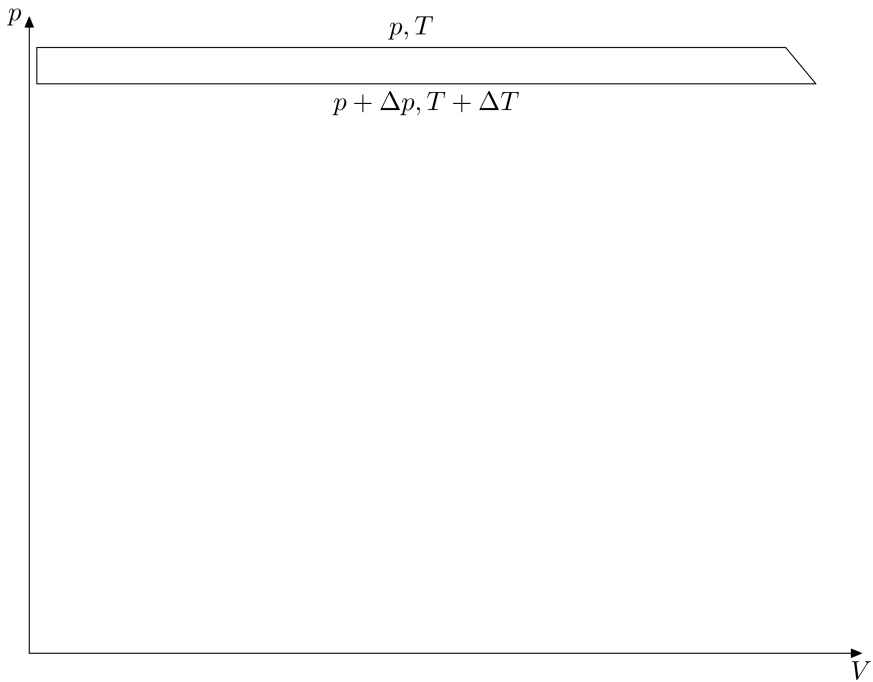
** Ha valaki nagyon szemfüles, biztosan észrevette, hogy az előző bekezdésben azt mondtuk, a hármaspont 273,16 K, az azelőttiben meg megállapítottuk, hogy a jég olvadáspontja 1 bar nyomásnövelésre 0,0074 K-nel csökken, így 1 atm \approx 1 bar nyomáson 273,1526 K = 0,0026 °C-nak kellene lennie. A magyarázat az, hogy a hármaspont a tiszta, levegőmentes vízre vonatkozik, a 0 °C viszont a levegővel telített víz fagyáspontja. Így a 0 °C néhány tízezred K hibával 273,15 K.

Számoljuk ki a víz gőznyomását a hármaspontban! Ugyanazt csináljuk, mint mikor kiszámoltuk, hogy 1 K hőmérsékletcsökkenésre mennyit csökken a gőznyomás, csak százszor megismételjük ezt a lépést, minden lépésben figyelembe véve azt is, hogy változik a hőmérséklet és változik a párolgáshő is. Így $K = 0,4616 \text{ J/K}$, és a k -adik lépésben $T = 373,15 - (k + 0,5) \text{ K}$, $H = 2257 + k \cdot 0,5 \cdot 4,1868 \text{ J}$, $k = 0, 1, \dots, 99$. Mivel a számolás kézzel nagyon unalmas lenne, írjunk rá programot! Az eredmény 5,8119 mbar. A mért érték 6,1129 mbar. (A víz illetve a gőz fajhője nem pontosan 1 cal/g illetve 0,5 cal/g és változik is; a számolási hibák mellett ez okozza az eltérést.)

A Clapeyron-egyenlet levezetéséhez egy gondolat kísérletet végzünk. Körfolyamatot hozunk létre. A nyomás és a térfogat változását az 1.12.2 ábrán követhetjük nyomon. Forraljuk el a teljes folyadékmennyiséget T hőmérsékleten, H hőenergiát elhasználva. A térfogat ΔV -vel nő, így $p \cdot \Delta V$ munkát végez a gőz. A gőzt terjesszük ki egy kicsit, hogy a nyomása lecsökkenjen $p + \Delta p$ -re (ahol most Δp negatív). Egy kis része cseppfolyósodik, és hőmérséklete $T + \Delta T$ lesz (ahol ΔT is negatív). Eközben még történik némi munkavégzés, de ez jelentéktelen. Nyomjuk össze a gőzt: lecsapódik, és $(p + \Delta p) \cdot \Delta V$ munkát kell végeznünk. Végül a folyadék nyomását — jelentéktelen munkavégzéssel — növeljük p -re. A hőmérsékletet növeljük T -re. Ha jól meggondoljuk, ez egy (majdnem) megfordítható körfolyamat, így a hatásfoka $-\Delta T/T$. Másrészt viszont H hőt vittünk be, és $p \cdot \Delta V - (p + \Delta p) \cdot \Delta V = -\Delta p \cdot \Delta V$ munkát kaptunk. Így

$$-\frac{\Delta T}{T} \approx -\frac{\Delta p \cdot \Delta V}{H},$$

ez a keresett egyenlet. **



1.12.2 ábra: a Clapeyron-egyenlethez.

1.12.2. A Clapeyron-egyenlet és a szorbcio. ** Mint a levezetés is mutatja, a Clapeyron-egyenlet minden térfogatváltozással járó folyamatra alkalmazható, így az abszorpcióra és az adszorpcióra is. Ismernünk kellene a szorpciókor felszabaduló hőmennyiséget. Az adszorpció esetén ez közepes adszorbeált anyag tartalom esetén, ha adhézió játsza a fő szerepet, a szublimációs hőhöz áll közel, kis adszorbeált anyag tartalom esetén annál magasabb. Például vízre 25 °C-on a párolgáshő ≈ 2400 J/g, a szublimációs hő ≈ 2800 J/g, kis víztartalmú gyapoton való adszorpciónál ≈ 3600 J/g. Az egyensúlyi nyomás a Clapeyron-egyenlet szerint hasonlóan változik, mint a víz gőznyomása, de ugyanakkora hőmérsékletváltozásra nagyobb nyomásváltozás esik. Ezért érdemes az adszorbeált anyagmennyiséget a relatív páratartalom függvényében megadni, mert ez a görbe lassan változik a hőmérséklettel. **

1.12.3. Differenciálegyenletek. ** Az ilyen típusú egyenleteket, mint a Clapeyron-egyenlet, amelyekben differenciák hányadosa közelít egy értéket, *differenciálegyenlet*nek nevezzük. Nagyon gyakoriak a természettudományokban, mert a természettörvényeket gyakran ilyen egyenletekkel tudjuk leírni. Az egyenletben az ismeretlen egy függvény, a Clapeyron-egyenletben például a nyomás, mint a hőmérséklet függvénye. A módszer, amit a megoldásra használtunk, az *Euler-módszer*: abban állt, hogy egy T_0 hőmérsékletből indulunk ki, amelyhez tartozó p_0 nyomást ismerjük, választunk egy elég kis ΔT hőmérsékletkülönbséget, és az egyenletből kiszámítjuk a $\Delta p/\Delta T$ hányadost (közelítőleg). Szorozva ΔT -vel, kapjuk a Δp különbséget, és így $p_1 = p_0 + \Delta p$ -t, a nyomás közelítését a T_1 hőmérsékleten. Ezt ismételtetjük, amíg a szükséges hőmérsékletet — a példában 273,15 K-t — el nem érjük. A példában $\Delta T = -1$ K volt.

Az Euler-módszer meglehetősen durva közelítést ad. Ahhoz hasonlít, mintha egy szakszon vett görbe alatti területet a szakaszt sok kis szakaszra osztva, azok végpontjaiban vett függvényértékeknek megfelelő magasságú téglalapok területének összegével akarnánk közelíteni a trapéz módszer helyett. A trapéz módszer felhasználná a jobb oldal értékét a p_1, T_1 helyen, azonban p_1 értékét most nem ismerjük, éppen azt keressük!

A javított Euler-módszerhez jelöljük az Euler-módszerrel kiszámított Δp értéket inkább $\Delta \tilde{p}$ -mal, és legyen $\tilde{p}_1 = p_0 + \Delta \tilde{p}$. A jobb oldalon p helyére \tilde{p}_1 -et, T helyére T_1 -et írva, kapunk valamilyen $\Delta \tilde{p}$ értéket. Legyen $\tilde{\tilde{p}}_1 = p_0 + \Delta \tilde{\tilde{p}}$, legyen Δp a $\Delta \tilde{p}$ és $\Delta \tilde{\tilde{p}}$ számtani közepe, azaz az összegük fele, és $p_1 = p_0 + \Delta p$.

Még jobb a görbe alatti terület kiszámítására használt trapéz módszer pontos megfelelőjét használni, amit itt is *trapéz módszernek* neveznek. Például a Clapeyron-egyenletnél úgy próbáljuk p_1 -et megválasztani, hogy a

$$p_1 - p_0 = \Delta p = \frac{\Delta T}{2} \cdot \left(\frac{p_0 \cdot H(T_0)}{K \cdot T_0^2} + \frac{p_1 \cdot H(T_1)}{K \cdot T_1^2} \right)$$

egyenlet teljesüljön. Itt most szerencsénk van, ez az egyenlet könnyen megoldható, megoldása

$$p_1 = p_0 \cdot \frac{1 + \Delta T \cdot H(T_0)/(2 \cdot K \cdot T_0^2)}{1 - \Delta T \cdot H(T_1)/(2 \cdot K \cdot T_1^2)}.$$

Ha nincs ilyen szerencsénk, akkor azt tehetjük, hogy valamely alkalmas — mondjuk a javított Euler-módszerrel kapott — kezdő p_1 -et behelyettesítünk az egyenlet jobb oldalába, kapunk egy Δp -t, és ezzel egy jobb p_1 -et, ezt újra behelyettesítjük a jobb oldalba, stb. Mindezt addig csináljuk, amíg p_1 változása jelentősen csökken, mondjuk kisebb, mint az előző lépésbeli változás fele. Általában pár behelyettesítés elég, ha ΔT kicsi. Az utolsó p_1 -et használjuk a továbblépéshez.

Milyen pontosak ezek a módszerek? Az Euler-módszernél egy-egy lépés hibája kis ΔT -re arányos ΔT négyzetével, a javított Euler-módszer és a trapéz módszernél viszont egy-egy lépés hibája ΔT köbével arányos. Azt szoktuk mondani, hogy az Euler-módszer *másodrendű*, a másik két módszer viszont *harmadrendű* közelítést ad. Jó-jó, de még mindig nem tudjuk, mekkora a hiba. Úgy becsülhetjük, hogy megismételjük az egész számítást kétszer annyi lépéssel, azaz fele akkora ΔT -vel. Az Euler-módszernél így 6,1726 mbar-t kapunk. Mivel az Euler-módszer másodrendű, egy-egy lépés hibája negyedelődött, viszont kétszer annyi lépés van, a teljes hiba nagyjából feleződött. A két számított érték között a különbség 0,3607 mbar, így a valódi érték közelítése 6,5333 mbar. Újra felezve ΔT -t, és ismét megismételve a számítást, az eredmény 6,3563 mbar, most a különbség 0,1837 mbar, a valódi érték közelítése 6,5400 mbar. Végül még egyszer felezve az eredmény 6,4489 mbar, a különbség 0,0926 mbar, a valódi érték közelítése 6,5415 mbar. Ha a javított Euler-módszerrel számolunk, az első eredmény 6,5584 mbar, fele akkora lépésközzel pedig 6,5461 mbar. Mivel ez a módszer harmadrendű, egy-egy lépés hibája nyolcadára csökkent, de kétszer annyi lépés van, a hiba teljes hiba negyedelődött, ezért a javítás a két eredmény különbségének, $-0,0123$ mbar-nak a harmada. Így a valódi érték közelítése 6,5420 mbar. Hasonló az eljárás a trapéz módszernél is: Az első eredmény 6,5372 mbar, fele akkora lépésközzel 6,5409 mbar, a különbség 0,0037 mbar, a valódi érték közelítése 6,5421 mbar.

Néha több ismeretlen függvényünk is van, és mindegyikhez egy-egy egyenlet: az ismeretlen függvény differenciahányadosa tart a független változó és az ismeretlen függvények

egy adott függvényéhez. Például egy helikopterből kiugró ejtőernyős magasságát és sebességét szeretnénk meghatározni az idő függvényében. A független változó az idő. A sebesség változása függ a sebességtől és — mivel a levegő sűrűsége, így a légellenállás is változik a magassággal — a magasságtól is. A magasság változása a sebességtől függ. Ilyen *differenciálegyenlet rendszerek* megoldására a trapéz módszer használható, mivel a többi módszer nem elég stabil. Ha egy ágyúból kilőtt lövedék röppályája érdekel bennünket, akkor már négy ismeretlen függvényünk van: a magasság, az ágyútól való (vízszintes) távolság, a sebesség függőleges és vízszintes komponense. Ha a Nap és a nyolc bolygó mozgását akarjuk meghatározni, akkor 54 ismeretlen függvényünk van: minden égitestre a helyének és a sebességének három-három komponense.

Természetesen, mint ahogy a görbe alatti terület számítására is vannak a trapézmódszernél jobb módszerek, itt is. Mégis, már ennyi is elég, hogy nagyon sok problémát meg tudjunk oldani. **

1.13 Oldatok

1.13.1 Kísérlet. Ha egy pohár vízbe egy kávéskanál konyhasót teszünk, és kicsit kevergetjük, hamarosan nem látjuk, *feloldódik* a vízben. Ha megkóstoljuk a vizet, sós ízű, tehát a só nem tűnt el, csak a molekulái elkeveredtek a vízmolekulákkal. Ha ebből az *oldatból* egy cseppet egy forró vaslapra, például egy gázelosztó lapra cseppentünk, a víz elpárolog, és ottmarad, *kikristályosodik* a konyhasó. □

Mielőtt komolyabb kristályosítási kísérletekbe fognánk, kicsit beszélnünk kell az edények anyagáról. A vegyész szinte csak *üvegedényeket* használ. Ezeket szinte semmilyen vegyszer nem támadja meg. Nagy előnyük, hogy átlátszóak, hátrányuk viszont, hogy törékenyek. A laboratóriumokban használt üvegedények vékony falúak és anyaguk hőtágulási együtthatója kb. fele a közönséges üveg hőtágulási együtthatójának, így a melegítést is bírják. A konyhai tűzálló üvegedények is bírják a melegítést. Mint már szó volt róla, egyéb üvegedényeknél vigyáznunk kell, a hirtelen hőmérsékletváltozásra érzékenyek. Ha például forró vizet öntünk egy borosüvegbe, vagy a forró üveget hideg vízbe mártjuk, eltörhet, erre számítsunk. A konyhában használt *zománcozott* edények vaslemezből vannak, amit nagyon vékony üvegszerű — a laboratóriumi üvegekéhez hasonló összetételű — réteggel vonnak be, így a kémiai anyagoknak ugyanúgy ellenállnak, mint az üveg, és a melegítést is jól bírják. Ez csak akkor igaz azonban, ha a zománc teljesen hibátlan! A vegyiparban gyakran használnak *rozsdamentes acélt* és különböző műanyagokat is. A műanyagok nagy hátránya, hogy nem bírják a meleget. A rozsdamentes acél és a műanyagok is sok vegyszernek ellenállnak. Ha valamelyik vegyszerünknek nem áll ellen a rozsdamentes acél vagy a műanyagok, azt jelezni fogjuk. A műanyagok közül nekünk a polietilén (PE) és a polipropilén (PP) lesz a leghasznosabb; az utóbbi a 100 °C-ot is kibírja. Vas, alumínium, réz, stb. edényt csak akkor használjunk, ha biztosan tudjuk, hogy az adott anyagnak ellenáll! Perry [135] kézikönyvében található egy kitűnő táblázat, amely 36 különböző anyagra és 48 féle oldatra adja meg, hogy melyik oldatnak milyen töménységben milyen hőfokon az anyag mennyire áll ellen. Azért nem ilyen egyszerű a dolog: arra is figyelniünk kell, milyen szennyezések vannak az oldatban. Ha valamelyik szennyezésnek nem áll ellen az edény, az ugyanolyan baj, mintha az alapvegyszernek nem áll ellen.



1.13.1 fénykép: szűrőpapír.

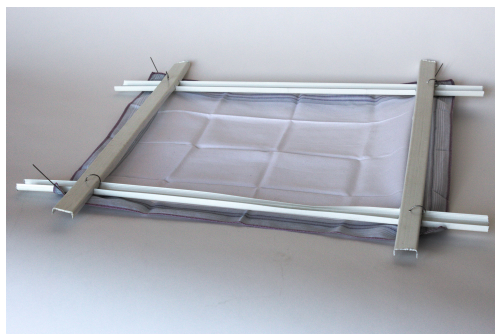
Meglepően jól ellenáll sok vegyszernek a fa és a hozzá hasonló anyagok, például papír, vatta, vászon. Hátrányuk, hogy csak egyszer tudjuk őket használni, mert magukba szívják a vegyszert. Egyedül a vásznat tudjuk kimosni.

1.13.2 Kísérlet. A vegyész gyakran használja a *kristályosítást* anyagok megtisztítására. Először nem konyhasót, hanem egy másik sót, *kálisót* fogunk megtisztítani. Műtrágyaként használják, olcsó anyag. Nemigen kapunk belőle kevesebbet, mint 5 kg-ot. Rendszerint az egyébként fehér kristályok erősen szennyezettek egy vörös színű, olajos anyaggal. Ez akkor kerül bele, amikor a kibányászott konyhasó–kálisó keveréket nagyjából szétválasztják kálisóra és konyhasóra. Azt fogjuk a tisztításra felhasználni, hogy a kálisóból 100 g vízben melegen kb. 50 g, hidegen viszont csak kb. 25 g oldódik. Vegyünk egy nagy, hibátlan zománcozású vagy rozsdamentes acél fazekat, és öntsük jó félig kálisóval, majd öntsünk rá csapvizet jó bőven, és melegítsük. (Jobb lenne persze desztillált vizet használni, de az anyag annyira szennyezett, hogy az a kevés szennyezés, amit a vízzel beviszünk, nem számít. Ettől egyébként később majd megszabadulunk.) Egy rozsdamentes kanállal kevergetjük az egészet. A tetejére olajos, vörös hab jön fel, ezt amennyire lehet, szedjük le. Sajnos, ilyen egyszerűen nem szabadulhatunk meg a vízben oldhatatlan szennyezésektől, az oldatunkat meg kell szűrni. Ez úgy történik, hogy az 1.13.1 fényképen látható módon egy papír törlőkendőt vagy papírzsebkendőt negyedébe hajtunk, ollóval levágjuk kör alakúra, majd úgy hajtjuk szét, hogy az egyik oldalon három, a másikon egy réteg maradjon, és így beletesszük egy műanyag tölcsérbe. A vegyészek egyébként *üvegtölcsért* és *szűrőpapírt* használnak a szűréshez. Ez hasonló anyagú, mint a papír törlőkendő, de egyenletes,

sima, erősebb, és gondosan kimostak belőle minden oldható anyagot. Nem árt, ha beszerzünk ilyen szűrőpapírt, de sokszor helyettesíthetjük papírtörővel vagy papírzsebkendővel is. Nyugodtan vegyük az olcsóbb fajtát; a drágább *hamumentes szűrőpapír* elégetve sem hagy hamut, ez nekünk nem fontos.

Ha felkészültünk a szűrésre, a tölcser beleállítottuk egy műanyag palackba, melegítsük tovább a fazékban a kálisót. Egyre több oldódik fel. Amikor már majdnem forr, és nem bír több kálisót oldani — az oldat *telített* — elkezd a tetején „bőrösödni”: a víz egy része elpárolog, és kálisó kristályok válnak ki a forró oldat tetején, egy ideig ott úszkálnak, majd lesüllyednek. Most megkezdhetjük a szűrést: rozsdamentes merőkanállal vagy egy már nem használt üveg vagy porcelán füles csészével, kávéscsészével a tölcserbe meregetjük a forró oldat tisztáját. A porcelán hátránya, hogy ha valahol (rendszerint az alján) nem borítja üvegmáz, akkor magába szívja az oldatot, és ha másfajta anyaghoz használjuk, azt elszennyezi. A szűrőn átfutó *szűrlet* nem lehet zavaros, szép tisztának kell lennie. Ha kezdetben zavaros, ne ijedjünk meg, nyugodtan merjük tele a szűrőt, szűrjünk egy darabig, és ha úgy látjuk, hogy a tölcser alján már tiszta oldat folyik ki, akkor tegyük át a tölcser-t egy másik palackba, a zavaros oldatot pedig öntsük vissza a fazékba, a palackot öblítsük ki forró vízzel. Néha kétszer–háromszor is el kell ezt játszsanunk, míg a szűrlet szép tiszta lesz: a szűrőpapír likacsait valamennyire eltömik az oldhatatlan szennyezések, lassabban, de jobban szűr. Az oldatot óvatosan öntögessük utána. Ha szép tisztán akarunk dolgozni, a szűrőpapír ne lógjon ki a tölcserből, hanem a széle a tölcser szélétől fél–egy cm-re legyen, mert az oldat végigcsorog a tölcser külsején, lecsepeg, mindent beszennyez, a vastárgyakat megrozsdásítja, stb. Egyébként a kiálló szűrőpapírt nem tudjuk rendesen kimosni sem, ami pedig kell, ha a szűrőn maradt *csapadékra* is szükségünk van. Az oldatból csak annyit öntsünk a szűrőre, hogy a papír szélétől kb. fél cm-re legyen, mert felszívódik a papíron, és a szennyezések a szűrletbe kerülhetnek. Nem kell irdatlan sok szűrletet egy palackba gyűjteni, mert ha túlöntjük a szűrőt, az egész elszennyeződik, és kezdetjük a szűrést előlről; időnként tegyük át a tölcser-t egy másik palackba, vagy öntsük ki a szűrletet a palackból egy műanyag edénybe. Még két trükk a szűréshez: Ha a szűrőpapírt másodszor nem pontosan hajtjuk félbe, és a nagyobb „negyedét” vesszük külön, a szűrő alja kicsit eláll a tölcser-től, és valamivel gyorsabban szűr. Ha a szűrőn fennmaradó csapadékra nincs szükségünk — mint nekünk most — hajtogathatunk *redős szűrőt*, ami még gyorsabban szűr; ilyet láthatunk az **1.13.1** fényképen a jobb oldalon. Vékony, gyenge papírból nem biztos, hogy sikerül jó redős szűrőt hajtogatni.

A szűrlet lehűlésekor a kálisó nagyon szép, hófehér, csillogó kristályokban válik ki. A kristálykiválás már a palackban megindul, ezért jól rázzuk össze a palack tartalmát, és hirtelen öntsük át a kristályosító edénybe. Sajnos, már a szűrőn is válnak ki kristályok. A vegyészek ezt úgy szokták megelőzni, hogy egy fém edénnyel veszik körül a tölcser-t, amibe vizet öntenek és azt melegítik. Bár ezt is meg tudnánk oldani — egy konzervdoboz átfúrt aljába szilikongumiból egy lyukas dugót önthetünk, amibe a tölcser szára beleszorul, a dobozba vizet teszünk, és gázégővel, esetleg teamécsesekkel melegítjük — sokkal egyszerűbben is cél érünk. Ha már tele van kivált kristályokkal a szűrőpapír, tegyük át a tölcser-t egy másik palackba és öntsük a szűrőre forró vizet. A víz leoldja a kristályokat. Ezt a vizet nem érdemes a szűrlethez önteni, mert nem telített, lehűtéskor kevés, vagy egyáltalán semmi kálisó nem válik ki belőle, sőt még az is lehet, hogy a már kivált kristályok egy részét is feloldja. Tehát ha a kristályok zöme leoldódott és a szűrlet lecsepegett, a fazékba öntjük, és ha újra telítődött a fazékban az oldat, tovább folytatjuk a szűrést.



1.13.2 fényképek: kolatorium.

Persze, ennek az egyszerű megoldásnak az a hátránya, hogy a szűrlet csak azon a hőmérsékleten telített, amelyre a tölcserben lehül, például $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on. Nagyon valószínű, hogy egy idő után a szűrő már szinte teljesen eltömődik és nagyon lassan szűr. Ekkor oldjuk le a szűrőről a kristályokat és cseréljük ki a szűrőpapírt. Az egész szűrést addig folytatjuk — szükség esetén még öntve kálisót illetve vizet a fazékba — amíg már csak kevés oldatlan kálisó marad a fazékban. Nem érdemes az utolsó kristályig mindent feloldani, mert lehet hogy valami nehezen oldódó szennyezéssel kínlódnunk.

Ha vége a szűrésnek, 5 kg kálisóból kb. 15 l szűrlet lesz. A szűrlet tiszta, átlátszó, de rendszerint kissé sárgás. Ezt vasvegyületek okozzák, ezektől csak később, kémiai úton tudunk teljesen megszabadulni. Hűtsük le minél jobban, ha lehet, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig, vagy legalábbis jéggel (de nem az oldatba tesszük a jeget, hanem például egy műanyag pohárba, ami úszik az oldatban). Nagyjából a kálisó fele kristályosodik ki. A kristályosítás közben néha kavargatjuk át az anyagot, nehogy az összenövő kristályokból nagy „koloncok” képződjenek, mert azokat nehéz kimosni és később összetörni. Az oldat a kristályok felett az *anyalúg*: ez most is telített, de azon a hőmérsékleten, ameddig lehűtöttük. A kristályokat az anyalúgtól ismét szűréssel választhatjuk el. Bár lehetséges, nem érdemes szűrőpapírt használnunk, mert a kristályok elég nagyok. Elővehetünk egy ősi szűrési módszert: négy lécdarabból (még jobb műanyag lécdarabból) négy szeggel összeépítünk egy négyzet alakú keretet, és egy négyzet alakú tiszta vászondarab négy sarkát a szegekre szűrjük. Ez a *kolatorium*. A közepébe öntjük a kristályokkal kevert anyalúgot, a *zagyot*. Ha az anyalúg lecsepegett, két egymás melletti szegről lekasztjuk a vásznat, és feltekerjük. Végül ki is facsarjuk. Az egész „berendezést” az 1.13.2 fénykép mutatja. Még egyszerűbb, ha egy tiszta vászonzacskót — vászon bevásárlószatyrot — használunk. Ha színes, hypozzuk ki, öblítsük ki néhányszor (nem kell öblítőszer, az csak szennyezést visz az oldatba), és fordítsuk ki, akasszuk fel valahova, például két székre vagy egy létra fokaira tett rúdra, majd öntsük bele a zagyot. A kristályok fennmaradnak, az anyalúg lefolyik. Várjunk míg lecsepeg, majd ki is facsarjuk. Egy kevés jéghideg vízzel mossuk le a kristályokat. Azért lényeges, hogy a víz jéghideg legyen, mert a hideg víz kevesebb kristályt old fel, és az oldódás is lassabb hidegben. Különösen apró kristályoknál lényeges ez, mert azok — a nagyobb felület miatt — gyorsabban oldódnak. Facsarjuk ki a mosóvizet is, de ne öntsük a szűrlethez, hanem öntsük ki. A facsarást most nyugodtan elvégezhetjük kézzel, de utána mossunk kezet. Maró, mérgező anyagoknál gumikesztyűt kell használnunk. A kálisó — mint általában a műtrágyák — nem minősül mérgezőnek, bár nem teljesen ártalmatlan:

15 g-nál több lenyelve halálos lehet. (Nagy adagban még a konyhasó is halálos.) Ezért, ugyanúgy mint a többi vegyszert, semmiképpen se kóstolgassuk. A szűrlet egy kis részét műanyag palackban tegyük el egy későbbi kísérlethez, gondosan ráírva, hogy mi van a kannában.

Egészen profi szinten végezhetjük a kristályok elválasztását az anyalúgtól, ha hozzájutunk egy kimustrált háztartási centrifugához, amelynek belseje és forgó része műanyag bevonatú. A vászonzacskót a centrifugába tesszük, beleöntjük a zagyot. Az anyalúg nagy része lecsorog. Ezután a zacskót nagyjából elegyengetjük és centrifugáljuk. A kristályokon maradó anyalúg kevesebb, mint a kristályok 5%-a. A kristályokat jéghideg vízzel leöblítjük, és újra centrifugálunk. A centrifugát ne hagyjuk sós-vizesen állni, mert megrozsdásodik! Gondosan mossuk ki és hagyjuk megszáradni.

A kapott tiszta kálisót meg kell szárítanunk. Mivel csak vörösszáson olvad meg, a szárítást végezhetjük melegítve vagy csak langyos helyen, időnként egy rozsdamentes kanállal megkeverve az anyagot. Ha hosszú ideig szárítunk, takarjuk le egy újságpapírral. Ha teljesen megszáradt, tegyük jól záró fedelű műanyag dobozba vagy befőttes üvegekbe, ráírva, hogy „kálisó, 1x tisztított”, azaz egyszer tisztított. A befőttes üvegek csavaros teteje a kálisótól biztos, hogy idővel megrozsdásodik, ezért mezőgazdasági vastag polietilén fóliából vágjunk kör alakú lapokat. Bármilyen vegyszert is tárolunk befőttes üvegben, tegyük a teteje alá egy ilyen lapot, így ha a tető megrozsdásodik is, a vegyszer tiszta marad. Kálisókat tovább úgy tisztíthatnánk, hogy mégegyszer átkristályosítjuk (célszerűen desztillált vízből), vagy kémiai módszereket használnánk; ezzel majd később foglalkozunk. Ki szokták számolni a *kitermelést*. Ez azt adja meg, hogy a nyert anyag tömege hány százaléka az elméletileg kaphatónak (ebben az esetben a kiindulási anyagnak). Most ez 40% körül van. A kitermelést úgy növelhetnénk, hogy az anyalúgot bepárolnánk, amíg forrón telített lesz (ebben az esetben kb. a felére), és újra kristályosítanánk. Ez a második *frakció* sokszor nem sokkal tisztább, mint a kiindulási anyag. Most a kiindulási anyag nagyon olcsó, így nem érdemes második frakciót készíteni. □

Miért lesz a második frakció szennyezettebb, mint az első? Egyrészt, az eredeti anyagban lévő szennyezések — most például konyhasó — felszaporodnak az anyalúgban, és előfordulhat, hogy a bepárláskor már a konyhasóra is telített lesz az oldat, így a második kristályosításkor már annak egy része is kiválik. Másrészt a második anyalúgban sokkal több a szennyezés, és az anyalúgot soha nem sikerül teljesen elválasztani a kristályoktól. Ezen ugyan segít valamit a kristályok leöblítése vízzel, de a maradék anyalúg a kristályokra szárad. Harmadrészt, a kristályosításkor rendszerint a szennyezések egy része is bekerül a kristályokba. Például a kálisónak gyakori szennyezése a *brómkáli*. Az oldat (pillanatnyi) százalékos brómkáli tartalmának 60%-a kerül a kristályokba. Ha eredetileg 3 g, azaz 0,6‰ volt a kálisó brómkáli tartalma, akkor az oldaté kezdetben 0,2‰, így az először kiváló kristályoké 0,12‰, a később kiválóké kicsit nagyobb. Így az első kristályosításnál kapott 2,5 kg kálisó mintegy 0,3 g brómkálit visz magával. Szinte az összes brómkáli az anyalúgban maradt, így egy második frakcióban majdnem kétszer annyi lenne a brómkáli tartalom! (Egyébként az anyalúgot pontosan azért raktuk el, hogy később majd megpróbáljuk kinyerni a brómkáli tartalmát.) Vannak olyan szennyezések is, amelyekből ugyanannyi, vagy esetleg még több is átkerül a kristályokba, mint amennyi az eredeti anyagban volt. Ezekről nem tudunk egyszerű kristályosítással megszabadulni. Szerencsére ez nem túl gyakori.

* Ha el akarjuk kerülni a kristályok kiválását a szűrőn és nincs fűthető tölcserünk, akkor

úgy is eljárhatunk, hogy hőszigetelt tölcserít használunk. Egy nagy tejföls pohár, például amelyet a kaloriméterhez használtunk, aljába fúrunk lyukat, tegyünk rá két átfúrt PS hab korongot. Ezen dugjuk át a tölcserít, és köré szórjunk apróra morzsolts PS habot. A tejföls poharat állványba fogjuk. A kálisót és a vizet mérjük: 100 ml víz 50 g kálisótól 80 °C-on lesz telített. Ha az oldatot lassú forrásig melegítjük, akkor a hőszigetelt tölcserben nem válnak ki kristályok. Ha lelassul a szűrés, és kristályok kezdenek kiválni a tölcserben, hagyjuk az oldatot lecsepegni és cseréljük ki a szűrőpapírt. Szükség esetén, ha sok kristály vált ki a papírra, visszatehetjük az oldó fazékba.

Ha olyan anyagot kristályosítunk, amiből lehűléskor csak kevés válik ki, a kristályokról a hideg anyalúgot visszaöntjük az oldó fazékba, és újra telítjük. *

1.13.3 Kísérlet. Második kristályosítási kísérletként konyhasót fogunk tisztítani. Sajnos, ennek az oldhatósága nem változik annyira a hőmérséklettel, mint a kálisóé, ezért a fenti módszer nem használható. Bármilyen kősóból kiindulhatunk, én útszóró sót használtam, de persze jó a boltban vásárolható konyhasó is. Ne vásároljunk finomított sót, mert éppen azt fogunk készíteni. Itt is érdemes forrón oldani a sót, mert úgy gyorsabban oldódik, de lehűléskor alig valami válik ki. (Természetesen akkor is gyorsabban oldódik, ha kisebb darabokban van. Gondoljunk az összerágott savanyúcukorra. Ha nagy darabokba állt össze a só, akkor egy rongyba csavarva kalapáccsal törjük össze.) Ezért el kell párologtatnunk a vizet. Az oldatot a szokásos módon megsűrjük. Ha a szennyezések könnyen leülepednek, akkor elkerülhetjük a szűrést: várunk, amíg kitisztul az oldat, és a tisztáját egyszerűen leöntjük. Ezt az eljárást *dekantálás*nak szokták nevezni. Ha szűrünk, akkor is érdemes lehet a szennyezéseket leülepíteni, és az oldat tisztájával kezdeni a szűrést, hogy a szűrő ne hogy gyorsan eltömödjön. A tiszta oldatot egy hibátlan zománcozású vagy rozsdamentes acél fazékban bepároljuk kb. a felére; ha nagyon bepároljuk, a szennyezések is kiválnak. (A következő kísérlet ezt a forró, tömény sóoldatot használja.) Sok só válik ki, a sókristályok „felkúsznak” az edény oldalán; pontosabban, a kiváló só felszívja a sóoldatot, abból újabb só válik ki, stb. Ezt a sót visszaterelgetjük az oldatba. Ha a kiváló só tiszta, akkor finom szemcsés, ha szennyezett, akkor nagyobb darabokba áll össze. A maradék szennyezéstől majd kémiai úton fogunk megszabadulni. Ha kész a bepárlás, hagyjuk lehűlni az egészet. A kristályokat ugyanúgy választjuk el az anyalúgtól, mossuk és szárítjuk, mint a kálisónál. Amit kaptunk, az a *párolt só* vagy *főzött só*.

* Ha az edény oldalán a só „kimászik” az edényből, mindent bepiszkol. Kifele hajló oldalú edényen erősebb a sókiválás, mert az oldala meleg, különösen, ha nagy lángon melegítjük. Ezért a bepárláshoz *kristályosító csészét* szoktak használni. Ez egy alacsony, hengeres üvegedény. Vízfürdőn, bár helyesebb lenne azt mondani, hogy *gőzfürdőn* szokták melegíteni. Így csak az alja melegszik, és a szélén lecsapódó víz visszamosza a kristályokat. A vegyészek gőzfürdőjén egymásba rakható karikák vannak. Mi is csinálhatunk ilyet. Erősebb (én 2 mm vastagot használtam) alumínium lemezből vágunk ki két sorozat karikát, mindegyik 2 cm széles. Az egyik sorozat belső és külső sugara is páros centiméter, a másiké páratlan. Három helyen egymástól mintegy 1 cm-re 1 cm hosszan fűrészeljük be a karika külső szélét, és ezt a darabkát hajlítsuk le. A vizet egy megfelelő méretű lábasha tesszük, és az egymásba tehető alumínium karikákból álló fedővel fedjük le. Annyi karikát teszünk rá, hogy az oldatot tartalmazó edény éppen ne eshessen bele, és lassan forraljuk benne a vizet. Az edény alján lecsapódó gőz melegíti azt, de a hőmérséklet nem megy 100 °C fölé. Ha mégis e fölé akarunk menni, *légfürdőt* használunk: nem teszünk az edénybe vizet. A fedőt és a víz- vagy gőzfürdőben való melegítéshez használt háromágú csillagot az



1.13.3 fénykép: vákuumszűrő.

1.13.12 fénykép mutatja. Egyébként ha valamit óvatosan, a túlhevítést feltétlenül elkerülve kell bepárolni, akkor is *vízfürdőn* szoktuk bepárolni. Szükség esetén megteszi egy megfelelő méretű lábasha tett üvegtál is.

A szűrés helyett a vegyiparban rendszerint centrifugát használnak, de a vegyész a laboratóriumban rendszerint *vákuumszűrőt*. Ez az 1.13.3 fényképen látható részekből áll: a közepén látható vízszugárszivattyúból, amiről már volt szó, a bal oldalon látható *szűrőpalackból*, ami egyszerűen egy vastag falú, hőálló üvegpalack kis oldalcsővel, amire a vízszugárszivattyú csatlakozik, és a jobb oldalon látható porcelán *Büchner-tölcsérből*. Kell még egy átfűrt parafadugó, ezzel illesztjük a tölcsért a palackba. A tölcsér kilyuggatott lapjára kerek szűrőpapírt teszünk, megnedvesítjük, és gyengén megnyitjuk a vízcsapot. A szűrőpapír a tölcsér aljára tapad. Ezután ráöntjük a zagyot, és jobban megnyitjuk a csapot. Ha a tölcsér megtelt kristályokkal, jól leszívátjuk az anyalúgot. Az 1.13.1 fényképen látható egy *fecskendőpalack*, amiben desztillált vizet szoktak tartani. Ezzel vékony sugárban desztillált vizet tudunk a szűrőn maradó anyagra spriccelni, hogy kimossuk. Érdemes beszerezni egyet. A mosóvizet is jól leszívátjuk, majd először a vízszugárszivattyú gumicsövét lehúzzuk a szűrőpalack oldalcsővéről, *nem a vízcsapot zárjuk el*, mert a szűrőpalackban a légritkított tér a vízszugárszivattyúból visszaszívja a vizet. A kristályok nagy részét kiöntjük, majd folytatjuk a szűrést.

Ha nincs vízszugárszivattyúnk, használhatunk egy kimustrált porszívót is. Ez ugyan sokkal kisebb légritkítást ad, ami 10 m magas vízoszlop helyett csak kb. 1 m magasnak felel meg, de még mindig sokkal jobb, mint a tölcsérben lévő vízoszlop néhány centiméteres magassága. Helyette olyan strandpumpát is használhatunk szeleppel, amivel szívni is



1.13.4 fénykép: szűrőfazék.

lehet.

Ha nincs szűrőpalackunk, magunk is készíthetünk egy még jobb eszközt, *szűrőfazekat*; lásd az 1.13.4 fényképeket. Ez egy erős falú fazék, például egy kuktafazék, amibe egy edényt rakunk, abba folyik az anyalúg. A fazék tetejére vastag deszkából egy fedő jön, aminek az egyik oldalára szilikonumból egy gyűrű kerül két papírszalag közé, ez illeszkedik a fazék peremére. A fazék peremét kenjük be kenőszappannal, hogy ne tapadjon a szilikonhoz, majd nyomjuk a gyűrűbe. Középre a szilikonugumi dugó kerül, ebbe jön a Büchner-tölcsér, a szélén pedig valahol átfúrjuk a fedőt, és epoxi gyantával egy fémcövet ragasztunk bele, ide csatlakozik a vízsugárszivattyú.

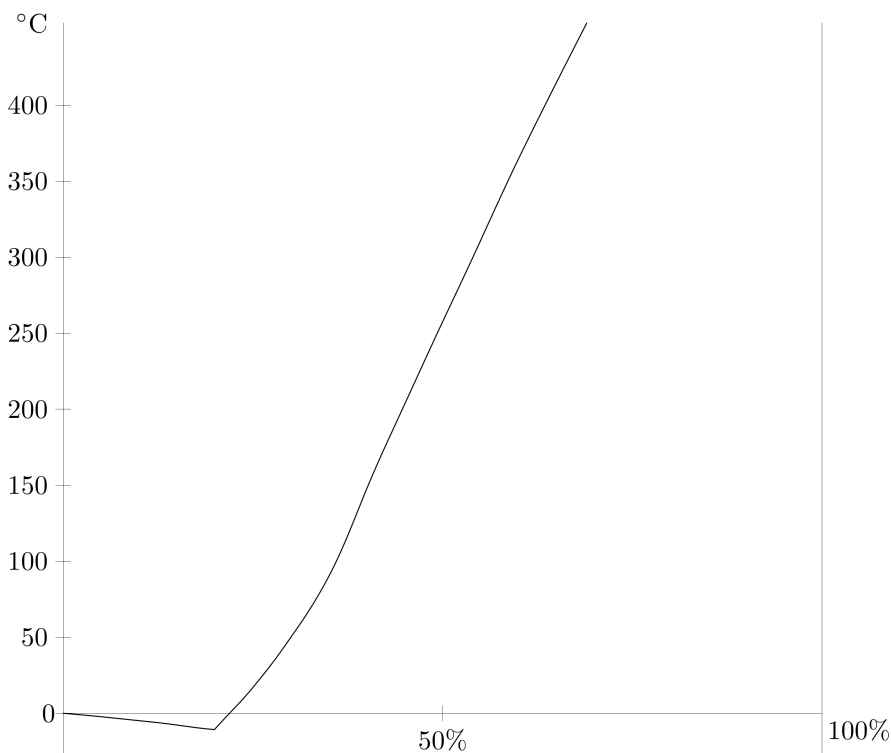
Ha nincs Büchner-tölcsérünk, akkor egy félgömb alakú műanyag tölcserőt is használhatunk, amibe egy átluggatott, szélén ferdeire reszelt, jól illeszkedő, például műanyag *szűrőlapot* teszünk. Erre jön egy kb. 1 cm-rel nagyobb sugarú szűrőpapír. Ha kevés a csapadék, akkor egy lapos fejű nagy szegnek megfelelő alakú műanyag vagy üveg rudat teszünk a tölcserő szárába, és ennek a fejére jön a szűrőpapír. Kristályos csapadéknál megteszi az is, ha egy játék üveggolyót teszünk a tölcserőbe. Végül magunk is csinálhatunk Büchner-tölcserőt szűrőfazékba: a fedőbe ferde szélű nagy lyukat vágunk, szilikonumival egy felül alig kiálló tölcserőt ragasztunk bele, arra jön az átluggatott szűrőlap, arra a szűrőpapír, végül egy henger, amit valahogy a szűrőlaphoz szorítunk. Csak a szűrőlapnak kell erősnek lenni, mert vízsugárszivattyúnál cm^2 -enként 1 kp, porszívónál ennek a tizede terheli.

A legegyszerűbb a tölcserőbe tett játék üveggolyó. Ez teszi a legtisztább munkát lehetővé, az anyagba biztosan nem kerülnek szűrőpapír foszlányok.□

1.13.4 Kísérlet. A sófőzést felhasználjuk a vízgőz sűrűségének meghatározására. A sóoldat magasabb hőfokon forr, mint a víz, kb. 108 °C-on. Ha tehát egy zacskóba zárt pár csepp vizet teszünk bele, az felforr, és felfújja a zacskót. Sajnos, az összes zacskó, amit kipróbáltam, szétolvadt, kilyukadt. Végül egy gyümölcsleves dobozt használtam. Ezek a papírdobozok belül műanyag és alumínium fólia réteggel vannak bevonva, hogy ne engedjék át a levegőt, tehát a gázokat. Mossunk ki egyet nagyon gondosan, a „füleket” hajtsuk fel, hogy jól össze lehessen lapítani, és a csavaros tetejébe keressünk egy (vízvezetékyszereléshez használt) gumi tömítést. Próbáljuk ki, hogy a tömítéssel jól zár-e a fedele? Összenyomva nem jöhet ki a levegő. Ha jól zár, gondosan szárítsuk ki: előbb csepegtessük ki a vizet, majd hajszárítóval hosszabb ideig fűjjünk bele levegőt a nyílása egyik felén, hogy ki is tudjon jönni. Ha teljesen kiszáradt, lapítsuk le amennyire tudjuk, mérjük bele 0,5 g vizet (én műanyag fecskendővel használtam) és zárjuk le a tetejét. A derekán kössük körbe egy madzaggal egy fémcsőhöz. A forrásban lévő sóoldat alatt elzárva a gázt, mérjük meg, hogy milyen távol van az oldat teteje az edény peremétől (nekem ez 34,40 mm volt), majd nyomjuk bele a dobozt. A víz elpárolog, a gőz felfújja a dobozt. Most is mérjük meg, hogy milyen messze van az oldat teteje az edény peremétől (ugyanazon a helyen). Ezt 17,45 mm-nek találtam, tehát a vízszintnövekedés 16,95 mm. Hátra van még annak megmérése, hogy a hidegebb sóoldatban mennyi a szintemelkedés, ezt 2,70 mm-nek találtam, így a gőz 14,25 mm szintnövekedést okozott. Végül megmérve az edény átmérőjét, számítsuk ki, hogy 1 mm szintemelkedés hány ml-nek felel meg. Ez nekem 51,87 ml-nek adódott. Így fél gramm gőz térfogata 739,2 ml-nek, azaz 1 g-é \approx 1,48 l-nek adódott. (Pontosabb mérések szerint 1 atm nyomáson 1,674 l.) □

1.13.5 Kísérlet. Vajon hogy mérték meg a kálisó oldhatóságát vízben? A legegyszerűbb módszer, hogy megmért tömegű vízbe megmért tömegű száraz kálisót szórunk, annyit, hogy valamennyi oldatlan maradjon. Lassan melegítjük és egy hőmérővel kevergetjük. Amikor már alig maradt a szilárd anyagból, leolvassuk a hőfokot, és megvan az oldhatóság ezen a hőmérsékleten. További megmért mennyiségű száraz kálisót adva az oldathoz és tovább melegítve, egy magasabb hőfokon kapjuk meg az oldhatóságot. Az adatokat ábrázolva és összekötve megkapjuk az oldhatósági görbét.

Ha az szeretnénk megmérni, hogy adott hőfokon pontosan mennyi kálisó vagy kősó oldódik fel 100 g vízben, akkor egy kis szűrőpapír tölcserűt készítünk, egy gumigyűrűvel egy pontosan lemért tömegű orvosi fecskendő csővére erősítjük, a fecskendőt egy műanyag zacskóba tesszük, és belemártjuk a sóoldatba. Ez azért kell, hogy felvegye az oldat hőmérsékletét. Pontosán beállítjuk a kívánt hőmérsékletet, és hosszabb ideig kevergetjük az oldatot, hogy az adott hőmérsékleten telített legyen a sóval. A fecskendőt gyorsan kivesszük a műanyag zacskóból, és a szűrőpapíron keresztül teleszívjuk a telített oldattal, kivesszük, levesszük a szűrőpapírt (ami csak arra kellett, nehogy kristályokat szívjunk fel), gondosan megtörölgetjük, majd pontosan megmérjük a fecskendőt. Az oldatot egy pontosan megmért kis pohárba engedjük, és a fecskendő belsejéből is vízzel a sóoldatot a pohárba öblítjük. Meleg helyen hagyjuk beszáradni az oldatot, és kiszámítjuk, hogy hány százalék volt a só. Ebből azt is megkapjuk, mennyi volt a víz, így azt is kiszámolhatjuk, 100 g víz mennyi sót old. Ha ismerjük a fecskendő térfogatát, azt is kiszámolhatjuk, mennyi a telített sóoldat sűrűsége. Épp ezért fecskendő helyett inkább egy rövid csövű, pontosan ismert térfogatú rövid pipettát (lásd később) szoktak használni, amit magunk is elkészíthetünk nagyobb átmérőjű üvegcsőből. A kálisó oldhatóságát vízben — vagy inkább a kálisó-víz keverék olvadáspontját — az 1.13.5 ábra mutatja. Nagyobb tömény-

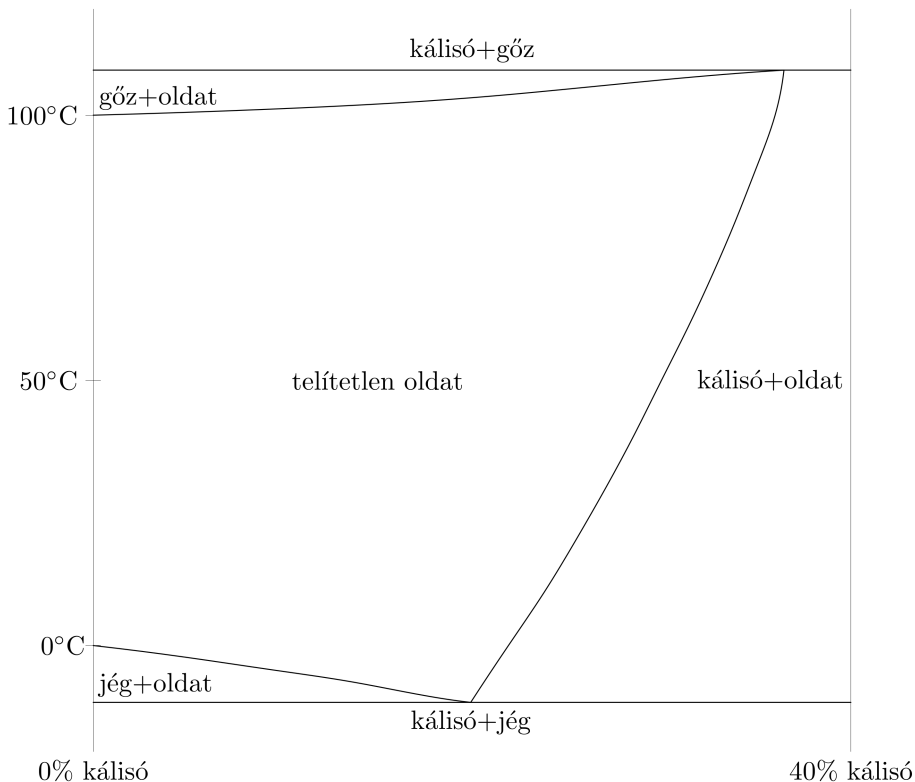


1.13.5 ábra: kálisó oldhatósága vízben.

ségnél az ábra folytatódna egészen a kálisó olvadáspontjáig. Sokszor fordítva ábrázolják, a hőmérséklet van a vízszintes tengelyen, és ezt nevezik oldhatósági görbének. Persze, ezt a mérést nagyon sok anyagra igen gondosan elvégezték. Néhány anyagra könyvünk végén is találunk táblázatot. Bővebb táblázat található magyarul a [106], [135] és [146] könyvekben, németül a [28] könyvben, és persze a világhálón. Ugyanígy találunk táblázatokat oldatok sűrűségére, forráspontjára, stb. □

1.13.6 Kísérlet. Ha a sófőzés anyalúgját betesszük a mélyhűtőbe, nem fagy meg, legfeljebb egy kevés só válik ki belőle. Más oldatoknál is tapasztalhatjuk ezt, például cukros szörp, narancslé sem fagy meg. Hogy pontosabban megértsük a jelenséget, a kálisó kristályosítás anyalúgjából egy keveset egy műanyag edénykében hígítsunk fel nagyjából háromszor annyi vízzel, tegyünk bele egy hőmérőt, és tegyük be a mélyhűtőbe. Ne hagyjuk keményre fagyni, hanem gyakran nézzünk rá. Nagyjából -2 – -3 °C-nál jég kezd kifagyni az oldatból (a sós tengervízből kifagyó jéghegyek sem tartalmaznak sót), az oldat pedig töményedik. Kb. -5 °C-nál már az oldat fele jégként kifagy. Tovább hűtve az oldatot, ≈ -10 °C-nál a az egész maradék tömény oldat megfagy. Só és jég kristályok vegyesen vannak az utoljára megfagyott, legkönnyebben olvadó részletben, de ez általában csak erős nagyításnál látható. Ezt *eutektikum*nak nevezzük; a görög szó „jól olvadót” jelent.

Nagyítsuk ki az előző ábra alacsony hőmérsékleteknek megfelelő részét: lásd az 1.13.6 ábrát. Az eutektikum a görbe töréspontjának felel meg, a hőmérséklet $-10,7$ °C, az össze-



1.13.6 ábra: kálisó oldhatósága vízben 1 atm nyomáson.

tétel 19,34% kálisó. (A könyvünk végén lévő oldhatósági táblázat számos anyag eutektikus hőmérsékletét és összetételét is tartalmazza.) Az eutektikus hőmérsékletnek megfelelő vízszintes vonal alatt csak jég és szilárd kálisó van. Az eutektikus ponttól balra eső görbe a *fagyáspontgörbe*, a jobbra eső pedig az *oldhatósági görbe*, ami a telített oldatnak felel meg. De mi az ábrán a felső görbe vonal? A másik ábrán ilyen nem volt! Ez az oldat *forráspontgörbéje*, a forráspont az összetétel függvényében. Ez az ábra 1 atm nyomásra vonatkozik, míg a másik ábra nagyon nagy nyomásra. Amikor a hőmérséklet eléri a forráspontgörbét, az oldatból a víz egy része elpárolog, az oldat összetétele pedig eltolódik a forráspontgörbe mentén. Amint elérjük a telített oldat forráspontját, kálisó kezd kiválni és víz párolog el. E felett a hőmérséklet felett már csak kálisó és gőz van jelen. Kirajzolhattuk volna a több mint 40% kálisónak megfelelő részt is, de ott semmi izgalmas nincs: felül kálisó és gőz, a forráspontgörbe vízszintes, középen kálisó és oldat, alul kálisó és jég. Az oldhatóságot a nyomás csak kis mértékben befolyásolja, a forráspontot viszont nagyon. Ezt az ábrát is szoktuk állapotábrának nevezni, bár a nyomástól való függést nem ábrázolja.

* Könnyen elképzelhetjük azonban, mi történik, ha a nyomást változtatjuk. A nyomás lehet egy harmadik koordináta (dimenzió), mondjuk a papír síkjára merőlegesen befelé haladva csökken. A nyomás csökkentésével a fagyáspontgörbe alig változik, például a tiszta víznek megfelelő bal oldali végpontja a víz hármaspontjának megfelelő $\approx 0,0061$ bar

nyomásnál 0,01 °C-ig emelkedik. A fagyáspontgörbe tehát a nyomás csökkentésével a térben egy felületet rajzol ki, amely majdnem merőleges a papír síkjára. Hasonlóan alig változik a nyomás csökkentésével az oldhatósági görbe, és így a két görbe metszéspontja, az eutektikus pont is. Annál jelentősebben változik a nyomás csökkentésével a forráspontgörbe: fokozatosan jön lefelé. Végül a víz hármaspontjának megfelelő nyomásnál a bal oldali végpontja összeér a fagyáspontgörbével. Ennél kisebb nyomáson megjelenik egy vízszintes vonal, amely a kálisó+jég részt választja el a kálisó+gőz résztől, és a jég szublimációs hőmérsékletének felel meg. A telítetlen oldat tartománya egyre kisebb lesz, végül egy ponttá húzódik össze. Ezt a pontot nevezhetjük „négyespontnak”, mert itt négy fázis érintkezik: kálisó, jég, gőz és oldat.

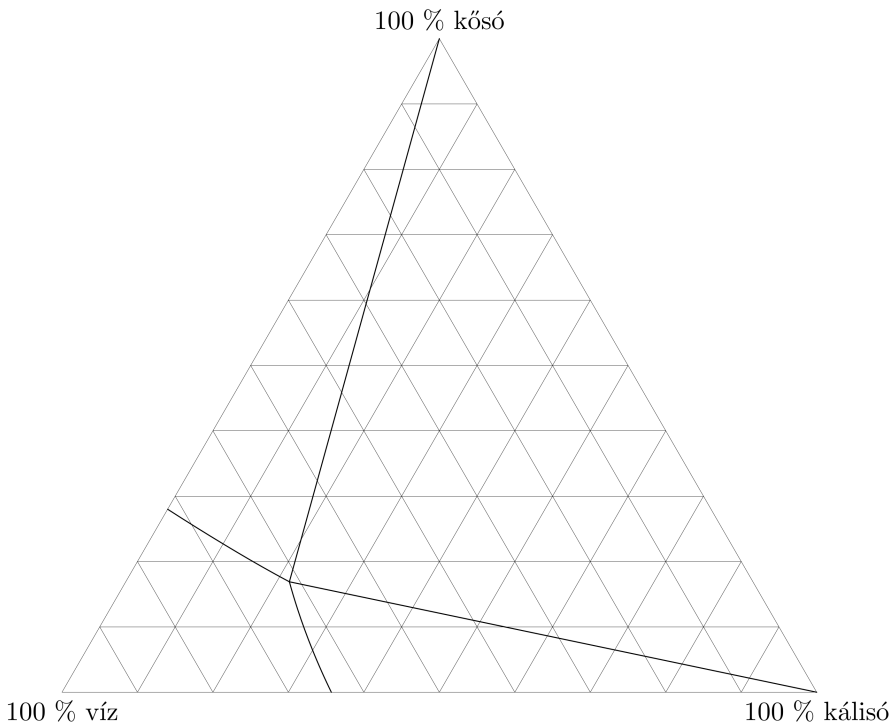
Vizsgáljuk meg, mi a helyzet a víznél talált

$$\text{fázisok száma} + \text{szabadsági fokok száma} = \text{anyagok száma} + 2$$

fázisszabállyal. Az anyagok száma most 2, tehát a jobb oldal 4. A „négyespontban” a nyomás, a hőmérséklet és az egyetlen változtatható összetételű fázis, az oldat összetétele adott, így a szabadsági fokok száma nulla. Ez alatti nyomáson csak két fázis van, kálisó és gőz, de a nyomás és a hőmérséklet változtatható, tehát két szabadsági fok van. E fölötti nyomáson, például az ábrának megfelelő 1 atm nyomás közelében több tartomány van. Legfelül két, nem változó összetételű fázis van, kálisó és gőz, a nyomás és a hőmérséklet változhat, tehát a szabadsági fokok száma kettő. Ugyanez a helyzet legalul, ahol kálisó és jég van. A telítetlen oldat tartományában csak egy fázis van, viszont három szabadsági fok: az oldat összetétele, a nyomás és a hőmérséklet. Az oldhatósági görbétől jobbra két fázis van, kálisó és telített oldat. Mivel a telített oldat összetételét a nyomás és a hőmérséklet már meghatározza, a szabadsági fokok száma kettő. Ugyanez a helyzet a fagyáspontgörbétől balra: két fázis van, jég és oldat, de az oldat „jégre telített”, összetételét a nyomás és a hőmérséklet már meghatározza, így itt is két szabadsági fok van. Hasonló a helyzet a forráspontgörbétől balra. *

1.13.7 Kísérlet. Az eutektikumok létezését hűtőkeverékek készítésére szokták kihasználni. Leggyakrabban a konyhasót szokták felhasználni, az eutektikus hőmérséklet $-21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, az összetétel 22,41 % konyhasó. Ha tehát 2 rész konyhasót 6–7 rész apróra tört jéggel — még jobb, ha hóval — keverünk össze, a keverék $\approx -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hűl le — közben a jég egy része megolvad — és ezen a hőmérsékleten is marad, amíg minden jég el nem olvad. A hőt tulajdonképpen a jég olvadáshője „viszi el”. Persze nem kell tiszta sőt használnunk, a szennyezett is megfelel. Próbáljuk is ki: sima aljú konzervdobozt, sörösdobozt, kólásdobozt, vékonyfalú alumínium edényt megtöltve a keverékkel, az edény vizes deszkára azonnal odafagy, és a külsejére ráfagy a pára. Hőmérővel mérve látjuk, hogy $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ közelébe süllyed a keverék hőmérséklete. Régen ezt használták fel fagylaltkészítésre: a jeget nagy, jól hőszigetelt vermekben téltől nyárig tárolták. Ha nincs szükségünk $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra, akkor például $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot úgy is elérhetünk, hogy jeget vagy havat nagyjából ugyanannyi telített sóoldattal keverünk össze, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -hoz pedig kétszeresére hígított telített sóoldattal. A keverék hőmérséklete a fagyáspontgörbének megfelelő hőmérsékletre áll be. Egyébként az utakat is ezért sózzák télen: ha a fagyáspontgörbe felett van a hőmérséklet, a jég elolvad.

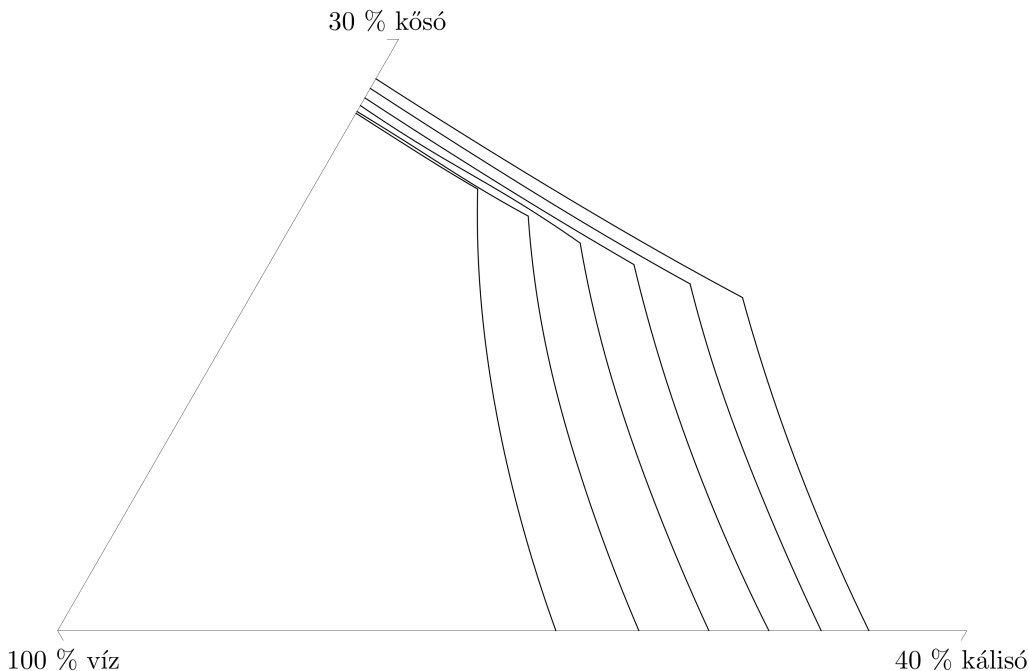
1.13.8 Kísérlet. Vajon hogyan választják szét a kálisót a kősótól, amivel gyakran összekeveredve található? (Ilyen keverékek valamikori tengerek bepárolódásakor jönnek létre,



1.13.7 ábra: kősó és kálisó oldhatósága vízben.

és eltemetődve találhatók, bányásszák őket.) A legrégebbi és legegyszerűbb módszer kristályosítással dolgozik. A kísérlet elég hosszadalmas, talán nem is érdemes megcsinálni, de az elv érdekes. A kálisó oldhatósága elég erősen változik a hőmérséklettel, a kősóé nem. Ha a keverék egy részét forrón vízben oldjuk, majd lehűtjük, kősó nem is válik ki, csak kálisó. Ha most ezt az oldatot felmelegítjük, és újabb keveréket próbálunk meg benne oldani, csak a kálisó oldódik, kősó nem, mert arra telített az oldat. Ha éppen megfelelő mennyiségű keveréket próbálunk meg oldani, akkor minden kálisó feloldódik, és gyakorlatilag tiszta kősó marad vissza, lehűtéskor viszont tiszta kálisó válik ki. Így szét tudjuk választani a két anyagot. Persze a szétválasztás nem tökéletes, mert sem az oldáskor, sem a kristályosítás után az anyalúgot nem tudjuk tökéletesen elválasztani a szilárd anyagtól. Mindkét sót kristályosítással tovább lehet tisztítani. A pontos munkához a szétválasztandó keverék összetételén kívül a két só együttes oldhatóságát is ismerni kell.

** Az 1.13.7 ábra 100 °C-on ábrázolja a két só együttes oldhatóságát. A háromszög bal alsó csúcsa a tiszta víznek, a jobb alsó a tiszta kálisónak, a felső pedig a tiszta kősónak felel meg. A megtört görbe vonal a két só együttes oldhatósági görbéje. A töréspont a mindkét anyagra telített oldatnak felel meg. Az innen kiinduló két egyenes között mindkét sóra telített oldat van kálisóval és kősóval. Ez alatt a rész alatt kálisó van kálisóra telített, de kősóra telítetlen oldattal, felette pedig kősó kősóra telített, de kálisóra telítetlen oldattal. A megtört görbe vonal felső szakasza kősóra telített, kálisóra telítetlen oldat, alsó fele pedig kálisóra telített, kősóra telítetlen oldat összetétele. A megtört görbe vo-



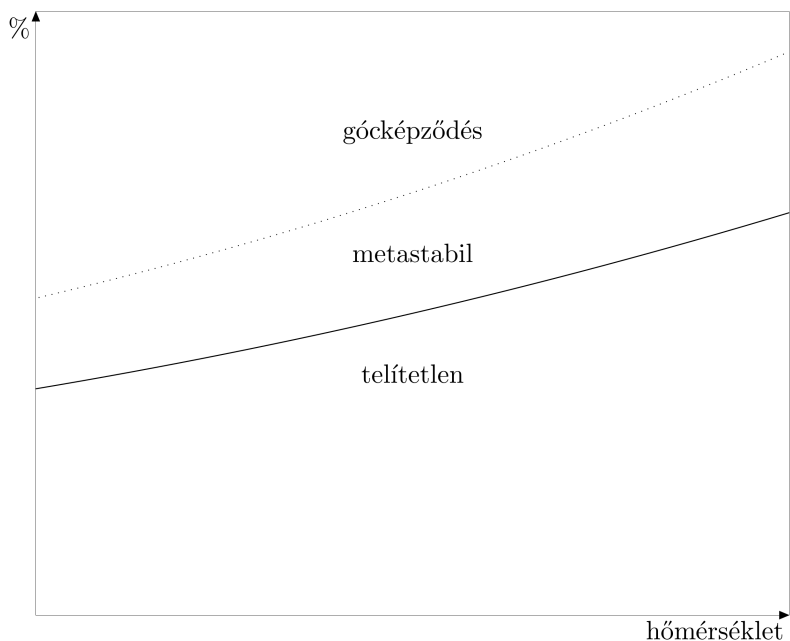
1.13.8 ábra: kősó és kálisó oldhatósága vízben.

naltól a víznek megfelelő csúcsig tartó rész telítetlen oldatnak felel meg. Minden pontnak egy összetétel felel meg: ahányszor közelebb van az adott pont a szembelevő oldalhoz, mint egy adott tiszta anyagnak megfelelő csúcsához, annyiszor kevesebbet tartalmaz az adott anyagból a tiszta anyagnál. A segédvonalak segítségével könnyen leolvashatjuk a százalékos összetételt.

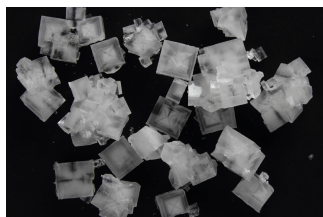
A hőmérséklet csökkenésével az oldhatóságok csökkennek, a megtört görbe vonal a víznek megfelelő csúcs felé mozdul el. Az 1.13.8 ábra 0, 20, 40, 60, 80 és 100 °C-ra ábrázolja a megtört görbe vonalakat, kinagyítva a tiszta víznek megfelelő csúcs környezetét. Az áttekinthetőség kedvéért az egyeneseket és a segédvonalakat elhagytuk. Látható, hogy a kősó oldhatósága sokkal kevésbé csökken, mint a kálisóé. Az ábra 1 atm-ra vonatkozik. Ha a hőmérsékletet harmadik koordinátának (dimenzióknak) tekintjük, amely mondjuk a papír síkjára merőlegesen befelé csökken, akkor a megtört görbe vonal mozgása egy felületet rajzol ki. Természetesen 100 °C felett illetve 0 °C alatt az ábra bonyolultabb lenne, megjelenne a gőz, illetve a jég, és ezzel újabb felületek. Például a mindkét sóra telített oldat fagyáspontja $-22,9$ °C, alacsonyabb, mint a kősó, illetve a kálisó eutektikus hőmérséklete, és persze jóval alacsonyabb, mint a legalacsonyabb fagyáspontú kősó–kálisó keverék fagyáspontja (658 °C, 43,94% kősó; a kősó olvadáspontja 800 °C, a kálisóé 775 °C). És még a nyomás hatását figyelembe se vettük, ehhez egy negyedik dimenzió (koordináta) kellene! Szerencsére az oldhatóságok a nyomással kevésbé változnak. Most is érvényes a fázisszabály:

$$\text{fázisok száma} + \text{szabadsági fokok száma} = \text{anyagok száma} + 2,$$

de most az anyagok száma 3. Például a mindkét sóra telített oldat fagyáspontja ugyan



1.13.9 ábra: túltelítés.



1.13.10 fénykép: nagy kristályok.

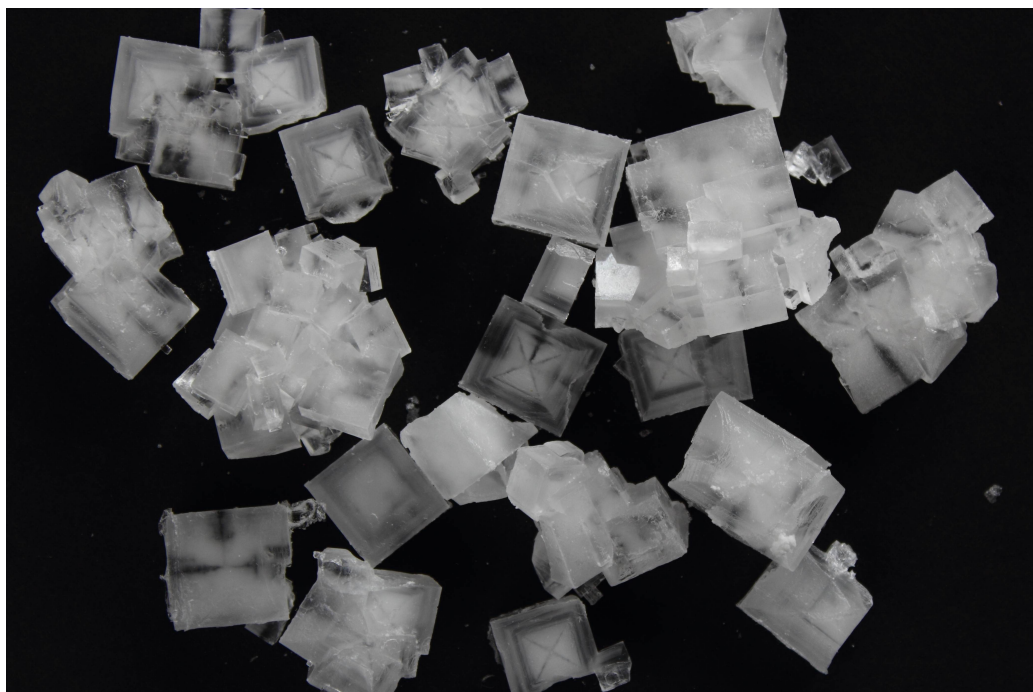
kicsit megváltozik a nyomás csökkentésével, de valahol $-22,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ közelében van egy „ötös-pont”, ahol mindkét sóra telített oldat, gőz, jég, és még kétféle szilárd anyag van jelen, de a szabadsági fokok száma nulla: a nyomás megfelel a jég gőznyomásának ezen a hőmérsékleten, és az egyetlen, általában változó összetételű fázis, az oldat összetétele is adott: kálisóra és kősóra is telített ezen a hőmérsékleten és nyomáson. Ha telítetlen oldat az egyetlen fázis, akkor a kálisó és a kősó koncentrációja, a hőmérséklet és a nyomás is változhat. Ha három fázis: oldat, szilárd kősó és kálisó is van jelen, akkor a mindkét anyagra telített oldat összetétele a hőmérséklet és a nyomás megadásával adott, stb. ** □

1.13.9 Kísérlet. Hogyan növeszthetünk nagy kristályokat? A kristályokkal ugyanaz a helyzet, mint a gőzből kiváló apró cseppekkel: ahogy a kis cseppeknek nagyobb a gőznyomása, ugyanúgy a kis kristályoknak nagyobb az oldhatósága, mert közelebb állnak az oldott állapothoz. Ezért a kristályok képződése nehezen indul meg. A helyzetet vázlatosan az 1.13.9 ábra ábrázolja. A folytonos vonal az oldhatósági görbe, ez alatt az oldat

téltetlen, e fölött túltéltett: ha vannak az oldatban kristályok, az oldott anyag azokra kiválik. Egy bizonyos, az oldott anyagra és az oldószerre jellemző túltéltettség felett a kis kristályok, „góccok” képződése megindul. Ezt jelzi a pontozott görbe. Ezt nem egy éles határként kell elképzelni, csak e felett a gócképződés gyors, pillanatok alatt sok apró kristály válik ki, alatta pedig lassú, esetleg hetekig nem képződnek kristályok, és ha keletkezik egy-két kristályka, azok fognak növekedni, nem képződnek újak. Az ilyen oldatot *metastabilnak* nevezzük; a szó azt jelenti, hogy „túl az állandóságon”. Tehát nagy kristályok keletkezéséhez a kevés kristálykát tartalmazó oldatot metastabil, azaz enyhén túltéltett állapotban kell tartanunk. Ez kétféleképpen lehetséges: lassan hagyjuk lehűlni, vagy lassan elpárologtatjuk az oldószert. A természetben a szép ásványkristályok lassan lehűlő oldatokból vagy olvadékokból váltak ki. Például vulkánkitöréskor a gyorsan lehűlő láva nagyon finomszemcsés, apró kristályokból áll, míg a mélyben igen lassan lehűlő, lassan megdermedő láva akár centiméteres kristályokból. Azt is megmagyarázhatjuk, miért áll az eutektikum összekeveredett apró kristályokból? Ha valahol egy jégkristályka válik ki, a környezete túltéltett lesz a sóra, így sókristályok kezdenek kiválni, amiktől az oldat túltéltett lesz jégre, stb.

Nagy kristályok növesztéséhez számunkra az oldószert lassú elpárologtatása lesz a kényelmesebb. Leegyszerűbb, ha az oldatot — megsűrve, hogy ne maradjon benne sok apró kristály — egy befőttes üvegbe öntjük és egyenletes hőmérsékletű helyen hetekig, esetleg hónapokig állni hagyjuk. Hogy ne menjen bele por, és a párolgás is lassabb legyen, takarjuk le egy újságpapírral. Ha több réteg újságpapírt teszünk rá, és azt egy befőttes gumival lefogadjuk, a párolgás még lassúbb lesz. Ha papírtörölt használunk, a párolgás gyorsabb. Az 1.13.10 fényképek közül a bal oldali kősó, a középső kálisó, a jobb oldali cukor így növesztett kristályait ábrázolja. Ha a kristályok elég nagyra nőttek, az anyalúgot leöntjük róluk, a kristályokat vastag papírrétegre kiöntjük, és papírral (legjobb a papírtörölt) gondosan leitatjuk róluk az anyalúgot, egyébként kis kristályok száradnak rájuk. Ennek az egyszerű kristálynövesztési módszernek a hátránya, hogy a kristályok nem teljesen szabályosak, hiszen lefelé nem tudnak növekedni. Ezen segíthetünk, ha időnként óvatosan megforgatjuk őket. Más anyagokkal is próbálkozhatunk: kálisóval, szalmiáksóval, kálisalétrommal, nátronsalétrommal, és még számtalan más anyaggal, amivel csak ezután fogunk találkozni. Ha nátronsalétromot sikerül kristályosítanunk, megfigyelhetjük, hogy ha nyomtatott papírra tesszük, rajta keresztül a betűk duplán látszanak. Ennek a *kettőstörésnek* nevezett jelenségnek a magyarázatát a fizikai részben találhatjuk meg. □

1.13.10 Kísérlet. Ha sikerült nagy kősókristályokat növesztenünk, elvégezhetünk velük egy egyszerű kísérletet. Egy lángelosztó lapra tegyünk néhány nagy kristály, és gázlángon melegítsük őket. Ha már nagyon forrók, akkor némelyik hangos csattanással szinte szétrobban, darabjai szerte repülnek. Tegyük fel egy szemüveget, hogy védjük a szemünket! A jelenség oka, hogy a nagyobb kristályok rendszerint anyalúgot zárnak magukba. Ez melegítve elpárolog, és a gőz nagy nyomása szinte szétrobbantja a kristályt. Apró kristályokkal megismételve a melegítést nem tapasztalunk ilyesmit. Ezért tisztításkor gyors hűtéssel apró kristályokat igyekszünk előállítani, mert azok rendszerint tisztábbak. Ennek ellenére nem könnyű a kristályokat teljesen kiszárítani. Például azt tapasztalták, hogy kősó kristályok 180–250 °C-on 4 óráig tartó szárítás után 1,9‰ vizet tartalmaztak és 12 óráig tartó szárítás után is 180–250 °C-on 1,4‰, 295–300 °C-on 0,9‰ víz maradt, és csak 380 °C-on távozott minden víz. Ha nagyon jól ki akarunk valamit szárítani, szárítás után porrá törjük, majd újra szárítjuk. □



1.13.11 fénykép: timsó kristályosítása.

1.13.11 Kísérlet. Ha szép szabályos, nagy kristályokat akarunk előállítani, akkor legjobb egy kristálykát egy selyem vagy műselyem (nylonharisnyából) szárra felfüggeszteni, és úgy lógatni a kissé túltelített oldatba. Szép kristályok növeszthetők például timsóból (festésnél a fal előkészítésére szokták használni). Készítsünk desztillált vízzel mintegy fél liter langyos telített oldatot, (20 %-kal több timsót vegyünk, mint amennyi kell), szűrjük meg, öntsük egy lapos tálba, és hagyjuk újságpapírral letakarva állni. A kivált kristálykák közül válasszunk ki egy szép szabályos „oltókristályt”. Legalább 3 mm nagy legyen. Az oltókristályról az oldatot papírzsebkendővel itassuk le. Ha nincs elég nagy kristályka, készítsünk újra langyos telített oldatot, szűrjük meg, de most tegyük bele az oltókristályt, hogy az növekedjen tovább. A szálát hurkoljuk az oltókristályra; ez nem nagyon megy, ha túl kicsi. Másik lehetőség, hogy a szálát betesszük a tál aljára, és a rajta kivált kristálykák közül választunk oltókristályt. A felette lévő kristálykákat lemorzsoljuk, közvetlenül alatta pedig elvágjuk a szálát. Egy nagyobb, tiszta befőttes üvegbe készítsünk telített, gondosan megszárt oldatot. Újságpapírral fedjük be, és az azon fúrt lyukon keresztül lógassuk bele a szálát. Néhány nap alatt olyan helyiségben, ahol a napi hőmérséklet-ingadozás nem több, mint 5 °C, szépen megnő a kristályka, persze csak akkor, ha más kristályok nincsenek az oldatban. Néha kristályok válnak ki ott, ahol a szál az oldatba ér. Ezt elkerülhetjük, ha vastagabb nylon zsinórból (például fűkaszához használnak ilyet) egy állványt hajlítunk, ami teljesen az oldatban van, és erre kötözzük a szálát: lásd az 1.13.11 fényképet.

Nem csak a timsóra, hanem két másik anyagra is megadom, hogy 100 g víz hány g anyagot old fel, és hogy milyen túltelítettség célszerű 24 °C körüli növesztési hőmérsékle-

ten (g/100 g víz). A nátrium-klorát azért érdekes, mert elforgatja a poláros fény síkját; hogy ez mit jelent, arról később lesz szó.

Anyag	20 °C	25 °C	30 °C	Túltelítés
timsó	11,40	14,14	16,58	4
nátronsalétrom	88	92	96	3
nátrium-klorát	101	106	113	4

1.13.12 Kísérlet. Még egy anyagot, ammonsalétromot fogunk kristályosítással előállítani. Ezt nitrogén műtrágyának használják. Kémiai neve ammónium-nitrát, és általában szinte tisztán is árulják ezen a néven. A csomagolásra rá van írva, hogy hány százalék a nitrogén tartalom (néha csak N tartalmat írnak), általában 34 %. A tiszta ammonsalétrom nitrogéntartalma 35 %, így látjuk, hogy az anyag majdnem tiszta. Ha nem kapunk ilyen tiszta anyagot, akkor „péti sót” vásároljunk. Ebben általában 70–80 % az ammonsalétrom. Mivel a nitrogéntartalom rá van írva, kiszámolhatjuk, hogy pontosan mennyi. A többi rendszerint a dolomit nevű ásvány pora. Nem egy ritka ásvány, ebből van a Gellért-hegy és az egész Bakony. Megteszi a „péti mézsó” is, ebben több a dolomit. Először a péti sóból való ammonsalétrom előállítását fogom leírni. Az ammonsalétrom, mint általában a műtrágyák, nem tekinthető mérgezőnek, de azért ne kóstolgassuk. Veszélyesebb tulajdonsága, hogy táplálja az égést, és kb. 160 °C-tól elbomlik, a bomlástermékek veszélyesek! Ipari robbanóanyagként is használják, tisztán vagy 6 % tüzelőolajjal keverve. Szerencsére még ez a keverék is csak más robbanóanyagok erőteljes robbanásától robban fel, különben nem is árulnák az ammonsalétromot tisztán. Mindenesetre óvatosan bánjunk vele, ne melegítsük, és ne keverjük éghető anyagokkal. A péti só már nem robbantható, ez az egyik előnye.

A kristályosításnál azt használjuk fel, hogy a dolomit nem oldódik vízben, az ammonsalétrom viszont nagyon jól oldódik. Ezt, hogy *nagyon jól oldódik*, akkor szoktuk mondani egy anyagra, ha ugyanannyi súlyú oldószerben feloldódik. Ha legfeljebb 10-szer annyi oldószer kell, akkor azt mondjuk, hogy *jól oldódik*, ha legfeljebb 100-szor annyi, akkor *mérsékeltlen oldódik*, ha legfeljebb 1000-szer annyi, akkor *kevésbé oldódik*, ha legfeljebb 10000-szer annyi, akkor *alig oldódik*, ha még ennél is több, akkor *gyakorlatilag oldhatatlan*. Persze, ezek csak nagyságrendi kategóriák. A vegyész kristályosításnál azt szereti, ha az anyag jól oldódik, mert egyébként nagyon sok oldószer kell, nagyon jól oldódó anyagoknál pedig nagyon kevés, így ezeknél nagyon tömény és nagyon kevés anyalúg lesz, amit nehéz elválasztani a kristályoktól. Az ammonsalétromból 100 g vízben 0 °C-on 118,3 g, 20 °C-on 192 g, 30 °C-on 241,8 g, 100 °C-on pedig már 871 g oldódik! Az eutektikus hőmérséklet –16,9 °C, itt 73,3 g oldódik. Az ammonsalétrom oldására grammonként 0,5 ml vizet fogunk számítani. Lemérjük a péti sót, kiszámítjuk, mennyi benne az ammonsalétrom, mennyi víz kell, és ennyi forró vizet adunk hozzá. A víz jó forró legyen, mert adott mennyiségű vízben ugyanannyi ammonsalétromot feloldva a hőmérséklet 25–27 °C-kal csökken, többet oldva még többel is. (Ezt is felhasználhatjuk hűtésre!) Itt tehát majdnem 50 °C-os lehűlésre számíthatunk. Hogy miért csak majdnem, az kiderül a következő kísérletből, amit ide be is iktathatunk. Az oldat nagyjából 22 °C-on lesz telített, ez alá nem szabad hűlnie. Tartsuk langyos helyen, vagy ha kristályok válnak ki, tegyük langyos helyre, hogy oldódjanak fel. Megpróbálhatjuk leszűrni, de nekem nem sikerült. Az ammonsalétrom kémiai reakcióba lép a dolomittal, és kicsit oldja azt, majd az oldatból újra finom por válik ki. Megpróbálkozhatunk azzal, hogy a csapadékos folyadékot hagyjuk áll-



1.13.12 fénykép: csillag és vízfürdő.

ni: mivel az igen apró kristályok jobban oldódnak, mint a nagyobbak, lassan feloldódnak, és kiválnak a nagyobb kristályokra, ez azonban elég lassú folyamat, mert a folyadékokban lassú a diffúzió, különösen hidegen, melegíteni viszont nem tanácsos az oldatot, mert akkor még jobban oldódik a dolomit. Ülepítéssel boldogulhatunk: fél-egy nap alatt a dolomit leülepszik. Leöntjük, azaz dekantáljuk az oldat tisztáját, majd egy másik edénybe a zavaros részt. Legegyszerűbb ezt úgy csinálni, hogy egy nagyobb edénybe egy kisebb, megfelelő méretű, lehetőleg lapos edényt teszünk. Ebbe öntjük a zavaros oldatot, és a nagyobb edényt lefedjük. Ha leülepedett, a kisebb edény egyik szélét megemelve, átöntjük a tiszta folyadékot a nagyba. A zavaros részt máshova öntjük. A sűrű csapadékot félretesszük, a zavaros résszel pedig megismételjük az ülepítést. Persze, lehet hogy még így is szűrünk kell a tisztáját, ha a tetején is úsznak szennyezések. Ha végül sikerült tiszta oldatot kapnunk, azt só-jég keverékben hűtjük és a kristályokat vászonzacskóval gyorsan leszűrjük, ha lehet, centrifugáljuk. Legfeljebb nagyon kevés nagyon hideg vízzel lehet mosni, különben feloldódik. A tisztított ammonsalétromot persze nem száríthatjuk sütőben, hanem csak meleg helyen, száraz levegőben. A maximális szárítási hőmérséklet 100–110 °C. Ha a relatív páratartalom 70% alatt van, nem köt meg vizet. A dolomit port is kinyerhetjük többszöri *dekantálással* kimosva: bő vízzel felkavarjuk, ülepítjük, és leöntjük a tetejét. Ha egy dekantálással mondjuk a 9/10-ét sikerül az ammonsalétromnak eltávolítani, akkor hatszori dekantálással már csak a milliomod része marad. Néhányszor megismételve a dekantálást tehát kimossuk belőle az ammonsalétromot, majd (akár sütőben) megszárazítjuk. Később majd fel fogjuk használni.

Tisztább ammonsalétrommal teljesen hasonlóan járunk el, de persze a leszűrt szennyeződést eldobjuk. Az anyalúg főleg mészsálétrommal, esetleg magnéziasálétrommal szennyezett, de azért fel tudjuk majd használni, esetleg el lehet tenni. Nagy lapos edényben újságpapírral letakarva meleg helyre téve be is párolhatjuk, de tűzön semmi esetre sem! Persze, nemigen érdemes pepecselni vele, és a dolomittal sem, mert olcsó anyag. □

Biztosan volt akinek feltűnt, hogy a kősó oldásakor nem észlelünk hőmérsékletváltozást, és az oldhatósága nem nagyon nő a hőmérséklet növelésével, a kálisó oldásakor lehűlést tapasztalunk, az oldhatósága nő a hőmérséklet növekedésével, az ammonsalétrom oldásakor erős a lehűlés, és az oldhatósága nagyon gyorsan nő a hőmérséklet növelésével. Ez speciális esete a kémia egyik fontos alapelvének, a Châtelierelev hâtelierelv Le Châtelierelev *Le Châtelierelevnek*. E szerint ha a körülményekben változás áll be, akkor az egyensúly úgy toródik el, hogy csökkentse a változást. Itt a hőmérsékletet növelve azoknál az anya-

goknál, amelyeknek az oldódása hőfelvétellel jár, idegen szóval *endoterm*, nő a feloldott anyagmennyiség, ezzel csökkentve a hőmérsékletváltozást. Van néhány anyag, amelynek az oldódása hőleadással jár, idegen szóval *exoterm*. Ezeknek az oldhatósága a hőmérséklet növelésével csökken, és melegítésre részben kiválnak az oldatból, ami hőelvonással jár, így csökkenti a hőmérsékletet. Általában is, ha egy reakció egyensúlyra vezet, akkor a hőmérséklet növelése endoterm, a csökkentése exoterm irányba tolja el az egyensúlyt. Jelentős térfogatváltozással járó reakciók a nyomás növelésére a térfogatcsökkenéssel — és így nyomáscsökkenéssel — járó irányba, nyomáscsökkentésre viszont fordítva tolódnak el, gondoljunk például a forrásra.

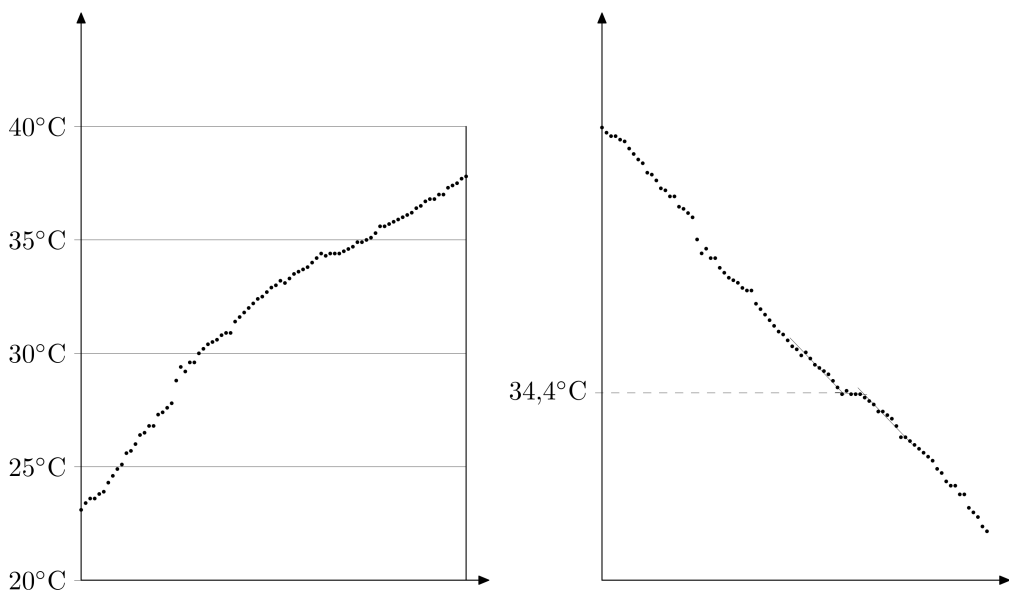
A forrásnál pontos összefüggést is találtunk erre, a Clapeyron-egyenletet. Kémiai folyamatokra is hasonló összefüggést fogunk találni. ** Az oldódásra az alábbi összefüggés érvényes:

$$\frac{\Delta c}{c} \approx \frac{\Delta T}{T} \cdot \frac{H}{K \cdot T},$$

nagyon hasonlít a Clapeyron-egyenlethez a forrásnál a nyomásváltozásra kapott összefüggésre. Itt c a koncentráció, legtöbbször g/l-ben, Δc a változása, H az oldáshő valamilyen adott anyagmennyiségre. A K konstans arányos ezzel az anyagmennyiséggel, függ az oldószertől és az oldott anyagtól. Meghatározható a minden kémiai változásra érvényes általános összefüggésből, amivel majd később foglalkozunk. Ügyelnünk kell az oldáshő előjelére: a forrásnál a forráshőt pozitívnak vettük, pedig a forrás endoterm folyamat. Itt is ezt a megállapodást kell követnünk: a hőmennyiséget a rendszer szempontjából kell vennünk, ha a rendszer hőt vesz fel — tehát ha az oldódás endoterm — akkor a hőmennyiség pozitív, és így lesz Δc is pozitív. **

1.13.13 Kísérlet. Az előző kísérlet során, amikor az ammónsalétromot oldjuk fel, de a szükségesnél még kevesebb vizet adtunk hozzá, beiktathatunk egy kísérletet. Kevergessük egy darabig a szilárd-folyadék keveréket, a *zagyot*, öntsünk le a folyadékból valamennyit (nem baj, ha piszkos), és mérjük meg a hőmérsékletét. Keverjük lehetőleg pontosan ugyanilyen hőmérsékletű vizet és adjuk az oldathoz. Az egész lehűl. Nekem 19,3 °C-os oldatból 1046 g-hoz hozzákeverve 18,5 °C-os vízből 870 g-ot, a keverék hőmérséklete 13,8 °C lett. Az oldáskor tehát az összes oldáshőnek csak egy részét veszi fel az anyag akkor, amikor a már majdnem telített oldatban feloldódik (ez a tulajdonképpeni oldáshő). A többi részét csak akkor, amikor hígítjuk. Ezt a részt *hígításhő*nek nevezzük. Ha már elég híg az oldat, a további hígításkor csak jelentéktelen mértékben történik hőfelvétel. Az összes felvett hő a *teljes oldáshő*. □

1.13.14 Kísérlet. Az ammónsalétrom kristályai többfélék lehetnek: más szerkezetűek a kristályok –18 °C alatt, –18 és 32 °C között, 32 és 84 °C között, 84 és 125 °C között, és 125 °C felett az olvadáspontig, 169 °C-ig. Ezt a jelenséget *többalakúságnak*, idegen szóval *polimorfíának* nevezzük; a görög poli sokat, a morf pedig alakot jelent. Ha már van tiszta ammónsalétromunk, azt melegítve kényelmesen megfigyelhetjük ezt a változást, mert — mint a Le Châtelier-elv alapján várhatjuk — endoterm, azaz hőelnyelő folyamat. * Legkönnyebb a 32 °C-on lejátszódó változást megfigyelni, de esetleg a 84 °C-on lejátszódóval is megpróbálkozhatunk, ha van megfelelő hőmérőnk. Feljebb ne menjünk, mert az anyag bomlik, mérgező gázokat fejleszt, megtámadja a fémekeket! Egy kisebb befőttes üvegbe tiszta, száraz ammónsalétromot teszünk néhány centiméter vastagon, és a közepébe egy hőmérőt állítunk. Gondosan lezárjuk a csavaros fedéllel. Egy lábasba betesszük

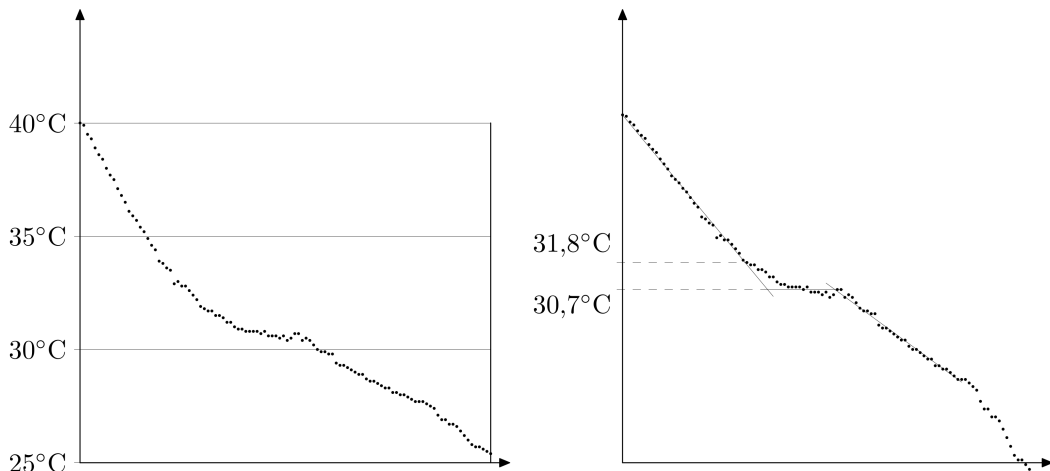


1.13.13 ábra: ammonsalétrom átalakulása I.

a háromágú alumínium csillagot, vizet, és egy hőmérőt. A vizet 10–15 °C-kal a várt átváltozási hőmérséklet fölé, például 45 °C-ra melegítjük, majd beleállítjuk a befőttes üveget. A fűtést igyekezzünk úgy szabályozni, hogy a külső hőmérséklet lehetőleg végig állandó legyen. Ha a belső hőmérő elérte a 25 °C-ot, félpercenként leolvassuk a belső hőmérsékletet és feljegyezzük, egészen kb. 40 °C-ig. Ekkor kiöntjük a víz nagy részét, vízvezetéki víz hozzáadásával 10–15 °C-kal az átváltozási hőmérséklet alá, például 20 °C-ra állítjuk a víz hőmérsékletét és igyekszünk itt tartani, miközben félpercenként leolvassuk a belső hőmérőt. Mindkét görbét ábrázoljuk.

Az én mérésemet a meleg vízben (45,8 °C) az 1.13.13 ábra mutatja. Bal oldalon vannak a mért értékek. Nem könnyű észrevenni a melegezés megállását, de a 34,4 °C-os hőmérséklet négyszer is előfordul: az utolsó három egymás mellett, az első és a második között van egy 34,3 °C-os érték is. Tehát az átalakulás 34,4 °C-nál van. Mivel a melegezés sebessége egyre csökken, hiszen az ammonsalétrom hőmérséklete egyre közelebb van a vízfürdő hőmérsékletéhez, nincs értelme egyenest illeszteni a mérési pontokra, hiszen nem várjuk, hogy egyenesen legyenek. Ehhez előbb valami ügyes trükkkel ki kellene „egyenésíteni” a felmelegedési görbét. Ehhez ismernünk kell a lehülésre–felmelegedésre vonatkozó törvényszerűséget, Newton *hőkiegyenlítődesi törvényét*. Ez azt mondja ki, hogy hőkiegyenlítődeskor ha egy adott idő, a *felezési idő* alatt felére csökken a hőmérsékletkülönbség, akkor ugyanennyi idő alatt újra a felére csökken, stb. Hogy miért van ez így, azt csak később, az exponenciális függvénynél tudjuk elmagyarázni, a „kiegyenesítés” trükkjét pedig a logaritmusokkal való számolásnál. A bal oldalon a „kiegyenesített” adatok szerepelnek. A szóban forgó öt pontra, a közvetlen előttük levő, és a közvetlen utánuk levő tíz-tíz pontra is illesztettem egyenest.

A hideg vízben a mérést kicsit másként végeztem. Nem próbáltam a hideg víz hő-

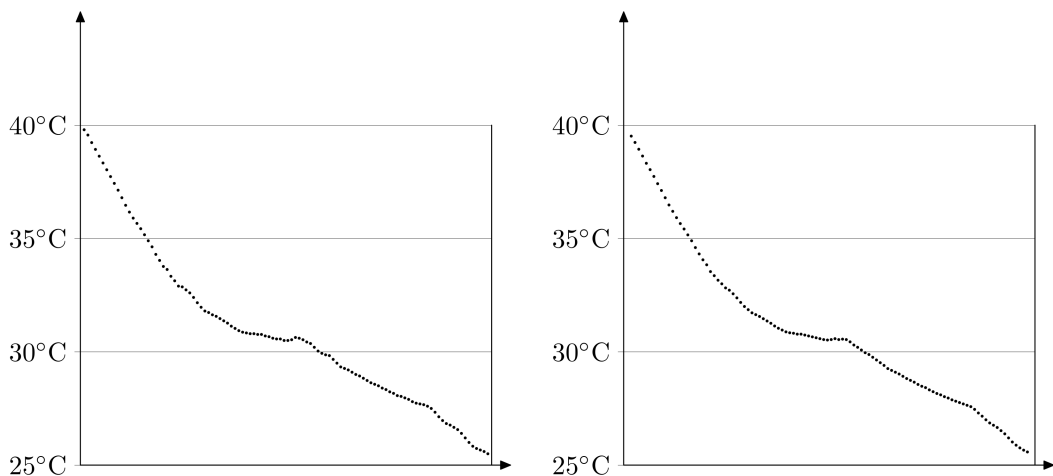


1.13.14 ábra: ammonsalétrom átalakulása II.

mérsékletét állandónak tartani, ami elég nehéz lenne, csak megmértem a mérés kezdetén ($16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) és a végén ($18,8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Az ammonsalétrom első mért hőmérséklete $43,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, az utolsó pedig $25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, így a csökkenés $17,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. A vízfürdő hőmérséklete közben $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal nőtt. A kettő aránya majdnem pontosan 9:1. Ez az arány csak a hőkapacitásoktól függ, így az ammonsalétrom és a vízfürdő kezdeti hőmérsékletének különbségét, $26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot ilyen arányban kell szétosztani a lehűlés és a felmelegedés között, így a vízfürdő végső hőmérséklete, amikor beáll a hőmérsékleti egyensúly, $2,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal a kezdő hőmérséklet felett lesz, azaz $19,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot várhatunk. Mindkét hőmérséklet ehhez közeledik a lehűlési törvénynek megfelelően változó sebességgel. Az 1.13.15 ábra ábrázolja a mért adatokat, a bal oldalon a mérés szerint, a jobb oldalon pedig „kiegyenesítve”. A mérés kezdetén a hőmérséklet még emelkedett, nyilván az üveg és az ammonsalétrom külseje még melegebb volt, mint a belseje, így az első néhány mérési adatot nem ábrázoltam. Egy helyen négy egyforma adatot találunk. A vízszintes szakasz illesztéséhez ezt a négy adatot (mindegyik $30,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), az előttük lévő hármat, és az utánuk lévő 11-et használtam fel. Az ettől jobbra lévő ferde egyenest a következő 31 pontra illesztettem. Mivel a görbe láthatóan elhajlik az egyenestől, a balra lévő ferde egyenest az első 33 pontra illesztettem, és 8 pontot kihagytam.

A mérések alapján annyit mondhatunk, hogy az átváltozási hőmérséklet valahol $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ között van. A pontos mérést nyilván akadályozza, hogy az ammonsalétrom hőmérséklete nem mindenütt egyforma, és hogy az átváltozás nyilván némi késleltetéssel, túlhűtéskor, illetve túlhevítéskor következik be. A ferde egyeneseknek a majdnem vízszintes egyenessel vett metszéspontjai távolságát megmérve, megbecsülhetnénk az átváltozási hőt is. *

* Mít tudunk csinálni, ha nem tudunk olyan trükköt, amivel a mért görbét „kiegyesíthetjük”, de a mérési pontatlanságok nagyon zavaróak? Segíthet a *simítás*. Minden mérési pontot a bal és a jobb szomszédjával kiátlagolunk: az első és a második koordinátáknak is vesszük az átlagát, és ezzel helyettesítjük. Így persze a két szélső pont elvész. Az ?? ábra bal oldalán az előző ábra mérési adatait látjuk ilyen három pontos simítás után, a jobb



1.13.15 ábra: ammónsalétrom átalakulása III.

oldalon pedig öt pontos simítás után, tehát amikor a pontot két-két bal illetve jobb oldali szomszédjával átlagoltuk. Ezután könnyebb az eredményeket „szemmértékkel” értékelni. Persze, kettő, négy, illetve ötnél több pontos simítást is használhatunk, vagy többször is simíthatunk egymás után, de ne vigyük túlzásba, mert a görbe minden jellegzetessége eltűnik!*

Az ammónsalétromnak ezt a kristályszerkezet változását nem szeretik az iparban, mert térfogatváltozással is jár, amitől a csomagolás szétrepedhet. Azért szoktak $\approx 3\%$ mészsálétromot hozzákeverni, hogy a kristályszerkezet változását megelőzzék. Egyébként a térfogatváltozást is felhasználhatjuk észlelésre: valamilyen, az ammónsalétrommal nem reagáló folyadékkal, például paraffinolajjal vagy szilikonolajjal tele töltjük az üveget, bedugjuk egy átfúrt dugóval, és a csőben a térfogatváltozást figyeljük. A melegítés így akármilyen lassú lehet. □

1.13.15 Kísérlet. Meg tudjuk-e határozni, hogy mekkorák a dolomit szemcsék? Igen, az ülepedési sebességükből. ** Stokes képlete szerint az η viszkozitású folyadékban egy r sugarú kis gömb v sebességgel való mozgatásához $F = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$ erő kell. Vegyünk egy $d = 1$ mm átmérőjű szemcsét. Ezt közelítőleg gömbnek tekintve, sugara $r = 0,5$ mm. Térfogata $4 \cdot \pi \cdot r^3 / 3 = 0,0005 \cdot \pi / 3$ cm³. Ezt szorozva a sűrűségével, ami a dolomitnál $\approx 2,85$ g/cm³, megkapjuk a ráható súlyerőt pondban. Ha viszont a víz sűrűségével szorzunk, a felhajtóerőt kapjuk meg. A kettő különbségével szorozva kapjuk a keresett mozgató erőt:

$$F = \frac{0,0005 \cdot \pi \cdot 1,85}{3} \text{ p} = \frac{0,0005 \cdot \pi \cdot 1,85 \cdot 9,81}{3} \text{ mN}.$$

Innen 20 °C-on

$$v = \frac{F}{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r} \approx \frac{0,0005 \cdot 1,85 \cdot 9,81}{18 \cdot 0,0005} \text{ m/s} \approx 1 \text{ m/s};$$

felhasználtuk, hogy a víz viszkozitása ≈ 1 mN·s/m². Ha a szemcse átmérője kétszer, háromszor, ... kisebb, akkor a térfogata nyolcszor, huszonegyszer, ... kisebb, és ennyiszor

kisebb a rá ható erő is. Viszont a sugár is kisebb, amivel osztani kell, így végeredményben az ülepedési sebesség négyszer, kilencszer, ... kisebb. ** Összefoglalva, a dolomithoz hasonló sűrűségű (2,85 kg/l) közetszemcséknél ≈ 1 m/s az 1 mm átmérőjű szemcsék ülepedési sebessége. Ahányszor nagyobb a szemcsék sűrűsége és a víz sűrűsége közötti különbség, mint 1,85 kg/l, annyiszor nagyobb az ülepedési sebesség. Ha a szemcse átmérője kétszer, háromszor, ... kisebb, akkor az ülepedési sebessége négyszer, kilencszer, ... kisebb.

Ennek alapján finom közetszemcséket, csiszolóport és egyéb porokat nagyság szerint szétválogathatunk. Ha például a 0,01 mm-nél finomabb dolomit port akarjuk kiválogatni, akkor annak ülepedési sebessége 0,1 mm/s alatt lesz. Az összes port beöntjük egy magas hengerbe, például levágott tetejű műanyag palackba, felöntjük vízzel, jól felkeverjük, majd 2000 s-ig hagyjuk ülepedni, és aztán a felső 20 cm-t leöntjük egy másik edénybe. Persze a finom por egy része, ami közel volt a henger aljához, leülepedett. Ezért megismételjük ezt a lépést. Nyolc-tíz ismétlés után gyakorlatilag az összes 0,01 mm-nél kisebb átmérőjű szemcsét eltávolítottuk. Egy másik ülepítés-sorozatban csak 500 s-ig várva különválogathatjuk a 0,02 mm-nél kisebb szemcséket, stb.

1.13.16 Kísérlet. Az előző kísérlet szépséghibája, hogy a víz viszkozitását nem mi határoztuk meg. Meg tudnánk-e ezt tenni? Igen, legalábbis egy durva becslést tudunk adni. ** Vegyünk egy 2–3 cm hosszú vékony horgászszinór-darabot (damilt). Én 0,3 mm átmérőjűt használtam. Egy pohár vízben vízszintesen elhelyezve és elengedve, úgy, hogy lehetőleg vízszintes helyzetben essen, mérjük meg az esési sebességét. Én ezt 1 cm/s-nak találtam. Ezek a horgászszinórok egy *poliamid*, másként *nylon* nevű műanyagból készülnek (jele: PA). Ennek a sűrűsége 1,14 kg/l. Számítsuk ki az esési sebességet! Tekintsük úgy a szinórt, mint sok egymás melletti kis, 0,3 mm átmérőjű golyót, és tegyük fel, hogy ezek esése nem zavarja egymást (ez durva közelítés). Mivel a sűrűségkülönbség 1,85 kg/l helyett csak 0,14 kg/l, az 1 mm átmérőjű golyó esési sebessége $\approx 13,2$ -ször, a $10/3$ -szor kisebb átmérőjűé $13,2 \cdot 100/9 \approx 147$ -szer kisebb, mint 1 m/s. Én nagyjából másfélszer ennyit találtam, ami annak felel meg, hogy a viszkozitás nagyjából másfélszer kisebbnek mértem, mint a valódi. Azért durva becslésnek megfelel.

Persze sokan azt fogják mondani, hogy csak növeltük a szépséghibát, mert tudnunk kellett, miből van a horgászszinór, és táblázatból vettük a sűrűségét. Meg tudnánk-e magunk mérni? Első pillantásra nehéznek tűnik, mert kicsi a súlya, egy egyszerű trükkal mégis boldogulhatunk. Tegyük tömény sóoldatba, amiben egy csepp mosogatószer is van (a buborékok ellen): úszik. Hígítsuk fel vízzel a sóoldatot! Ha túlságosan felhígítjuk, elsüllyed. Apránként öntögetve a sóoldathoz a vizet és mindig gondosan elkeverve, elérhetjük, hogy a szál éppen lebegjen. (Ahogy csökken a sóoldat sűrűsége, egyre lassabban jön fel a szál.) Most a sóoldat sűrűsége éppen annyi, mint a damil sűrűsége. Mérjük meg a sóoldat sűrűségét! Egy üvegbe 189,5 g sóoldat illetve 167,7 g víz fért. Így a sűrűség 1,13 kg/l. ** □

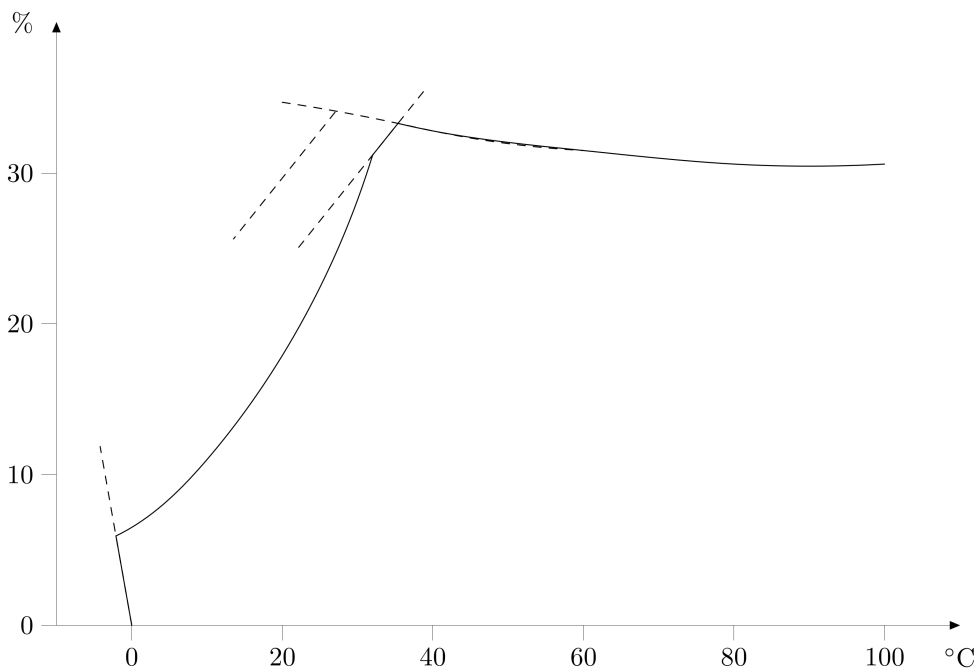
1.14 Kristályvíz

1.14.1 Kísérlet. Ehhez a kísérlethez vásároljunk szódát. Mint „környezetbarát” mosószert árulják. Ha nem sikerül hozzájutnunk, vegyünk szódadikarbónát, ez akár gyógyszerárban is kapható, és egy porcelán tálban vagy tányéron tegyünk be vagy 200 g-ot

a sütőbe. (A legtöbb *sütő*ben az egyes fokozat 50 °C, a hetes 250 °C.) Rozsdamentes tepsí vagy teflon bevonatú edény is használható, de vigyázzunk, a szóda semmi esetre se érjen a teflon edény alumínium alapanyagához, mert megmarja! Melegítsük fel vagy 200 °C-ra. (Ha porcelán edényt vagy hőálló üvegedényt használunk, akár a sütők maximális, 250 °C-os hőmérsékletét is használhatjuk.) Ezen a hőfokon elbomlik, és szóda lesz belőle, még hozzá sokkal tisztább, mint a vásárolt szóda. A szóda lúgos anyag, maró, bár nem túl veszélyes (a mosogatógépekben használt mosogatószereknek fő alkatrésze és a mosóporokban is előfordul). Ha véletlenül a szemünkbe kerülne, bő vízzel gondosan mossuk ki. Oldata lassan az üveget is megmarja, nem bántja viszont a PE vagy PP edényt, ezért ilyenben célszerű tartani. Kristályosítani szeretnénk. Mindenféle edényt, eszközt használhatunk, amit mosogatógépben lehet mosogatni. Készítsünk 30 %-os oldatot desztillált vízzel. Hogy miért kell desztillált vizet használni, azt a következő kísérlet mutatja. Mérjük meg a szódát, számítsuk ki, mennyi víz kell hozzá, és mérjük ki azt is. Figyeljük meg, hogy az oldáskor az oldat melegszik. Az oldáshoz nem kell nagyon felmelegíteni, ennyi szóda már 30 °C-on is feloldódik, viszont sokkal több akkor sem, ha nagyon felmelegítjük. Legjobb, ha 50 °C-ra melegítjük PP edényben, vízfürdőben. Ha nem oldódott fel mind, adjunk még hozzá egy kevés vizet. Mivel a nagy darabok rendkívül lassan oldódnak, oldás előtt rongyba vagy újságpapírba csavarva törjük finom porrá kalapáccsal, esetleg szitáljuk át egy leselejtezett levestűrőn. Még egyszerűbb, ha van turmixgépünk vagy botturmixunk: a vízzel kásával keverjük és úgy oldjuk. Ha zavaros az oldat, melegen szűrjük meg. Hűtsük le 0 °C-ra. Elég nehezen válnak ki a kristályok. Szűrés vagy centrifugálás után megmérve a kivált kristályokat, valószínűleg azt kapjuk, hogy több, mint az eredetileg feloldott szóda! Nekem például 1705 g szódából 1785 g kristály képződött. Hogyan lehetséges ez? A magyarázat az, hogy a kivált úgynevezett kristályszóda elég sok vizet tartalmaz. Itt a víz is résztvesz a kristályképződésben, úgynevezett *kristályvíz*. Minden molekula szódára 10 molekula kristályvíz jut. A kristályvizet tartalmazó anyagokat *hidrát*oknak szokás nevezni, mégpedig az egy molekulára jutó vízmolekulák számát a szám görög nevével adják meg, így beszélünk mono-, di-, tri-, tetra-, penta-, hexa-, hepta-, okta-, nona-, deka-, undeka-, dodeka-, trideka-, tetradeka-, ... hidrátról. A szóda dekahidrátyában $\approx 63\%$ a víz. Ha a sütőben 200 °C-on szárítjuk, ahogy a szódabikarbónára leírtuk, elveszti kristályvizét és vízmentes szóda lesz. Egyébként a kristályosítás anyalúgja 6–10 %-os szódaoldat. Tegyük el, fel fogjuk használni. □

1.14.2 Kísérlet. Hogy miért használtunk desztillált vizet, azt megérthetjük, ha egy pohár csapvízbe pár cseppet cseppentünk a kristályosítás anyalúgjából: az egész enyhén zavaros lesz. A szóda kicsapja a csapvízben lévő szennyezéseket. A vegyész *víz* alatt mindig desztillált vizet ért, és minden oldatot ezzel készít. A továbbiakban mi is így fogunk eljárni. Az eddig kristályosított anyagaink olyan szennyezettek voltak, hogy a csapvízzel nem vittünk be jelentős szennyezést. Ráadásul az anyagok szennyezései is hasonlóak voltak a csapvíz szennyezéseivel. Ha azonban ezeket az anyagokat átkristályosítással tovább akarjuk tisztítani, már desztillált vizet használjunk! □

1.14.3 Kísérlet. Ha megnézzük az 1.14.1 ábrát, a szóda oldhatósági görbét, igen furcsának tűnik (a szaggatott vonalakat egyelőre hagyjuk figyelmen kívül). Az még csak érthető, hogy a bal oldali eutektikus pont (5,93 %, -2,10 °C) alatt van egy visszahajló szakasz, ez a telítetlen szódaoldat fagyáspont görbéje. Azonban az oldhatósági görbe többször megtörik: az első töréspont 31,2 %, 32,00 °C-nál van, onnan már lassabban növekszik



1.14.1 ábra: szóda oldhatósága.

az oldhatóság. A második törésponttól, ami 33,3%, 35,37 °C-nál van, már egyenesen csökken az oldhatóság! Az is feltűnhet, hogy bár eleinte gyorsan nő az oldhatóság, az oldáskor mégis felmelegedést tapasztaltunk. Erre mindjárt megkapjuk a magyarázatot, ha a kapott kristálysózából megpróbálunk valamennyit vízben oldani: lehűlést tapasztalunk. A vízmentes szóda oldódása két lépésből áll: első lépésben felveszi a kristályvizet, ami jelentős hőleadással jár, majd feloldódik, ami viszont hőfelvétellel. A kristálysóda oldódásakor csak az utóbbi lépés van. A töréspontok magyarázata, hogy az első és második töréspont között a szóda heptahidrátként kristályosodik, a második töréspont felett viszont monohidrátként. (Vízmentes szóda csak a normál nyomásnál nagyobb nyomáson és 112,5 °C felett válik ki oldatból.) Ezt ki lehetne mérni, ha a megfelelő hőfokon kivált szódakristályokat kiszárítva, meghatároznánk a víztartalmukat. Ehhez csak azt kell tudni, hogy a monohidrátban 106 g vízmentes szódára 18 g víz jut, a heptahidrátban hétszer ennyi, stb. A monohidrát oldódáshője már negatív, így az oldhatósága a hőmérséklet növelésével csökken. □

1.14.4 Kísérlet. A kristálysózával megvizsgálhatjuk a túltelített oldatok képződését is. Adjunk nagyon jól megtisztított kémcsőben 10 g kristálysózához 4 ml desztillált vizet. Először a sódat tegyük a kémcsőbe, majd a vizet fecskendőből úgy spricceljük a kémcső falára, hogy a sódat teljesen belemossa a kémcsőbe. Dugjuk be a kémcsövet egy vattadugóval, majd 50 °C-os vízfürdőben melegítsük fel. Ha tökéletesen feloldódott a szóda, akkor a lehető legnyugodtabban, rázkódástól mentesen engedjük a kémcsövet lehűlni. (Ha szennyezések vannak az oldatban, akkor jobb, ha még melegen átszűrjük egy másik kémcsőbe, vigyázva, hogy a kémcső falára ne kerüljön oldat.) A lehűléstől nem

válnak ki kristályok. Egy bot végét előzőleg nedvesítsük meg a még meleg szódaoldattal, majd engedjük megszáradni. Tele lesz apró kristályokkal. Ha ezt hozzáértetjük a kihűlt oldat felszínéhez (beoltás), azonnal megindul a kristályosodás. □

1.14.5 Kísérlet. Meg tudnánk-e magunk határozni az oldhatósági görbe töréspontjait?

* A felső töréspont meghatározásához frissen elporított kristálysózából indulunk ki. Tegyük annyit egy kis műanyag pohárba, hogy a hőmérő üveggömbjét bőven ellepje. A hőmérővel óvatosan (nehogy eltörjön) kevergetve vízfürdőben melegítsük fel 50 °C-ra, és tartsuk ott legalább 15'-ig. Vegyük ki a vízfürdőből és kevergetve percenként olvassuk le a hőfokot. Mindig az egész perc előtt 5''-cel kezdtem a leolvasást, felírtam az eredmény, majd tovább kevergettem. Lehet, hogy egy kicsit túlhűl, de aztán állandósul a hőmérséklet több, mint öt percre. Ez a monohidrát→heptahidrát átalakulási hőmérséklet. Ha most mintát vennénk az oldatból, az oldhatóságot is meghatározhatnánk ezen a hőfokon. Az én méréséből az utolsó 40 a következő °C-ban:

37,8	37,6	37,3	37,0	36,9	36,7	36,5	36,1	35,8	35,7
35,7	35,3	35,0	35,0	34,7	34,8	34,7	34,9	35,4	35,8
35,9	35,9	35,9	35,9	35,9	35,9	35,9	35,9	35,9	35,8
35,7	35,6	35,5	35,3	35,4	35,2	35,2	35,0	34,9	34,8

Ennek alapján az átalakulási hőmérséklet 35,9 °C.* □

1.14.6 Kísérlet. Az előző kísérletben az átalakulási hőmérséklet nagyon stabilan mérhető. Miért nem 35,37 °C-ot találtunk? A legvalószínűbb az, hogy a hőmérőnk pontatlan. Ha felírjuk, hogy mennyit mutatott az átalakulási ponton, akkor a két alapponton, a jég olvadáspontja és a monohidrát→heptahidrát átalakulási ponton mutatott értékek ismeretében bármely mutatott értékre ki tudjuk számolni, hogy mennyi a valódi hőmérséklet — feltéve persze, hogy a beosztás és a hőmérő szálának keresztmetszete, no meg a folyadék tágulása egyenletes. Más alappontokat is használva, „kalibrálhatjuk” hőmérőnk, még ha elég olcsó vacak is. □

1.14.7 Kísérlet. * A sóda oldhatósági görbéjének alsó töréspontja meghatározásához mérjük ki 80 g frissen elporított kristálysózákat, azaz dekahidrátot. Körülbelül a felét tegyük egy kis pohárba, adjunk hozzá 8 g vizet, tegyük bele egy hőmérőt. Mártsuk a poharat 30 °C-os (nem melegebb!) vízfürdőbe, és kevergessük. Ahogy nő a hőmérséklet, egyre folyékonyabb lesz a keverék. Öntsük bele a porított kristálysóda másik felét. Amikor a hőmérséklet már közel 30 °C, a kis poharat állítsuk egy, a szűkületnél levágot tetejű műanyag palackba, amibe nem esik bele. A palackba tegyük vasdarabokat (például csavaranyákat) vagy más nehezeket, rá egy-két polisztírol darabot és tegyük 50 °C-os vízfürdőbe. Ez a „légfürdő” biztosítja, hogy a belső pohár tartalma csak lassan melegszik. Kevergessük a keveréket és percenként írjuk fel a hőmérsékletét. Amikor megáll a hőmérséklet emelkedése, az a dekahidrát→heptahidrát átmenet hőmérséklete. Ha most mintát vennénk az oldatból, az oldhatóságot is meghatározhatnánk ezen a hőfokon. Féltreve a keveréket, egy másik kísérlethez is felhasználhatjuk.

Nekem ez a kísérlet sehogy sem akart sikerülni. Más kísérletek se mentek jól, például a túltelítéssel kapcsolatos kísérletnél 10 g kristálysóda nem oldódott fel 4 ml vízben. Gyanút keltő volt az is, hogy a sódakristályok nem tú alakúak voltak mint rendesen, hanem tömzsi kristályok. Vagy vizet veszítettek a kristályok, vagy szennyezett volt a sóda. Végül úgy döntöttem, hogy mégegyszer átkristályosítom. Ez ugyanúgy megy, mint

az első kristályosítás, de a víz kimérésénél vegyük figyelembe, hogy a dekahidrát már tartalmaz vizet! Az így kapott tű alakú, friss kristályokkal már mentek a kísérletek. (Tiszta szóda készítéséhez többszöri átkristályosítás szükséges.) Mivel azonban ennél a kísérletnél tulajdonképpen a kristályszódának az „olvadáspontját” (átalakulási pontját, amelynél kristályvizének egy részét leadva megolvadni látszik) határozzuk meg, nem lehet sok víz a keverékben, mert különben az oldáshő elmossa az átalakulási pontot. Inkább semmi víz ne legyen, mint túl sok! Én a frissen kristályosított szódáról lecsorgattam a vizet, majd jól kinyomkodtam több réteg papírtörülkö között. Ezzel már ment a kísérlet.

Az én mérésem eredményei az alábbiak voltak (az utolsó 80 mérés °C-ban):

28,9	29,0	29,0	29,1	29,2	29,3	29,3	29,5	29,5	29,5
29,6	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,9	29,9	29,9	29,9
29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9
29,9	29,9	29,9	30,0	30,0	29,9	30,0	29,9	29,9	29,9
29,9	29,9	29,9	30,0	29,9	30,0	29,9	29,9	30,0	29,9
29,9	30,1	30,0	29,9	30,0	29,9	29,9	30,0	29,9	29,9
30,1	30,1	30,1	30,2	30,2	30,2	30,1	30,2	30,2	30,2
30,3	30,4	30,5	30,7	30,9	31,0	31,3	31,6	31,8	32,0

Látható, hogy a felmelegedés nagyon lassú volt: a hőszigetelés túl jóra sikerült. A kísérlet során, amíg a hőmérséklet állandó volt, a keverék egyre folyékonyabb lett: a kezdeti sűrű kása egészen felhígult; ez mutatja az átalakulást. Ennek a mérésnek az alapján az átalakulási hőmérséklet 29,9 °C. Irodalmi adatok szerint 32,00 °C.* □

1.14.8 Kísérlet. Az előző kísérletben is az átalakulási hőmérséklet nagyon stabilan mérhető. Miért nem 32,00 °C-ot találtunk? Részben biztosan a hőmérőnk pontatlansága miatt, de ugyanazt a hőmérőt használtam. Ha ezt a mérést használnánk kalibrálásra, más skálát kapnánk, mint a monohidrát→heptahidát átalakulási pontot használva, pedig lehetetlen hogy ilyen kis hőmérséklet különbségnél ekkora eltérés legyen. A legvalószínűbb az, hogy a szóda nem tiszta. Ilyenkor szennyezés–szóda–víz eutektikumok keletkeznek, és az átalakulási hőmérsékletek megváltoznak. Csak teljesen tiszta, többször átkristályosított anyagokat használhatunk kalibrálásra! (Megfordítva, az átalakulási hőmérsékletek ellenőrzése használható a tisztaság ellenőrzésére.) A szóda egyébként sem nagyon alkalmas, mert két átalakulási pont van egymáshoz elég közel. A leggyakrabban használt alappont a glaubersó „olvadáspontja”, valójában dekahidrátjának átalakulási pontja vízmentes sóvá. Ez 32,38 °C. Erre még visszatérünk. □

1.14.9 Kísérlet. * Ha elővesszük kaloriméterünket, megmérhetjük, mennyi hő keletkezik vízmentes szóda oldódásakor. Hogy a vízmentes szóda gyorsan feloldódjon, nagyon finom pornak kell lennie, ezért magunk állítjuk elő 15 g szódabikarbónából, ahogy fentebb leírtuk. Ahogy lehűlt valamennyire a sütőben, egy lemért edénykébe tegyünk 5,5 g-ot, zárjuk le, és lehetőleg cg, de legalább dg pontossággal mérjük le. Tegyük a kaloriméter belső poharába 75 g vizet, és vízfürdőben melegítsük fel nagyjából 40 °C-ra! A poharat kívül megtörölve tegyük a kaloriméter külső poharába, és mérjük a hőmérsékletet néhány percig percenként. Mérjük meg a szobahőmérsékletet is. Kapjuk ki a hőmérőt és gyorsan szórjuk a vízmentes szódát a kaloriméter poharába. A hőmérővel kevergetve mérjük meg a legmagasabb hőmérsékletet, amit kapunk. A szódaport egy fél perc alatt teljesen feloldódik. Végül mérjük vissza a bemérőedénykét, hogy pontosan megkapjuk a felhasznált

vízmentes szóda tömegét. Nekem a bekeverés előtt a hőmérséklet $41,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, utána a legmagasabb hőmérséklet $44,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. A szobahőmérséklet $23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt. A vízmentes szóda fajhője $0,25\text{ cal/g}$ (ezt külön mérésből lehetne megkapni), tömege pedig $5,37\text{ g}$. A szóda felmelegítésére tehát $(41,6 - 23,3) \cdot 5,37 \approx 98,3\text{ cal}$ kell. Mennyi az oldat fajhője? Ezt is meg lehetne mérni, de híg oldatok, sőt, magas kristályvíztartalmú anyagok hőkapacitását a bennük levő víz hőkapacitásával lehet egyenlőnek venni. Mivel én $75,03\text{ g}$ vizet mértem be, a hőkapacitás ennek a hőkapacitása. A $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletemelkedéshez kell $225,1\text{ cal}$, összesen tehát $225,1 + 98,3 = 323,4\text{ cal}$ hő fejlődött. Az oldáshő tehát $-323,4/5,37 \approx -60\text{ cal/g}$. Azért negatív, mert a rendszer szempontjából kell szemlélnünk a dolgot, az pedig hőt ad le. Kicsit pontosabban is mérhettünk volna, ha a bekeverés után percenként felírjuk a hőfokot, és arra a részre, ahol már hűl a keverék, egyenest illesztünk: ennek a nulla helyen vett értéke adja a maximális hőmérsékletet. Egyszerűbben úgy is eljárhatunk, hogy percenként írva a hőmérsékletet, a legmagasabb hőmérséklet elérése után még annyi percig tovább mérünk, amennyi eddig eltelt. Az ezalatt mért hőmérsékletcsökkenést — feltételezve, hogy a hőmérsékletcsökkenés ilyen rövid idő alatt egyenletes — hozzáadjuk a legmagasabb hőfokhoz. \square

Pontosabb mérések szerint az oldáshő $-66,0\text{ cal/g}$, azaz -276 J/g . Ha grammonként nem $\approx 8,5\text{ ml}$ vizet használunk, hanem kétszer annyit, akkor $25,6$, ha négyszer annyit, akkor $42,2$, ha nyolcszor annyit, akkor $54,8\text{ J/g}$ -mal több az oldáshő a hígításhő miatt. *

1.14.10 Kísérlet. * A kristályszóda oldáshőjének mérését hasonlóan végezhetjük. Törjünk szét szódakristályokat durvább, $1\text{--}2\text{ mm}$ -es darabokra. Ezeket könnyű lesz maradóktalanul a vízbe szórni. Mérjük ki egy bemérőedénykébe lehetőleg pontosan annyit, amennyiben ugyanannyi vízmentes szóda van, mint amennyit az előző kísérletben használtunk. Mérjük meg, pontosan mennyi is a kristályok tömege, és számoljuk ki, mennyi víz kell, hogy oldás után pontosan olyan töménységű oldatot kapjunk, mint az előző kísérletben. Ne felejtjük el levonni a kristályvizet! Mérjük be szobahőmérsékletű vizet a kaloriméterbe és mérjük meg pontosan a hőmérsékletét. Szórjuk bele a kristályport és hőmérővel kevergetve mérjük tovább a hőmérsékletet percenként. A kristályok egy-két perc alatt teljesen feloldódnak. Mérjük a hőmérsékletet, amíg csökken, és még ugyanannyi ideig.

Mivel az előző kísérletben $5,37\text{ g}$ vízmentes szódát használtam, és $106 + 180 = 286\text{ g}$ kristályszódában van 106 g vízmentes, $(5,37/106) \cdot 286 \approx 14,5\text{ g}$ kristályszóda kell, és $75 - (14,5 - 5,37) \approx 66\text{ g}$ víz. A bemérő edényke $1,72\text{ g}$ volt, a szódával $16,08\text{ g}$. Vizet $65,11\text{ g}$ -ot sikerült bemérni. A hőmérséklet értékek percenként $^{\circ}\text{C}$ -ban:

22,5 14,5 14,4 14,4 14,1 14,0 13,8 13,9 13,9 13,8 13,8 13,9 13,9

Ennek alapján a hőmérsékletet az oldódás után, felmelegedés nélkül $13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nak tekinthetjük. Visszamérve a bemérő edénykét az a benne ragadt kevés szódával $1,73\text{ g}$ volt, így $16,08 - 1,73 = 14,35\text{ g}$ kristályszódát használtam fel, amiben $(14,35/286) \cdot 106 \approx 5,32\text{ g}$ szóda és $14,35 - 5,32 = 9,03\text{ g}$ víz van. A hőkapacitás $65,11 + 9,03 = 74,14\text{ g}$ víz hőkapacitása. Mivel a lehűlés $22,5 - 13,7 = 8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, az elnyelt hőmennyiség $8,8 \cdot 74,11 \approx 652\text{ cal}$, azaz $652/5,32 \approx 123\text{ cal/g}$. Pontosabb mérések szerint 143 cal/g , azaz 598 J/g . \square

1.14.11 Kísérlet. Mennyi a szóda *hidratációs hője*, azaz mennyi hő keletkezik, amikor a vízmentes szóda vizet vesz fel és kristályszódává alakul? Nem kell újabb mérést készítenünk, mivel a kétféle szóda oldáshőjének különbsége az energiamegmaradás szerint a

hidratációs hő. Az én mérésem szerint ez $-60 - 123 = -183$ cal/g, pontosabb mérések szerint $-205,7$ cal/g, azaz -860 J/g. Negatív, mert a rendszer hőt ad le. Egyébként ezért oldódik a vízmentes szóda nehezen: mikor vizet adunk hozzá, kristályvizet vesz fel, felmelegszik, és nagy csomókká áll össze. Jobb a finoman porított szódát állandó keverés közben adagolni a vízbe. * \square

Méréseink alapján megérthetjük a szóda oldhatóságának furcsa menetét. Alacsony hőmérsékleten az oldat a dekahidráttal van egyensúlyban. Mivel a dekahidráttal oldáshője erősen negatív, a hőmérséklet emelésével az oldhatóság erősen nő. $32,00$ °C felett az oldat a heptahidráttal van egyensúlyban, aminek az oldáshője negatív, de már nem annyira. Itt az oldhatósági görbe már nem olyan meredek. Végül $35,37$ °C felett az oldat monohidráttal van egyensúlyban, aminek az oldáshője már pozitív, így az oldhatóság a hőmérséklet növelésével csökken.

* Tulajdonképpen nem ilyen egyszerű a helyzet. A heptahidráttal oldhatósági görbéje meghosszabbítható majdnem egyenesen. Ezt szagztatottan rajzoltuk be. Az e fölötti töménységű oldatokból heptahidráttal is kiválhat — például heptahidráttal való beoltáskor —, bár a heptahidráttal ezen a hőmérsékleten nem stabil, hanem *metastabil* ('túl a stabilitáson'). Ugyancsak meghosszabbítható a monohidráttal oldhatósági görbéje balra (szintén szagztatottan van berajzolva). E fölötti töménységű oldatokból monohidráttal is kiválhat. Van még egy szagztatott vonal, ami a monohidráttal szagztatott vonalából indul ki. Ez egy másféle kristályszerkezetű heptahidrátnak felel meg, ami semmilyen hőmérsékleten nem stabil. Végül ha a dekahidrátra túltelített oldatot sikerül az eutektikus pont alá úgy lehűtenünk, hogy nem indul meg a kristályosodás, akkor jég válhat ki az oldatból. Ezt is egy szagztatott görbe jelzi. *

De milyen oldáshő számítását az oldhatósági görbe növekedése vagy csökkenése szempontjából? A telített oldat keletkezésénél fellépő oldáshő? Vagy a lehető leghígabb oldat keletkezésénél mért, a hígítási hőt is magába foglaló oldáshő? Egyik sem, hanem a már majdnem telített oldat telítetté válásánál fellépő oldáshő. Ezt nehéznek tűnik megmérni, de a túltelítés segítségével megmérhetjük. Előbb azonban egy egyszerű mérésre lesz szükségünk.

1.14.12 Kísérlet. Newton hőkiegyenlítődési törvénye szerint lehűléskor a hőmérsékletkülönbség mindig ugyanannyi idő alatt feleződik. Szeretnénk tudni, hogy egy tál vízbe állított pohár mennyi idő alatt hűl le annyira, hogy már csak jelentéktelenül különbözik a hőmérséklete a víztől. MÉRJÜK MEG A FELEZÉSI IDŐT! Nem kell nagyon pontosan. Egy tál víz hőmérsékletét mérjük meg. Keverjük egy műanyag pohárba kb. 40 °C-os vizet. Tegyük bele a hőmérőt. Ha beállt, számoljuk ki a két hőmérséklet számtani közepét (összegük felét). Állítsuk a poharat a tálba, és mérjük az időt, amíg a hőmérséklet eddig csökken. Nekem ez $1,5'$ volt. Ez a felezési idő. Valójában kisebb, mert a hőmérő is némi kezelettel mutatja a hőmérsékletet. Ha ennek a tízszereséig várunk, a hőmérsékletkülönbség jelentéktelen, az eredetinek kb. 1% -e lesz, mert tízszer feleződik. \square

1.14.13 Kísérlet. * A túltelítés segítségével megmérjük a kristályszóda oldáshőjét a hígítási hő nélkül. Megmért tömegű kristályszóda-ból megmért tömegű túltelített oldatot készítünk, de most egy műanyag pohárban, a kaloriméter belső poharában. A víz tömegét is mérjük meg. Tegyük a poharat egy tál vízbe, amit egy fokkal a szobahőmérséklet alá állítottunk be. Várjunk az előző kísérletben mért felezési idő tízszereséig. A hőmérő legyen a tálban. Mielőtt az idő letelik, porítsunk el egy kevés kristályszódat, és mérjük le egy kis

bemérő edényben. A hőmérőt olvassuk le, öblítsük le desztillált vízzel, és töröljük szárazra. A poharat vegyük ki a tálból, ellenőrizzük, hogy nem indult meg a kristályosodás, kívül töröljük szárazra, tegyük a kaloriméterbe. A szódaport szórjuk be a pohárba, és kezdjük kevergetni a hőmérővel, és percenként olvassuk le a hőmérsékletet, amíg növekszik, és még ugyanannyi ideig. A kezdő hőmérséklet a tál víz hőmérséklete. Ezután vegyük ki a belső poharat, egy tűvel szűrjük ki az alját, a kicsorgó oldatot fogjuk fel egy száraz pohárba, majd egy másik száraz pohár fölé tartva, a hőmérőre ragadt kristályokat is öblítsük a pohárba. Az oldatot jól csorgassuk le, papírtörölkőre állítva hagyjuk kiszivódni a folyadékot. Ha módunkban áll, szívassuk le vagy centrifugázzuk ki (ne túl hosszan). Ha pontosan tudjuk, hogy az eredeti oldatban mennyi kristályszóda és víz volt, mérjük vissza a bemérőedénykét a beleragadt szódával, és kezdhetünk számolni. Ha ezt nem tudjuk, csak azt, hogy mennyi volt a túltelített oldat össztömege (például, mert szűrni kellett, a szóda összetétele bizonytalan volt, stb.), akkor meg kell mérnünk a szódatartalmát. Kétféleképpen is eljárhatunk: egy részét lemérjük, teljesen beszárítjuk, majd a maradékot 200 °C-ra melegítjük sütőben, és lemérjük mennyi szóda maradt. A másik lehetőség, hogy egy megmért részét langyos helyen szárítjuk ki, lemérjük a maradékot, ami monohidrát, kiszámoljuk a víztartalmát, és hozzáadjuk a tömegcsökkenéshez.

Én az első lehetőséget választottam. Mérésem a következő volt: a túltelített oldat tömege 91,47 g, a bemérőedényke a szódaporról 2,76 g, visszamérve 2,40 g, azaz 0,36 g kristályszódat használtam a kristályosodás megindításához. A dekahidrát 11,68 g volt, így 11,32 g vált ki az oldatból. A mért hőmérsékletek

22,9 25,0 25,3 25,6 25,8 25,7 25,7 25,5 25,3

ahol az első a tálban a víz hőmérséklete. Ennek alapján a hőmérsékletemelkedés $26,3 - 22,9 = 3,4$ °C. Mivel 15,15 g oldat kiszárítása után 3,57 g vízmentes szóda maradt vissza, a $91,47 - 11,37 = 80,10$ g oldatban $(80,10/15,15) \cdot 3,57 \approx 18,88$ g vízmentes szóda van, tehát $80,10 - 18,88 = 61,22$ g víz. A kivált kristályszódában van még $(11,32/286) \cdot 180 \approx 7,12$ g víz. A teljes víztartalomnak megfelel a hőkapacitás, és így az oldáshő $-78,34 \cdot 3,4/11,32 \approx -23,5$ cal/g dekahidrát (sic!), azaz -98 J/g. * □

1.14.14 Kísélet. Ha a kristályszódából valamennyit hosszabb ideig állni hagyunk a levegőn, lassan elporlik: a dekahidrátból monohidrát képződik. Mi ennek a magyarázata? Tudjuk, hogy a szilárd anyagok oldata magasabb hőfokon forr, mint a tiszta oldószer. Ez azt jelenti, hogy a gőznyomás az oldat felett kisebb, mint a tiszta oldószeré. Ennek megfelelően ha például szódaoldat vízgőzzel telített levegővel érintkezik, akkor vizet szív, és felhígul. Minden töménységre megvan az a páratartalom, amivel az oldat egyensúlyba van. Ha a páratartalom ennél magasabb, akkor vizet szív az oldat, ha alacsonyabb, akkor pedig víz párolog el belőle. Az egyensúlyi páratartalom annál kisebb, minél töményebb az oldat. Például normál hőmérsékleten a telített szódaoldat 89%-os relatív páratartalmú levegővel van egyensúlyban. Ezzel a kristályszóda is egyensúlyban van, sőt, egészen 76%-os relatív páratartalomig nem veszít vizet. Ez alatt viszont vizet veszít, egészen addig, amíg a fölötte lévő levegő páratartalma 76%-ra nem nő, vagy az összes dekahidrát át nem alakul monohidráttá. A monohidrát stabil egészen 20% relatív páratartalomig. Ez alatt vizet veszít, és vízmentes szódává alakul. Miért relatív páratartalmat adtunk meg? Azért, mert a kristályvíz elpárolgása hasonló a víz párologásához. Azt is a Clapeyron-egyenlet írja le, és a kristályból való párologás párologáshője hasonló a víz párologáshőjéhez, így a relatív páratartalomként megadott egyensúlyi határok nem nagyon változnak a hőmérséklettel.

Például a telített szodaoldattal egyensúlyban lévő relatív páratartalom 20 °C-on 91% és 30 °C-on 87%. Persze, a szódánál 32 °C felett dekahidrátnak már nem létezik, helyére a heptahidrátnak lép, majd 35,37 °C felett már csak monohidrátnak létezik. Egyébként azokat az anyagokat (akár oldatokat is), amelyek a szokásos 50–60% relatív nedvességtartalmú levegőből nedvességet szívnak, *nedvszívónak*, idegen szóval *higroszkóposnak* nevezzük. A fentiek szerint a vízmentes szoda nedvszívó, a monohidrátnak nem. □

1.14.15 Kísérlet. A túltelítés más anyagok oldatainál is gyakran tapasztalható. Nem csak szilárd anyagok oldatainál, hanem gázoknál is. Gondoljunk a szódavízből, kólából, sörből lassan kikepződő szén-dioxidra.

Jól tanulmányozható a túltelítés a glaubersó oldatánál. Glaubersót — általában vízmenteset, vagy ahogy mondják, szárítottat — gyógyszerárban kaphatunk. Mint a szódánál, két teljesen tiszta kémcső mindegyikében oldjunk fel kristályos dekahidrátból 10 g-ot 4 g vízben. A vízzel a kristályokat mossuk be a kémcső faláról. 40 °C-os vízfürdőben, a kémcsöveket vattadugóval bedugva végezzük az oldást. Ha nem maradt oldatlan anyag, hagyjuk a kémcsöveket lehűlni, egyébként forrón szűrjük egy másik kémcsőbe. Az egyik kémcsőbe ha már lehűlt, mártsunk egy pálcát. Néha már ettől megindul a dekahidrátnak kiválása. Hagyjuk a pálcán az oldatot megszáradni, majd oltuk be vele az oldatot. Azonnal megindul a dekahidrátnak kristályosodása. A másik kémcsövet hagyjuk 48 óráig állni. Általában magától metastabil heptahidrátnak kristályosodik ki.

Ha szárított glaubersót kaptunk, azt kell tudnunk, hogy 142 g vízmentes glaubersó és 180 g víz van 322 g dekahidrátnak. A kristályos glaubersó „olvadáspontját” felhasználhatjuk hőmérőnk kalibrálására. □

1.14.16 Kísérlet. Túltelítési kísérletek végezhetőek még fixírsóval és nátrium-acetáttal. Később majd előállítjuk ezeket az anyagokat. Az elsőből 10 g pentahidráthoz 4 g víz kell, a másikkal 10 g trihidráthoz 5–6 g víz. Mindkét esetben ez nagyjából annyi, amennyi éppen ellepi a kémcsőben a kristályokat. Az oldást 100 °C-os vízfürdőben végezzük. Érdekes, hogy ha „keresztben” próbáljuk meg beoltani az oldatokat, nem indul meg a kristályosodás. Csak azonos, vagy nagyon hasonló kristályszerkezetű anyagok alkalmasak a beoltásra, legalább is nehezen kristályosodó oldatoknál. Például azt tapasztalták, hogy még soha elő nem állított, új anyag kristályosodása először nem akart megindulni. Később, amikor a labor már „szennyezett” volt az anyaggal, könnyen ment a kristályosítás.

Régen a kristályos fixírsót kevés vízzel felhasználták kézmelegítőök töltésére. Lapos edénybe töltötték, és felmelegítették. A fixírsó feloldódott. Lehűléskor az oldat túltelített maradt. Jól megrázva megindult a kristályok kiválása és az oldat 48 °C-ra, a kristályos fixírsó „olvadáspontjára” melegeedett. □

1.14.17 Kísérlet. A *gipsz* a természetben kétféle formában fordul elő: az egyik a dihidrát, amiben 136 g vízmentes gipszre 36 g víz jut, a másik az *anhidrit*, ami vízmentes gipsz (az idegen szó azt jelenti, hogy vízmentes). Boltban is kaphatunk gipszet, úgynevezett *égetett gipszet*, kétfélet is, *modellgipszet* és *stukatúrgipszet*. Nagyon hasonlóak, bár kristályszerkezetük eltér, mindkettő *hemihidrát*; a *hemi* görög szó azt jelenti, hogy fél. Persze fél vízmolekula nem létezik, arról van szó, hogy a hemihidrátnak két gipszmolekulára jut egy molekula víz. Bármelyik jó lesz nekünk, olcsó anyag, vegyünk 1–2 kg-ot. Építkezésnél már az ókori egyiptomban is használták: vízzel keverve 10–15' alatt megszilárdul. Vegyünk egy pénzérmét vagy más érmét. Vékonyak kenjük be vazelinnal, zsírral vagy vajjal. Tegyük egy kis doboz (legjobb a PE) lapos aljára. Valamennyi gipszet keverjük

össze vízzel, hogy folyós de nem túl híg pép legyen, és öntsük a pénzdarabra. Hamarosan megszilárdul, és ha kivesszük a dobozból és kibányásszuk belőle a pénzdarabot, pontos lenyomatát adja a pénznek. Gipszpéppel például állatnyomokat vagy más nyomokat is kiönthetünk. Pontosan kiadja a formát, mert megszilárdulásakor kb. 1 %-kal kitágul. Használható lyukak kitöltésére, szegek, kampók begipszelésére, stb. Ha azt szeretnénk, hogy lassabban szilárduljon meg, adjunk hozzá zselatin vagy asztalosenyv oldatot (az asztalosenyv szennyezett zselatin). Külső munkákra a gipsz nem alkalmas, mert rosszul ugyan, de oldódik vízben: 20 °C-on 2,036 g/l, 30 °C-on 2,090 g/l, tehát az oldhatósága nem nagyon függ a hőmérséklettől. Természetesen a maradék gipszpépet soha ne öntsük a lefolyóba, még sok vízzel se, mert megköt, és eltömi a lefolyót! □

1.14.18 Kísérlet. Miért szilárdul meg a gipszpép? Tegyük egy műanyag tölcserben lévő szűrőpapírra 10 g égetett gipszet. A közepébe készítsünk bemélyedést és ebbe öntsünk lassan 20–30 g vizet, hogy a víznek a gipszen kelljen átszivárogni. A lecesepegő oldatot fogjuk fel egy átlátszó műanyag edényben. Néhány perc, de lehet hogy csak egy-két nap múlva a tiszta oldatból kristályok kezdenek kiválni: ezek a dihidrát kristályai. Nekem csak két nap alatt váltak ki a kristályok, de cm méretű tűkben. A hemihidrát jobban oldódik vízben, mint a dihidrát: kb. 8 g egy literben. A kiváló dihidrát kristályok sűrű szövedéke okozza a gipszpép megszilárdulását. A zselatin akadályozza a kristályok növekedését. □

1.14.19 Kísérlet. Gipszes vizet, azaz telített gipszoldatot könnyen készíthetünk: Egy műanyag palackba tegyük néhány kanál égetett gipszet, és adjunk hozzá sok desztillált vizet. Gyakran rázzuk össze vagy egy óráig, hogy ne tudjon megkötni, majd hagyjuk leülepedni. Az esetleges oldható szennyeződések az oldatban vannak. Ezt jól öntsük le, majd öntsük fel az iszapot újra desztillált vízzel. Időnként összerázva, egy nap alatt telített lesz az oldat. Gipszes vizünket felhasználhatjuk arra, hogy megállapítsuk, egy csapvízben vagy ásványvízben nagyjából mennyi oldott anyag van. (Egyébként sokszor ez is gipsz.) Egy csepp csapvizet és egy csepp gipszes vizet beszárítva egy üveglapon, láthatjuk, hogy melyiknek kevesebb az oldott anyag tartalma. Persze, rendszerint a csapvízé, tehát kisebb, mint 2 g/l. Egy edénykét öntsünk tele gipszes vízzel, öntsük át egy másik edénybe, és mérjük hozzá ugyanannyi desztillált vizet. Ez az oldat már csak 1 g/l oldott anyagot tartalmaz. Ezt is összehasonlítsuk a csapvízzel. Folytatva ezt az eljárást, nagyjából meg tudjuk határozni az oldott anyag tartalmát. □

1.14.20 Kísérlet. Tudunk-e vajon magunk égetett gipszet készíteni? Az iparban a bányászott dihidrátot porrá őrlik, finom szitán szitálják, majd „főzik” vagy „égetik”. A „főzés” 120 °C körül történik, kuktaserű edényben; így keletkezik a modellgipsz. Az „égetés” tulajdonképpen egyszerű szárítás 120–180 °C-on, de már 90 °C-on is stukatúrgipsz képződik, csak lassabban. Kiindulhatunk valamilyen gipsztárgyból, amit porrá törünk, de egyszerűbb, ha a gipszes vizünk alatt maradt dihidrátról leöntjük a gipszes vizet, és ezt az üledéket használjuk fel. Szárítsuk meg és dörzsöljük szét a port. Amit kaptunk, az tulajdonképpen „döglött” gipsz: magától is keletkezik, ha az égetett gipsz sokáig áll, különösen nedves helyen, és lassan dihidráttá alakul. Ekkor persze már nem köt meg. A száraz dihidrátot tegyük egy porcelán tányérra, mérjük meg, majd tegyük be a sütőbe. Tartsuk 150 °C-on néhány óráig. Lehűlés után mérjük meg, hogy mennyit veszített a súlyából, és próbáljuk ki, hogy vízzel megköt. Nekem a porrá tört dihidrátból 32,1 g a súlyából 4,6 g-ot veszített, ami 14,3%. A gipszes víz alól vett „döglött” és megszáritott gipszből 10,9 g a súlyából 1,2 g-ot veszített, ami 11%. Mindkettő megkötött vízzel. □

1.14.21 Kísérlet. Honnan tudjuk, hogy az égetett gipsz tartalmaz vizet? Egy keveset melegítsünk egy kémcsőben, a kémcsövet kicsit ferdén lefelé tartva. A kémcső szájánál vízcseppek csapódnak le. Ami visszamarad, az anhidrit, mégpedig annak hármas módosulata, anhidrit III. Nagyban is előállíthatjuk, ha égetett gipszet vagy dihidrátot sütőben 180–200 °C-ra melegítünk. A súlyvesztéseget mérve, ellenőrizhetjük, hogy mennyi vizet veszített. Nagyon nedvszívó anyag. Mérjük ki valamennyit egy tányérra, egy másik tányérra pedig égetett gipszet. Ellenőrizzük, hogy melyiknél mennyi a súlynövekedés. Az égetett gipsz súlya alig nő, az anhidrit III-é viszont megnő, hemihidrattá alakul. Nekem 55,8 g égetett gipszből 200 °C-on 3,5 g víz távozott, ami 6,3%. Az anhidrit III 45' alatt 0,8 g, 90' alatt 1,4 g, 1 nap alatt pedig 2,8 g vizet kötött meg a levegőből, míg 36,0 g égetett gipsz 1 nap alatt csak 0,2 g-ot, ami mérési hiba is lehet. Az anhidrit III olyan jó vízmegkötő anyag, hogy még más szárítóanyagokból is képes elvonni a vizet. Hátránya, hogy elég kevés vizet bír megkötni, előnye viszont, hogy könnyen regenerálhatjuk, azaz újra felhasználhatóvá tehetjük: csak betesszük a sütőbe. A vegyész, ha szobahőfokon akar valamit megszáritani (például, mert az anyag nem bírja a melegítést), akkor *szárítóedényt*, idegen szóval *exszikkátort* használ. Ilyet mi is készíthetünk, csak egy nagyon jól záró edény kell hozzá. Ha ez egy lapos, hosszúkás doboz, akkor egy kisebb dobozba az egyik végébe tesszük a szárítandó anyagot, mellé pedig a szárítóanyagot, és lezárjuk. Ha egy hengeres edény, akkor alulra jön a szárítandó anyag edénye, arra egy műanyag rács vagy rudak, és arra a szárítóanyag. Ez az elrendezés azért célszerű, mert a vízgőz könnyebb, mint a levegő, így felfele száll, de a fordított elrendezés is működik. Azt akkor használjuk, ha például egy kiizzított, nedvszívó anyagot akarunk lehűteni; ekkor felülre egy felfordított porcelán tál jön, arra az izzítótégely. Néhány anyagot exszikkátorban célszerű kristályosítani. Például ilyen eset, mikor az oldatóság alig változik, vagy ha az anyag nem hőálló. A szárítás gyorsabb lenne, ha kiszivattyúznánk a levegőt, például vízsugárszivattyúval. Ez csak nyomásálló edényeknél lehetséges, de e nélkül is boldogulunk.

Exszikkátorunkban szárítóanyagnak kényelmesen használhatunk *szilikagélt* is. Ennek működése adszorbción alapul, mint a vattáé, de erősebben szárít. Összetételével később foglalkozunk. Nem olyan erős szárítóanyag, mint az anhidrit III, viszont sokkal több vizet köt meg. Sütőben 200–350 °C-on regenerálható. Kapható is, de szinte bármit veszünk, ott van mellette egy kis zacskó szilikagél, hogy a páralecsapódást megelőzze. Ezeknek a kis zacskóknak a tartalmát is összegyűjthetjük. □

1.14.22 Kísérlet. Az anhidrit III előállításánál soha ne menjünk 290 °C fölé. Kellemtelen meglepetés ér bennünket, ha 300 °C fölé emeljük a hőmérsékletet: úgynevezett „*agyonegetett gipsz*”, anhidrit II keletkezik. Míg az anhidrit III vízzel még gyorsabban megköt, mint a hemihidrát, az anhidrit II csak lassan köt meg, minél magasabb hőfokra hevítettük, annál lassabban. Ezért az anhidrit III-at *oldható anhidrit*nek is nevezik, míg az anhidrit II-t *oldhatatlan anhidrit*nek. Ezt is használják azért, de nagyjából ugyanannyi hemihidrát – oldható anhidrit keveréket adva hozzá. Ez a *simítógipsz*, vakolat simítására használják. Itt jó, hogy lassan köt meg. Még magasabb hőfokon, 1200 °C felett anhidrit I keletkezik, de ez nem stabil, a gipsz részben elbomlik égetett mészre. Ez a keverék az *esztrichgipsz*, nagyon lassan köt meg, de 10 nap után a cementhez hasonló keménységű lesz. Nekem sem a sütőt a legnagyobbra állítva, sem a rezsó vaslapjára szórva és ott melegítve, sem egy vaslapon gáztűzhelyen melegítve nem sikerült agyonegetett gipszet kapni. Végül egy kanálban gázlángon addig hevítettem, amíg a kanál már vörösen izzott. Ez után már nem kötött meg gyorsan. □

1.14.23 Kísérlet. Ha van kékgálicunk, végezzünk el vele néhány kísérletet, ha nincs majd később térjünk vissza ezekre. Mindenesetre óvatosan kezeljük, mert mérgező! Egy fehér kistányéron terítsünk ki vagy 25 g-ot (mérjük meg, pontosan mennyit), és szárítsuk sütőben 250 °C-on. Először halványodni kezd, majd fehér porrá esik szét. (Ha nem tiszta fehér a szárított kékgálic, ne keseredjünk el: az elszíneződést legtöbbször vasvegyületekkel való szennyeződés okozza.) A súlyából 25 g kb. 9 g-ot veszít. (Nekem 25,3 g 8,6 g-ot veszített.) Talán elbomlott? Nem, a legtöbb anyag elbomolva sötétedik. Leheljünk rá: kékes színű lesz. Csak a kristályvizét veszítette el. Tegyük be az exszikkátorba a szárító anyag helyére, és tegyük alá vizet. Pár nap alatt visszanyeri kék színét és eredeti súlyát. A magyarázat, hogy az eredeti anyag pentahidrát. Melegítve trihidrát, majd monohidrát képződik, ezek egyre halványabb színűek. Végül vízmentes só képződik, amely fehér. Más anyagok is vannak, amelyeknek kristályvízzel más a színe. □

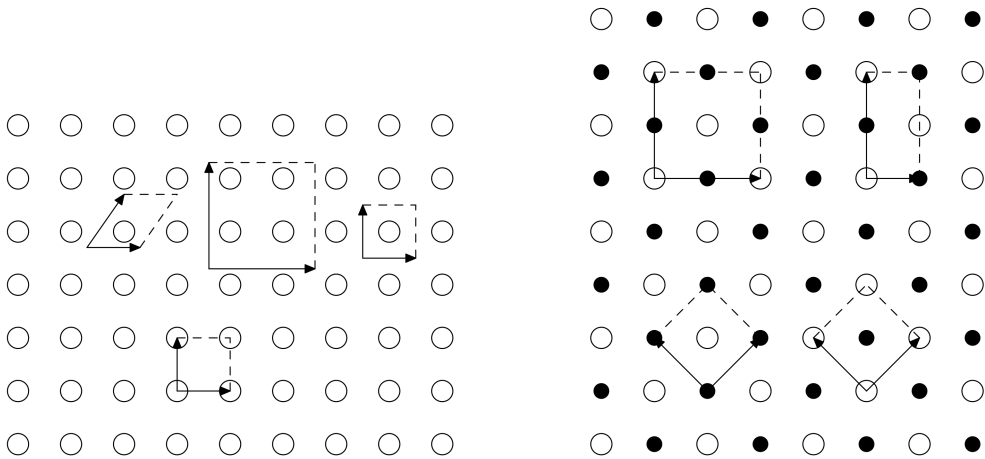
1.14.24 Kísérlet. A vízmentes kékgálic felhasználható arra, hogy vizet mutassunk ki vele. Például a fehér porból egy keveset denaturált szeszbe szórva megkékül, míg vízmentes szeszben nem. □

1.15 Kristályok

1.15.1 Kísérlet. Egy játékos, de látványos kísérlet kristályosításra, hogy kartonpapírból két „karacsonyfa” alakot vágunk ki. Az egyiket felülről, a másikat alulról félig bevágva merőlegesen egymásba csúsztatjuk őket, majd a kapott „karacsonyfát” egy tányérban valamilyen só tömény oldatába állítjuk. Pár nap alatt csillogó „hópelyhek” nőnek a fára. □

1.15.2 Kísérlet. Nagyon kevés anyag elég, hogy a kristályosodását megfigyelhessük. Egy mikroszkóp tárgylemezre tegyünk néhány szemcse kősót, szódat, glaubersót, timsót, keserűsót, fehérgálicot, kékgálicot, zöldgálicot, fixírsót, cukrot, stb. Cseppentsünk rá egy csepp vizet, és (fedőlemez nélkül) tegyük a mikroszkóp tárgyasztalára. Általában nem kell nagy nagyítás, játékmikroszkóp, esetleg még lupe is megfelel. Ahogy a víz párolog, szemünk előtt képződnek a kristályok. Például a szódból a csepp szélén tú alakú kristályok válnak ki, a cukor nagyon nehezen kristályosodik, a kékgálic szép kristályai tízszeres nagyítással is jól láthatóak, a kősó kristályaihoz nagyobb nagyítás kell, akkor érdemes a mikroszkóp alá tenni, amikor kezd a csepp beszáradni. Ha nagyobb kristályokat akarunk növesztetni, borítsunk a vízcsepre egy pohárkát vagy műanyag edénykét, egy kis rést hagyva a tárgylemez szélénél, hogy a víz csak lassan párologhasson el. Például gipszes vízből így — persze hosszabb idő alatt — jellegzetes „fecskefarkú” gipszkristályok válnak ki, amelyek 100-szoros nagyításban már jól látszanak, két hét alatt pedig 1 mm-es kristály és egész „bokor” nőtt.

A kristályok alakja, vagy ahogy a geológusok mondják, *termete* függhet a kristályosítás körülményeitől. Gondoljunk a jégre: ha egy tó befagy, a jégkristályok egymáshoz tapadnak, határukat nem is látjuk. Ugyanilyen jég jön létre, ha fagypontra esik. A jégesőben már megfagyott víz esik. Hőeséskor általában szép hópelyheket láthatunk, de a hódara kerek, megfagyott szemcsékből áll. A zúzmara pelyhes fehér réteg, mikroszkópius jég szemcsékből áll. A dér pikkely, tücske, pelyhes alakú jégkristályokból áll, amelyek a levegő víztartalmából képződnek. Oldatból való kristályosításkor nem ekkora a válto-



1.15.1 ábra: síkbeli négyzetrács.

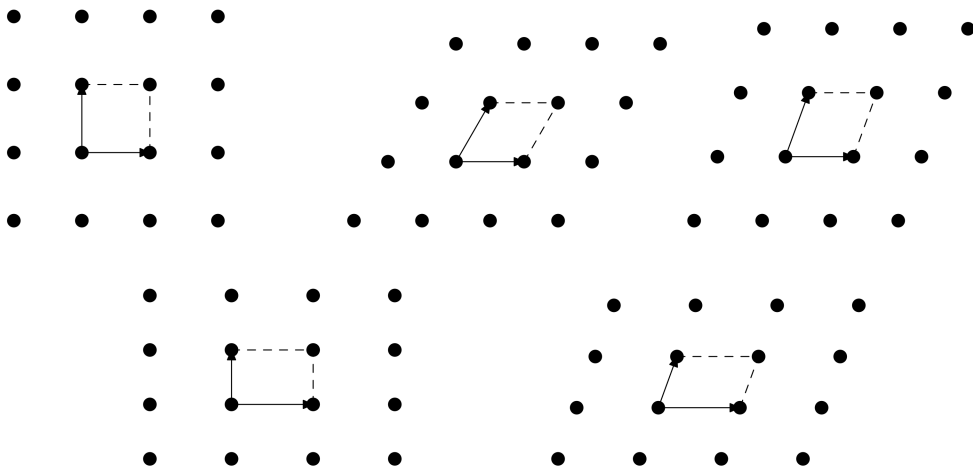
zatosság, de előfordulhat, hogy tömény vagy szennyezett oldatból más alakú kristályok válnak ki. □

1.15.3. Definíció. A kristályok szerkezete. * Az egyszerűség kedvéért először atomok síkban való szabályos elrendeződéseivel foglalkozunk. Ha ezt megértettük, akkor térünk rá a térbeli elrendeződésekre. Az 1.15.1 ábrán bal oldalt egyforma atomok síkbeli szabályos négyzetrácsba való elrendeződését látjuk. (Az atomokat körök jelzik.) Szabályos elrendeződésen azt értjük, hogy ki lehet választani egy paralelogrammát úgy, hogy az egész minta ennek a két irányban való eltolásával keletkezzen. Ez a paralelogramma lesz az úgynevezett elemi cella. Az elemi cella kiválasztásánál három fő szempontunk van:

- (1) az elemi cella élei lehetőleg egyenlő hosszúak legyenek;
- (2) az elemi cella élei lehetőleg merőlegesek legyenek egymásra;
- (3) az elemi cella a lehető legkevesebb atomot tartalmazza.

Az ábrán a felső sorban szereplő három lehetőségből a bal szélső nem felel meg az első és második követelménynek, a középső nem felel meg a harmadik követelménynek, így a jobb szélső tűnik a legjobb választásnak. Mégis, egy negyedik követelmény miatt, ami szerint az elemi cella csúcsai lehetőleg atomok középpontjai legyenek, inkább a lenti lehetőséget választjuk. Hogy erre a negyedik követelményre miért van szükség, az később derül ki. A negyedik követelmény miatt az elemi cellában nem csak egész atomok lehetnek: itt például négy negyed atom esik az elemi cellába, összesen egy. Ez a kezdőnek nehézséget okozhat az elemi cellába eső atomok összeszámlálásánál. (Az 1.2.4 ábra bal oldalán ezért nem így választottunk elemi cellát.) Az 1.15.1 ábra jobb oldalán, ahol a négyzetrács kétféle atomból áll, első pillantásra úgy tűnhet, hogy a fenti két elemi cella választás lehetséges csak, de a lenti kettő jobb.

Az 1.15.2 ábrán összefoglaltuk a lehetséges síkrácsokat egyforma atomokkal, csökkenő szabályosság sorrendjében. A felső sorban a nyílak egyenlő hosszúak, az alsóban nem. Első pillantásra úgy tűnhet, hogy a felső sorban a középső elrendezés nem szabályosabb, mint a jobb szélső, de ez nem így van. A középsőnél az elemi cella oldalai közötti szög 60° , és ez külön szabályosságot visz az elrendezésbe: a két nyíl kezdőpontja és csúcsaik



1.15.2 ábra: síkbeli rácsok.

szabályos háromszöget alkotnak, a nyilak kezdőpontjához legközelebbi atomok szabályos hatszöget. Egyforma atomokra ez adja a legszorosabb elrendezést.

Nézzük a térbeli elrendezéseket. Az egyszerűség kedvéért egyforma atomokkal is elképzelhetjük őket, de nem ez számít, hanem az elemi cella, ami most egy paralelepipedon, egy „pofoncsapott téglatest”. Ennek az egy csúcsból induló éleinek hosszát a , b , c -vel, az élek által bezárt szögeket pedig α , β , γ -val jelöljük. Mindig α az a éllel „szemben” lévő szög, tehát a b és c által bezárt szög, β az a és c által bezárt szög, γ az a és b által bezárt szög. A felső sorban szereplő síkbeli elrendezések közül a bal szélsőből kétféle térbeli elrendezés adódik. Mindkét esetet úgy képzelhetjük el, hogy a következő atomrétegek pontosan az első fölé jönnek, egymástól egyforma távolságban. Az első eset akkor adódik, ha ezek távolsága pontosan annyi, mint a síkban a legközelebbi atomok távolsága, a másik akkor, ha nem annyi:

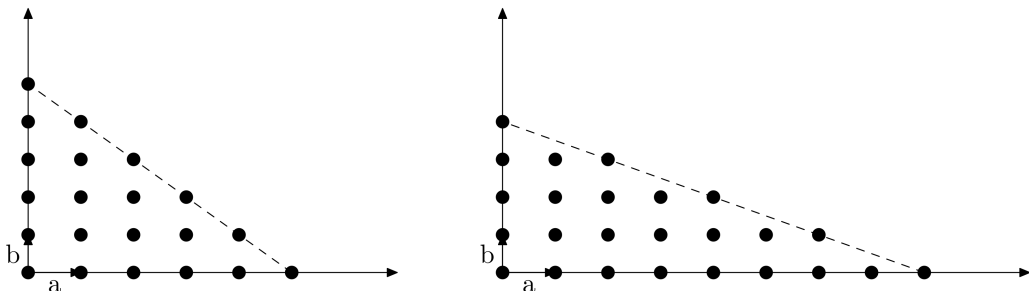
- I. Szabályos vagy köbös rendszer (latinus a kocka kubus): az elemi cella kocka, az egy csúcsból induló élek tehát egyenlőek és páronként merőlegesek; $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.
- II. Négyzetes, idegen szóval tetragonális rendszer: az elemi cella négyzet alapú hasáb, az egy csúcsból induló élek páronként merőlegesek és közülük kettő egyenlő, de a harmadik nem ugyanannyi; $a = b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

A felső sorban szereplő síkbeli elrendezések közül a középsőből egyféle térbeli elrendezés adódik. Ezt úgy képzelhetjük el, hogy a következő atomrétegek pontosan az első fölé jönnek, egymástól egyforma távolságban:

- III. Hatszöges, idegen szóval hexagonális rendszer: az elemi cella rombusz alapú hasáb, az egy csúcsból induló élek közül kettő egyenlő és 60° -os szöget zár be, a harmadik él ezekre merőleges; $a = b$, $\gamma = 60^\circ$, $\alpha = \beta = 90^\circ$.

A felső sorban szereplő síkbeli elrendezések közül a jobb szélsőből egyféle térbeli elrendezés adódik. Ezt úgy képzelhetjük el, hogy a következő atomrétegek elcsúsztatva jönnek az első fölé, egymástól egyforma távolságban, de úgy, hogy az elemi cella romboéder:

- IV. Háromszöges, idegen szóval trigonális rendszer: az elemi cella romboéder, az egy csúcsból induló élek egyenlőek és egyforma szöget zárnak be; $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$.



1.15.3 ábra: kristályok termete I.

Az alsó sorban szereplő síkbeli elrendezések közül a bal szélsőből egyféle térbeli elrendezés adódik. Ezt úgy képzelhetjük el, hogy a következő atomrétegek pontosan az első fölé jönnek, egymástól egyforma távolságban:

- V. Rombos rendszer (az elnevezést később megmagyarázzuk): az elemi cella téglatest, az egy csúcsból induló élek mind különbözőek és páronként merőlegesek; $a \neq b \neq c \neq a$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

Az alsó sorban szereplő síkbeli elrendezések közül a jobb szélsőből kétféle térbeli elrendezés adódik. Az egyiket úgy képzelhetjük el, hogy a következő atomrétegek pontosan az első fölé jönnek, egymástól egyforma távolságban, a másikat pedig úgy, hogy a következő atomrétegek ugyanannyival elcsúsztatva jönnek egymás fölé, egymástól egyforma távolságban:

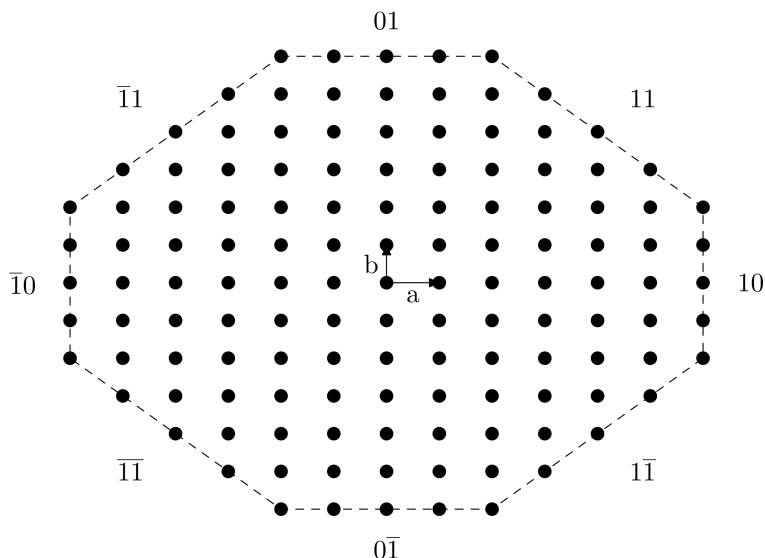
- VI. Egyhajlású, idegen szóval monoklin rendszer (neve onnan ered, hogy csak egy derékszögtől eltérő szög van): az elemi cella romboid alapú hasáb, az egy csúcsból induló élek mind különbözőek lehetnek és az egyik merőleges a másik kettőre; $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma \neq 90^\circ$.

- VII. Háromhajlású, idegen szóval triklin rendszer (neve onnan ered, hogy három különböző szög van): az elemi cella tetszőleges paralelepipedon, az egy csúcsból induló élek mind különbözőek lehetnek és a szögek is; $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$.

A hét kristályrendszert tovább lehet osztani 32 kristályosztályra, azokat pedig 230 tércsoportra, de ezzel nem foglalkozunk. * □

1.15.4. Kristályok termete. * Az 1.15.3 ábrán, újra síkban, téglalap alakú „elemi cellákból” felépülő kétféle „lépcsőt” láthatunk. A bal oldalinal a berajzolt egyenes az a tengelyből $5a$ egységet, a b tengelyből pedig $5b$ egységet vág le, metsz le. A tengelymetszetek aránya tehát $5a:5b$. Ha még egy „lépcsőréteget” ráépítünk, akkor $6a:6b$ arányt kapunk, ha pedig egyet lebontunk, akkor $4a:4b$ arányt, ami tulajdonképpen ugyanaz az arány. Akárhogyan tologatjuk el a lépcsőket, az arány mindig ugyanaz marad, tulajdonképpen $1a:1b$. (Ezért kellett az elemi cella sarkát egy atom középpontjába helyezni!) A jobb oldali lépcsőnél az arány $8a:4b$, amely egy lépcsőréteget ráépítve $10a:5b$, egyet lebontva pedig $6a:3b$, tulajdonképpen $2a:1b$ arány lesz.

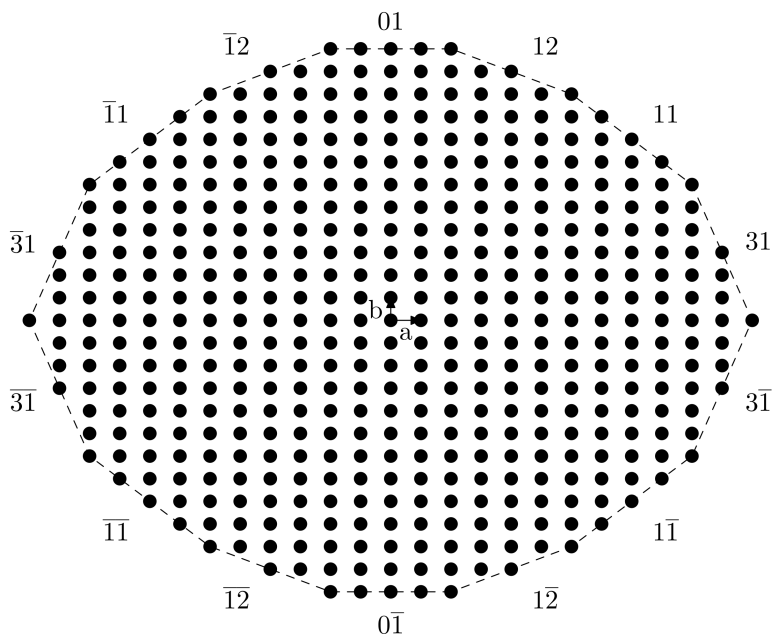
Most vizsgáljuk meg az 1.15.4 ábrát. Milyen arányokat írhatnánk az oldalak mellé?



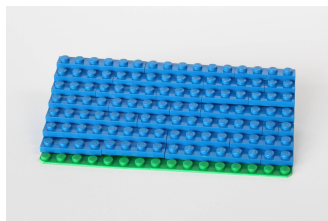
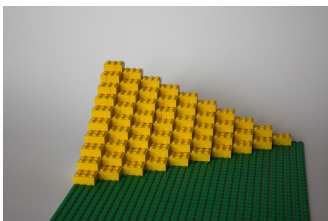
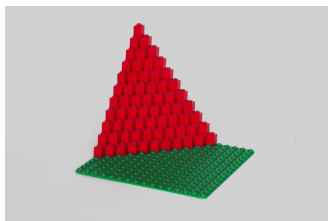
1.15.4 ábra: kristályok termete II.

A jobb felső ferde oldalhoz — gondolatban tovább építve az oldalt alkotó lépcsőt — láthatjuk, hogy $xa:xb$, azaz $1a:1b$ arányt. Hasonlóan a jobb alsó ferde oldalhoz $xa:-xb$, azaz $a:-b$ arányt, a bal felső ferde oldalhoz $-xa:xb$ azaz $-a:b$ arányt, a bal alsó ferde oldalhoz pedig $-xa:-xb$, azaz $-a:-b$ arányt. De mit írhatunk a felső, az alsó és a két szélső oldalhoz? A felső oldalt akármennyig is továbbépíthetjük, soha nem metszi az a tengelyt. Ezért logikus $\pm\infty a:xb$ arányt, azaz $\pm\infty a:b$ arányt írni ehhez az oldalhoz; ∞ a végtelen jele. Az alsó oldalhoz ugyanígy $\pm\infty a:-xb$, azaz $\pm\infty:-b$ arányt írhatunk, a bal illetve a jobb oldalhoz pedig $-a:\pm\infty$ illetve $a:\pm\infty b$ arányt. Ez a jelölésmód logikus, de kissé nehézkes. Először is elhagyhatjuk az a és b betűket, elég, ha tudjuk, hogy ezek az egységek a tengelyeken, ebben a sorrendben. Másodszor, az előjeleket a számok fölé írjuk. Harmadszor, jó lenne megszabadulni a $\pm\infty$ jelektől. Ezt úgy tehetjük meg, hogy a számok reciprokát vesszük; ezeket a reciprokokat *indexeknek* nevezzük. Mivel úgyis szabad az arányt akármilyen pozitív számmal osztani vagy szorozni, és nem akarunk törtetket írni, szorzunk a lehető legkisebb egész számmal, amivel az indexek egészek lesznek. Az indexek is jellemzik az oldal állását. Például a $6a:3b$, azaz $2a:b$ arányból $(1/2, 1)$, azaz $(2, 1)$ indexek, még rövidebben 21 lesz, a $-a:b$ arányból $(\bar{1}, 1)$ indexek, rövidebben $\bar{1}1$, az $-1a:\pm\infty b$ arányból pedig $(\bar{1}, 0)$ indexek, rövidebben $\bar{1}0$. Az 1.15.4 és 1.15.5 ábrán számos oldal indexét feltüntettük.

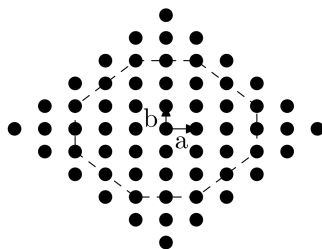
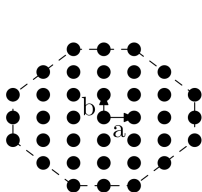
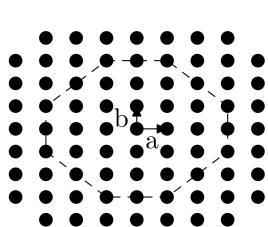
Mi a helyzet három dimenzióban? Három tengely van, három, a , b és c egységgel. Az arányok tehát három tagúak, és így az indexek is. Az 1.15.6 fényképeken legóból kirakott ferde lapokat láthatunk. Az a tengely legyen a felénk mutató, kissé lejtő tengely, a b tengely a jobbra mutató tengely, a c tengely pedig a felfele mutató tengely. Most a tengelyek merőlegesek és $a = b \neq c$. A képek közül a bal oldalin a ferde lapot a $12a:12b:12c$ arány, és így 111 indexek, a középsőn láthatót a $22a:33b:11c$ arány, tehát 326 indexek, a jobb oldalin láthatót a $8a:\pm\infty b:8c$ arány, tehát 101 indexek jellemzik. *



1.15.5 ábra: kristályok termete III.



1.15.6 ábra: kristályok legoból.



1.15.7 ábra: kristályok termete IV.

□

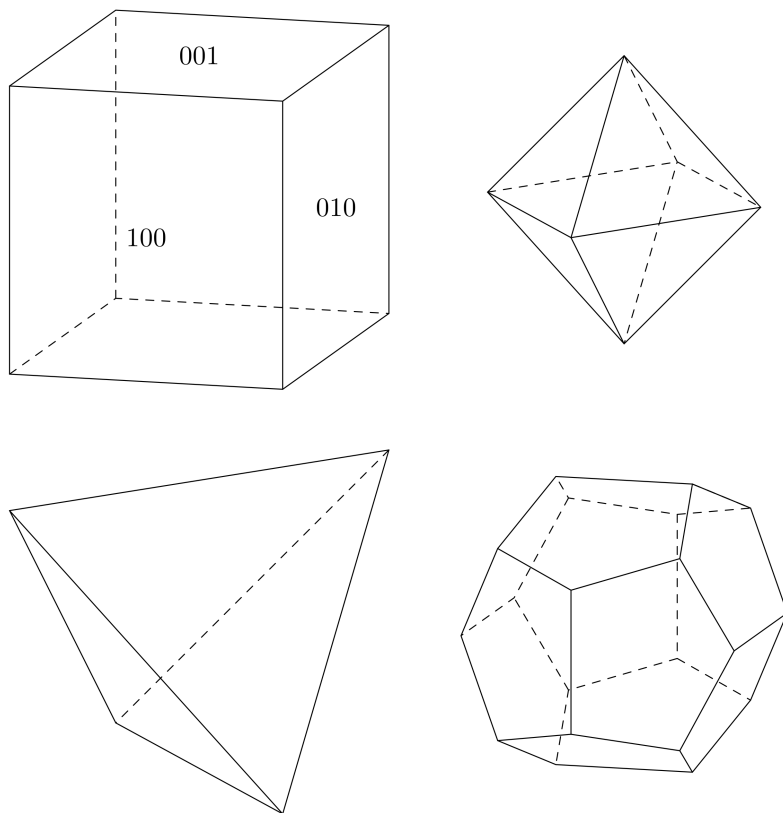
1.15.5. A termet kialakulása. * Látjuk, hogy egy kristálynak sokféle lapja lehet.

Mitől függ, hogy milyen lapok alakulnak ki, milyen lesz a kristály alakja, azaz termete? Tekintsük az 1.15.7 ábrán középen látható — az egyszerűség kedvéért síkbeli — „kristálycsírárt”. Az elemi cella téglalap, ferde és nem ferde oldalak vannak. Ha a ferde oldalak gyorsabban növekednek — ugyanannyi idő alatt több réteg rakódik rájuk — akkor a bal oldali ábrán látható helyzet áll elő. (Hogy jobban lássuk, mi változott, berajzoltuk az eredeti kristálycsíra határát.) Látjuk, hogy a ferde oldalak mérete csökkent. Még egy ilyen lépés, és a ferde oldalak eltűnnek, a kristály termete téglalap lesz. Ha viszont a ferde oldalak lassabban nőnek, mint a többi, akkor a jobb oldali ábrán látható helyzet áll elő: csak a ferde oldalak maradnak meg, a kristály „kinőtte” a többit, alakja rombusz. A rombusz tulajdonképpen „szabályosabb”, mint a téglalap, mert az oldalai egyenlőek, egyenrangúak. Három dimenzióban, ha az elemi cella téglatest, így alakul ki gyakran rombusz alakú keresztmetszet. Innen kapta ez a kristályrendszer a rombos nevet. Például — mint majd látjuk — ez a helyzet a keserűsónál is. Ha egy ilyen rétegre aztán hasonló rétegek rakódnak, akkor rombusz keresztmetszetű oszlop képződik, mint a keserűsónál.

Nézzünk egy példát. Gondolatban egy kocka alakú kősókristályka nyolc sarkából vágunk le egy kicsit. A keletkezett új lapok egy oktaéder lapjainak felelnek meg. Ha ezt a kősókristálykát tovább növesztjük, az új lapok gyorsabban növekednek, ezeket a kristály kinövi, és kocka alakú lesz. Ha most egy oktaéder alakú timsókristályka hat csúcsából vágunk le egy kicsit, akkor az új lapok egy kocka lapjainak felelnek meg, a kristályka pont olyan, mint a kősókristályka a „műtét” után. Ha azonban ezt tovább növesztjük, akkor a kockalapok gyorsabban növekednek, azokat a timsó kinövi, és oktaéder alakú kristály alakul ki. Bár a kősó és a timsó is szabályos rendszerű, az elemi cella kocka, a kristályok termete más. Idegen anyagok a növekedést megzavarhatják, és más termet alakul ki. Annyit azonban mondhatunk, hogy általában gyakoribbak azok a lapok, amelyeknek indexében kis számok vannak. A kocka hat lapjának indexében két nulla és egy ± 1 szerepel, az oktaéder nyolc lapjának indexében pedig minden szám ± 1 .

Az 1.15.8 ábrán bal oldalon felül egy *kocka* látható. A látható lapok közepére ráírjuk az indexüket. Mellette egy szabályos *oktaéder*, magyarul nyolc lap, amit úgy kapunk, hogy gondolatban a kocka minden csúcsát levágjuk egy, a vele szomszédos három csúcson átmenő síkkal. Ha csak minden második csúcsot vágunk így le, akkor egy szabályos *tetraédert*, magyarul négy lapot kapunk; ez látható alul bal oldalt. A lapok indexe 111, $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$, $1\bar{1}\bar{1}$ és $\bar{1}1\bar{1}$. Ezek mind előfordulnak szabályos rendszerű — azaz kocka alakú elemi cellával rendelkező — anyagok kristályformájaként. De nem csak ezek. Ha bonyolultabb indexű lapok is fellépnek, akkor sokkal bonyolultabb kristályformák is felléphetnek. Például a *pirit* nevű ásvány szabályos rendszerű, rendszerint kocka alakúak a kristályai, de előfordulnak *pentagondodekaéder*, magyarul ötszögtizenkétlap alakú kristályai is. Ezt az alakot az ábra jobb szélén alul mutatjuk be. Úgy kapható a kockából, hogy a felső lapnak az elülső éllel párhuzamos középvonalán és az elülső lapnak az elülső éllel párhuzamos, az elülső lapot felső háromnegyedénél húzott egyenesen átmenő síkkal levágjuk a felső lap elülső élet. Hasonlóan levágjuk a felső lap hátsó élet is. Ezután hasonlóan levágjuk az első és a hátsó lap bal és jobb oldali éleit, majd a bal és jobb oldali lapok felső és alsó éleit. A keletkezett test nem szabályos, az ötszögek nem szabályos ötszögek, éleik nem egyforma hosszúak. Az indexek 102, $\bar{1}0\bar{2}$, $10\bar{2}$, $\bar{1}02$, 210, $2\bar{1}0$, $\bar{2}10$, 021, $0\bar{2}1$, $02\bar{1}$ és $0\bar{2}\bar{1}$. * □

1.15.6 Kísérlet. A geológusok gyakran olyan gyakorlatra tesznek szert a kristályformák megkülönböztetésében, hogy több száz ásványt megismernek pusztán a kristály termete alapján. Vegyésznek ez nem olyan fontos, mert a laboratóriumban sok lehetősége van



1.15.8 ábra: kristályok termete V.

arra, hogy a különböző anyagokat felismerje. Azért nem árt, ha legalább a hét kristályrendszert meg tudjuk különböztetni. Hogyan tudjuk ezt megtenni? Először is próbáljuk meg az „ideális” kristályformát megtalálni. A kristályok gyakran nem egyformán nőnek minden irányban és gyakran látunk összenőtt kristályokat is (ikrek vagy többszörös ikrek), de azért általában találunk egy pár szabályos kristályt. A kősonál például a szabályos kristály kocka alakú. A kockának sokféle szimmetriája van. Például a középpontjára tükrözve saját magába megy át. Ezt a szimmetriát *inverzió*nak nevezzük. Aztán a középpontján átmenő, valamely lapjával párhuzamos síkra tükrözve is saját magába megy át: ez a szimmetria a síkra való *tükrözés*. A kocka alakú kristály a két szemben lévő lap közepén átmenő tengely körül 90° -kal elforgatva is saját magába megy át. Azt mondjuk, hogy ez a tengely *négyfogású*, mert négy egyforma, 90° -kal való elforgatás ad ki egy teljes körülfordulást. Idegen szóval a négyfogású tengelyt *tetragír*nek nevezzük. A kockánál két másik négyfogású forgástengely is van, amelyek a másik két szembenlévő lappár közepén mennek át. Persze, ezek egyúttal *kétfogásúak* is, idegen szóval *digírek*, ezek körül 180° -kal elforgatva is saját magába megy át a kocka. Vannak ezen kívül a kocka két szemben lévő csúcsán átmenő tengelyek, ezek körül 120° -kal elforgatva is saját magába megy át a kocka, ezek *háromfogásúak*, idegen szóval *trigírek*. Más kristályoknál lehetséges még *hatfogású* tengely, idegen szóval *hexagír* is. Néha előfordul, hogy egy tengely körül va-

lamilyen szöggel forgatva a kristály nem önmagába megy át, de ha még a tengely egy adott pontjára vonatkozó inverziót is alkalmazunk, akkor igen: ilyenkor *giroidról* beszélünk. Gondos vizsgálattal kiderül, hogy ötfogású és hatnál többfogású gír vagy giroid a térben szabályos rendben ismétlődő atomokból álló kristályoknál nem lehetséges, és csak a négyfogású giroid jelent igazán új szimmetriaelemet, a többi az eddigiekből előáll. Ha két olyan tengelyt találtunk, amely kettőnél több fogású, akkor a kristály a *legnagyobb szimmetriájú* kategóriába tartozik, amibe csak egyetlen kristályrendszer van:

I. Szabályos vagy köbös: több kettőnél több fogású tengely, általában „kerekded” formák.

Példák: kősó, kálisó, szalmiáksó, timsó.

Ha nem találunk több kettőnél több fogású gírt vagy giroidot, de egyet igen, akkor az a *főtengely*, a kristály a *közepes szimmetriájú* vagy *főtengelyes* kategóriában van. Ide három kristályosztály tartozik:

II. Négyzetes, idegen szóval tetragonális: négyfogású főtengely (gír vagy giroid). Négyzet keresztmetszetű formák. Példa: karbamid.

III. Hatszöges, idegen szóval hexagonális: hatfogású főtengely. Szabályos hatszög keresztmetszetű formák. Példák: jég, grafit.

IV. Romboéderes vagy trigonális: háromfogású főtengely, romboéderekből felépülő, háromszög keresztmetszetű formák. Példák: nátronsalétrom és például a kalcit nevű ásvány, amiről már volt szó.

Ha nincs kettőnél többfogású gír vagy giroid, akkor a kristály az *alacsony szimmetriájú* vagy *főtengely nélküli* kategóriában van. Még lehetnek kétfogású tengelyek, szimmetriasíkok vagy szimmetriaközéppont. Ide három kristályrendszer tartozik:

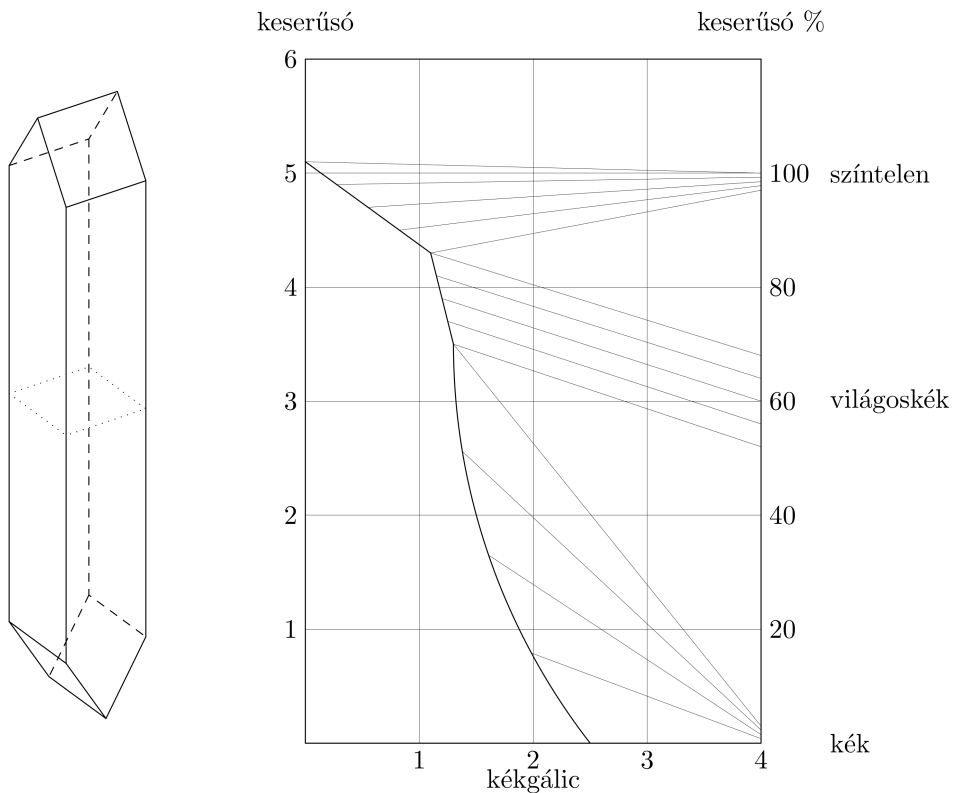
V. Rombos: több szimmetriatengely illetve szimmetriasík van. Rombusz vagy téglalap keresztmetszetű formák. Példák: keserűsó, glaubersó, káliszulfát, kálisalétrom, fehérgalic.

VI. Egyhajlású, idegen szóval monoklin: lehet szimmetriatengelye és szimmetriasíkja is, de egyikből sem lehet egynél több. Példák: gipsz, kristálysóda, bórax, fixírsó, cukor, borkősav, zöldgalic.

VII. Háromhajlású, idegen szóval triklin: nincs szimmetriatengely, sem szimmetriasík, sőt, még szimmetriaközéppont se mindig, azaz teljesen „aszimmetrikus” formák. Példa: kékgalic.

Amelyik példaként említett anyaghoz hozzájutunk, próbáljuk ki kicsiben a kristályosítását, figyeljük meg a kristályok alakját. □

1.15.7 Kísérlet. Elég sokat beszéltünk már a kristályok termetéről, ideje vele kapcsolatban egy kísérletet is csinálni. Oldjunk fel 14 g kristályos keserűsót (gyógyszertárban is kapható) 20 g vízben, és ha kell, szűrjük meg. Ha csak szárítottat kapunk, azt kell tudnunk, hogy a kristályos heptahidrát, 120 g szárított keserűsó 126 g kristályvízzel. Az oldatot osszuk két egyforma részre. Oldjunk fel 0,1 g bóraxot 1 g vízben, és az oldatot adjuk az egyikhez. (Ha nincs pontos mérlegünk, több bóraxot oldjunk több vízben, és vegyünk ki 1 ml-t az oldatból.) Mindkét keserűsó oldatot takarjuk le papírral és hagyjuk lassan elpárologni a vizet. Mielőtt teljesen beszáradna az oldat, vegyünk ki kézzel egy vagy néhány jól formált kristályt. Ezek a keserűsó heptahidrátjának kristályai. Ne mossuk le, hanem szárítsuk meg szűrőpapíron görgetve, majd levegőn. Vizsgáljuk meg nagyítóval, előtte néhányszor finoman görgetve az ujjaink között, hogy a rászáradt apró kristályok váljanak le. A tiszta oldatból kivált kristályok négy oldalú hosszúkás prizmák, amelyek az 1.15.9 ábrán bal oldalon látható alakhoz hasonlók. Pontosan megmérve a prizma lapjai által bezárt szöveget, kiderül, hogy nem derékszög, a prizma keresztmetszete rombusz. Bár

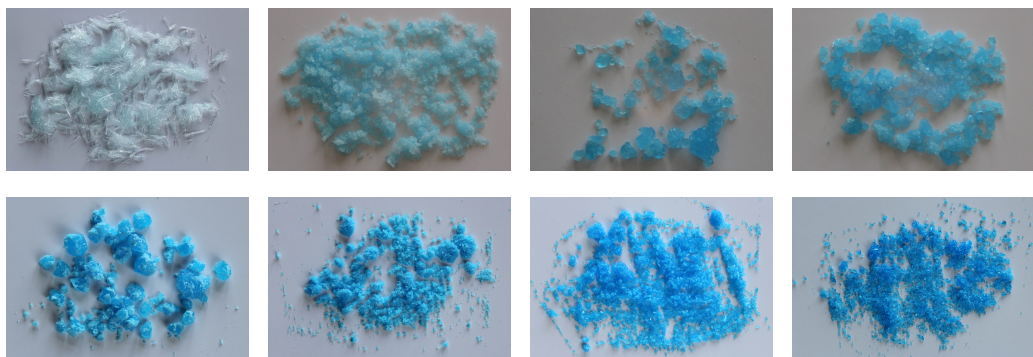


1.15.9 ábra: keserűsítő kristályalakja és izodimorfizmusa.



1.15.10 fényképek: kristályalakok keserűsítőnél.

a keserűsítőnél az elemi cella téglatest, már tudjuk, hogy ebből hogy jöhet létre rombusz keresztmetszet. A bóraxos oldatból kivált kristályok első pillantásra nem is emlékeztetnek ezekre, inkább tetraéder alakúak, a természetük alaposan megváltozott. Azonban figyelmen kívül vizsgálva őket kiderül, hogy a prizmák hosszú oldalai csak erősen megrövidültek, de ott vannak. Az én kísérletem eredményei az [1.15.10](#) fényképeken láthatók, balra a tiszta



1.15.11 fényképek: izodimorfizmus: keserűs és kékgálic.

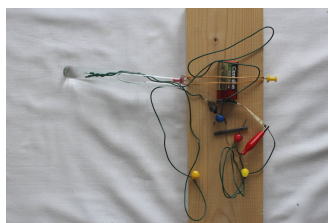
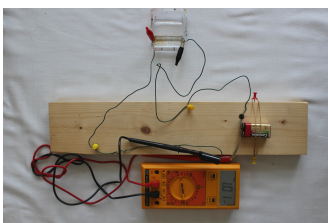
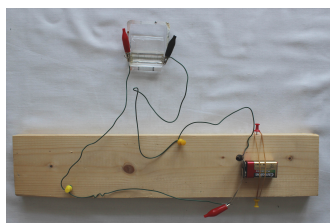
oldatból kivált kristályok. A bórax az oszlopnövekedést megzavarja, megváltoztatva a keserűs kristály természetét. Más anyagoknál szennyezések hatására teljesen meg is változhat a kristályalak, például kocka alakú kristályok helyett oktaéder alakúak válnak ki. □

1.15.8 Kísérlet. Mint említettük, a keserűs és a fehérgálic egyforma rendszerben kristályosodnak, ráadásul minkettő heptahidrátként. Mint később látni fogjuk, kémiaiilag is hasonlóak. Az elemi cellák is hasonló méretűek. Ilyenkor előfordul, hogy a sók elegykristályokat képeznek, szilárd formában is „oldódnak” egymásban. Itt is ez a helyzet.

Még érdekesebb a keserűs és a kékgálic esete. Ezek is hasonlóak kémiaiilag, de nem azonos rendszerben kristályosodnak, ráadásul a kékgálic pentahidrátként. Van azonban a keserűsnek egy nem stabil monoklin heptahidrátja, és a kékgálicnak is van egy nem stabil monoklin heptahidrátja. Ha a kettőt megfelelő arányban elegyítjük, akkor monoklin heptahidrát elegykristály válik ki az oldatból. Ezt a jelenséget *izodimorfizmusnak* nevezzük: izo egyformát, morf alakot jelent. Leírjuk itt a kísérletet, de célszerű addig elhalasztani, amíg kékgálichoz jutunk és megismerkedünk a kénsavval.

* A helyzetet vázlatosan az 1.15.9 ábra jobb oldala mutatja. A vízszintes tengelyen a száz molekula vízre jutó kékgálic, a függőlegesen a száz molekula vízre jutó keserűs molekulák száma van feltüntetve. A görbe a két anyag együttes oldhatósága szobahőmérsékleten, a jobb szél felé induló vonalak pedig azt mutatják, hogy adott összetételű oldatból milyen összetételű (hány százalék keserűsöt tartalmazó) kristályok válnak ki. A fehér, tű alakú kristályok rombos keserűs kristályok kevés kékgáliccal, a kék kristályok monoklin kékgálic kristályok kevés keserűsövel, a világoskék kristályok pedig monoklin elegykristályok.

A kísérletnél az első öt oldat 10 g keserűsöt (heptahidrátot) tartalmaz 10 ml kénsavas vízben oldva (amelyet 5 ml hígított kénsavat vízzel 100 ml-re hígítva készítünk) és rendre az alábbi mennyiségű kékgálic pentahidrátot adjuk hozzá: 1,5 g; 2,0 g; 2,8 g; 4,0 g; 6,0 g. Az utolsó három oldat 10 ml savas vízben rendre 9, 5 és 3 g keserűsöt illetve 7, 7 és 6 g kékgálicot tartalmaz. Mindegyiket forrón oldjuk fel, az üveget vattadugóval dugjuk be, és lassan, sokáig hagyjuk kihűlni. A kristályokat leszűrjük, de nem mossuk, szűrőpapír között kinyomkodjuk, és levegőn megszárítjuk. Az én kísérletem eredményeit az 1.15.11 fényképek mutatják. * □



1.16.1 fényképek: a víz vezetése.

1.16 Vízbontás

1.16.1 Kísérlet. Egy 9 voltos galvánelem kivezetéseihez csatlakoztassunk két, műanyaggal bevont vas- vagy rézdrótot. Ilyen vasdrótot mezőgazdasági célokra, kötöződrótnak, vagy pedig műanyag szárítókötélnek használnak. Műanyaggal bevont rézdrótot mindenképp használnak villamos vezetéknek, akármilyen régi elektromos hulladékból „kibányászatjuk”. A drótok mindkét végéről 1–2 cm-en késsel vágjuk le a műanyagot. A csatlakoztatást legjobb egy használt 9 voltos elemből kibányászott csatlakozókkal és csipeszekkel vagy az elektronikai boltokban kapható krokodilcsipeszekkel megoldani. Ruhacsipeszből magunk is csinálhatunk „krokodilcsipeszt”, ha a drótot körbetekerjük rajta, vagy izzó dróttal átfúrjuk és a drótvéget visszahajlítjuk. Egy nagyjából 1 cm²-es, mindenhol egyforma keresztmetszetű, néhány cm hosszú kis műanyag „kádba” tegyünk kevés csapvizet, és mártsuk bele a drótokat a két végén. (Legjobb a drótok közepére valamilyen súly rakni, hogy ne rángassuk ide-oda az elemet. Még jobb megoldás, ha a drótokat rajzszegekkel egy rajztáblához, parafa táblához, puhafa deszkához vagy léchez rögzítjük. Elektromos kapcsolások kipróbálásához gyakran használnak ilyen „deszkamodellt”.) Én kádnak egy rúdelem csomagolását használtam fel. Az egész összeállítást az 1.16.1 fényképek közül a bal oldalin láthatjuk. Az egyik, az elem – jelzésű sarkával összekötött drótvégen apró buborékok fejlődnek. A fejlődő gáz *hidrogén*. Később majd jobban megvizsgáljuk. A másik drótvégen is megjelenhetnek buborékok, de kevesebb, vagy lassan elsötétedik, esetleg körülötte a víz lassan elszíneződik, vagy ezek közül a jelenségek közül több is előfordulhat. Amit látunk, az az *áram kémiai hatása*: az elem áramot hajt át a vízen, és ahol az áram belép a vízbe, illetve kilép a vízből, ott kémiai reakciók játszódnak le. A vízbe tett drótvégeket, azaz az áramnak a folyadékba való be- és kilépési helyeit *elektródoknak* nevezzük, mégpedig ahol az áram belép a folyadékba, az az *anód*, ahol kilép, az pedig a *katód*. (Az áramra úgy szokás gondolni, hogy az elem pozitív sarkától folyik a negatív sarka felé.) Közelítsük az elektródokat, de ne érjenek össze: a hidrogénképződés erősödik. (Ha összeérnek a drótvégek, az áram a könnyebb utat választja, a vízen nem megy át. Ilyen „rövidzárnál” erős áram indul meg, és hamar lemeríti az elemet.) Ha újra eltávolítjuk őket, újra gyengül a hidrogénképződés. Ha több vizet öntünk a kis kádba, a hidrogénképződés erősebb lesz. Ez azt sugallja, hogy az áram erőssége fordítottan arányos a távolsággal, és egyenesen arányos a keresztmetszettel, más szóval az áram áthaladásával szemben mutatott ellenállás egyenesen arányos a vezető (a víz) hosszával, és fordítottan arányos a keresztmetszetével.

Ha van érzékeny ampermérőnk, vagy tudunk kölcsönkérni, ezt méréssel is alátámaszthatjuk, megmérve az áram erősségét, átvezetve azt az ampermérőn. Az összeállítást az 1.16.1 fényképek közül a középső mutatja. A + csatlakozás piros, a – fekete. Az árammé-

rőt a DC (direct current, egyenáram) állásba, ne az AC (alternating current, váltóáram) állásba állítsuk! Az áram erősségének egysége az amper (jele: A), Amperè francia fizikusról nevezték el. Először a legerősebb áram mérésére alkalmas állásba állítsuk, ez rendszerint 2 A, és csak akkor állítsuk át érzékenyebb állásba, ha annál kevesebbet mutat. Én az 5 cm hosszú kis kádban, 5 ml csapvízzel különböző távolságokra a következő áramerősségeket kaptam:

Távolság	Áram	Szorzat
cm	mA	$\mu\text{A}\cdot\text{m}$
5	0,72	36,0
4	0,91	36,4
3	1,22	36,6
2	1,80	36,0
1	3,53	35,3

Ez azt bizonyítja, hogy az áram erőssége fordítottan arányos a távolsággal, más szóval az áram áthaladásával szemben mutatott ellenállás egyenesen arányos a vezető (a víz) hosszával. Változtassuk a víz keresztmetszetét! Az üres kis kád mindkét végére tegyünk egy-egy fém gémkapcsot, és ezekhez csatlakoztassuk a drótvégeket. Most a gémkapcsok lesznek az elektródok. Fecskendőből engedjünk a (vízszintes!) kis kádba 1, 2, ..., 5 ml csapvizet. Az alábbi áramerősségeket mértem:

Víz	Keresztmetszet	Áram	Hányados
cm^3	cm^2	mA	A/m^2
1	0,2	0,19	9,50
2	0,4	0,33	8,25
3	0,6	0,47	7,83
4	0,8	0,65	8,12
5	1,0	0,81	8,10

Ez azt bizonyítja, hogy az áram erőssége egyenesen arányos a keresztmetszettel, más szóval az áram áthaladásával szemben mutatott ellenállás fordítottan arányos a vezető (a víz) keresztmetszetével. Egyébként még a legkisebb, $\approx 0,2$ mA-es áramnál is nagyjából jól megfigyelhető volt a hidrogénképződés. \square

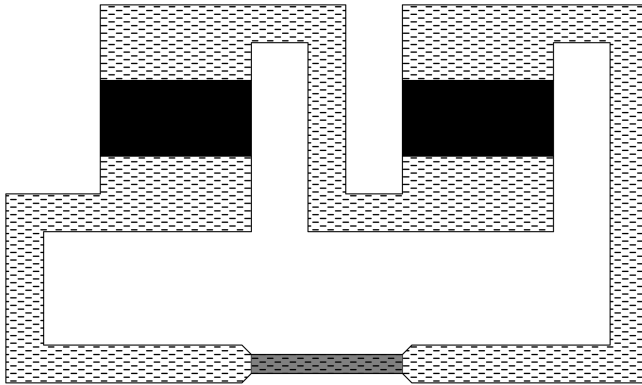
1.16.2 Kísérlet. Ismételjük meg az előző kísérletet csapvíz helyett desztillált vízzel! Hidrogénképződést nem észlelünk. Sőzzük meg a desztillált vizet: erős buborékolás kezdődik. Érzékeny ampermérővel kimutathatjuk, hogy azért a desztillált víznél is van valamennyi áram, de 7–8-szor kisebb, mint a csapvíznél. A sózott víznél viszont jóval nagyobb, vagy 30-szor akkora az áram, mint a csapvíznél, és ha több sót adunk a vízhez, tovább nő. Az ellenállásnak a hosszról és a keresztmetszetről való függését is kipróbálhatjuk sós vízre is: ugyanazt kapjuk. Arra gondolhatunk, hogy a csapvíz áramvezetését a benne oldott sók okozzák. Ez így is van. Ezért aztán az eddig megadott számok csak nagyságrendileg helyesek, mert mindenütt más a csapvíz oldott anyag tartalma, sőt, az oldott anyag is más-más. Talán a desztillált víz vezetését is maradék sók okozzák? Javarészt igen (a desztilláláskor a gőz vízcseppeket ragad magával), de kimutatták, hogy még a leg gondosabban megtisztított, vagy 30-szor desztillált víznek is van valamennyi vezetőképessége, ha nagyon kicsi is. \square

1.16.3 Kísérlet. Vezetésvizsgálót fogunk készíteni: lásd az 1.16.1 fényképek közül a jobbszélsőt. Még egy műanyag burkolatú drót két végéről szedjük le a műanyagot, és két drótot csavarjunk össze, de a lecsupasztott drótvégek ne érjenek össze, inkább legyenek távolabb. Elég, ha fél centiméter hosszúak. Egy kémcsőbe vagy átlátszó műanyag vagy üveg orvosságos edénybe tegyünk kevés csapvizet, merítsük bele az összecsavart drótokat, és rögzítsük egy lazán bedugott dugóval. Egy áramjelzőt kaptunk. Az egyik drótjának a végét rögzítsük az elemhez. Egy másik drótot rögzítsünk a 9 voltos elem másik sarkához. Ha a két szabadon maradt drótvég közé olyan anyagot teszünk, ami vezeti az áramot, a kémcsőben pezsgés indul meg, ha nem vezeti, akkor nincs pezsgés. Kezdjük a fémekkel: jól vezetik az áramot, legjobban az ezüst, aztán a vörösréz, az alumínium, a vas már valamivel rosszabbul. Egyébként általában azok az anyagok vezetnek jól az áramot, azok a jó *elektromos vezető*k, amelyek a hőt is jól vezetik. A grafit ceruza bele is vezeti az áramot. Nyilván kitaláltuk már, hogy a levegő (és általában a gázok) nem vezetnek. A műanyagok egyáltalán nem vezetnek, az üveg és a porcelán sem, ezek *szigetelők*. Nyilván ezért használnak műanyaggal burkolt vezetékeket, tehát *szigetelt vezetékeket*, hogy az áram ne kószálhasson el össze-vissza, hanem a fémbe maradjon. (Zsírok, olajok, festék, rozsdá általában nem vezetnek, ezért ha jó áramvezetést akarunk, tiszta fémes csatlakozásokat használjunk.) Próbálkozzunk a konyhasóval. Meglepetésünkre — ha száraz — nem vezeti az áramot, és a többi só sem, amivel eddig dolgoztunk. Ha viszont desztillált vízben oldjuk őket, akkor az oldat jól vezet. Például a gipsz nem vezet, de a gipszes víz vezet, ha viszont megfagyasztjuk, akkor nem vezet. (Ezért a felületükön nedves sók vezetnek egy kicsit.) Persze, ezekben az oldatokban is különböző kémiai folyamatok játszódhatnak le az áram hatására, ez az *elektrolízis*, erre majd visszatérünk. Eközben maró, mérgező, sőt robbanékony vegyületek képződhetnek. Szerencsére nagyon kis mennyiségben, mert áramjelzőnk nagyon kevés áramot, nagyságrendben 1 mA-t enged csak át. Vizsgáljuk meg a cukrot is. Nem vezet, és meglepetésünkre a desztillált vizes oldata sem. A szesz sem vezet. Papír és fa sem vezet, ha nem nedves, de ha nedves, akkor híg sóoldattal van átitatva, így vezet. Ha egy kartonlapon egy csíkot lehetőleg puha ceruzával erősen besatírozunk, akkor az a rész vezet. (Így nagyon különböző ellenállású vezetőket lehet készíteni vagy hat nagyságrenden át. Még pontosabb ellenállások készülnek vékony fémrétegekből. Elektronikai boltban készen kaphatunk ilyen ellenállásokat.) Végül vizsgáljuk meg saját magunkat. Két kezünkbe fogva a drótvégeket, nem tapasztalunk vezetést. Testünk belseje vezet, de a bőrünk elég jól szigetel. Ha a drótvégeket egyik kezünk sós vízzel bekent két-két ujjá közé szorítjuk, akkor esetleg tapasztalunk némi vezetést. 50–60 V-nál nagyobb feszültség életveszélyes lehet, főleg, ha átmegy a szívünkön, és ha nedves a bőrünk, így az áram elérheti a 10–20 mA-t, ezért a hálózati feszültséggel ne kísérletezzünk! □

1.16.4 Kísérlet. Vizsgáljuk meg a feszültség hatását az áram erősségére. A feszültség egysége a volt (jele V). Nevét Volta olasz fizikusról kapta, aki az első galvánelemeket készítette. (Az első stabil, jól használható elemek feszültsége kb. 1 V volt.) Áramjelzőnk vízbe érő dróttjait hajlítsuk egész közel, de persze ne érjenek össze. A másik két drótvéget nyomjuk hozzá egy 1,5 voltos rúdelem két végéhez. Nem tapasztalunk pezsgést. Növeljük a feszültséget: két 1,5 voltos elemet fektessünk le úgy, hogy az egyiknek a teteje a másik aljához érjen. Egy ruhacsipesszel fogjuk össze őket, és a szabadon maradt végekhez nyomjuk az áramjelző dróttjait. Gyenge pezsgést tapasztalunk. Növeljük tovább az egymás után kapcsolt elemek számát: a pezsgés egyre élénkebb lesz, végül 6 darab 1,5 voltos elemnél olyan, mint a 9 voltos elemnél. Egyébként ha szétszedünk egy 9 voltos elemet, 6 kis elem



1.16.2 fényképek: zseblámpa.



1.16.3 ábra: vízárkör.

van benne egymás után kapcsolva. De miért nincs pezsgés 1 rúdelemnél? Az elektródokon lejátszódó kémiai reakciókhoz, amik a vízben lévő sók elbontásával járnak, egy minimális feszültségre van szükség, ez a *bontási feszültség*. Amíg ezt el nem érjük, nem történik semmi, az áram nem tud keresztülmenni a csapvízen. Megpróbálhatjuk pontosabban is meghatározni a bontási feszültséget: két 1,2 voltos rúdelem alakú kis akkumulátort sorba kapcsolva, már van pezsgés, tehát a bontási feszültség kisebb, mint 2,4 V, azaz 2 V körül van. □

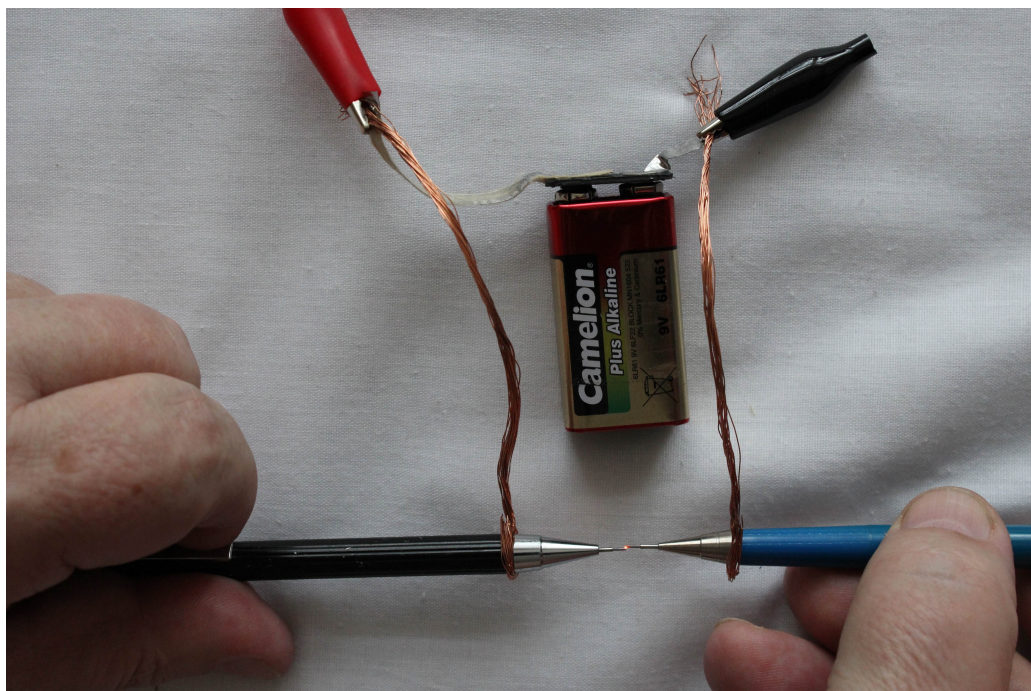
Ideje, hogy következtetéseket vonjunk le: az elemek összefeszüléséből levonva a bontási feszültséget, marad valamilyen U feszültségkülönbség. Az áramerősség egyenesen arányos ezzel a feszültségkülönbséggel és fordítva arányos az ellenállással. Az áramerősséget I -vel, az ellenállást R -rel jelölve, $I = U/R$. Nem kellene ide még valami arányossági tényező? Nem, mert az ellenállás egységét, az *ohmot* (jele Ω) úgy választották meg, hogy 1 ohm legyen az az ellenállás, amin 1 V feszültségkülönbség hatására 1 A áram folyik át. Az $I = U/R$ összefüggést Ohm német fizikus fedezte fel. Ohm törvényét nyilván $U = I \cdot R$ illetve $R = U/I$ alakban is felírhatjuk, így az egységekre $\Omega = \text{V/A}$. Az 1.16.3 ábra egy hasonlattal segít megérteni az egyszerű elektromos áramkörök, például az 1.16.2 fényképeken látható zseblámpa működését. Az ábrán a jobb oldali hengerben egy nehéz dugattyú csúszik le és vizet nyom a bal oldali hengerbe. Ott a másik dugattyú tovább növeli a

víz nyomását. A víz egy csőbe, majd egy szűk, homokkal teli csőbe jut, aminek jelentős ellenállása van, majd azon keresztülráramolva visszajut a jobb oldali henger másik felébe. Nyilván ha a szűk cső hosszabb, az ellenállása nagyobb, ha bővebb, akkor pedig kisebb. A nyomás, amit a dugattyú létrehoz, a feszültségnek felel meg. A bő cső a vezetékeknek. A szűk, homokkal teli cső a zseblámpaizzó vékony drótjának. Ha a kapcsolót is ábrázolni akarnánk, akkor a vastag csőbe egy csapot kellene beiktatnunk, amivel elzárhatjuk a víz útját. Ha nagyobb nyomást akarunk, több dugattyús hengert tehetünk egymás után, mindegyik tovább növeli a nyomást, és ezzel a vízáramlás erősségét. Ha egymás mellé tesszük a dugattyús hengereket, és mindegyiknek a kimenetéből ugyanoda vezetjük a vizet, akkor ugyan bővebb vízforrást adnak, de a nyomások nem adódnak össze. Egy akkumulátor feltöltése annak felel meg, hogy a hengeren fordított irányba nyomjuk át a vizet, újra felemelve a dugattyút. A dugattyú lefelé mozogva munkát végez. Hová lesz ez a munka? A súrlódás hővé alakítja, főleg a vékony csőben. A másodpercenként keletkező hő arányos a vékony cső két vége közti nyomáskülönbséggel és a vízáramlás erősségével. Ugyanígy az ellenállásokon az elektromos munka hővé alakul. A hőteljesítmény a feszültség és az áramerősség szorzata. Itt sem kell arányossági tényező, mert a feszültség egységét úgy választották, hogy a teljesítményt wattban kapjuk. Tehát $W=V \cdot A$, azaz $V=W/A$. Például egyszer használtunk egy elektromos vízmelegítőt. Ha 2200 W-os és ezt a teljesítményt 220 V feszültségnél adjuk le, akkor 10 A áram folyik át rajta.

1.16.5 Kísérlet. Egyszerű de látványos kísérlet az áram hőhatására, ha egy 9 voltos elem sarkai közé egy mosogatószivacsból vagy acélgyapotból kibányászott vasszálat érintünk. A vas felizzik és elég. A szál lehet más anyagból is, de minél jobban vezető anyagból van, annál vékonyabbnak kell lennie. Vastag szál egyébként sem melegszik fel eléggé, csak az elem merül le gyorsan. Alumínium fóliából (kb. 0,01 mm vastag) például ha sikerül kb. 1 mm széles csíkot vágni, az az elem két sarkához érintve megolvad. Ha az áramjelzőnket kapcsoljuk a sarkok közé, akkor túl kicsi az áram, a hőfejlődés jelentéktelen. Ha viszont túl jól vezet a drót (például réz) akkor az elem saját ellenállása, az úgynevezett *belső ellenállás* szől közbe: korlátozza az áramot, és a jól vezető dróton kicsi a feszültségesés, így a fejlődő hő is. A hő nagy része ekkor az elemben fejlődik, az melegszik fel. □

1.16.6 Kísérlet. Még látványosabb kísérletet mutat az áram hőhatására az 1.16.4 fénykép. Finoman összeérintve a ceruzahegyeket, kicsi de vakítóan világító ívfény keletkezik, tehát a nagyon magas (több ezer fokos) hőmérsékleten a levegő vezet. □

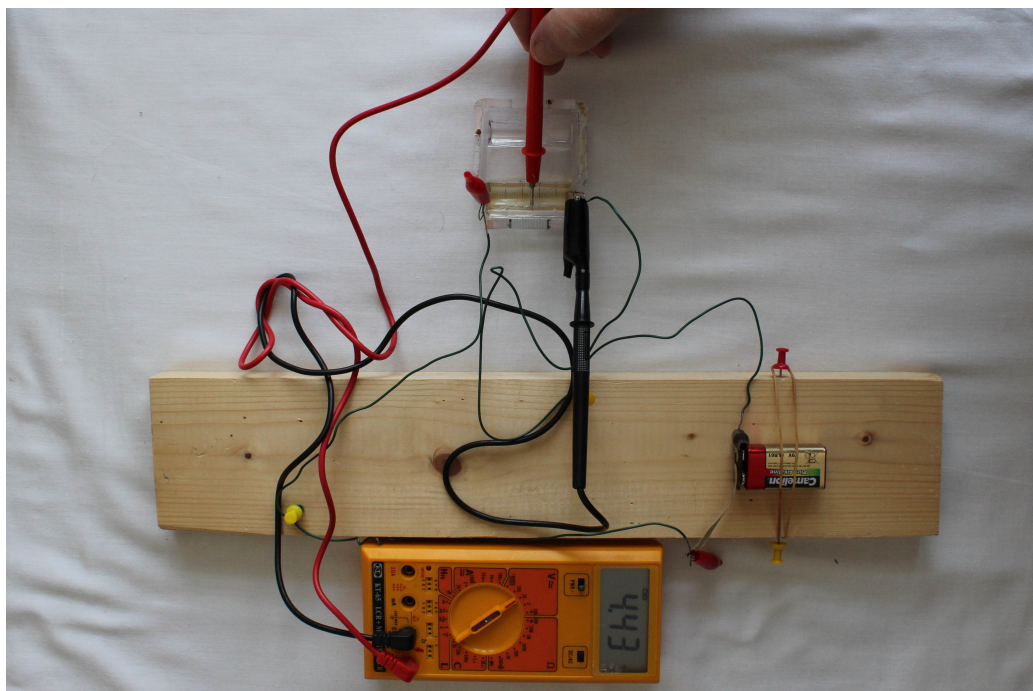
Mégis, mi áramlik a vezetékekben? Szabadon mozgó elektronok: később kicsit részletesebben foglalkozunk velük. Ahogy „vízáramkörünkben” az áramerősséget azzal mérhetnénk, hogy a cső keresztmetszetén hány vízmolekula megy keresztül, egy elektromos áramkörben az áramerősséget azzal mérhetjük, hogy másodpercenként hány elektron áramlik át a vezető keresztmetszetén. Az 1 A áramerősség másodpercenként $\approx 6,24 \cdot 10^{18}$ elektron áthaladása. Milyen gyorsan mennek az elektronok? Mint később majd ki tudjuk számolni, 1 cm³ vörösrézben $\approx 0,84 \cdot 10^{23}$ szabadon mozgó elektron van, nagyságrendben annyi, mint ahány vízmolekula 1 cm³ vízben. Ha a rézből 1 m hosszú, 1 mm² keresztmetszetű drótot csinálunk, akkor 1 A áramerősség azt jelenti, hogy a szabadon mozgó elektronok 1 s alatt a drót hosszának $\approx 0,84 \cdot 10^{23} / 6,24 \cdot 10^{18} \approx 13462$ -ed részével mozdulnak el, tehát sebességük csak 0,074 mm/s! Ha rézdrótnál 1 mm² keresztmetszetre maximálisan megengedett 6 A áramerősséget használunk (ennél még nem nagyon melegszik), akkor is csak $\approx 0,44$ mm/s sebességgel mozognak az elektronok. Hogy lehet akkor, hogy a



1.16.4 fénykép: ívfény ceruzahegyek között.

zseblámpa azonnal felgyullad, ahogy bekapcsoljuk? A vízáramlás is azonnal megindul az egész csőrendszerben, ha kinyitjuk a csapot: a nyomáskülönbség hangsebességgel terjed tovább, ami a vízben nagyobb, mint 1 km/s, nagyságrendben a vízmolekulák sebessége. A fémekben a szabad elektronok nagyságrendileg 1000 km/s sebességgel „nyüzsögnek”. A feszültségváltozás tehát nagyon nagy sebességgel terjed tovább.

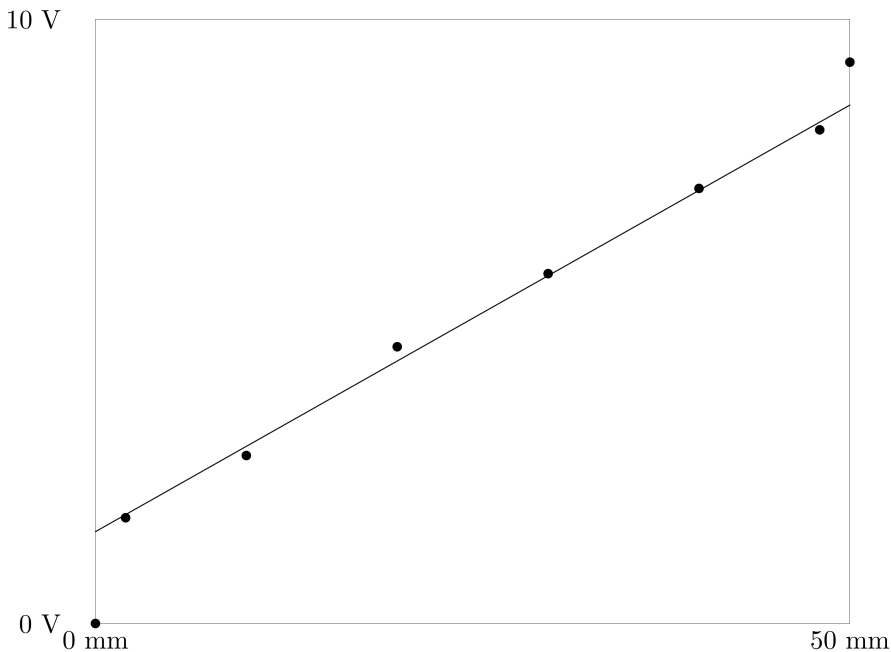
Az ellenállás számítása egyes anyagokra hasonló, mint a hővezetés számítása volt. Egy a vezető anyagától, fajtájától függő *fajlagos ellenállást*, ami azt mondja meg, mennyi az adott anyag egységnyi hosszúságú, egységnyi keresztmetszetű darabjának az ellenállása, meg kell szoroznunk a vezető hosszával és osztani a vezető keresztmetszetével. Tulajdonképpen már mértünk fajlagos ellenállást, ha megmértük a csapvízen keresztül haladó áram erősségét. Én 5 cm³ csapvízre 5 cm hosszon 0,81 mA-t mértem. A keresztmetszet nyilván 1 cm². Az elem 9 V feszültségéből levonva a 2 V bontási feszültséget, azt kapjuk, hogy az ellenállás 7/0,00081 V/A ≈ 9 kΩ. A fajlagos ellenállást a ρ (ejtsd: ró) görög betűvel szokás jelölni. Így 9 kΩ = $\rho \cdot 5 \text{ cm}/1 \text{ cm}^2$. Innen $\rho = 1,8 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm} = 18 \text{ }\Omega \cdot \text{m}$. (Ha a csapvíz vagy akármilyen oldat ellenállását egy elektronikus ellenállásmérővel próbáljuk megmérni, általában nem kapunk használható eredményt. Ezek ugyanis egy meghatározott áramerősségnél feszültségesezt mérnek, általában 200 mV-ig. A bontási feszültség ennél nagyobb, így az ellenállást végtelennek érzékelik.) A fémek fajlagos ellenállása ennél sokkal kisebb, például 18 °C-on az ezüsté, vörösrézé, alumíniumé és vasé rendre 16, 17, 32 illetve 90–150 nΩ·m. A fémek fajlagos ellenállása nagyjából arányos az abszolút hőmérséklettel. * Érdekes összefüggés, hogy ha λ jelöli a hővezetőképességet, akkor $\lambda \cdot \rho/T$ minden fémre nagyjából ugyanannyi, (23,1...27,9) · 10⁻⁹ V²/K². Ez a Wiedemann–Franz-törvény. A



1.16.5 fénykép: feszültségmérés.

magyarázata az, hogy a fémekben a hővezetést is főleg a szabad elektronok okozzák. * A grafit fajlagos ellenállása $50\text{--}100\ \mu\Omega\cdot\text{m}$, a hőmérséklet növekedésével csökken. Olvadt konyhasó fajlagos ellenállása $900\ ^\circ\text{C}$ -on $2,7\ \text{m}\Omega\cdot\text{m}$. Oldatoké ennél jóval nagyobb, $25\ ^\circ\text{C}$ -on a gipsz telített oldatának fajlagos ellenállása $4,523\ \Omega\cdot\text{m}$, a desztillált vízé $10\text{--}20\ \text{k}\Omega\cdot\text{m}$, a legtisztább desztillált vízé $183\ \text{k}\Omega\cdot\text{m}$, de ha ez a víz levegőn áll, a fajlagos ellenállása lecsökken ennek kb. a 8 százalékára. Kb. $100\ \text{M}\Omega\cdot\text{m}$ fajlagos ellenállás felett az anyagokat szigetelőknak szoktuk tekinteni. Jó szigetelőknél, például a műanyagoknál a fajlagos ellenállás nagyobb, mint $10^{10}\ \Omega\cdot\text{m}$, a legjobb szigetelőknél eléri a $10^{16}\ \Omega\cdot\text{m}$ -t is. Vannak félvezetők is és az elektronikában nagyon fontosak.

1.16.7 Kísérlet. Ha van voltmérőnk vagy tudunk kölcsönkérni, végezzük el ezt a kísérletet. Manapság rendszerint ugyanaz a műszer használható voltmérőként, ami ampermérőként, de voltmérésnél az áramot nem kell átvezetni a műszeren, csak a két mérőhegyet a két ponthoz érinteni, amelyek közötti feszültséget mérni akarjuk. Itt is a legnagyobb méréshatárral kezdjük. Kössük a kis kádunkat a 9 voltos elemre, a végébe egy-egy fém gémkapcsot téve elektródnak. Kössük az katódhoz a voltmérő negatív (általában fekete) érintkezőjét, a pirosat pedig mártsuk a csapvízbe. A voltmérő a katódtól távolítva az érintkezőt, növekvő feszültséget mutat. Az összeállítást az 1.16.5 fénykép mutatja. Ha nincs voltmérőnk, akkor is megcsinálhatjuk a kísérletet, ha a kádban a vizet kicsit megsózzuk, az áramjelzőnk egyik végét az anódhoz kötjük, a másik végét pedig a kádban mozgatjuk. Persze, ekkor csak az áramerősséget tudjuk becsülni, ami a bontásfeszültség feletti feszültséggel arányos. Én az alábbi feszültségeket mértem:



1.16.6 ábra: feszültségésés.

Távolság/mm	0	2	10	20	30	40	48	50
Mért fesz./V	0,00	1,75	2,78	4,58	5,79	7,20	8,17	9,29
Számolt fesz./V	1,52	1,81	2,94	4,35	5,76	7,17	8,30	8,58

A mért értékeket az ?? ábrán ábrázoltuk. Elég jól látszik, hogy a mért feszültségek nagyjából lineárisan változnak, kivéve az elsőt és az utolsót. Illesszünk egy egyenest a többire! Az adódik, hogy $y = 0,1412 \cdot x + 1,5237$. Az utolsó sor az ebből a képletből számolt feszültségértékeket adja meg. Az eltérések kicsik, kivéve az elektródoknál. Az oldat belsejében tehát Ohm törvénye érvényes, de a katódnál mintegy 1,5 V-os, az anódnál mintegy 0,7 V-os feszültségugrást tapasztaltunk. Első pillantásra azt hihetjük, hogy ténylegesen az oldat és az elektródok közötti feszültségugrást sikerült megmérnünk. Ez azonban nem így van. A feszültségmérőnek az oldatba mártott vége és az oldat között is van feszültségugrás, hiszen itt is kell valamennyi áramnak folynia, egyébként a feszültségmérő nem működne, így ez is katód. Ezek a feszültségugrások függenek az elektródok anyagától, az oldattól, és az áramerősségtől, pontosabban az áramsűrűségtől, azaz a katódon, az anódon és a mérőelektródon az egységnyi felületre eső áramtól. Így könnyen lehet, hogy más mérésnél egészen más feszültségugrást mérünk. Erre majd visszatérünk. □

Legfőbb ideje egy részletesebb magyarázatnak. Hogyan kerülnek a fémbe a szabad elektronok? Az atomok, nevükkel ellentétben (a-tom görögül azt jelenti, hogy oszthatatlan), nem oszthatatlanok. Pozitív töltésű atommagból és körülötte „lebzselő” negatív töltésű elektronokból állnak. Az elektronok valóban oszthatatlanok, mindegyik pontosan ugyanolyan. Még a legkönnyebb atommagnál is kb. 2000-szer könnyebbek. Az atommagnak

ugyanakkora pozitív töltése van, mint amekkora negatív a hozzá tartozó elektronoknak együtt. (Hogy miért, erről később lesz szó.) Az ellentétes töltések vonzzák egymás, az azonosak taszítják. A fémek elemek, minden tiszta fém egyforma atomokból áll (persze mindegyik másfajtából). A fématomok könnyen megválnak egy-két elektrontól, ezek a fémkristályban mint szabad elektronok kószálnak. Egy galvánelem egyik sarkán a benne lejátszódó kémiai folyamatok több szabad elektront halmoznak fel, mint amennyi normálisan lenne a fémbe, a másik sarkán pedig csökkentik a szabad elektronok számát. Tehát elektromos feszültségkülönbség áll fenn a két sarok között. Ha egy fémdróttal összekötjük a két sarkot, a szabad elektronok megindulnak a negatív saroktól a pozitív felé. A negatív sarkon lévő többlet elektronok taszítása és a pozitív sarok vonzása a negatív saroktól a pozitívhoz hajtja őket. Ez az áramlás mindaddig tart, amíg az elembe lejátszódó kémiai folyamat feszültségkülönbséget hoz létre.

De miért vezetnek a sóoldatok és miért nem vezetnek a sók? A kőszkristályban kétféle atom van. Az egyik egy fém atomja (ez a kisebb), a másik egy nemfém elemé. A fém lead egy elektront, ezt a nemfém elem atomja felveszi. Elektromosan töltött részecskék, *ionok* jöttek létre: a fémmion pozitív töltésű, a másik negatív töltésű. Ezzel azonban foglyul is ejtették egymást: a pozitív és a negatív töltésű ion kb. a súlyuk 3,8 billiószorosával vonzza egymást. Ezek az erők tartják össze a sókristályt. Mivel az ionok a kristályban nem tudnak elmozdulni, a só nem vezet. A fémkristályt is a pozitív fémmionok és a negatív szabad elektronok vonzása tartja össze, de ott a kicsiny elektronok nincsenek a kristályrácsához kötve, így a fém vezet. Ha egy sót vízben oldunk, akkor az 1.2.7 rajzon vázlatosan ábrázolt módon a pozitív és a negatív ionok közé vízmolekulák furakodnak, körülveszik őket, és így már az oldatban el tudnak mozdulni. A pozitív töltésű ionok a negatív katódhoz, a negatív töltésű ionok pedig a pozitív anódhoz vándorolnak, és ott kémiai reakciókban vesznek részt. Ha megolvastjuk a sót, akkor is kiszabadulnak az ionok a kristályrácsból: a sóolvadék is vezet. A cukorból viszont nem képződnek ionok, így az oldata sem vezet. Miért vezet az ívfényben, nagyon magas hőmérsékleten a levegő? A magyarázat az, hogy a nem túl nagy, de a fémeknél azért jóval nagyobb ellenállású grafithegyek az összeérintéskor felizzanak, és a magas hőmérsékleten a levegő molekulái részben atomokra, azok pedig elektronokra és pozitív ionokra bomlanak. Ezek mozgása adja az áramot.

1.16.8 Kísérlet. Jó lenne valamilyen kísérlet, ami alátámasztja a sóoldatok és a fémek áramvezetéséről mondottakat. Később majd sok ilyen kísérlettel találkozunk, most csak néhányat említünk meg. Kössük az áramjelzőnket a 9 voltos galvánelemre, és kezdjük gyertyalánggal melegíteni a kémcsövet. A pezsgés megélénkül, tehát a vezetőképesség nő. Ha van árammérőnk, megmérhetjük az áramerősséget. Nekem 18 °C-on 6,5 mA, 100 °C-on 16,9 mA adódott. Ezt főleg a víz viszkozitásának csökkenése magyarázza. Az ionok a körükjük csoportosuló vízmolekulákkal együtt mint valami apró gömbök „esnek” az őket vonzó elektród felé. Ha csökken a viszkozitás, nő a sebességük, és ezzel a vezetés. Például a telített gipszoldat ellenállásának változását 15 és 30 °C között csaknem pontosan megadja, hogy a viszkozitás fokként 2%-kal csökken. Már szó volt róla, hogy a fémek ellenállása a hőmérséklettel nő. Ezt egy pontos ellenállásmérővel és egy hosszú, vékony vasdróttal kipróbálhatjuk, ha a drótot egy ceruzára feltekerjük és borszeszegő lángjában megmelegítjük. Magasabb hőmérsékleten a fém élénkebben rezgő atomjai jobban akadályozzák az elektronok mozgását. □

1.16.9 Kísérlet. Azt, hogy az ionok jelen vannak az oldatban és nem csak az áram ha-



1.16.7 fénykép: feszültségosztó.

tására jönnek létre, bizonyítja, hogy az áramvezetés azonnal megindul, nem csak fokozatosan. Ezt egy hosszabb műanyag csővel és sóoldattal nagyobb hosszra is kipróbálhatjuk. Pontosabban is kimutathatjuk két rézdróttal és egy kis sós vízzel, ha van egy hangfal a közelben. A hangfal hátulján az egyik csatlakozásból vegyük ki a vezetéket, és tegyük a helyére az egyik rézdrótot, a vezetéket pedig kössük a másik rézdróra. Keressünk valamilyen műsort, például zenét. Ha a két rézdrótot összeérintjük, halljuk a zenét a hangfalon. (Ha van másik hangfal is, azt iktassuk ki.) Ha most a két rézdrótvéget egy pohárka vízbe tesszük, nem halljuk a zenét, de ha megsózzuk a vizet, újra halljuk. Ha van váltóáramú (AC: alternating current) voltmérőnk, meg is mérhetjük a két rézdrót közötti feszültséget. Még akkor is halljuk a zenét, ha annyira levesszük a hangerőt, hogy a feszültség csak néhány század volt. Elektrolízist nem tapasztalunk. Hogy lehet, hogy akkor is van vezetés, ha a feszültség nem éri el a bontási feszültséget? A hangfalban folyó áram *váltóáram*: másodpercenként több százszor változtatja az irányát. Az ionok megindulnak a megfelelő elektród felé, a legközelebbiek el is érik, de csak összegyűlnek, kémiai folyamatok nem történnek, mert nem értük el a bontási feszültséget. Közben megváltozik az áram iránya, az ionok az ellenkező irányba kezdenek mozogni, stb. Az elég szaporán váltakozó irányú áram tehát átmegy az oldaton, de kémiai reakciók nincsenek. Ha kicsiny, nagyságrendben tizedvolttos, de állandó feszültségű váltóáramot alkalmazunk, és megmérjük az áram erősségét, könnyen és pontosan megmérhetjük az oldat fajlagos ellenállását. □

1.16.10 Kísérlet. Meg tudjuk-e mérni a bontási feszültséget voltmérő nélkül is? Igen, egy kis trükkel. Készítenünk kell egy *feszültségosztót*: lásd az 1.16.7 fényképet; egy sze-

relőfal (lásd később) felső rúdja van szerelve, hogy mindig kéznél legyen. Valamilyen, az áram hőhatásán alapuló, már elromlott háztartási eszközből (rezsó, főzőlap, kenyérpírtó, kávéfőző, hajszárító, stb.) bányásszuk ki az ellenálláshuzalt, vagy vegyünk egy rezsóbetétet. Általában a hajszárítót a legkönnyebb szétszedni. Elektronikai boltban is kaphatunk ellenálláshuzalt. Ezeknek az ellenálláshuzaloknak a fajlagos ellenállása általában $1,3 \mu\Omega/\text{m}$ körül van, a terhelhetősége pedig arányos az átmérővel, 1 mm átmérőjűre 6 A . (Ekkor már izzik!) Az ellenállások készítésére használt mangánin és konstanstán huzaloknak a fajlagos ellenállása $0,5 \mu\Omega/\text{m}$ körül van, a terhelhetősége arányos az átmérővel, de nincs annyi, mint a fűtőhuzaloké. Ellenállásuk nem nagyon változik a hőmérséklettel. Én egy régi 400 W -os rezssót szedtem szét. Mivel 220 V -ra volt méretezve, az áramerősség $400/220 \approx 1,82 \text{ A}$; ennyi áram hevíti izzóra az ellenálláshuzalt. A huzal spirállá van csavarva, és porcelán gyöngyökön van átbújtatva. Ezeket a porcelán gyöngyöket is tegyük el, később majd szükségünk lesz rájuk. Az ellenálláshuzalt például kilincsen huzigálva egyenesítsük ki, és mérjük meg a hosszát. Az enyém $5,5 \text{ m}$ volt. Mivel a teljes ellenállás $220/1,82 \approx 121 \Omega$, egy méter huzal ellenállása $121/5,5 = 22 \Omega$. A feszültségosztó egy méter hosszú lesz. Egy ennél valamivel hosszabb falécre az ellenálláshuzal alá ragasszunk egy 1 m hosszú papír mérőszalagot. A léc végére szereljük fel „csokoládét”. Ez villanyvezetékek összekötésére szolgáló úgynevezett sorozatkapocs, becenevén „csokoládé”. Táblában kapható. Lehetőleg fekete vagy barna színű hőre keményedő műanyagból (bakelitből) készült közepes méretű sorozatkapcsot vegyünk. Fémfűrészsel három-három darabot vágjunk le a táblából. Úgy csavarozzuk fel a három-három darabot, hogy a bennük lévő fém betét távolsága a mérőszalag végétől nagyjából 5 mm legyen. Egy egyes sorozatkapocs darabot keresztben fúrjunk át két helyen, ott, ahol a csavarok vannak, ez lesz a „csúszka”. A csúszkán fűzzük át az ellenálláshuzalt, és egy több mint 1 m hosszú, minél vastagabb egyenes csupasz rézvezetékkel. A rézvezeték lesz a „vezetősín”; feszítsük ki a középső kapcsok között. A harmadik sorozatkapcsra egy vastagabb szigetelt falvezetékkel vezetjük vissza az áramot az ellenálláshuzal másik végéhez. Az ellenálláshuzal egy 1 m -es darabját kifeszítve fogjunk be a két sorozatkapocsba. Kicsit hosszabbat vágjunk le, tekerjük rá többször egy vastagabb rézdrótra, azt hajtsuk vissza és azt fogjuk be, hogy jó legyen az érintkezés. Igyekezzünk pontosan a mérőszalag végéhez állítani a rézdrótok visszahajtott végét. Ha nem sikerül is, azt csak pontosabb méréseknél kell figyelembe venni. Lényegében kész is vagyunk. Ha a sorozatkapocs két szélső csavarjával befogunk egy áramforrás két sarkától érkező rézdrótot, akkor annak feszültsége egyenletesen csökken az ellenálláshuzal mentén. Ha például egy 12 V -os gépkocsi akkumulátorra kötjük a feszültségosztót, akkor a csúszkáról 0 és 12 V közötti feszültséget vehetünk le a sorozatkapocs középső csavarján.

Most már megmérhetjük a bontási feszültséget. Kössük áramjelzönket az ellenálláshuzal negatív vége és a csúszka közé egy hajlékony rézvezetékkel. Mozgatva a csúszkát, elérhetünk egy olyan helyzetet, amikor éppen megszűnik a hidrogénfejlődés. A bontási feszültség annyiad része a 12 V -nak, ahányad része a negatív vég és a csúszka közötti távolság az 1 m -nek. Szigorúan véve ez csak akkor van így, ha a csúszkán nem folyik áram, de ha kicsi a rajta folyó áram, akkor is elég jó közelítés. □

Ha így csináljuk, ez a mérés nem pontos, mert nem tudjuk, pontosan mennyi a gépkocsi akkumulátor feszültsége. Legegyszerűbb, ha egy pontos voltmérővel megmérjük a hidrogénfejlődés megszűnésekor az áramjelzőre eső feszültséget. Akit érdekel, enélkül hogyan boldogulhatunk, olvassa el a fizikai részt. Egyébként nem érdemes megpróbálni nagyon

pontosan meghatározni a csapvíz bontási feszültségét, mert attól is függ, milyen sók vannak benne oldva és miből vannak az elektródok.

Van, aki azt mondja, nincs gépkocsiakkumulátora. Természetesen annak a helyére más áramforrást is tehetünk. Azért túl nagy feszültséget ne használjunk. Például ha 22 V-os áramforrást használtam volna, a 22 Ω -os ellenálláshuzalon 1 A áram folyna. Ez valamivel több mint a fele annak, amitől a rezsóban izzik, így a rajta eső feszültség is valamivel több mint a fele annak, ami erre a drótdarabra a rezsóban esik. Így a drótdarabra eső teljesítmény valamivel több mint a negyede a rezsóban leadott teljesítménynek. Ettől nem jön izzásba, de lehet hogy már erősen melegszik. Egy nedves papírdarabbal vagy akár csak megnyálazott ujjunkkal megérintve kipróbálhatjuk: ha nem sístereg, még nincs 100 °C, biztonságos. Ha egy 9 V-os elemet használunk, akkor az áram $9/22 \approx 0,41$ A, ezt az elem nem sokáig bírja. Jobb, ha egy 4,5 V-os elemet, még jobb, ha két sorbakötött 1,5 V-os elemet használunk.

1.16.11 Kísérlet. Az elektronokat ki is szabadíthatjuk a fémből. Először *Edison* észlelte, hogy egy izzóban az izzószál közelében lévő fémlemez negatív töltést kap. A jelenséget az okozza, hogy magas hőmérsékleten az elektronok mintegy „elpárolognak” a fémből és feltöltik a fémlemezt. A jelenség észleléséhez szükségünk lesz egy digitális multiméterre. Kellő óvatossággal a hálózati áramot fogjuk felhasználni. Vásároljunk egy 15 W-os hálózati izzót, amelyet hűtőszekrényekben használnak, vagy vegyünk kölcsön a hűtőből. Ezekben a kis izzókban légüres tér van. A foglalata E14-es (Edison-14 mm-es) úgynevezett mignonfoglatat. Keressünk egy lámpát, aminek ugyanilyen a foglalata. A kis izzó üvegét burkoljuk be alumínium fóliával, vigyázva, hogy az izzó becsavarása után SE ÉRJEN A FOGLALAT FÉM RÉSZÉHEZ SEHOL SEM. Tudni kell, hogy a hálózati áram egyik vezetéke a földdel van összekötve, a másik feszültsége viszont vagy -320 V-tól +320 V-ig változik másodpercenként 50-szer oda és vissza. Mikor a feszültség negatív, a szálból „elpárolgó” elektronokat a szál eltaszítja, és azok összegyűlnek az üvegbúra belsején. A fólia alatt a búra erősen felmelegszik, és a meleg üveg vezet egy kicsit, így a feszültség a fólián is megjelenik. Meg lehetne keresni, melyik a földelt vezeték, és megmérni a feszültséget ehhez képest, azonban egyszerűbben is célt érhetünk. Egy földelt hosszabbító földeléséhez képest mérjük meg a digitális multiméterrel az egyenfeszültséget, tehát A HOSSZABÍTÓNÁL SZABADON HOZZÁFÉRHETŐ, A CSATLAKOZÓ DUGÓ KÜLSŐ FÉM RÉSZÉHEZ CSATLAKOZÓ FÖLDELÉS és az alumínium fólia között mérünk egyenfeszültséget. Mindenesetre biztonsági okokból A MÉRŐCSÚCSOKNAK CSAK A SZIGETELT RÉSZÉT FOGJUK MEG. Én 0,2 V-ot mértem, több különböző állásban is, és a fólia volt a negatív. Más eredmény is lehetséges, és a digitális multimétertől is függ az eredmény, de mindig a fólia a negatív. Miért ilyen kicsi a mért feszültség, és miért függ a multimétertől? Az én multiméterem ellenállása 10 M Ω . Akkor mutat 0,2 V-ot, ha 20 nA áram folyik át rajta. Az üveg belső felületén valójában a feszültség akár -300 V is lehet, de az üveg ellenállása óriási, és ennyire korlátozza az áramot. Ha a multiméter ellenállása csak 1 M Ω lenne, csak 0,02 V-ot mutatna. □

Az Edison által felfedezett jelenség óriási fejlődést hozott. Az izzószál és a búrában lévő fémlemez között az áram csak egy irányba folyhat, mert a fémlemezről nem lépnek ki elektronok: ez az egyenirányítás. Ha az izzószálnak a közelébe egy fémrácsot teszünk, ennek a néhány tized V-os negatív feszültsége segítségével szabályozni lehet az áramot, mert a negatívabb feszültség több elektront „kerget vissza” az izzószálra. Az így létrejött *elektroncső* erősítésre alkalmas. Az elektroncső — esetleg több rácscsal — tette lehetővé

a távolabbra való telefonálást, a rádiót, a televíziót, hangerősítést, stb. Ezzel elérkezett az elektronika első aranykora. (A másodikat a tranzisztor feltalálása hozta létre, a harmadikat pedig az integrált áramkörök bevezetése.)

1.16.12 Kísérlet. Célunk a víz felbontása. Megfigyelhettük, hogy szinte minden sónál a katódon gáz — hidrogén — fejlődött. Azt sejtethetjük, hogy a hidrogén a víz alkotórésze. Hogy a víz másik alkotórészét is megkapjuk, olyan elektródot és oldatot kell használnunk, amelyek az anódnál sem reagálnak egymással. A legegyszerűbb lesz elektródnak vasat, elektrolitnak pedig mésztejet használni. Vegyünk olcsón kapható *oltott meszet* vagy elterjedt bár hibás nevén *mészhidrátot*. Olcsó anyag és később is használni fogjuk. Egy fél literes polietilén palackba tegyünk 1–2 evőkanállal, és öntsünk rá desztillált vizet. Jól rázzuk össze: fehér *mésztej* keletkezik, de az oltott mésznek csak kis része oldódik fel, mert rosszul oldódik vízben. Az esetleges oldható szennyező anyagok viszont oldatba mentek. Ezért ha leülepedett, öntsük le az oldatot, és a maradékot öntsük fel ismét desztillált vízzel. Rázzuk fel és ismét hagyjuk leülepedni. A tiszta oldat a *mészvíz*, az oltott mész vizes oldata. Lúgos, maró hatású, ezért vigyázzunk, nehogy a szemünkbe kerüljön. Ha ez mégis előfordulna, folyassunk a szemünkbe pár percig tiszta vizet. Annyira azért nem maró, hogy rövid ideig ne nyúlhatnánk bele. Ne is várjuk meg, amíg a mésztej teljesen leülepszik. Töltsünk meg vele színültig két egyforma kémcsövet, meg egy poharat félig, és a befogott kémcsöveket fejjel lefelé merítsük a pohárba. Utána mossunk kezét. A két elektród két vasdrót lesz. Ha nem jutunk szigetelt dróthoz, két vasdrót darab mindkét végét csiszolópapírral tisztítsunk meg a rozsdától, és szigetelőszalaggal tekerjük be őket majdnem végig. (Nem rozsdásodó drót nem biztos, hogy jó!) Tekerjük össze a drótokat, a végüket hajlítsuk vissza, és tegyük be az egyiket az egyik, a másikat a másik kémcső alá. Áramforrásnak jó a 9 voltos galvánelem vagy akkumulátor, de sokkal jobb egy leselejtezett telefon, számítógép, stb. töltő. (A töltőből kivett áram nagyságrendben 1000-szer olcsóbb, mint az elem.) Az egyik drótvéget tekerjük fel rugószerűen, és dugjuk bele a töltő dugóját. A másikat hajlítsuk vissza, és dugjuk a töltő dugójának belsejébe. Vigyázzunk, nehogy rövidzár keletkezzék, mert egyrészt tűzveszélyes, másrészt a töltő valószínűleg tönkremegy.

A töltőt bedugva a konnektorba, megindul az *elektrolízis*. A katódon több, az anódon kevesebb gáz fejlődik. Várjunk türelmesen: kiderül, hogy a katódon kétszer annyi gáz fejlődik, mint az anódon. A katódon fejlődő gáz a *hidrogén*, az anódon fejlődő gáz az *oxigén*, ezek a víz alkotórészei. Előfordulhat, hogy kezdetben az oxigénfejlődés gyenge, mert az oxigén reagál a vassal, de aztán az anód kicsit megfeketedik, és már szépen fejlődik az oxigén. Egy idő után szépen látható, méréssel is ellenőrizhető, hogy kétszer annyi térfogatú hidrogén fejlődik mint oxigén. □

Amíg várunk, hogy annyi gáz fejlődjön, hogy megvizsgálhassuk, beszéljünk róluk. A hidrogén elem, vegyjele H. A legtöbb elem vegyjele nevének első betűje vagy két betű a nevéből. Olvadáspontja 14,0 K, forráspontja 20,4 K. Az oxigén is elem, vegyjele O, olvadáspontja $-218,8\text{ °C}$, forráspontja $-183,0\text{ °C}$. Honnan tudjuk, hogy elemek? Onnan, hogy vegyészek szorgos serege próbálta meg felbontani őket, és nem sikerült. Az előző kísérletből arra gondolhatunk, hogy egy molekula vízben két atom hidrogén és egy atom oxigén van, azaz a víz képlete H_2O . A lenti kis kettős a képletben azt jelenti, hogy abból az atomból kettő van egy molekulában. Mindkét gázt lehet kapni palackban is, úgyhogy ugyanúgy mérhetnénk meg a sűrűségüket, mint a szén-dioxidét. A hidrogén az összes gáz

közül a legkisebb sűrűségűnek bizonyult, 1 g normál állapotban $\approx 12,3$ l. Az oxigén körülbelül 16-szor sűrűbb. Viszont a vízgőz sűrűségét már megmértük, és némi számolással arra jutunk, hogy kb. 9-szer sűrűbb, mint a hidrogén. Ez olyan, mintha egy vízmolekula egy H atomból és egy fél O atomból állna. Ezt sokáig nem értették, pedig Avogadro olasz tudós elég régen megadta a magyarázatot. *Minden gáznak adott térfogatában adott nyomáson és hőmérsékleten ugyanannyi molekula van* — ez Avogadro törvénye —, de az elemek gáz halmazállapotban (általában) kétatomosak. Tehát a vízbontáskor két molekula vízből két molekula H_2 és egy molekula O_2 keletkezik. Avogadro magyarázatát sokáig azért nem hitték el, mert elképzelhetetlennek tartották, hogy egy elem saját magával reagáljon. A kémiai reakciókat ugyanis ellenkező előjelű töltések vonzásával magyarázták. Az elektromosságnak, az elektronoknak tényleg szerepe van, de a dolog nem ilyen egyszerű. Természetesen nem látjuk, hogy egy anyag saját magával reagál, mert mindjárt a keletkezéskor megtörténik. Azt az anyagmennyiséget, amiben ugyanannyi molekula van, mint ahány *atom* 1 g hidrogénben, *mol*-nak nevezték el. Mivel a hidrogén messze nem minden elemmel képez vegyületet, az oxigén pedig szinte mindegyikkel, később áttértek arra, hogy *mol*-nak azt az anyagmennyiséget nevezték, amiben ugyanannyi molekula van, mint ahány *atom* 16 g oxigénben. (Mivel egy mól hidrogénatom $\approx 1,008$ g, ezzel a mól mint egység nem sokat változott.) Avogadro még nem tudta, hogy hány molekula van egy mól anyagban. Mi már csináltunk egy nagyságrendi becslést erre: 1 mol víz 18 g (pontosabban 18,016 g) és megbecsültük, hogy 1 cm^3 vízben hány molekula van. A ma használt mol az oxigéneken alapuló mol-nál 40‰-szel kisebb, és egyszerűen darabszámban van megadva: az 1 mol-ban levő molekulák száma, az Avogadro-szám $6,02214076 \cdot 10^{23}$. Ebben az új egységben egy mol hidrogén atom $\approx 1,007947$ g, egy mol oxigén atom pedig $\approx 15,999943$ g.

Avogadro törvényéből az következik, hogy egy mol gáz térfogata adott nyomáson és hőmérsékleten minden gázra ugyanannyi. Például 0 °C-on és 1 atm nyomáson $\approx 22,41397$ l, normál hőmérsékleten és normál nyomáson pedig $\approx 24,78957$ l. Mivel az egyesített gáztörvény szerint $p \cdot V/T$ állandó, azt kapjuk, hogy egy mol akármilyen gázra $p \cdot V/T$ ugyanaz az állandó. Ez a *gázállandó*, amit **R**-rel szokás jelölni. Értéke $\approx 8,3144626$ J/(K·mol). Természetesen n mol gázra $p \cdot V/T$ értéke n -szer ennyi, azaz $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$. Ez az *általános gáztörvény*. Persze, mindezek csak ugyanolyan pontossággal érvényesek, mint az egyesített gáztörvény: minél kisebb a nyomás, annál pontosabban.

Avogadro törvénye felhasználható egy mol gáz tömegének kiszámítására. Például a szén-dioxid normál sűrűsége (azaz normál nyomáson és hőmérsékleten vett sűrűsége) 1,77 g/l, így 24,790 l szén-dioxid tömege $43,88 \approx 44$ g. Később majd megmutatjuk, hogy ha szenet égetünk oxigénben, akkor a térfogat nem változik, így egy molekula szén-dioxidban egy molekula O_2 van. Egy mol szén-dioxidban tehát 32 g O_2 van, a maradék 12 g pedig szén. Akármilyen széntartalmú gázt vizsgáltak, egy mólban soha nem találtak 12 g-nál kevesebb szenet, hanem mindig ennyit vagy ennek a többszörösét. A szén móltömege tehát 12 g, pontosabban $\approx 12,01078$ g és a szén-dioxidban 1 atom szén és 2 atom oxigén van, mint ahogy az 1.2.8 ábrán is ábrázoltuk. A szén vegyjele latin nevének (carbonium) a kezdőbetűjéből C. A szén-dioxid képlete tehát CO_2 . Innen a neve is: di kettőt jelent. Nagyon precíz emberek hívhatják monoszén-dioxidnak is (mono egyet jelent), de ez nem szokás, mint ahogy a vizet sem szokás dihidrogén-monoxidnak nevezni.

* De hogy tudunk pontos móltömeget mérni, mikor az általános gáztörvény nem pontos, bár minél kisebb a nyomás, annál pontosabb? Nulla nyomáson kellene mérnünk, de akkor

Nyomás, atm	Sűrűség, g/l	Hányados
1	1,976766	1,976766
2/3	1,314860	1,972290
1/2	0,985046	1,970091
1/3	0,655940	1,967821
1/4	0,491692	1,966767
1/6	0,327615	1,965691

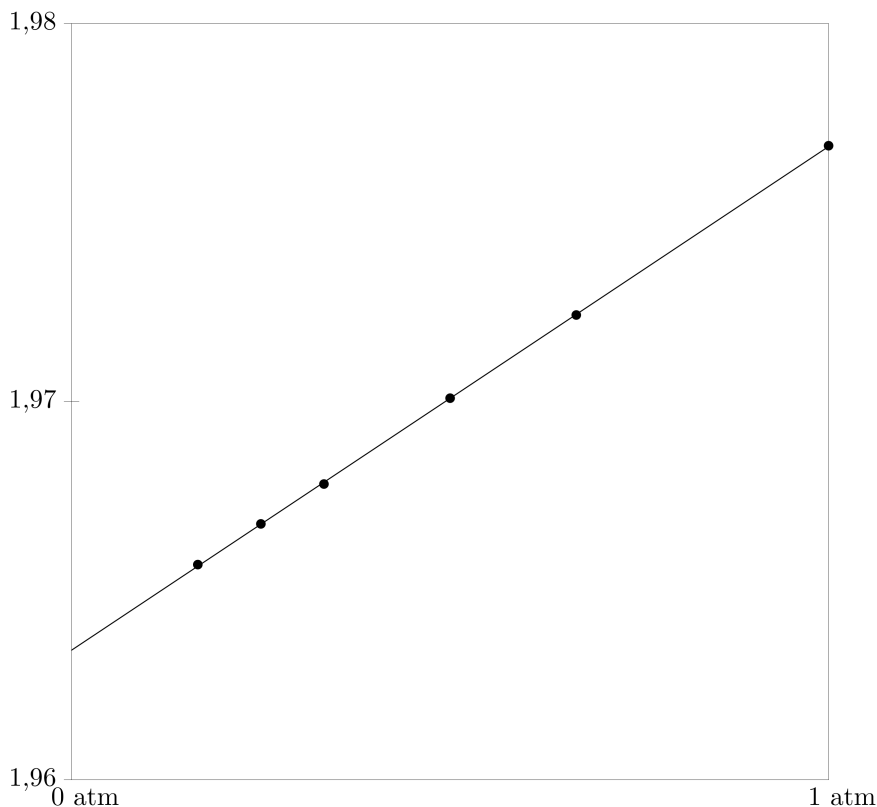
1.16.8 táblázat: a sűrűség és a nyomás hányadosa szén-dioxidra.

meg a térfogat végtelen! Egy egyszerű trükk segít. Több, egyre kisebb nyomáson mérünk, és megnézzük, mi lenne nulla nyomáson. Például nagyon pontos mérések szerint — amiket egyszerű eszközeinkkel nem tudunk megismételni — szén-dioxidra az 1.16.8 táblázatban adott sűrűségértékeket kapjuk. A hányados értékekre egy egyenest illesztve — lásd az 1.16.9 ábrát — a 0 helyen az 1,96343 értéket kapjuk. Oxigénre megismételve a mérést, az eredmény 1,42765. A szén-dioxid móltömege a kettő hányadosasor nagyobb az oxigén móltömegénél, 32,000 g-nál, tehát $\approx 44,01$ g. Természetesen az oxigénnel végzett mérésből tulajdonképpen a R gázállandót számítjuk ki. *

1.16.13 Kísérlet. Ha az elektrolízis során megtelt a gyorsabban fejlődő gázzal, a hidrogénnel a kémcső, fogjuk be a víz alatt, és vigyük egy égő gyertyához. A kémcső szája legyen ferdén lefelé. Elvéve a kezünket, tartsuk a kémcső száját a lánghoz. A hidrogén — esetleg kis pukkanással — meggyullad és színtelen lánggal elég: a levegőben lévő oxigénnel vízzé egyesül. A másik kémcső száját befogva vegyük ki, majd egy meggyújtott hurkapálcát elfújva, a még izzó pálcát dugjuk a kémcső felfelé fordított szájába. Az izzás felerősödik, esetleg a pálcá újra meggyullad. Az oxigén táplálja az égést. Mindkét gáz tulajdonságait részletesebben is megvizsgáljuk, ha majd kémiai úton nagyobb mennyiségben állítjuk elő őket. Vigyázzunk, az elektrolízis alatt *ne cseréljük fel* az elektródokat, mert a hidrogén és az oxigén elegye, a *durranógáz* hevesen, éles csattanással robban fel és esetleg a kémcső is széttörik, bár általában nem. \square

A vízbontás magyarázata, hogy a vízmolekulák egy igen kis része H^+ és OH^- ionokra bomlik. Ezek okozzák a legtisztább desztillált víz vezetését. A pozitív töltésű H^+ ionokat vonzza az elektrontöbblettel rendelkező katód, odavándorolnak, és ott felvéve egy-egy elektront, belőlük H atomok képződnek. Az atomok mindjárt kettessévé H_2 molekulákká egyesülnek. A negatív töltésű OH^- ionokat az anód vonzza, és odaérve egy-egy elektront adnak le, majd kettessévé reagálnak egymással, egy H_2O vízmolekula és egy O atom keletkezik. Az O atomok ismét kettessévé reagálnak egymással, és O_2 molekulák keletkeznek.

Honnan vesszük, hogy a H atom csak egy elektront ad le? Soha nem tapasztalták, hogy egy hidrogén atom közvetlenül több másik atommal kapcsolódjon: a hidrogén egy *vegyértékű*. Márpedig minden kapcsolódáshoz egy vagy több elektron kell. Mint később kiderült, a H atomban csak egy elektron van. Az oxigén viszont mindig két vegyértékű. A vegyértékeket úgy képzelhetjük el, mint piciny „kezeket”, amelyekkel az atomok „megfogják egymást”. Persze, nincs ott semmi ilyesmi, az egész az atommagok és az elektronok bonyolult „játéka”, de ezt még vázlatosan is csak később tudjuk elmagyarázni. Ennek alapján



1.16.9 ábra: a sűrűség és a nyomás hányadosa szén-dioxidra.

a vízmolekula szerkezete H–O–H, ahol a – jelek a vegyértéket jelzik. A hidrogénmolekula szerkezete H–H, az oxigénmolekuláé O=O, a szén-dioxidé pedig O=C=O.

1.16.14 Kísérlet. És vajon mennyi 1 mol elektron? Másként, mennyi elektromos töltés kell elektrolízisnél egy mol H atom képződéséhez? Ezt Faraday angol fizikus és vegyész vizsgálta meg, aki az elektrolízis magyarázatát megadta. Megfigyelte, hogy az elektródokon olyan arányban képződnek anyagok, amilyen arányban kémiai reakcióba lépnek. Például a vízbontásnál a képződő hidrogén pontosan annyi, amennyi a képződő oxigénnel reagálni képes. Ha egy oldatból a katódon fém válik ki, az anódon pedig oxigén, akkor a kivált anyagok éppen ebben az arányban képesek reagálni, és ez más esetekben is így van. Ez Faraday törvénye. Ebből következtethetünk arra, hogy az elektródokon az elektromosság „atomjaival”, az elektronokkal való reakció, azok felvétele vagy leadása történik. Az elektromos töltés egysége Coulomb francia fizikus nevéből a coulomb (jele: C). Ez az a töltés, ami 1 s alatt átáramlik a vezetón, ha az áramerősség 1 A. Más szóval, $1\text{ C}=1\text{ A}\cdot\text{s}$. Faraday azt találta, hogy egy mol H kiválásához $\approx 96485\text{ C}$ kell. Tehát az $F \approx 96485\text{ C/mol}$ Faraday-állandó adja meg, hogy mennyi egy mol (pozitív) elektromos töltés. Határozzuk meg magunk a Faraday-állandót! Csak egy tölthető 9 V-os kis akkumulátorra van szükségünk. Feltöltjük, és összeállítunk egy vízbontó készüléket, de most egy mérőhengernek „kiképzett” üvegbe gyűjtjük a hidrogént és az oxigént. Az elektrolit mézsvíz, az

elektrodok szigetelt vasdrótból készülnek. Kicsik legyenek, 1–2 cm hosszúak és elég távol (5–10 mm) legyenek egymástól, hogy az áramerősség kicsi legyen, mert egyébként a kis akkumulátor a benne lejátszódó mellékfolyamatok miatt nem bírja a teljes töltését leadni. Kis áramerősségnél viszont az akkumulátorban lejátszódó folyamatok közel megfordíthatóak. Addig elektrolizálunk, amíg fejlődik hidrogén. Ez pár napig is eltarthat. Nekem két hét után már egyáltalán nem látszott a gázfejlődés, de az akkumulátor feszültsége még 8,6 V volt. Óvatosan kivettem és megtisztogattam az elektrodokat. Ezután már gyorsan befejeződött az elektrolízis. A külső nyomás 1002 mbar volt, amiből azonban le kell vonni $264 \text{ v.o.mm} \approx 264 \cdot 9,81 \text{ Pa}$ -t, mert 264 mm-rel magasabban állt a vízszint a palackban. Így a nyomás 99940 Pa. A hőfok $20 \text{ }^\circ\text{C}$ volt, a gáz szintje 296 mm, ami 181 ml. Az akkumulátor 250 milliamperórás (rá van írva) azaz 900 C töltésű akkumulátor, és 181 ml hidrogén és oxigén fejlődött, amiből 120,7 ml hidrogén. Ez az általános gáztörvény szerint $0,004948 \text{ mol H}_2$, ami $0,009896 \text{ mol H}$. Innen a Faraday-állandó $F \approx 90950 \text{ C}$. Az elég nagy hibát a magyarázza, hogy az akkumulátorok maximális töltése példányról példányra változik, és az öregedéssel csökken is.

Tulajdonképpen jobb lenne azt mondani, hogy azt mértük meg, mennyi töltést bír leadni az akkumulátor, mivel a coulomb-ot (és ezen keresztül az ampert) mostanában úgy határozzák meg, hogy egy elektron töltése $-1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ legyen. Ha az elektron töltését (pontosabban az ellentettjét) szorozzuk az Avogadro-számmal, a Faraday-állandót kapjuk. \square

A Faraday-állandó ismeretében megbecsülhetjük, mennyi energia kell 1 g víz felbontásához hidrogénre és oxigénre. Egy mol vízből 1 mol H_2 , tehát 2 mol H keletkezik, ehhez $\approx 2 \cdot 96\,500 \text{ C}$ kell. A bontási feszültséget 2 V-nak véve 1 g vízre

$$\approx 2 \cdot 96\,500 \cdot 2/18 \text{ A} \cdot \text{s} \cdot \text{V} \approx 20\,000 \text{ W} \cdot \text{s} = 20 \text{ kJ}$$

kell. Ez nagyjából tízszer akkora mint a víz párolgáshője.

1.16.15 Kísérlet. Majdnem ugyanezt az elrendezést használhatjuk töltésmérőnek. Annyit kell változtatnunk, hogy most a két vasdrót elektrodot minél hosszabbra vesszük és minél közelebb helyezzük el egymáshoz. Legjobb, ha a kettőt együtt csavarjuk fel egy rúdra spirállá, de úgy, hogy ne érjenek egymáshoz. A cél az, hogy a töltésmérő ellenállása minél kisebb legyen, minél kevésbé akadályozza az áramkörben az áram haladását. A spirál az üveg nyakában legyen, és ne hagyjunk annyi gázt felgyűlni, hogy a spirál kibukkanjon a mézsvízből.

A töltésmérőt felhasználhatnánk arra, hogy például egy saját magunk által készített árammérőt hitelesítsünk. (Árammérő készítését lásd a fizika részben.) Ehhez szabályozható erősségű áramra van szükségünk. Beállítunk valamilyen áramerősséget, és mondjuk egy óráig ezt vezetjük át a sorba kötött árammérőn és töltésmérőn. A Faraday-állandó ismeretében a fejlődött gáz térfogatából kiszámítjuk az áram erősségét. (Valamikor még az áramerősség egységét is töltésmérővel definiálták.) Hogyan szabályozzuk az áram erősségét? Kis áramerősségek esetén ezt megtehetjük a feszültségosztóval is: a feszültséget változtatjuk. Nagyobb áramerősségek esetén jobb *előtétellenállást* használni. Ez kevesebb áramot használ, de egy minimális áramerősség alá nem tudunk menni. Szerencsére nem kell új berendezést csinálni: a feszültségosztónkat használhatjuk előtétellenállásnak is. Az áramforrás autóakkumulátor vagy valamilyen nagyobb töltő lehet: egyik sarkát

kössük a feszültségosztó egyik végéhez. A csúszka vezetékét kössük a töltésmérő egyik végéhez, a töltésmérő másik végét az árammérő egyik végéhez, annak a másik végét pedig az áramforrás másik sarkához, azaz mindent sorbakötünk. A csúszka helyzetével szabályozhatjuk az áram erősségét. Ügyeljünk arra, hogy az ellenálláshuzal ne melegedjen túlságosan. (Ha valamikor nagyobb áramra lesz szükségünk, akkor előtétellenállásnak használjuk a később, az üvegcsövek vágásánál használ berendezést. Ha ez is kevés, akkor több összezsavart ellenálláshuzalt tegyünk bele.)

Ha nincs árammérőnk, akkor azt hagyjuk ki, és csak gázfejlesztésre használjuk a berendezést. Állítsunk be élénk pezsgést, de ellenőrizzük, hogy az ellenálláshuzal (és a töltő) nem melegszik túlságosan. A hidrogén-oxigén gázelegy a *durranógáz*, elég robbanékony. Ezért kell a spirálnak víz alatt lennie, mert ha véletlenül összeérne a két drót, a szikrától a gázelegy felrobbanhat. Ha már elég durranógáz gyűlt össze, szedjük szét a berendezést, és a gázt víz alatt, alulról felfelé töltjük át egy vízzel töltött műanyag palackba. A tenyerünkbe öntött szappanos vízbe (vagy más buborékfújásra alkalmas folyadékba) fújunk a gázzal buborékokat. Persze, előzőleg levegővel próbáljuk ki, hogy ez sikerül-e? A durranógáz buborékok gyújtópálcától hangos, de veszélytelen csattanással felrobbannak.

□

Vajon mennyi a tiszta vízben a H^+ és OH^- ionok koncentrációja? Nyilván a kettő ugyanannyi. Később majd megmérjük, milyen sebességgel mozognak a H^+ és OH^- ionok. Ebből most kiszámoljuk a koncentrációt $25^\circ C$ -on: $\approx 10^{-7}$ mol/l adódik, pontosabb mérések szerint ettől az eltérés kisebb, mint fél %. Mivel a mol/l koncentrációegységet használják leggyakrabban a kémiában, külön neve van, *molaritás*, és külön rövidítése: M.

** Az ionok sebessége arányos a méterenkénti feszültségkülönbséggel. Pontos mérések szerint $25^\circ C$ -on a H^+ ionok sebessége $0,3623 (\mu m/s)/(V/m)$, az OH^- ionoké pedig $0,2064 (\mu m/s)/(V/m)$. Képzeljünk most el egy $1 m^2$ keresztmetszetű, $1 m$ -nél valamivel hosszabb téglatestet a legtisztább desztillált vízből. Két szembenlévő oldalához tegyünk egy-egy elektródot, majd kapcsoljunk az elektródok közé akkora feszültséget, hogy a bontási feszültség levonása után a vízben $1 m$ -re $1 V$ feszültségkülönbség jusson. Gondolatban válasszuk le az elektródok környékét. Nem fogunk azzal törődni, mi történik az elektródok közvetlen közelében, csak az $1 m$ hosszú középső részt tekintjük. Egy másodperc alatt a H^+ ionok $0,3623 \mu m$ -t mozdulnak el a katód felé. Mivel 1 mól H^+ ion F töltésnek felel meg, ha x mól ion van, akkor a hidrogén ionok $0,0000003623 \cdot x \cdot F$ töltést szállítanak. Az OH^- ionok az anód felé mozdulnak el, mivel azonban töltésük negatív, elmozdulásuk annak felel meg, hogy $0,0000002064 \cdot x \cdot F$ pozitív töltést szállítanak a katód felé. Mivel a legtisztább desztillált víz fajlagos ellenállása $183 k\Omega \cdot m$, az ellenállás 183000Ω , az áramerősség $1/183000 A$, azaz 1 másodperc alatt $1/183000 C$ töltés megy át. Innen

$$(0,0000003623 + 0,0000002064) \cdot x \cdot F = \frac{1}{183000} C,$$

ahonnan $x \approx 0,0001004$ mol, tehát a koncentráció durván 10^{-7} M. **

Teljesen hasonlóan, ha megmérjük vagy megbecsüljük az egyes sók ionjainak sebességét és megmérjük a sóoldat fajlagos ellenállását, akkor kiszámolhatjuk az ionok koncentrációját. Az adódik, hogy a sók lényegében teljesen ionokra bomlanak, idegen szóval *disszociálnak*, mint a konyhasó az 1.2.7 ábrán.

1.16.16 Kísérlet. Az, hogy a sóoldatok ionokat tartalmaznak, nem olyan meglepő, mert a sókristályokban is ionok vannak. De milyen erők szakítják szét a sók ionjait,

amelyeket nagyon erős elektromos erők tartanak össze? Más elektromos erők. Hogy ezt jobban megértsük, néhány elektromossággal kapcsolatos kísérletet kell elvégeznünk. A fizika részben részletesebben tárgyaljuk ezeket a kísérleteket.

* Ha valamilyen műanyag tárgyat, például egy polisztirol hab darabot száraz papírral megdörzsölünk, elektromos töltést kap, és például egy papírsebkendő egyetlen rétegének sarkáról leszakított papírdarabkákat magához vonz, majd eltaszít. Ugyanezt tapasztaljuk, ha egy kémcsövet dörzsölünk meg papírral. Nem a dörzsölés hosszúsága a lényeges, hanem inkább az összenyomás ereje. Ha egy műanyag dossziéba belesimitünk egy papírlapot, az is feltöltődik. Egyébként ezeket a feltöltési kísérleteket teljes sötétben végezve, amikor 5–10 perc alatt a szemünk már hozzászokott a sötétbe, valóságos szikrafolyamot láthatunk. Nagyon lényeges, hogy minden teljesen száraz legyen. Ha nem sikerül a kísérlet, a papírt, kémcsövet, műanyagot radiátoron vagy jó magasan rövid ideig kézben láng fölé tartva szárítsuk meg, mert a vízréteg elvezeti az elektromos töltést. A fizikában kimutatják, hogy a műanyag negatív töltésű lesz (elektronok mennek át rá a papírról), az üveg viszont pozitív töltésű (elektronok mennek át róla a papírra). Az egyforma töltésű testek taszítják egymást, az ellenkező töltésűek pedig vonzzák. De miért vonzza a töltött műanyag illetve üveg a semleges papírdarabkát? A magyarázat, hogy például a pozitív töltésű üveg az (eléggé rosszul) vezető papírban lévő elektronok egy részét összegyűjti a papír hozzá közel eső részében, így az negatív töltésű lesz, a másik vége pedig pozitív. Ezt a jelenséget hívják *megosztásnak*. A negatív véget vonzza az üveg, a pozitív véget pedig taszítja. Láthatjuk, amint a papírdarabka szinte „felágaskodik”. Végül is a vonzás győz, mivel a negatív vég közelebb van, így a vonzás erősebb. A papírdarabka felugrik az üveghez, de (általában) mindjárt el is ugrik. Az érintkezés pillanatában elektronok mennek át a papírdarabkákról az üvegre, így a papír is pozitív töltésű lesz, az üveg eltaszítja. A kísérlet jól vezető alumínium fóliából vágott keskeny csíkokkal is sikerül, sőt, akár nagyobb darabokat is megemel az elektromos vonzás. Az eltaszítás nem mindig következik be, attól függ, mennyi töltés ment át az alumínium fóliára. Ha a fóliadarab odatapadva marad, esetleg nem is tudjuk lerázni. Ha azonban finoman rálehelünk, rendszerint leesik: a lecsapódó víz, ha rosszul is, vezet, elvezeti a töltést, részben a fóliára, részben a testünkön keresztül a földbe. Próbálkozhatunk polisztirol habból lereszelt finom porral is. Ezzel is sikerül a kísérlet, bár sokkal nehezebben: néhány finom szemcsét magához vonz a megdörzsölt műanyag. A PS hab nem vezet, a töltések elmozdulása csak a molekulákon belül lehetséges, így a vonzóerő jóval kisebb.* □

1.16.17 Kísérlet. * Nyissuk meg a vízcsapot, de csak annyira, hogy vékony sugárban csurogjon a víz! Tartsunk papírral megdörzsölt műanyag tárgyat vagy kémcsövet a víz-sugár mellé. A víz-sugár eltér a függőleges iránytól, a töltött tárgy vonzza, akár pozitív, akár negatív töltésű. Ismételjük meg a kísérletet olyan folyadékkal, amely nem keveredik a vízzel, például a gyógyszerárban kapható *paraffinolajjal*. Öntsük egy tölcsérben levő, papírsebkendő egyetlen rétegéből készült szűrőre. Rendszerint nem folyik át a szűrőn elég gyorsan, hogy a tölcsérből sugárban folyjon az alá helyezett tiszta edénybe. Egy hegyes tárgy finoman szűrjük ki a szűrőt, hogy vékony sugárban folyjon az olaj. Próbáljuk ki, hogy a megdörzsölt tárgy vonzza-e? Nem tapasztalunk vonzást. Esetleg az a gondolatunk támadhat, hogy benzinnel vagy más gyúlékony anyaggal végezzük el a kísérletet. Ne tegyük: a megdörzsölt tárgyak nagy feszültségre, akár néhány 10000 V-ra töltődnek fel. A töltés ugyan nagyon kicsi, ránk teljesen veszélytelen, de apró szikra pattanhat ki. Egy szikra létrehozásához mm-enként kb. 3000 V kell. A szikra meggyújthatja

a benzingőz-levegő keveréket, és tüzet okozhat. □

Mi okozza a vonzást a töltött test és a vízsugár között? Talán a megosztás? Az is szerepet játszhat, de ha figyelmesen megnézzük az 1.2.6 ábrán a vízmolekulákat, megfigyelhetjük, hogy a hidrogén atomok nem egymással szemben kapcsolódnak az oxigén atomhoz. Az oxigén atom erősebben vonzza az elektronokat, mint a hidrogén atommagok, így a hidrogének felőli oldal pozitív, a másik negatív töltésű. Ha például negatív töltésű testet közelítünk a vízhez, a vízmolekulák a pozitív, hidrogének felőli oldalukkal fordulnak a töltött tárgy felé, és máris létrejött az elektromos vonzás. Az ilyen molekulákat, amelyeknek egyik oldala inkább pozitív, a másik inkább negatív, *poláris* molekuláknak nevezzük. Magyarra ezt úgy fordíthatnánk hogy „sarkos”, mert van egy pozitív meg egy negatív sarka, de az idegen szó használatos.

Most már megérthetjük, hogy a poláris molekulákból álló víz miért oldja olyan jól a sókat. A poláris vízmolekulák körülveszik a só egy-egy ionját, hozzátapadnak, és szinte „szétcincálják” a kristályrácsot, mint ahogy az az 1.2.7 ábrán látható. A szesz molekulái is polárisak, de nem annyira, mint a vízmolekulák. A szesz sokkal kevésbé oldja a sókat, mint a víz. Az *apoláris* (nem poláris) folyadékok, mint például a benzin, nem oldják a sókat. A só ionjai (vagy akármilyen töltött test) ugyan kicsit elmozdítják a pozitív és negatív töltéseket az apoláris molekulán belül, a molekula *polarizálódik*, de a létrejövő vonzóerő néhány tízszer gyengébb, mint a vízmolekulákra ható vonzóerő. Ez nem elég ahhoz, hogy a kristályrácsot megbontsa.

A poláris és apoláris molekulák között fellépő különböző erősségű vonzóerők, az úgynevezett van der Waals-erők magyarázzák azt is, hogy a poláris folyadékok poláris folyadékokkal keverednek, poláris anyagokat oldanak, az apoláris anyagok pedig apoláris anyagokkal keverednek és apoláris anyagokat oldanak. Az oldás lényegében keveredés, így csak a keveredéssel foglalkozunk. Képzeljük el, hogy benzint sikerül tökéletesen elkeverni vízzel. Mi történik, ha két vízmolekula találkozik? Az egyik a pozitív oldalával fordul a másik negatív oldala felé, és sokkal erősebb vonzás lép fel, mint egy vízmolekula és az általa polarizált benzinmolekula között, így nagy eséllyel hosszabb ideig együtt maradnak. Közben újabb vízmolekulák csatlakozhatnak, és végül is a benzin molekulái magukra maradnak: a víz különválik a benzintől. Persze, egy molekula különböző mértékben lehet poláris. A szesz molekulái kevésbé polárisak, mint a vízmolekulák, de a szesz mégis akármilyen arányban összekeveredik a vízzel. A tökéletesen vízmentes szesz benzinnel is összekeveredik, de a víztartalmú már nem. Egyébként a benzin maga is keverék, különböző apoláris anyagok keveréke, amelyek tökéletesen elegyednek.

Van-e van der Waals-vonzóerő a tökéletesen apoláris molekulák között is? Például az 1.2.6 ábrán látható levegőmolekulák apolárisak. Mégis, a levegő is cséppfolyósítható, bár csak -170 °C alatt. Így valamiféle vonzóerőnek működni kell a molekulái között. Ezeknek az erőknek a létrejöttét úgy képzelhetjük el, hogy a molekulában mozgó elektronok miatt a molekula egyik vége hol egy kicsit negatív lesz, hol egy kicsit pozitív, így gyengén és változó irányban polarizálja a közelében lévő molekulákat. A magyarázat sántít, számításokat ennek alapján nem lehet végezni, a pontos magyarázat nehéz. Mégis szeretnénk valami képet kapni, hogy ez a vonzóerő mennyivel gyengébb, mint a poláris molekulák közötti vonzóerő. A nagyobb molekulájú anyagok általában nehezebben olvadnak és nehezebben párolognak, de ez a molekulák közötti vonzóerőtől függ. Ha a levegő molekuláihoz hasonló tömegű poláris molekulákból álló anyagot választunk, akkor képet kaphatunk az erők különbségéről. Ilyen a *faszesz*, a szesz egy közeli, de mérgező rokona. Ez valamivel

polárisabb, mint a szesz, de nem annyira, mint a víz. A faszesz forráspontja 64,7 °C: jóval nagyobb, mint a nagyjából ugyanakkora molekulákból álló levegő forráspontja. Tudjuk, hogy a víznek még ennél is nagyobb a forráspontja, bár a vízmolekulák tömege kisebb. Az vízmolekulák erősen polárisak, de a víznél a hidrogén ionok is szerepet játszanak. *

1.16.18. Hidrogén ionok. Az ionok között a hidrogén ionok különleges szerepet játszanak. Említettük, hogy a hidrogén atomban csak egyetlen elektron van. Ha ezt elveszíti, a létrejövő H^+ ionban — minden más iontól eltérően — egyetlen elektron sem marad, csak egy puszta atommag, így nagyságrendben 100000-szer kisebb, mint bármilyen más ion. Így ennyiszor közelebb tud kerülni egy vízmolekulához, és sokkal nagyobb erővel kapcsolódik hozzá. ** Akik nagyon precízek akarnak lenni, H_3O^+ úgynevezett *hidroxóniumion* t írnak a H^+ hidrogénion helyett, ami gyakorlatilag soha nincs a vízben. Azonban ez sem precíz, mert az igen kicsi H^+ ion két vízmolekulához is kapcsolódhat, mintegy összekötvé őket. Ez a *hidrogénhíd*. Sőt, az így létrejött ionhoz még további vízmolekulák kapcsolódhatnak. Legjobb, ha nem bonyolítjuk a dolgokat, és egyszerűen H^+ hidrogéniont írunk, de megjegyezzük magunknak, hogy valójában a hidrogénion igen ritka, mindig egy vagy több más molekulához kapcsolódik. Egyéként a hidrogénhíd nem csak oxigénatomok között jöhet létre, hanem más, például nitrogén atomok között is. A létrejövő hidrogénhíd annál erősebb, minél erőbben kötik az adott atomok az elektronokat magukhoz.

Már volt szó a H^+ ionok mozgásáról áram hatására. Ha majd megmérjük más ionok mozgási sebességét, látni fogjuk, hogy minden más ionnál gyorsabban mozognak, és az OH^- ionok mozgása is igen gyors más ionokhoz képest. Miért van ez? Valójában az történik, hogy a H^+ ion hozzákapcsolódik egy vízmolekulához, majd annak a másik végéről leválik egy másik H^+ ion. Az átugrik egy másik vízmolekulára, majd annak a másik végéről leválik egy másik H^+ ion, stb. Tulajdonképpen a H^+ ionok „csalnak”, nem is ugyanaz a H^+ ion halad, hanem váltják egymást, ezért haladhatnak ilyen gyorsan. Hasonlóan „csalnak” az OH^- ionok: egy OH^- ionra átugrik egy szomszédos vízmolekuláról egy H^+ ion, az OH^- ionból vízmolekula lesz, a vízmolekulából pedig OH^- ion, stb.**

1.16.19. Kémiai kötések. ** Az alábbi kis táblázat a kémiai kötésfajtákat foglalja össze:

Kötés típusa	Kötés energiája (kJ/mol)
ionos	500–1000
kovalens	150–1000
hidrogénkötés	10–120
van der Waals-kötés	2–10

A kötés energiája az egy mólnyi, azaz Avogadro-számnyi kötés felbontásához szükséges energiát jelenti. A sók ionjait elektromos vonzásból eredő ionos kötés tartja össze. A hidrogénkötés egy hidrogénhíd által kialakított kötést jelent. Például az 1.6.1 ábrán a szaggatott vonalak ilyen kötésekkel jelentenek, ezek tartják össze a jégben a vízmolekulákat. A semleges molekulákat van der Waals-erők által létrehozott, aránylag gyenge van der Waals-kötések tartják össze. Az egyforma atomokat, például a H_2 vagy O_2 molekulákban kovalens kötések tartják össze. A kovalens kötés magyarázatára majd később, az atomok szerkezetének megismerése után térünk vissza.**

1.16.20 Kísérlet. Mikortól oldat az oldat? Milyen aprónak kell lenni a részecskének, hogy már oldatról beszélhessünk? Oldjunk fel 1 dl tömény denaturált szeszben 2,5 g

fenyőgyantát (hegedűgyantát), és öntsünk ebből az oldatból állandó, egyenletes rázás közben cseppenként 1–1 dl desztillált vízbe 1, 3, 5, 10 illetve 20 ml-t. A gyanta rosszul oldódik vízben, az oldat zavaros lesz. Szűrjük le az oldatokat! Az utolsó oldat leszűrhető (le is ülepíthető), a gyantarészecskék elég nagyok, de a többinél a szűrlet zavaros. Az ilyen oldatokat *kolloid oldatok*nak vagy *szolnak* nevezzük. Ha átvilágítjuk egy jól fókuszálható zseblámpával, oldalról kékesen látszik a fénynyaláb, az átmenő fény sárgás vagy vöröses: az első oldatnál kékes, alig sárga, a másodiknál zölde, kissé sárga, a harmadiknál narancssárga, a negyediknél narancsvörös. Ezt a jelenséget *Tyndall-jelenség*nek nevezzük. *Rayleigh törvénye* szerint a fény hullámhosszánaál kisebb részecskék is szórják a fényt, mégpedig annak hullámhossza negyedik hatványával fordítva arányosan. A kék fény tehát sokkal jobban szóródik, mint a vörös. Ezért látjuk vörösnek a lemenő Napot, különösen, ha a fénye távoli szélvihar által felkavart poros levegőn megy keresztül („vörös az ég alja, aligha szél nem lesz”). Az ég kék színét is a fényszórás okozza. Kísérletünkben a Tyndall-jelenség mutatja, hogy kolloid oldatról van szó, a részecskék nem a szokásos molekuláris méretűek, hanem nagyobbak. Az alsó mérethatár a nagyobb molekuláknál van, például igen gyengén a cukoroldat is mutatja a Tyndall-jelenséget: a cukormolekulák 19-szer nehezebbek, mint a vízmolekulák. Felső mérethatárnak a fénymikroszkóppal még éppen látható 0,1 μm átmérőjű részecskék tekinthetők. Az ennél kisebbek nem ülepíthetők le és szűrőpapíron sem szűrhetők. Ugyan oldalról erősen megvilágítva mikroszkóppal 2–3 nm átmérőjű részecskék is észlelhetők, de csak fénylő pontokként: ez az úgynevezett *ultramikroszkóp* elve. Tegyük el kolloid gyantaoldatainkat: lassanként a gyantarészecskék összeállnak, idegen szóval *koagulálnak* és leülepednek. (Ha nem szűrtük meg az oldatokat, a koagulálás hamarabb megtörténik.) Mi okozza, hogy nem tapadnak össze azonnal nagyobb darabokká? Rendszerint az, hogy azonos elektromos töltésűek, és taszítják egymást. Ha a kolloid oldatot meg akarjuk bontani, ezt a töltést kell megszüntetni. Ez történhet például jól oldódó ionvegyületeket az oldathoz adva: az ellentétes töltésű ionok a kolloid részecskékhez tapadva semlegesítik a töltést. Ha az így koagulált kolloidból eltávolítjuk az ionokat (például leszűrjük és jól kimossuk), gyakran újra feloldódik. Ha olyan kolloidot adunk az oldathoz, amelynek részecskéi ellenkező töltésűek, akkor mindkettő kicsapódik. A kolloid oldatokat feloszthatjuk *liofil* (oldószer vonzó) és *liofob* (oldószer taszító) kolloid oldatokra. Vízben ez annak felel meg, hogy a finoman eloszlott szilárd anyag poláris, illetve nem poláris. A liofil kolloid oldatok viszkozitása és felületi feszültsége hasonlít az oldószeréhez, nem nagyon stabilak és a koagulálás általában nem megfordítható, a részecskék ultramikroszkóppal könnyen láthatóak, elektromos feszültség hatására vándorolnak, és nem képeznek gélt (lásd később). Tipikusan ilyenek a kolloid fémek vízben. A liofil kolloidok viszkozitása nagy, felületi feszültsége kicsi, elég stabilak, a koagulálás gyakran megfordítható, a részecskék ultramikroszkóppal nehezen láthatóak, elektromos feszültség hatására nehezen vándorolnak, és könnyen képeznek gélt. A liofil kolloidok gyakran *védőkolloid*ként hatnak, állandóbbá teszik a szolt. Vízben legtöbbször így hat a *zselatin*. □

1.16.21 Kísérlet. Készítsünk 6%-os zselatin oldatot: a háztartási zselatint tegyük vízbe, hagyjuk egy órát ázni (figyeljük meg, hogy megduzzad), majd kb. 60 °C-ra melegítve oldjuk fel. Meleg vízzel való hígítással készítsünk 0,5, 1, 1,5, 2 és 3 százalékos zselatin oldatot is. Figyeljük meg, hogy — azonos hőfokon — nem a legtöményebb oldat a legzavarosabb. A zselatin molekulái egyébként nagyon nagyok, nem is készíthető belőle rendes oldat. Mindegyiket egyszerre hűtve, figyeljük meg, hogy az oldatok megszilárdulnak, elő-

szőr a legtöményebb. Szobahőfokon nekem csak a két legtöményebb szilárdult meg, de hűvös helyen mindegyik. Ekkor még jobban látható, hogy nem a legtöményebb a legzavarosabb. Ha újra melegítjük őket, újra szol lesz belőlük. A szilárd állapot a *gél*. Itt a szilárd anyagban van a víz eloszolva: a szilárd anyag a *diszperziós közeg* és a folyadék a *diszpergált anyag*. Hasonló a vaj, sajt, opál, igazgyöngy. A kolloidoknál minden kombináció előfordulhat, kivéve a gáz–gáz kombinációt: a gázok mindig kis molekulákból állnak. Ha gázt oszlatunk el finoman egy folyadékban, *habot* kapunk: ilyen például a tejszínhab. Ha egy gélt óvatosan kiszárítunk, akkor *szilárd habot*, *aerogélt* kapunk (aero=levegő). Ha gázban oszlatunk el finoman folyadékot, akkor *aeroszolt* kapunk: ilyen például a köd, felhő, finom permet. Szokás aeroszolnak nevezni a gázban finoman elosztatott szilárd anyagot is, ilyen a füst, finom por. A folyadékban elosztatott folyadékot *emulzió*nak nevezzük, ilyen például a homogenizált tej. Ha egy pár cseppet adunk egy pohár vízhez és átvilágítjuk, jól látható a Tyndall-jelenség. A szilárd anyagban finoman elosztatott szilárd anyagot *szilárd szol*nak nevezzük: ilyen a színezett üveg, tejüveg, a megszilárdult eutektikumok. □

1.16.22 Kísérlet. Nagyjából 5 ml vízhez kémcsőben adjunk ötödannyi étolajat és rázzuk össze. Emulzió képződik, de nemsokára szétválik a víz és az olaj. Ha 1–2 csepp mosogatószert adunk hozzá és úgy rázzuk össze, az emulzió sokkal tartósabb. Étolaj helyett használhatunk paraffinolajat (gyógyszertárból), benzint (gyógyszertárból vagy festékboltból, tűzveszélyes), aromás (nitro) hígítót (festékboltból, tűzveszélyes) is. Mosogatószer helyett szappanoldat is használható, de csak desztillált vízzel. (Hogy vízvezetéki vízben miért nem „működik” jól a szappan, arról később lesz szó.) Szappanforgácsot külön kémcsőben oldjunk fel desztillált vízben, majd az étolaj és desztillált víz keverékehez adjunk ebből az oldatból nagyjából annyit, mint az olaj.

A mosogatószer és a szappan úgynevezett *felületaktív anyagok*; olyan molekulákból állnak, amelyek egyik vége poláris és így kitűnően kötődik a vízhez, a másik vége pedig apoláris, így az olajhoz kötődik jól. A felületaktív anyag molekulái mintegy beburkolják az apró olajcseppeket és azok így kívülről polárisak lesznek. Ezért lesz az emulzió sokkal tartósabb, mint a mosogatószer nélkül. Ezen alapszik a mosogatás, mosás. Úgy is készíthető kolloid emulzió, hogy egyszerűen nagyon erős keveréssel erősen felaprítjuk a cseppeket. Például a homogenizált tejben az igen apró zsírcseppek nem válnak ki. Egyes anyagok igen apró szemcsékből állnak, például az agyag: ha vízzel elkeverjük, kolloid oldat keletkezik. Más anyagokból igen erőteljes, sokáig tartó aprítással készíthetünk kolloid oldatot. Fémekből víz alatt ívfényt húzva kaphatunk kolloidot: a fém elpárolog, és igen apró részecskék alakjában csapódik le. Számos kémiai módszer is van. Kolloidot azért szoktunk készíteni, mert benne a diszpergált anyag igen nagy felületű, nagyon nagy felületen tud reagálni.

Ritkábban merül fel, hogy egy kolloidot meg akarunk szüntetni. Egy fontos eset a finom aeroszolok koaguláltatása. Ezt ma legtöbbször elektromos portalanítóval végzik. A poros gázt egy fémcsővön vezetik keresztül, aminek a tengelyében egy fémszál van kifeszítve. A fémszál és a cső közé több 10 kV feszültséget kapcsolnak. A fémszálnál ionok keletkeznek, amelyek semlegesítik a porszemcsék töltését, így azok össze tudnak tapadni, és lehullnak. Egyébként tévedés lenne azt hinni, hogy a kolloidokat nem lehet szűrni. A közönséges szűrőpapíron ugyan átmennek, de például a celofán lyukacsai olyan kicsik, hogy azon a kolloid méretű szemcsék sem mennek át. □

1.17 A molekulák mozgása

1.17.1 Kísérlet. Nem magyaráztuk meg Avogadro törvényét és az általános gáztörvényt. A pontos magyarázat elég bonyolult és a *statisztikus mechanika* adja meg, legegyszerűbb, ha elfogadjuk mint tapasztalati tényt. Ha valaki tud már némi fizikát — mechanikát —, annak számítógépes kísérletek segítségével adunk ennek a pontnak a további részében részletes magyarázatot.

* Először arra lesz szükségünk, hogy meghatározzuk egy m tömegű, v sebességű részecske mozgási energiáját. Másként, mennyi munkát kell végeznünk, hogy egy m tömegű részecskét nulláról v sebességre gyorsítsunk? Tegyük fel, hogy állandó F erővel gyorsítjuk. A gyorsulás $a = F/m$, így $t = v/a$ ideig kell gyorsítanunk. Közben a sebessége egyenletesen növekszik, így a megtett út $s = t \cdot v/2$. A végzett munka, azaz a részecske által nyert energia $E = F \cdot s = m \cdot a \cdot t \cdot v/2 = m \cdot v^2/2$.

Tegyük fel, hogy van egy téglatest alakú dobozunk. A hossz tengelyének irányát nevezzük x iránynak, a másik két szimmetriatengelyének irányát pedig y illetve z iránynak. Legyen benne egyetlen m tömegű (gömb alakú) részecske, amely v sebességgel mozog x irányban. Mekkora „nyomást” okoz ez a részecske? A részecske ide-oda verődik az x irányra merőleges, „bal oldali” és „jobb oldali” két fal között, és — mint az ablakon kopogó eső az ablakot — „nyomja” a falakat. Vizsgáljunk egy ütközést a jobb oldali fallal. Tegyük fel, hogy egy állandó F erő lassítja a részecskét Δt ideig, amíg meg nem áll (közben a fal kicsit benyomódik), majd ugyanez az erő ugyanannyi ideig gyorsítja visszafelé. Az ütközés folyamán a v sebesség $-v$ -re változik. A gyorsulás $a = -v/\Delta t$, az erő $F = m \cdot a$, és a falat nyomó erő (a hatás-ellenhatás törvénye szerint) $-F = m \cdot v/\Delta t$. Így $2 \cdot \Delta t$ ideig $m \cdot v/\Delta t$ erő hat a falra.

Legyen a téglatest hossza az x irányban h , keresztmetszete pedig K . Mivel részecske $2h/v$ idő alatt fut egyszer ide-oda a két szembenlevő fal között, időegység alatt $v/(2h)$ -szor ütközik a jobb oldali falnak. Így a jobb oldali falra időegység alatt $\Delta t \cdot v/h$ ideig $m \cdot v/\Delta t$ erő hat, az átlagos erő tehát $m \cdot v^2/h = 2 \cdot E/h$. (Látjuk, hogy az átlagos erő nem függ a Δt időtől. Megmutatható, hogy ugyanez az átlagos erő adódik akkor is, ha az ütközés során fellépő erő nem állandó.) Ha ezt elosztjuk a K keresztmetszettel, akkor az adódik, hogy az átlagos nyomás $p = 2 \cdot E/(h \cdot K)$. Mivel $h \cdot K = V$, a térfogat, azt kapjuk, hogy $p \cdot V = 2 \cdot E$. Most képzeljük el, hogy sok (gömb alakú) részecske van, mindegyik az x irányba mozog, de y és z koordinátáik különböznek, annyira, hogy nem ütköznek egymásnak. Mindegyik valamilyen p_i „parciális nyomást” hoz létre E_i energiájának megfelelően, és ezek összeadódnak, így $p \cdot V = 2 \cdot E = 2 \cdot E_x$, ahol az E összes energia helyett azért írtunk E_x -et, hogy emlékeztessünk rá, csak x irányba történő mozgás energiájáról van szó.

Most következnek a számítógépes kísérletek. A doboz közepére teszünk egy „dugattyút”, egy mozgó válaszfalat. Ennek pontos tömege nem lényeges, de a molekulák tömegének nagyságrendjébe essék. A válaszfal ütközik a molekulákkal és maga is mozog. Kiszámoljuk, hogy ha az x tengely mentén mozgó m_1 tömegű v_1 sebességű, illetve m_2 tömegű v_2 sebességű gömb illetve dugattyú ütköznek, akkor a tökéletesen rugalmas ütközés után a sebességük

$$(1) \quad v'_1 = \frac{(m_1 - m_2) \cdot v_1 + 2 \cdot m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

illetve

$$(2) \quad v_2' = \frac{(m_2 - m_1) \cdot v_2 + 2 \cdot m_1 \cdot v_1}{m_1 + m_2}$$

lesz. (Molekuláris szinten csak tökéletesen rugalmas ütközések vannak; az energia nem tud hővé alakulni, mert az maga a molekulák mozgása.) A gondolatmenet hasonló ahhoz, mint amit fentebb használtunk. Tegyük fel, hogy az ütközés Δt ideig tart, és F erő lép fel, ez gyorsítja a golyót. A gyorsulás $a_1 = F/m_1$, így a sebességváltozás $v_1' - v_1 = F/m_1$. A dugattyúra $-F$ erő hat, így annak sebességváltozása $v_2' - v_2 = -F/m_2$. Innen

$$(3) \quad m_1 \cdot (v_1' - v_1) = m_2 \cdot (v_2 - v_2'),$$

vagy átrendezve $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$. Egy m tömegű, v sebességű testre az $m \cdot v$ mennyiséget szokás *lendületnek* vagy *impulzusnak* nevezni. Amit kiszámoltunk, szavakban úgy fejezhető ki, hogy az összes lendület az ütközés előtt ugyanannyi, mint az összes lendület az ütközés után, vagy — az átrendezetlen alakra gondolva — az egyik test lendülete ugyanannyit nő, amennyit a másiké csökken. Ez a *lendületmegmaradás* vagy *impulzusmegmaradás* törvénye. Az nem lényeges, hogy Δt ideig állandó erőt tettünk fel, mert az ütközés időtartamát tovább oszthatjuk még kisebb időtartamokra, amik alatt az erő már (majdnem) állandó. Írjuk fel az energiamegmaradást is:

$$m_1 \cdot v_1^2/2 + m_2 \cdot v_2^2/2 = m_1 \cdot v_1'^2/2 + m_2 \cdot v_2'^2/2.$$

Szorozva kettővel és átrendezve

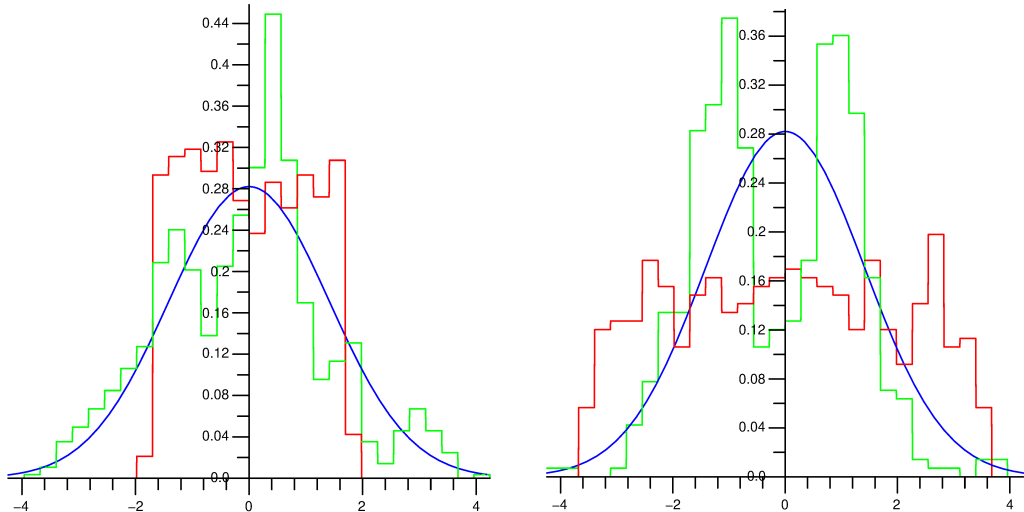
$$m_1 \cdot (v_1' - v_1) \cdot (v_1' + v_1) = m_2 \cdot (v_2 - v_2') \cdot (v_2 + v_2').$$

Ezt osztva az lendületmegmaradást kifejező (3) egyenlettel $v_1' + v_1 = v_2' + v_2$. Innen kifejezve v_2' -t és behelyettesítve (3)-ba, kapjuk (1)-et, ha pedig v_1' -et fejezzük ki és helyettesítjük be (3)-ba, akkor (2)-t.

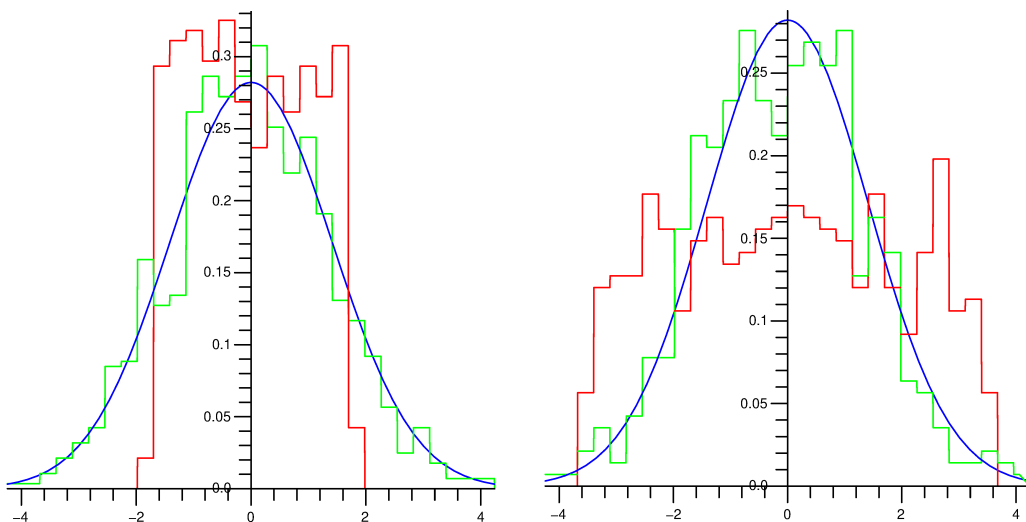
** Aki nagyon szemfüles, megkérdezheti, hogy amikor a részecske a doboz falának ütközik, sebessége, és így lendülete is ellenkezőjére változik, mi van a lendületmegmaradással? Ilyenkor is érvényes: ha a fal egy dugattyú, akkor tartanunk kell, hogy ki ne repüljön. A tartó erővel folyamatosan lendületet adunk át a dugattyúnak, kiegyenlítve az a lendületet, amit a gáztól kap. Ha a fal rögzített, akkor a rugalmassági erők teszik ugyanezt. Egy picit ki is hajlik, a nyomás hatására. **

Az (1) és (2) képletek alapján írhatunk egy programot, ami a (véletlen kezdőhelyzetből és sebességgel induló) részecskék és a dugattyú mozgását szimulálja. Azok kedvéért, akik maguk is meg akarják írni ezt a programot, megjegyzem, hogy én egy-egy „határt” képzeltem el a dugattyú mindkét oldalán. A határ és a dugattyú között lévő néhány „kritikus” részecske mindegyikére kiszámoltam, mikor ütköznének a dugattyúval. Persze, a legelső ütközés fog megtörténni. A „nem kritikus” részecskéket egy úgynevezett kupac struktúrában tartottam, és csak azt tartottam nyilván, mikor lépik át a határt. Ha a dugattyú túl közel vagy túl távol került a határokhöz, új határokat vettem fel.

Az első számítógépes szimulációnál a 100 hosszegységnyi téglatest közepén, 50-nél volt a dugattyú. A bal oldalán 1000 darab 4 egységnyi tömegű, 1 egységnyi sebességű részecske

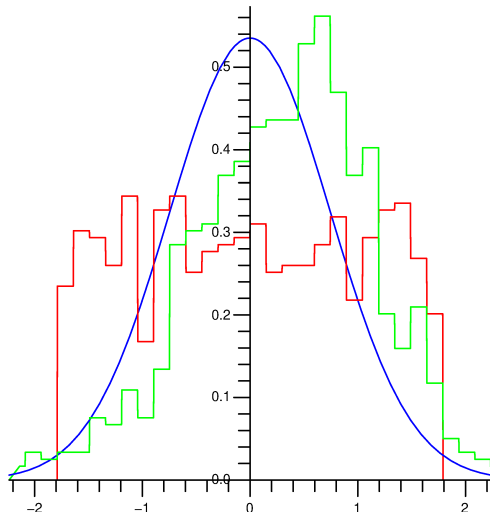
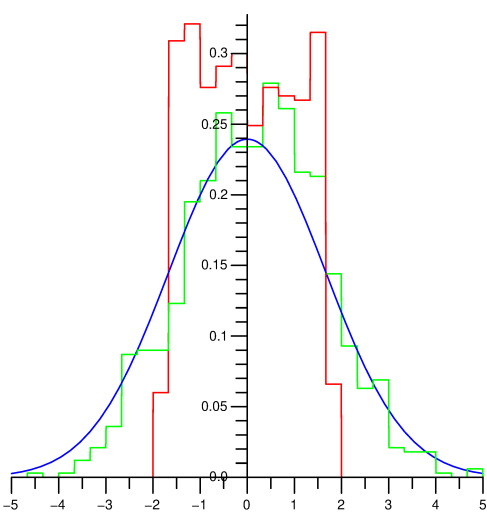


1.17.1 ábra.

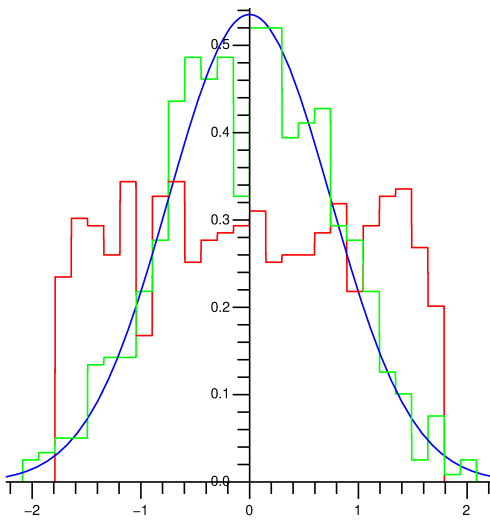
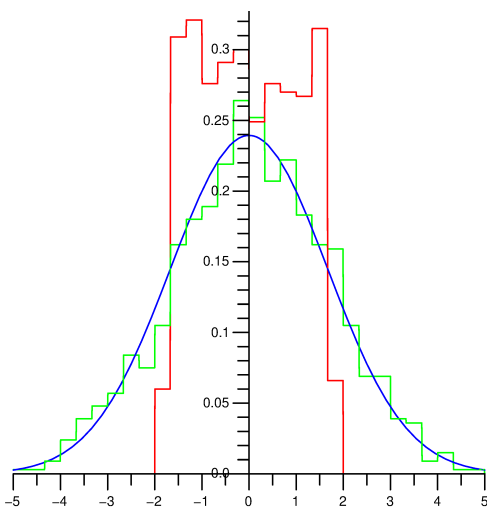


1.17.2 ábra.

volt, a jobb oldalán pedig 500 darab 4 egységnyi tömegű, 2 egységnyi sebességű részecske. Mivel a jobb oldalon kétszer annyi a nyomás, az ember azt várja, hogy a dugattyú balra mozdul el, de nem ez történik. A jobbról érkező gyorsabb részecskék jól meglökkik a dugattyút, és kisebb sebességgel pattannak vissza, a balról kétszer olyan gyakran érkező, de fele akkora átlagsebességű részecskék pedig felgyorsulva. A dugattyú eleinte közepén ugrál, a bal oldali részecskék átlagsebessége nő, a jobb oldali részecskéké pedig csökken, amíg az átlagsebesség ki nem egyenlítődik, közben a dugattyú elmozdul balra, és a hossz kétharmada körül ugrál, Avogadro törvényének megfelelően. Az 1.17.1 ábrán a részecskék sebességeloszlását láthatjuk a bal illetve a jobb oldalon 100 időegység után, ez a zöld vonal. A piros vonal a kezdeti sebességeloszlást mutatja, a kék pedig az „elméleti sebes-



1.17.3 ábra.



1.17.4 ábra.

ségeloszlást”. Ez úgy értendő, hogy ha v és v' két sebesség, akkor a görbe v és v' közötti része alatti terület megadja, hogy nagyon sok részecskénél közelítőleg milyen eséllyel esik egy adott részecske sebessége v és v' közé. Ha tovább folytatjuk a szimulációt, akkor a sebességeloszlás közelebb kerül az elméletihez: lásd az 1.17.2 ábrát, ami 1000 időegység után mutatja az eloszlást.

Végezzünk most egy másik számítógépes szimulációt. Megint a 100 hosszegységnyi téglatest közepén, 50-nél lesz a dugattyú. A bal oldalán 1000 darab 4 egységnyi tömegű, 1 egységnyi sebességű részecske van, a jobb oldalon pedig 800 darab 20 egységnyi tömegű, 1 egységnyi sebességű részecske. Mivel a jobb oldalon négyszer annyi a nyomás, az ember azt várja, hogy a dugattyú balra mozdul el. Valóban ez történik kezdetben, de a jobbról érkező

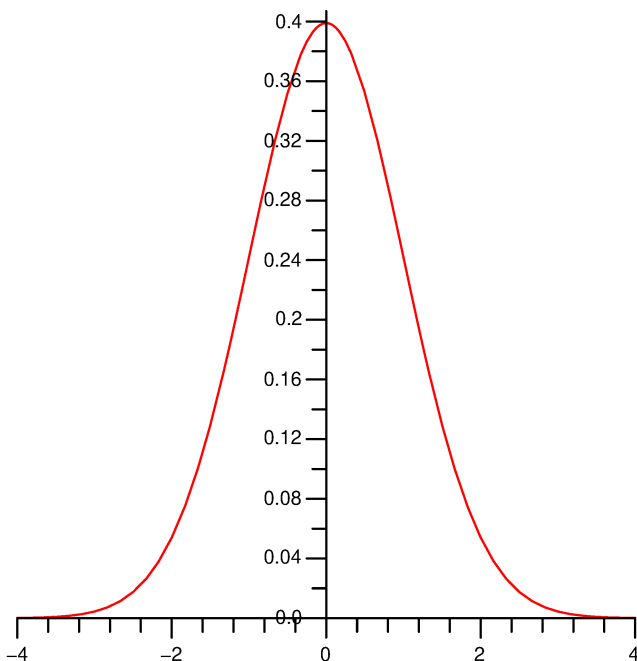
nagyobb energiájú részecskék jól meglökik a dugattyút, és kisebb sebességgel pattannak vissza, a balról kétszer olyan gyakran érkező, bár ugyanakkora átlagsebességű, de kisebb tömegű részecskék pedig felgyorsulva. A dugattyú eleinte kicsit balra mozdul el, majd helyben ugrál, közben a bal oldali részecskék átlagsebessége nő, a jobb oldali részecskéké pedig csökken, amíg az *átlagenergia* ki nem egyenlődik, közben a dugattyú elmozdul balra, és a hossz ötkilencede körül ugrál, Avogadro törvényének megfelelően. Az 1.17.3 ábrán a részecskék sebességeloszlását láthatjuk a bal illetve a jobb oldalon 100 időegység után, ez a zöld vonal. A piros vonal a kezdeti sebességeloszlást mutatja, a kék pedig az elméleti sebességeloszlást. A két sebességeloszlás most nem egyforma, de hasonlóak, és az átlagenergia ugyanannyi a két oldalon. Ha tovább folytatjuk a szimulációt, akkor a sebességeloszlás közelebb kerül az elméletihez: lásd az 1.17.4 ábrát, ami 1000 időegység után mutatja az eloszlást.

A számítógépes szimulációk azt mutatják, hogy egyensúlyban N részecske x irányú mozgásához tartozó E_x/N átlagenergia ugyanannyi a dugattyú két oldalán. Ha az egyik oldalon a részecskék nem csak x irányban mozognak, hanem több részecske ugyanazzal a z koordinátával x és y irányban is, akkor egymással is összeütköznek. Ilyen „két-dimenziós gázban” $E_x \approx E_y$ és így $E_x \approx E/2$, ahol E a teljes energia. Három dimenzióban $E_x \approx E_y \approx E_z$ és így $E_x \approx E/3$. Ha a részecskének további „szabadsági fokai” is vannak (például a „súlyzószzerű” H_2 és O_2 molekulák a súlypontjukon átmenő két, egymásra merőleges tengely körül foroghatnak is), akkor ezekre a mozgásokra is $\approx E_x$ energia jut. Ha összesen f szabadsági fok van, akkor $E_x \approx E/f$, ahol E a gázmolekulák összes energiája, a belső energia. Erre az esetre is végezhetnénk szimulációkat. Első pillantásra talán kétségesnek tűnik ez a következtetés, és úgy tűnhet, hogy a két oldalon levő részecskék átlagenergia-kiegyenlítődsének oka a dugattyú. Ez modellünkben így is van, de három dimenzióban, ha a kétféle gázt nem választaná el dugattyú, akkor az átlagenergia-kiegyenlítőds sokkal gyorsabban megtörténne. Aki már látott biliárdot, jól tudja, hogy a golyók mozgásirányában egészen kicsi változás is nagy változást okoz az ütközés utáni mozgásirányban és sebességben. Ha még azt is figyelembe vesszük, hogy a falak is molekulákból állnak, amelyek szintén mozognak, így a falakról visszapattanó részecskék mozgásiránya és sebessége eléggé véletlenszerű, akkor érezhetjük, hogy nagyon rövid idő — mondjuk annyi, amennyi alatt néhány tízszer ütközik egy részecske a falakkal — után a részecskék mozgása teljesen véletlenszerű lesz. Ez még akkor is bekövetkezik, ha kezdetben csak egyetlen részecske mozgott, a többi állt. A mi szimulációnknál a könnyű dugattyú szerepe csak az volt, hogy elválassza a két gázt, de biztosítsa az energiaátadást — azaz a hővezetést — a kettő között.

Foglalmazzuk meg tapasztalatainkat másképpen. Az abszolút hőmérsékletet lényegében az ideális gázra érvényes $p \cdot V = n \cdot \mathbf{R} \cdot T$ összefüggéssel definiáltuk. Most azt kaptuk, hogy $p \cdot V = 2 \cdot E_x$. Innen $2 \cdot E_x = n \cdot \mathbf{R} \cdot T$. Az n mól gázban $N = n \cdot \mathbf{A}$ molekula van, ahol \mathbf{A} az Avogadro-szám. Mindkét oldalt osztva $2 \cdot N$ -nel,

$$\frac{E_x}{N} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{A}} \cdot T = \frac{1}{2} \cdot \mathbf{k} \cdot T,$$

ahol $\mathbf{k} = \mathbf{R}/\mathbf{A} = 1,380649 \cdot 10^{-23}$ J/K a *Boltzmann-állandó* (pontosan, mivel újabban a hőmérséklet egységét úgy rögzítették, hogy ennyi legyen). A bal oldalon az egyetlen molekula egy szabadsági fokára átlagosan jutó energia áll. A hőmérséklet tehát nem más, mint az egyetlen molekula egy szabadsági fokára átlagosan jutó energia konstansszorosa,



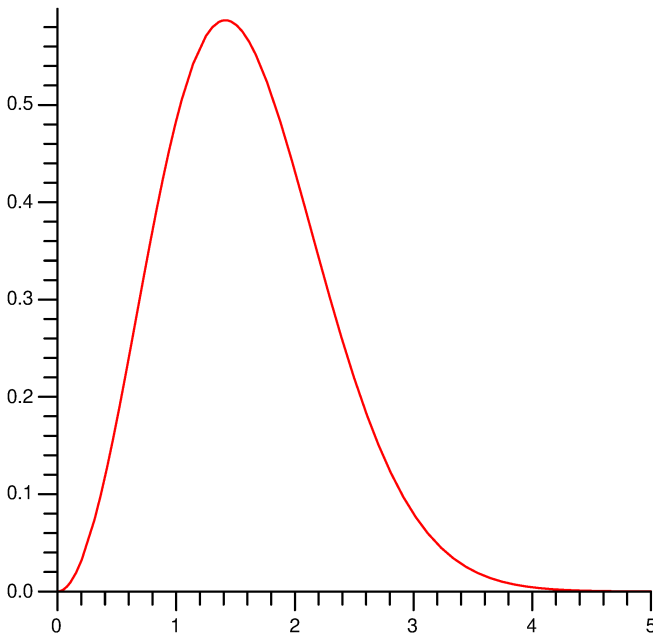
1.17.5 ábra.

és tapasztalatunk, hogy egyensúlyban minden molekula minden szabadsági fokára átlagosan $\mathbf{k} \cdot T/2$ energia jut. Ez az *egyenlő szétosztás*, idegen szóval *ekvipartíció* elve. Például 25 °C-on egy O₂ molekulára átlag $E_x/N = E_y/N = E_z/N = \mathbf{k} \cdot T^0/2 \approx 205,82 \cdot 10^{-23}$ J, a haladási átlagenergia tehát ennek a háromszorosa. Mivel a tömege $0,032/(6,02214 \cdot 10^{23}) \approx 5,31372 \cdot 10^{-26}$ kg, így a sebességnégyzetének átlaga ≈ 232404 m²/s², aminek a négyzetgyöke ≈ 482 m/s, összhangban a hangsebességgel.

A másik tapasztalatunk, hogy egyensúlynál a sebességek eloszlása egy „elméleti sebességeloszláshoz” van közel. Ezt a görbét, az úgynevezett „haranggörbét” a matematikusok nagyon jól ismerik: mindig ez áll elő, ha sok kis, független véletlen mennyiség összegét tekintjük. A részecskék v_x sebessége sok véletlen „lökdösés” eredménye, ezért közelíti sebességeloszlásuk ezt a görbét. A közelítés elég durvának látszik, de ha 1000 helyett Avogadro-számnyi molekulát vizsgálnánk, akkor nagyon pontos, kb. tízmilliószor jobb lenne. A görbék különbözőek, függenek a részecskék m tömegétől és a T hőmérséklettől, de nagyon hasonlóak. Pontosabban az igaz, hogy $v_x \sqrt{m/(\mathbf{k} \cdot T)}$ eloszlása mindig az 1.17.5 ábrán látható *haranggörbe*. Ennek segítségével m és T ismeretében meg tudjuk határozni, hogy mennyi az esélye, hogy v_x valamilyen v_1 és v_2 határok közé esik. *

1.17.2. Az ideális gáz fajhője. * Azt kaptuk, hogy az f szabadsági fokú molekulákból álló egy mól ideális gázra a *belső energia*

$$E = \frac{f}{2} \cdot R \cdot T.$$



1.17.6 ábra.

Ha a hőmérséklet T_1 -ről T_2 -re nő, akkor a belső energia növekedése

$$\frac{f}{2} \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

így egy mól gáz hőmérsékletének 1 K-nel való emeléséhez (ha nincs munkavégzés, azaz állandó térfogaton)

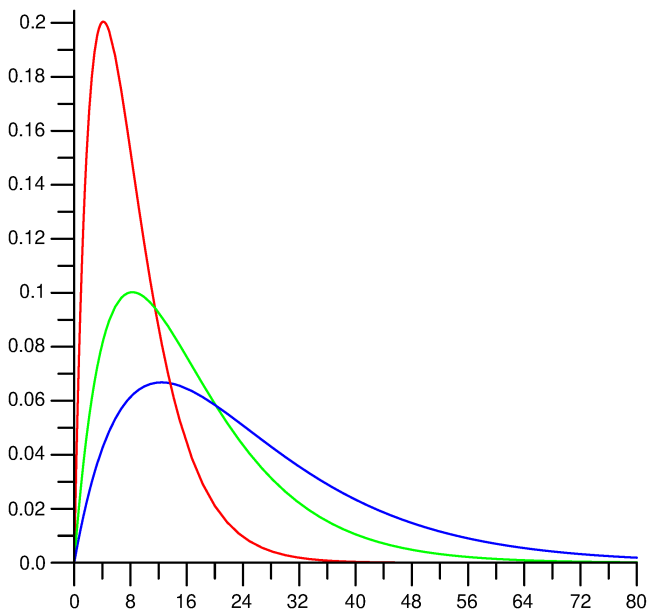
$$C_V = \frac{f}{2} \cdot R$$

hő kell, ez a gáz állandó térfogaton vett *mólhője*. Ha a nyomás állandó, akkor a térfogat V_1 -ről V_2 -re nő, és $p \cdot (V_2 - V_1) = R \cdot (T_2 - T_1)$ munkavégzés is történik, így az állandó nyomáson vett *mólhő*

$$C_p = C_V + R = \left(\frac{f}{2} + 1\right) \cdot R.$$

(A vegyészek gyakran használják azt a megállapodást, hogy ha valamit úgy mérnek, hogy egy másik mennyiség állandó, akkor a mért mennyiség jelének lábához odaírják annak a mennyiségnek — vagy esetleg mennyiségeknek — a jelét, ami állandó. Mivel C jelöli a mólhőt, C_p az állandó nyomáson vett mólhő, C_V pedig az állandó térfogaton vett mólhő.) A szabadsági fokok száma egyatomos molekuláknál 3, kétatomosoknál 5-nek vehető, háromatomosoknál pedig — mivel három tengely körül foroghatnak — 6-nak vehető, nagyobb molekuláknál még nagyobb. *

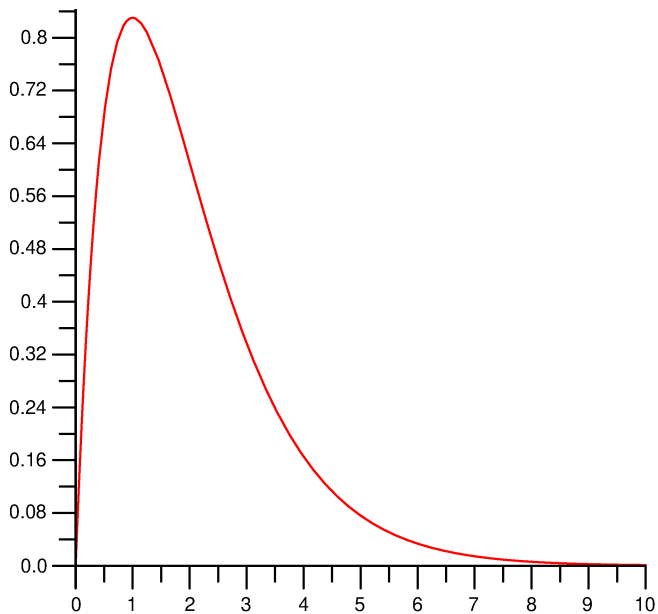
1.17.3. A molekulák sebesség- és energieloszlása. * Megfelelő matematikai (integrálszámítás) ismeretek birtokában a fentiek alapján meghatározható a molekulák haladási v sebességének eloszlását leíró görbe, az úgynevezett *Maxwell-féle sebességeloszlás*.



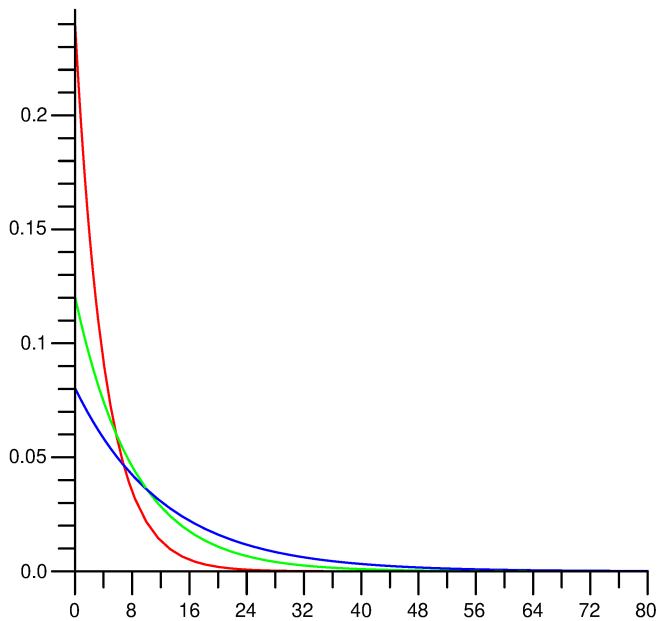
1.17.7 ábra: haladási energiák zeptojoule-ban, 300 K, 600 K, 900 K.

Ez függ a molekulák m tömegétől és a T hőmérséklettől, de nagyon hasonló minden esetben. Pontosabban az igaz, hogy $v\sqrt{m/(\mathbf{k} \cdot T)}$ eloszlása mindig az 1.17.6 ábrán látható függvény. (A *legvalószínűbb sebesség*, a görbe maximumához tartozó sebesség nem ugyanaz, mint az átlagsebesség, illetve az átlagos energiához tartozó sebesség: a három aránya $\sqrt{2}: \sqrt{8/\pi}: \sqrt{3} \approx 1:1,128:1,244$.) Ugyancsak meghatározható a molekulák sebességéhez tartozó haladási energia eloszlását meghatározó görbe. Ez nem függ a molekulák tömegétől, csak a hőmérséklettől. Az 1.17.7 ábrán három különböző hőmérsékletre ábrázoltuk, 300, 600 és 900 K-re. A görbék nagyon hasonlóak, a csúcs helye a hőmérséklettel arányosan nő. Pontosabban az igaz, hogy $E/(\mathbf{k} \cdot T)$ eloszlását mindig az 1.17.8 ábrán látható függvény írja le. *

1.17.4. A Boltzmann-eloszlás. * A vegyészt még jobban érdekli az, hogy egy felületnek, mondjuk az x irányra merőleges oldalfalnak ütköző molekulák ütközési (a falra merőleges irányú, azaz v_x sebességhez tartozó) energiájának milyen az eloszlása. Ez a *Boltzmann-eloszlás*. Megfelelő matematikai (differenciál- és integrálszámítás) ismeretek birtokában a fentiek alapján meghatározható ez is. (Látjuk, hogy matematika nélkül szinte mozdulni sem tudunk az elméletben. A középiskolában tanult matematika nagyjából annak felel meg, amit az ókorban a görögök tudtak. Ennek a könyvsorozatnak a matematikai részében minden szükséges ismeret megtalálható.) A számítás lényege, hogy egy nagyon rövid Δt idő alatt a falat a közelítőleg v_x sebességű molekulák közül azok érik el, amelyek a fal felé mozognak és tőle legfeljebb $v_x \cdot \Delta t$ távolságra vannak. Az ütközési energiák eloszlását az 1.17.9 ábrán három különböző hőmérsékletre ábrázoltuk, 300, 600 és 900 K-re. A görbék itt is nagyon hasonlóak. Pontosabban az igaz, hogy $E/(\mathbf{k} \cdot T)$ eloszlását mindig az 1.17.10 ábrán látható függvény írja le. A vegyész számára ez azért fontos, mert sok reakció akkor következik be, ha az ütközés energiája eléri egy bizonyos értéket. De hát nem

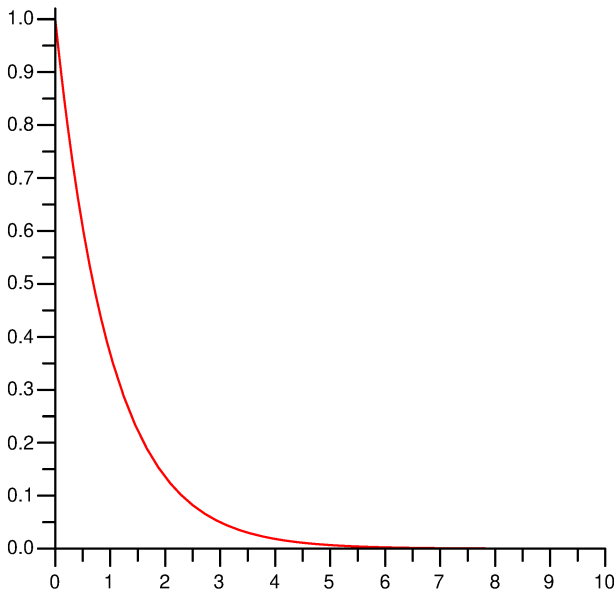


1.17.8 ábra.



1.17.9 ábra: ütközési energiák zeptojoule-ban, 300 K, 600 K, 900 K.

ezt határoztuk meg! Szerencsére azon molekulák arányát, amelyekre az ütközési energia nagyobb, mint $E/(\mathbf{k} \cdot T)$, szintén az 1.17.10 ábrán látható függvény írja le. *



1.17.10 ábra.

1.17.5. Közepes szabad úthossz. * Képzeljünk el egy molekulát, amely a V térfogatot betöltő N molekula között mozog. Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a többi molekula mind áll, és a molekulák gömbök d átmérővel. Az az ℓ (átlagos) úthossz érdekel bennünket, amit a molekulánk megtesz, mielőtt ütközik egy másikkal. Nyilván akkor ütközik egy másikkal, ha középpontjaik d -nél közelebb kerülnek. Tehát nagyjából egy $d^2 \cdot \pi$ alapterületű hengert fut be molekulánk olyan ℓ magasságig, ahol az első molekula van. Innen az egy molekulára átlagosan jutó V/N térfogat megegyezik a henger $d^2 \cdot \pi \cdot \ell$ térfogatával, azaz

$$\ell \approx \frac{V}{N \cdot \pi \cdot d^2}.$$

Pontosabb számításhoz azt is figyelembe kell venni, hogy a többi molekula is mozog, így

$$\ell \approx \frac{\sqrt{2} \cdot V}{N \cdot \pi \cdot d^2}$$

adódik, ami p^0 nyomáson kis molekulákra nagyjából a molekulaátmérő százszorosos-ezerszerese. Mivel ismerjük a molekulák átlagos sebességét, ebből meghatározható a másodpercenkénti ütközések száma, ami T^0 hőmérsékleten nagyságrendben tízmilliárd. Megfelelő matematikai ismeretekkel számítható a viszkozitás,

$$\eta \approx \frac{m \cdot \bar{v}}{3 \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot d^2},$$

a hővezetési tényező, $\kappa \approx \eta \cdot c_V$, és a diffúziós együttható (arra az esetre, amikor az adott gázból kevés van egy másik gázban) $D \approx \ell \cdot \bar{v}/3$; itt m egy molekula tömege, \bar{v}

az átlagsebessége, c_V pedig az állandó térfogaton vett fajhő. A *diffúziós együththató* azt adja meg, hogy egységnyi felületen egységnyi idő alatt mekkora tömegű anyag áramlik át, ha az egységnyi távolságra eső (kg/m^3 -ben mért) koncentrációk különbsége egységnyi. Ha az l közepes szabad úthossznál kisebb átmérőjű lyukakon történik a diffúzió, akkor a sebessége már csak a \bar{v} átlagsebességgel arányos. *

1.17.6. Problémák a szabadsági fokokkal. Ha valaki azt mondja, hogy számára nem világos a szabadsági fokok fogalma, nem csodálom, nincs minden rendben vele.

** Az eddigiek szerint bármilyen hőmérsékleten minden szabadsági fokra

$$\frac{R}{2} \approx 4,157255 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \approx 0,99294 \frac{\text{cal}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \approx 1 \frac{\text{cal}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$

mólhő jut (állandó térfogaton). Ez olyan szép kerek szám, hogy a mérések szerinti értékeket is kivételesen $\text{cal}/(\text{K} \cdot \text{mol})$ egységekben adjuk meg. A mért mólhő állandó térfogaton

	0 °C	100 °C	200 °C	500 °C	1200 °C	2000 °C
A	2,98	2,98	2,98	2,98	3,0	3,0
O_2	4,99	5,05	5,15	5,26	5,75	6,3
H_2	4,87	4,93	5,05	5,16	5,67	6,28
H_2O	5,93	6,00	6,60	7,00	8,4	11,0
CO_2	6,68	7,69	9,04	9,75	10,6	11,1

Itt A tetszőleges egyatomos gázt jelent. Látjuk, hogy ezek mólhője teljesen megfelel az elméletnek. A kétatomos oxigénre és a háromatomos vízre is 0 °C-on a mért értékek megfelelnek az elmélet által adott értéknek, de egyébként az eltérések jelentősek, nem magyarázhatók mérési hibákkal, és a hőmérséklet növekedésével a mólhő nő. Olyan, mintha új szabadsági fokok lépnének fel. Valóban így is van, szerepet kap a molekulák rezgése. De miért nincsenek rezgések alacsonyabb hőmérsékleten? A magyarázat nagyon durván leegyszerűsítve és pontatlanul, hogy a rezgés energiája csak „kvantumokban” („adagokban”) változhat, $h \cdot \nu$ lehet, ahol ν a rezgésszám, idegen szóval a *frekvencia*, azaz a másodpercenkénti rezgések száma, h pedig az úgynevezett *Planck-állandó*, $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34}$ Js (pontosan, mivel újabban a J és ezen keresztül a tömeg egységét úgy rögzítették, hogy h ennyi legyen). A vízmolekulában az aránylag könnyű hidrogénatomokat nagyon nagy erők kötik az oxigénatomhoz, a lehető legkisebb rezgésszám is nagyon nagy, így már arra is $h \cdot \nu$ jóval nagyobb, mint az egy szabadsági fokra jutó $k \cdot T/2$ átlagenergia, tehát nagyon ritka, hogy egy hidrogénatom rezgésbe jöjjön. Magasabb hőmérsékleten már jóval nagyobb az esélye, hogy az energia ilyen nagy legyen (lásd az 1.17.7 ábrát), így az alacsony hőmérsékleten „befagyott” rezgési szabadságfok kezd „kiengedni”. Nehéz atomokból álló kétatomos molekulák esetén ν jóval kisebb, már 0 °C-on is van rezgés, és a mólhő 5 helyett 6 körüli. Hasonló a helyzet a forgással, ν szerepét a fordulatszám veszi át. Az egyatomos molekulák azért nem tudnak forogni, mert a tömeg nagy része az igen kis méretű atommagban összpontosul, $k \cdot T/2$ energiához rendkívül magas fordulatszám tartozna, ilyen az ütközések során nem jön létre. Ugyanezért nem tudnak forogni a kétatomos, „súlyzószerű” molekulák sem a hossz tengelyük körül. Érdekes a szén-dioxid esete. Ez ugyan háromatomos, de „súlyzószerű” molekula, az atomok egy egyenesbe esnek (lásd az 1.2.8 ábrát), ellentétben a vízmolekulával (lásd az 1.2.6 ábrát). Hogy a szén-dioxid mólhője nem 5, hanem jóval nagyobb, azt rezgési szabadságfokok okozzák. A hőmérséklet növelésével végül egy

n atomból álló molekulának mind a $3 \cdot n$ szabadságfoka aktiválódik, sőt, megkezdődik a molekula felbomlása atomokra, majd az atomok felbomlása elektronokra és atommagokra, amivel újabb szabadsági fokok lépnek be. Mindezek a magyarázatok csak vázlatosak. A hidrogén 2 forgási szabadságfokának 0°C -on részleges, de 60 K -en már majdnem teljes „befagyásának” magyarázatához már a hidrogén atommagok mágneses tulajdonságait is figyelembe kell venni.

Azt, hogy a szabadsági fokokkal problémák vannak, Maxwell már a XIX. század közepén észrevette. Egy másik rejtély volt az izzó szilárd (fekete) testek által kibocsátott fény színének magyarázata. Ez utóbbit Planck oldotta meg 1900-ban. A kvantumelmélet pontos matematikai megalapozása Heisenberg és Schrödinger eredménye 1925-ből. Ennek alapján magyarázatot lehetett adni a kémiai reakciókra. Sajnos, az elmélet nem egyszerű. Bár nagyon sok mindent ki tudunk számolni a *kvantumkémia* segítségével, a kémia máig is kísérleti tudomány maradt. Ezen könyvsorozat matematikai részének kitűzött célja éppen az, hogy a matematikában eljussunk addig, ami a kvantummechanikából és így a kvantumkémiaiából a legegyszerűbb atommal, a hidrogénatommal kapcsolatos számítások megértéséhez kell. **

1.17.7. A nem ideális gázok nyomása. * A gáz molekulái helyet foglalnak el. Ezt úgy vehetjük figyelembe, hogy az ideális gázra vonatkozó egyenletben V helyére $V - b$ -t írunk, ahol b egy, a gáztól függő konstans. Ez a V mért térfogattól kapott „ideális térfogat”. Másrészt a molekulák vonzzák egymást, ami csökkenti a mért nyomást. Ha egy gömböt képzelünk el, a felületen lévő molekulák száma arányos a sűrűséggel, tehát fordítva arányos a térfogattal, másrészt a bentebbi, közeli, vonzó hatást kifejtő molekulák száma is arányos a sűrűséggel, azaz fordítva arányos a térfogattal, tehát a mért p nyomáshoz egy a/V^2 alakú tagot hozzá kell adnunk, hogy megkapjuk az „ideális nyomást”. Így az egy mól gázra vonatkozó

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right) \cdot (V - b) = R \cdot T$$

van der Waals-egyenletet kapjuk. Nyilván n mól gázra a térfogat n -szer ennyi, így a fenti egyenletben szereplő V helyére V/n -et kell írni. Így az n mól gázra érvényes

$$\left(p + \frac{a \cdot n^2}{V^2}\right) \cdot (V - b \cdot n) = n \cdot R \cdot T$$

egyenletet kapjuk. Az a és b *van der Waals-állandókat* különböző gázokra táblázatokban megtaláljuk. Ha a hőmérsékletet vagy a nyomást akarjuk meghatározni, nincs probléma. Ha a térfogatot keressük, írjuk fel az egyenletet

$$V = b \cdot n + \frac{R \cdot T}{p + a \cdot n^2/V^2}$$

alakban. Az első közelítést a gáz térfogatára ideális gázzal számolva kapjuk. Írjuk ezt be a jobb oldalra: kapunk egy jobb közelítést V -re, ezt beírjuk a jobb oldalra, stb. Ez a módszer ha nem is mindig, de általában célhoz vezet. Ha nem, próbálgatással boldogulhatunk. *

** A *van der Waals-állandók* kapcsolatban állnak a kritikus adatokkal. Írjuk az egyenletet az akárhány mólra vonatkozó, kicsit általánosabb

$$\left(p + \frac{a \cdot n^2}{V^2}\right) \cdot (V - b \cdot n) = n \cdot c \cdot T$$

alakba. Osszuk el mindkét oldalt a p_c kritikus nyomással és az adott gázmennyiség V_c kritikus térfogatával. (Táblázatokban rendszerint a kritikus sűrűséget találjuk meg, de ebből akármennyi gáz kritikus térfogatát ki tudjuk számolni.) Az új egyenlet

$$\left(\frac{p}{p_c} + \frac{a \cdot n^2/p_c}{V^2}\right) \cdot \left(\frac{V}{V_c} - \frac{b \cdot n}{V_c}\right) = \frac{c \cdot n}{p_c \cdot V_c} \cdot T.$$

Bevezetve a $p_r = p/p_c$ relatív nyomást, a $V_r = V/V_c$ relatív térfogatot és a $T_r = T/T_c$ relatív hőmérsékletet, az egyenlet

$$\left(p_r + \frac{a \cdot n^2/(p_c \cdot V_c^2)}{V_r^2}\right) \cdot \left(V_r - \frac{b \cdot n}{V_c}\right) = \frac{c \cdot n \cdot T_c}{p_c \cdot V_c} \cdot T_r$$

alakú lesz. Az $a_r = a \cdot n^2/(p_c \cdot V_c^2)$, $b_r = b \cdot n/V_c$ és $c_r = c \cdot n \cdot p_c/(V_c \cdot T_c)$ jelölésekkel ezek az állandók sem függenek a mólok számától, mivel p_c és T_c nem függenek a mólok számától, V_c viszont arányos a mólok számával. Az egyenlet ezekkel a jelölésekkel

$$\left(p_r + \frac{a_r}{V_r^2}\right) \cdot (V_r - b_r) = c_r \cdot T_r$$

alakú.

Úgy szeretnénk az a_r , b_r és c_r állandókat meghatározni, hogy az egyenletünk a kritikus pont közelében legyen érvényes. Szorozzuk végig az utóbbi egyenletet V_r^2 -tel és osszuk végig p_r -rel. Azt kapjuk, hogy

$$\left(V_r^2 + \frac{a_r}{p_r}\right) \cdot (V_r - b_r) = \frac{c_r \cdot T_r \cdot V_r^2}{p_r},$$

másként

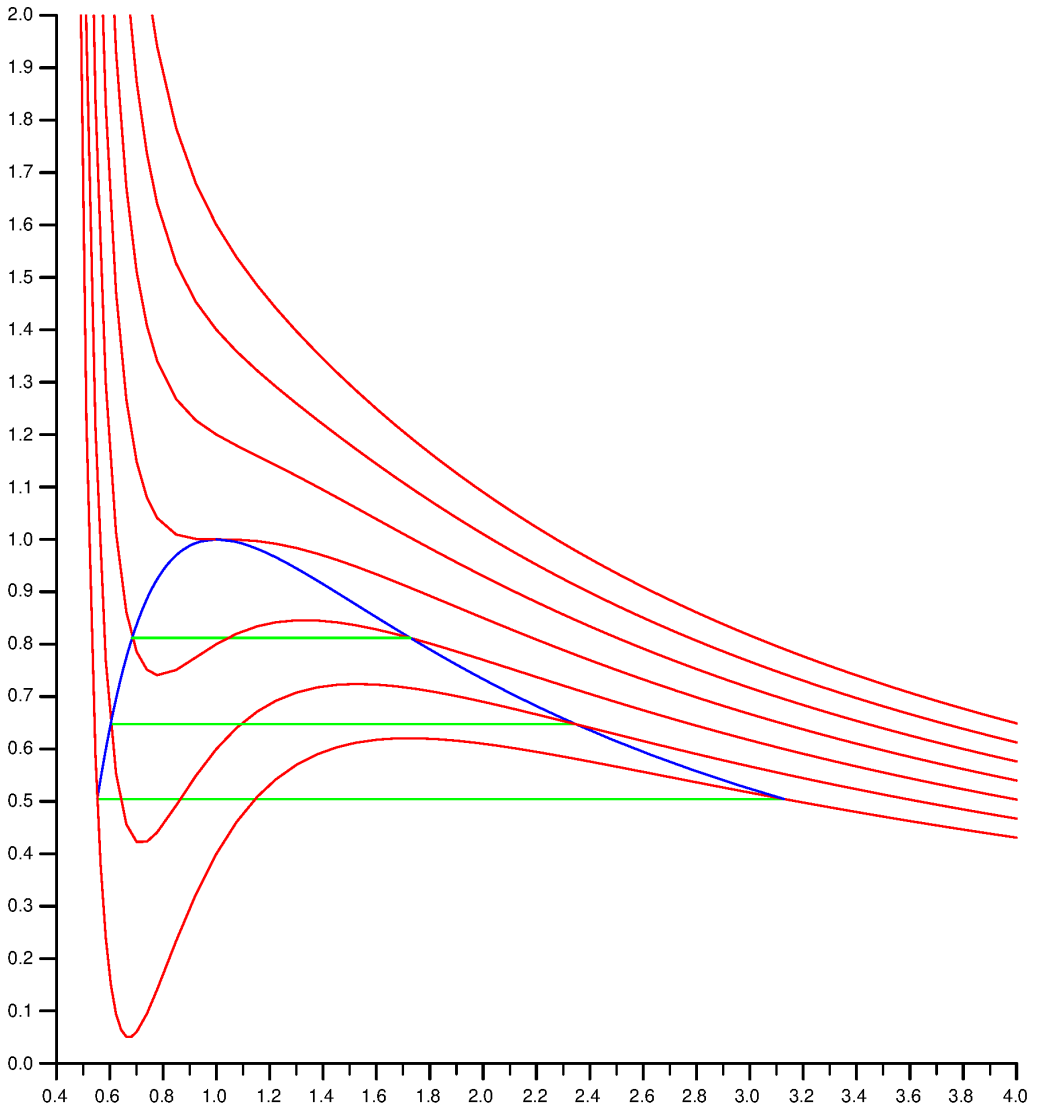
$$V_r^3 - \left(b_r + \frac{c_r \cdot T_r}{p_r}\right) \cdot V_r^2 + \frac{a_r}{p_r} \cdot V_r - \frac{a_r \cdot b_r}{p_r} = 0.$$

Figyeljük meg az 1.11.2 ábrát. Adott, a kritikus hőmérséklet alatti hőmérsékleten csökkentve a térfogatot, a nyomás egy darabig nő, majd a telítési gőznyomást elérve egy darabig állandó marad. Ha a görbe simán folytatódna, a nyomás a telítési nyomás fölé menne. Sőt, a valóságban fölé is megy: a gőz lecsapódása nem indul meg azonnal, előbb kis vízcseppeknek kell létrejönni. Ugyanígy víz térfogatát növelve, a nyomás csökken, majd ez a nyomáscsökkenés a telítési gőznyomásnál megáll. Ha a görbe simán folytatódna, a nyomás a telítési gőznyomás alá menne. Itt is a valóságban a nyomás a telítési nyomás alá megy, mert a buborékképződés csak később indul meg. Ha ezt a két pontot akárhogyan összekötnénk, közben a görbe mégegyszer felvenné a telítési gőznyomást. A kritikus hőmérsékleten ez a három térfogatérték éppen egybeesik és nem lehet más, mint V_c , így $V_r = 1$. Tehát az egyenletünk

$$0 = (V_r - 1)^3 = V_r^3 - 3 \cdot V_r^2 + 3 \cdot V_r - 1.$$

Összehasonlítva ennek az egyenletnek az együtthatóit az előző egyenlet együtthatóival és figyelembe véve, hogy a kritikus pontban $T_r = 1$ és $p_r = 1$, azt kapjuk, hogy $a_r = 3$, hogy $a_r \cdot b_r = 1$, így $b_r = 1/3$, és hogy $b_r + c_r = 3$, azaz $c_r = 8/3$. Így a nagyon egyszerű

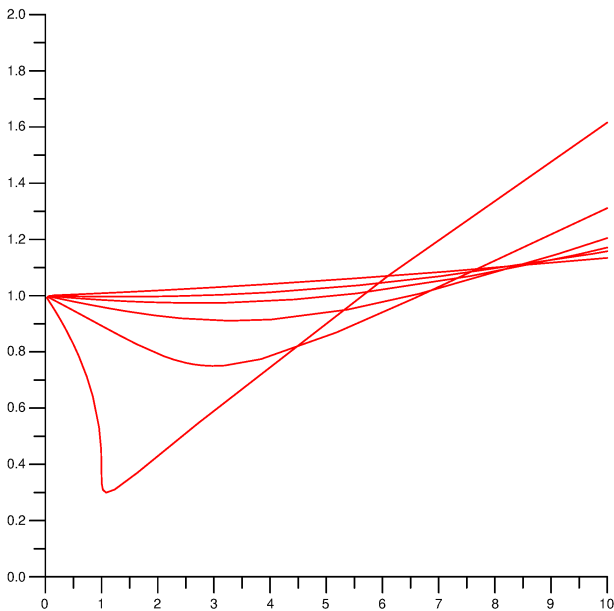
$$\left(p_r + \frac{3}{V_r^2}\right) \cdot \left(V_r - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3} \cdot T_r$$



1.17.11 ábra.

egyenesre jutunk, ami a kritikus pont közelében jól írja le a gáz viselkedését.

Az 1.17.11 ábrán a $T_r = 1,15, 1,10, \dots, 0,85$ értékekhez tartozó görbéket láthatjuk. Az utolsó három görbénél $T_r < 1$, azaz a kritikus hőmérséklet alatt vagyunk. Ilyenkor a valóságban a gőz cseppfolyósodik. Ezt úgy vehetjük figyelembe, hogy a görbe hepehupáját egy egyenes szakasszal hidaljuk át. A zölddel jelzett szakaszok magasságát úgy választjuk, hogy az alattuk lévő terület — ami az összenyomási munkának felel meg — megegyezzen a görbe megfelelő része alatti területtel. A késsel jelzett görbe azt jelzi, hogy



1.17.12 ábra.

— a hőmérséklettől függően — hol kezdődnek és végződnek az egyenes szakaszok.

Ha a $T_r = 1$, $p_r = 1$ kritikus ponttól távolabb keresünk jó közelítést, akkor kísérletileg meghatározott a_r , b_r , c_r értékekkel dolgozhatunk. A legfontosabb az az eset, amikor a $p_r = 0$ érték közelében keresünk közelítést. Mivel kicsi p -re és nagy V -re az $a \cdot n^2/V^2$ -t és $b \cdot n$ elhanyagolhatóak, $c = c_r \cdot p_c \cdot V_c / (n \cdot T_c)$ egyenlő kellene legyen \mathbf{R} -rel, ez azonban általában nem áll fenn. A kritikus adatot közül V_c mérése a legbizonytalanabb, hiszen pontosan a kritikus pontban nagyon kis nyomásváltozásnak nagyon nagy térfogatváltozás felel meg. Helyettesítsük ezt egy $V_{c'}$ értékkel, úgy, hogy $c_r \cdot p_c \cdot V_{c'} / (n \cdot T_c) = \mathbf{R}$ teljesüljön. Ekkor

$$V_{c'} = \frac{3 \cdot n \cdot \mathbf{R} \cdot T_c}{8 \cdot p_c},$$

amiből

$$a = \frac{27 \cdot \mathbf{R}^2 \cdot T_c^2}{64 \cdot p_c},$$

$$b = \frac{\mathbf{R} \cdot T_c}{8 \cdot p_c}$$

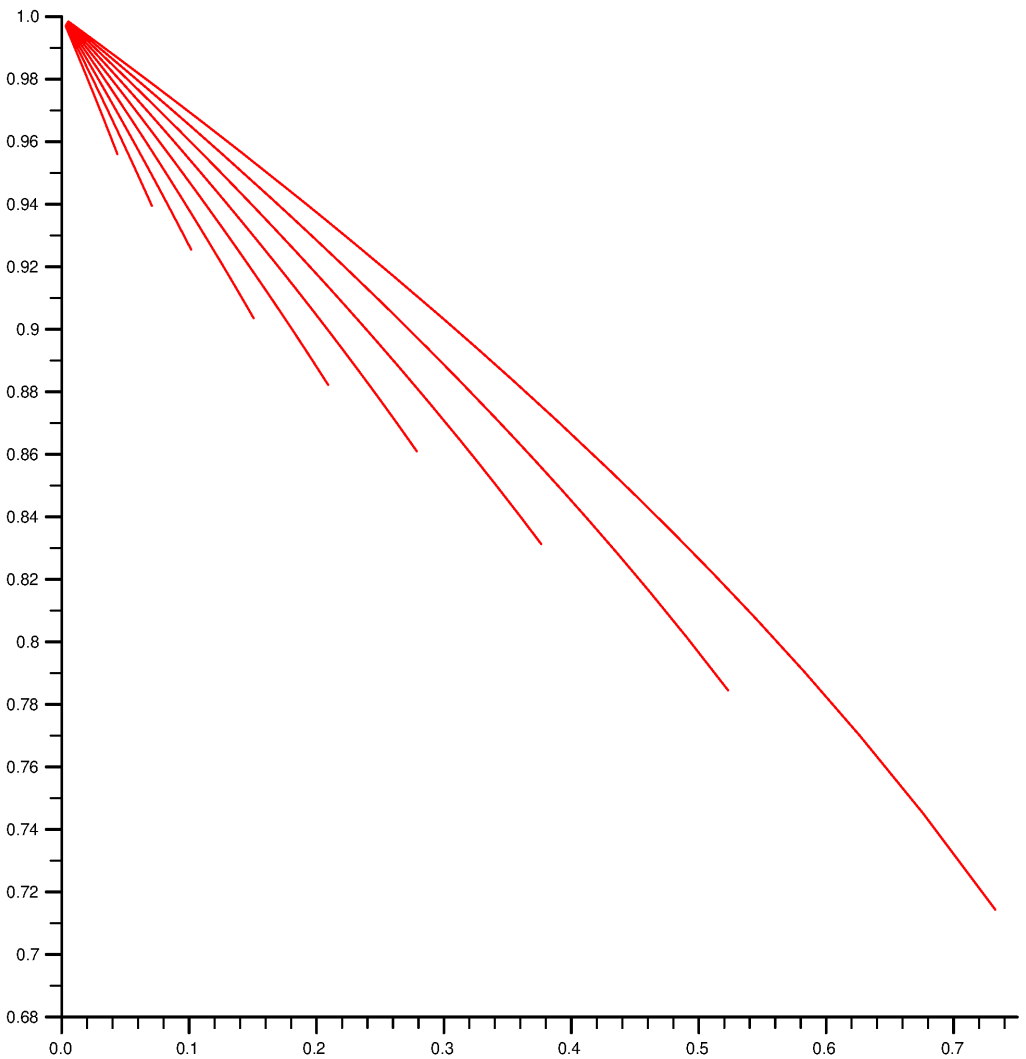
és $c = \mathbf{R}$. Az egyenletet a $V_{r'} = V/V_{c'}$ jelöléssel a sokkal egyszerűbb

$$\left(p_r + \frac{3}{V_{r'}^2}\right) \cdot \left(V_{r'} - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3} \cdot T_r$$

alakba írhatjuk.

A van der Waals-egyenletből számított értékek eltérését az ideális gázra vonatkozó egyenletből számított értékektől, valamint a valódi értékektől legegyszerűbben a

$$z = \frac{p \cdot V}{n \cdot \mathbf{R} \cdot T}$$



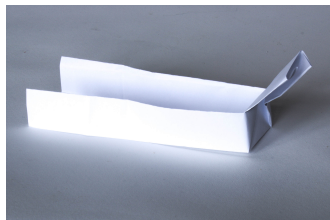
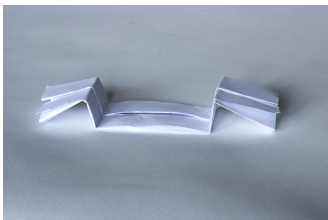
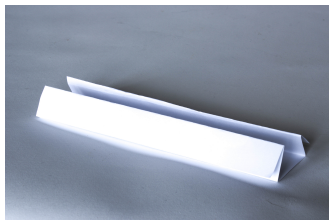
1.17.13 ábra.

úgynevezett *kompresszibilitási együttható* vizsgálatával ellenőrizhetjük. Ennek értéke ideális gázra minden nyomáson és hőmérsékleten 1 lenne. Az előbbi egyenletünk szerint viszont az 1.17.12 ábrán látható görbék adják meg a kompresszibilitási együtthatót p_r függvényében $T_r = 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0$ és $5,0$ esetén ($p_r = 1,0$ -nél alulról felfelé). Megfigyelhetjük, hogy $T_r = 2,5$ esetén $z \approx 1$. Egyébként $p_r < 1$ -re a $T_r = 3$ -hoz tartozó görbe majdnem megegyezik a $T_r = 15$ -höz tartozó görbével. A görbéket könnyen kirajzoltathatjuk kisebb T_r és nagyobb p_r értékekre is, de a mért értékektől való eltérés egyre nagyobb lesz. Hidrogénre ($p_c = 12,97$ bar, $T_c = -240$ °C) -70 és 200 °C között 100 bar nyomáson az eltérés 1% nagyságrendű, 200 bar nyomáson 2–4%, 500 bar nyomáson 5–10% és 1000 bar nyomáson 10–20%. Oxigénre ($p_c = 50,76$ bar, $T_c = -118,38$ °C) 0 és 200 °C

között 100 bar nyomáson az eltérés 3–5%, 200 bar nyomáson 4–6%, 500 bar nyomáson 3–7% és 1000 bar nyomáson 10–15%. Szén-dioxidra ($p_c = 74$ bar, $T_c = 31$ °C) 60 °C-on 100–1000 bar nyomáson az eltérés 15–25%, 100 és 260 °C között 100 bar nyomáson az eltérés 5% nagyságrendű, 200 bar nyomáson 10% nagyságrendű, de 500 és 1000 bar nyomáson 20% nagyságrendű. Az 1.17.13 ábra a $T_r = 0,60, 0,65, \dots, 1,00$ értékekhez tartozó kompresszibilitási görbéknek azon kis nyomásokhoz tartozó részét mutatja, amely 1%-nál pontosabb. Ha $T_r \geq 1,05$, akkor ez minden $p_r \leq 1$ értékre fennáll. **

1.18 Eszközök

Kémiai kísérletezéshez szükségünk lesz néhány eszközre, és egy (kisgyermekek elől elzárható) szekrényre, amiben az eszközöket és a vegyszereket tartjuk. Lefényképeztem néhány eszközt, és itt felsorolom őket. Nem kell azért azonnal a boltba rohanni és mindent megvenni. Kémcsöveink mellett néhány lombikkal és pár méter üvegcsővel meg gumicsővel és egy gázgövel bátran kezdhethünk, a többit majd beszerezzük, amikor kell.



1.18.1 fénykép: papírcsónak.

1.18.1. Mérleg. Sokat haboztam, hogy leírom-e egy cg érzékenységű, kb. 50 g-ig használható kis mérleg készítését. Bár a digitális mérlegek még elég drágák, de egyre olcsóbbak lesznek. A mérés annyival kényelmesebb velük, hogy csak elvonná a kísérletező kedvét egy kétkarú mérleg nehézkes használata. Akit mégis érdekel a mérleg készítése, megtalálja Collin Siddons [168] könyvében a 42. o.-on. Már eddig is hasznos lett volna egy cg kijelzésű digitális mérleg, de elboldogultunk, különösen, ha dg kijelzésű konyhai mérlegünk van. Nemsokára azonban nagyon jól jön egy cg kijelzésű — *érzékenységű* — digitális mérleg. 100 g *méréshatárral* — legnagyobb terheléssel — zsebmérlegként is árulják. Meg kell különböztetnünk a mérleg érzékenységét a *pontosságától*. Hiába írja ki a mérleg 0,01 g-ra — azaz cg-ra — a mért tömeget, tehát cg érzékenységű, az utolsó jegy bizonytalan, azaz a pontossága néhány cg. (Az utolsó jegy magától is ingadozik, ha várunk egy kicsit.) Ha a mérleghez használható beállítósúly, akkor azt is rendeljük, és időnként állítsuk be mérlegünket. Mivel érzékeny jószág, vigyázzunk rá. Óvjuk a vegyszerektől, a vegyszerek gőzétől. Ne terheljük túl és ne dobjunk rá semmit. Ne kerüljön rá vegyszer. Legjobb, ha az egész tetejét lefedő könnyű műanyag tálkát teszünk rá, és abba tesszük az edényt a vegyszernek. Ez általában egy könnyű kis műanyag pohár, de a vegyészek használnak papír *csónakot* is. Hajtogatását az 1.18.1 fényképsorozat mutatja be. Alumínium fóliából is készíthetjük, ekkor folyadék sem folyik ki belőle.

Néhány kísérletnél mg pontossággal mértem, ez azonban nem fontos. Ékszermérlegek mérnek ilyen pontossággal. Vannak ennél is érzékenyebb mérlegek, ezek azonban nagyon



1.18.2 fénykép: a legfontosabb eszközök.

drágák, és a lecsapódó párát, kezünkről az edényre tapadó zsírt, stb., is megérik. Ilyen mértékig nem lesz szükségünk.

1.18.2. Folyadék- és porüvegek. A vegyszerek tárolására műanyag és üveg edényekre lesz szükségünk. Kétfélet használunk, *porüveget* és *folyadéküveget*. A porüvegek helyett megfelelnek a csavaros fedelű befőttes és egyéb, kisebb üvegek, amelyek minden háztartásban megtalálhatók. Ha a fedél műanyag, akkor minden további nélkül használhatjuk, ha viszont fém, akkor mezőgazdasági polietilén fóliából vágjunk ki egy kör alakú lapot, ezzel fedjük le az üveget, és úgy csavarjuk rá a tetőt. Jobban is zár így a tető. A jó zárást egyébként könnyen ellenőrizhetjük: az üvegbe tegyünk egy kevés vizet, majd lezárva és felfordítva tegyük meleg helyre. A víznek nem szabad kifolynia. Folyadéküvegnek orvosságos üvegeket, cseppentős üvegeket, üveg- és polietilén palackokat, kannákat használhatunk. Akármilyen folyadéküvegből készíthetünk cseppentős üveget, ha egy dugót átfúrunk, és szemcseppentőt (gyógyszertárban kapható) teszünk bele. Nagyon fontos, hogy minden edényre írjuk rá, mi van benne! A vegyszereinket olyan helyen, például zárható szekrényben tartsuk, ahol avatatlanok, például kisgyerekek nem férnek hozzá! Az 1.18.2 fényképek közül a bal szélső jobb oldalán két „amatőr” porüveg látható. A többi négy üveg a laboratóriumokban használt „prof” üveg. Ezeknek becsiszolt üvegdugója van, amely jól zár és nagyon könnyű kivenni. A teteje lapos, így könnyen le is tehetjük. Az a jó, ha a tető szélesebb, mint az üveg szája, így azt is védi a porosodástól. Vigyázzunk, össze ne keverjük az üvegek dugóit, mert az egyik nem jó a másikba! Ha az üvegdugó beszorul, oldalról fával ütögetve lazíthatjuk meg. Ha ez nem segít, mosogatószeres vizet tegyünk a dugó peremére. Lassan beszívároგ a csiszolt felületek közé és a dugó kivehető. A fényre érzékeny anyagokat barna üvegben tároljuk. A kép bal szélén egy úgynevezett savüveg van. Még egy külön üvegsapka is védi a tetejét. Tömény savakat ilyen üvegben szokás tárolni, de legalábbis becsiszolt üvegdugós üvegben vagy a gyári üvegjünkben. E helyett tömény savak, erősen páárolgó anyagok üvegét beletehetjük egy nylon zsacskába, amit bekötünk. Szokjuk meg, hogy az üvegből úgy öntünk, hogy a címke a kezünk alatt van. Így az anyag ha végigcsorog is az üveg falán, nem marja szét a címkét.

1.18.3. Üveg- és porceláneszközök. Feltétlenül szükségünk lesz néhányra az 1.18.2 fényképek közül a jobb oldalin látható *lombikok* közül. A jobb oldalon egy *Erlenmeyer-lombik* látható: legtöbbször 200 vagy 300 ml-est használunk. A bal oldalon egy *állólombik* van. Ez nem olyan fontos, de nem árt ha van. Jobbról a második egy 500 ml-es *frakcionáló lombik*. A többi lombik hosszú- illetve rövidnyakú *gömbömbik*. Mivel ezek és a frakcionáló lombik gömbölyű fenekűek, nem állnak meg az asztalon. Fakarikába szokták tenni őket, mint a képen látható: egy vastagabb rétegelt lemezt lombifűrésszel fűrészeljünk szét nagyjából 1 cm széles gyűrűkké. Minden lombik tűzálló, lángelosztón melegíthetőek.



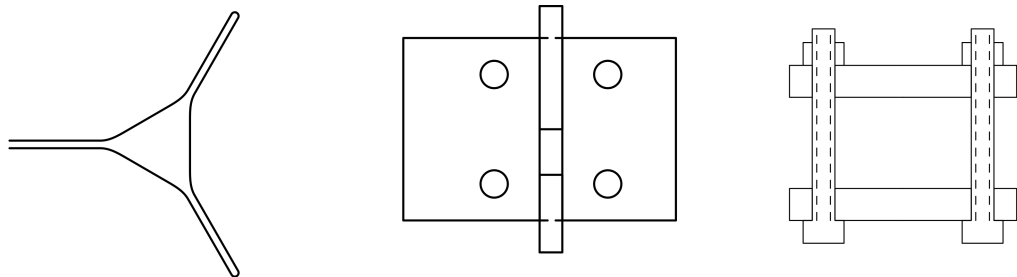
1.18.3 fénykép: további eszközök.

További üveg- és porceláneszközök láthatók az 1.18.3 fényképek közül a balszélsőn. A balszálon egy *főzőpohár*, mellette egy *kristályosító csésze*. Ezek a legkülönbözőbb méretekben kaphatók. Egy 250 vagy 500 ml-es megfelel, de ugyanúgy mint lombikból van 25 ml-től 10 l-ig. Tűzálló konyhai üvegedény is megfelel helyettük. Kisebb edények lefedésére *óraüveget* szoktunk használni. A fényképen a főzőpohár ilyenekkel van lefedve, és még kettő van a kristályosító csésze mellett. Legalább egyet vegyünk a képen látható *üvegtölcsérből*; 45 vagy 55 mm felső átmérőjű megfelel, és nem kell feltétlenül, hogy hosszúszáru legyen. (Hosszabb száru tölsérral gyorsabb a szűrés; a szárnak szívó hatása van.) Persze kell majd néhány műanyag tölsér is. Műanyag palack felső részéből is csinálhatunk alkalmi tölsért, elsősorban porokhoz. Nem árt, ha van egy *borászati kotyogónk*, ami az előtérben látható, és hasznos a képen látható üveg *cseppfogó* is. Az 1.18.3 fényképek közül a középsőn további üvegeszközök láthatók. Szükségünk lesz az alul látható üvegbotokból néhányra, és a felül látható osztott pipettára, de ezt saját magunk is el tudjuk készíteni. Az alatta látható, pontos térfogatmérésre szolgáló három pipetta, és az azok alatt látható csapos büretta nélkülözhető. (Egyébként a pipettákba mérgező anyagot nem szájjal, hanem kis gumilabdával vagy a felső végéhez gumicsővel csatlakoztatott fecskendővel szívunk fel.) A többi üvegeszköz a képen üvegszó: 4-6-8-10 mm-es átmérőjűt szerezzünk be, több méternyit mindegyikből. Megmunkálásáról részletesen szó lesz.

Ha nagyobb hőmérsékletre szeretnénk valamit hevíteni, akkor porcelán eszközöket használunk. Folyadékok hevítésére *porcelán tál* (általában homokfürdőn), izzításra *porcelán tégelyt*. Az 1.18.3 fényképek közül a bal szélsőn jobbról a második egy porcelán tál benne két porcelán tégellyel. A tégelyekhez *tégelyfedő* is kapható. Nem hevítésre, hanem porításra használjuk a *porcelán mozsarat* (újabbban konyhában is használják). A hozzá való törővel nem ütjük, hanem dörzsöljük az anyagot. A fényképen a jobb szélén látható.

1.18.4. Hőforrások. Egy kimustrált villanyrezsó kiválóan megfelel vízfürdő, légfürdő, homokfürdő melegítéséhez. Homokfürdőn anyagokat száríthatunk is, bár erre sokkal kényelmesebb egy (kis) villanysütő, mert a hőmérséklet beállítható. Mégis, a vegyészek szokásos laboratóriumi hőforrása a *gázégő*. Az 1.18.2 fényképek közül a középsőn látható két kis égő elég olcsó, finomabb munkához alkalmasak. Jobbról a második a szokásos, úgynevezett Bunsen-égő, ezt használjuk a leggyakrabban. Üvegmunkákhoz jobb lehet a jobbszálon látható, nagyobb teljesítményű *gázégő*. Ha nem elég nagy a gáznyomás, a gázpalackot forró vízbe tehetjük, de legfeljebb olyan forróba, amennyi a megengedett maximális hőmérséklet a palackra, rendszerint 50 °C. A bal szélén borszeszégő látható.

1.18.5. Egyéb eszközök. Elég sok egyéb eszközt is használunk. Néhány ezek közül az 1.18.3 fényképek közül a jobb oldalin látható. Két drótháló is van a képen, a gázégőkkel ezen szoktunk melegíteni; lángelosztó is megteszi helyettük. Jobbra fenn egy csipesz



1.18.4 ábra.

látható, alatta egy *spatula*. Akármilyen rozsdamentes *csipesz* megteszi, a spatulát pedig helyettesíthetjük egy rozsdamentes késsel. Van még a képen egy vas és egy rozsdamentes acél tégely. Az izzó tégelyeket *tégelyfogóval* foghatjuk meg: az előtérben látható. Esetleg helyettesíthetjük egy kimustrált grillfogóval. Ügyesebbek maguk is készíthetnek tégelyfogót vastagabb vasdrótból. A tégelyt *porcelán háromszögbe* téve izzítjuk. Ezt magunk is elkészíthetjük: az 1.18.4 ábrák közül a bal oldalin mutatott alakúra hajlítunk egy vastagabb vasdrótot. Előtte a középső, háromszög alakú részre rezsóbetétből kivett porcelán gyöngyöket fűzünk, majd a szárazakat összecsavarjuk. Középre jön a tégely. A porcelán gyöngyökre azért van szükség, hogy a lehűlő és összehúzódó vasdrót össze ne roppantsa a porcelán tégelyt. A porcelán háromszöget vasháromlábba helyezve a benne lévő tégelyt gázegővel izzítjuk; a *vasháromláb* a fényképen a bal szélén látható. Lábait fa hosszabbítókba helyezve meg is emelhetjük. Bunsen-állványon lévő szűrőkarikával is helyettesíthetjük. Egyszerű vasháromlábat erősebb drótból is hajlíthatunk: ugyanolyan alakot, persze jóval nagyobbat hajlítunk drótból, mint a porcelán háromszöghöz, a szárazakat összecsavarjuk és lehajtjuk, ez a lába. Ez persze nem valami erős, nagyobb súlyt nem bír el. Erősebbet lapos vasból készíthetünk: a vasból karikát hajlítunk és szegecseléssel vagy csavarozással lapos vasból vagy kör keresztmetszetű vasból készült lábakat erősítünk rá. A lábakat vissza is hajlíthatjuk, ekkor egy csavar vagy szegecs is elég egy lábhoz. A vas karika helyett jó lehet egy nagy konzervdoboz is, aminek az alját és a tetejét is kivágtuk. Mielőtt ilyen vasmunkákba kezdenénk, olvassuk el a fémekről szóló paragrafust. ** Még inkább igaz ez a gyémántmozsár készítésére. Ez nevét onnan kapta, hogy benne nagyon kemény, de törékeny dolgokat — akár gyémántot is — felapríthatunk, amiket a porcelán mozsárban nem. Mindig kiszitáljuk a finom port, és visszatesszük a maradékot a mozsárba. Az esetleges acélszilánkokat mágnessel szedjük ki! A szita egy levágott aljú kis műanyag edényre feszített nylonharisnya darabból állhat. A gyémántmozsár acélból van. Résezeit 6–10 mm vastag acélból kell kivágni. Az alakot az 1.18.4 ábrák közül a középső mutatja. Az eleje illetve a hátulja egy-egy téglalap ugyanebből az anyagból, ami a szaggatott vonalig ér. Az eleje és a hátulja, valamint a bal és jobb szélső darab át van fúrva, és csavarok tartják össze. A középső mozgó részek 5 mm szélesek. A bal oldali darab megfordításával 5, a jobb oldali megfordításával 10, mindkettő megfordításával 15 mm-rel szélesíthető a középső üres rész, ezért készítsünk szélesebb mozgó részeket is. A részeket flexszel vágjuk ki, kilágyítjuk, kifúrjuk, köszörüljük, megedzzük és megeresztjük. Satuba fogva porból tablettákat is préselhetünk vele.

Egy másik lehetőség: törött 6–10 mm átmérőjű fúrószárból vagy köracélból vágjunk

le egy 5–6 mm-es darabot flexszel. Acél tuskót, például kalapácsfejből levágott darabot fúrjunk át ugyanilyen átmérőjű fúróval. Cél szerű ehhez az acélt kilágyítani, és esetleg a végső átmérő 2/3-ával előfúrni. A levágott darab jön a lyuk aljába, a hosszabb darab pedig a tetejébe, a kettő közé az aprítandó anyag, és üllőre téve a hosszabb rudat kalapáccsal ütjük. A hosszabb rudat majdnem teljes hosszában köszörüléssel kicsit elvékonyíthatjuk, hogy meg ne szoruljon. Ha minden működik, az acélt megedzhetjük (a fúródarabot nem kell) és kicsit — világos ezüstös sárgára — megereszthetjük. **

Sok eszköz egyszerű konyhai eszköz. Ilyen az üvegmosó kefe, egy erősebb gumikesztyű. Egy robotgép keverője fűrógépbé fogva kiváló keverő, de üvegből is készíthetünk keverőt, 2–3-szor cikkcakkba hajlítva a végét. Jó ha van kéznél 1-2 ecset, esetleg lúdtoll. Az elmosott eszközöket desztillált vízzel leöblítve egy konyhai műanyag szárítón szárítjuk meg. Műanyag kanalak, pohárcák olcsón kaphatók. Vegyünk egy védőszemüveget, és hajlékony gumi (legjobb a szilikongumi) és műanyag csöveket különböző átmérőben. Ezek összeszorítására legegyszerűbb egy műanyag zacskók lezárására használatos szorítót használni. A pontosan szabályozható, csavaros Hoffmann-szorító keresztmetszetét az 1.18.4 ábrák közül a jobb oldali mutatja: két fa lapocskát két csavar szorít össze. Cél szerű a csavar fejét a fához ragasztani. Ha a felső falapot az egyik oldalon a lyukig bevágjuk, könnyű levenni a csőről. Cél szerű szárnyas anyákat használni. Már volt szó a kémcsőfogóról, vízfürdőről. Nem árt, ha van néhány tiszta tetőcserép vagy téglá: nedves kristályokból kiszívják az anyalúgot, ha rájuk rakjuk. Mázatlan porcelán lap még jobb is lehet.

1.18.6 Kísérlet. Fontos eszköz az 1.18.5 fényképen látható Bunsen-állvány. Most egy szűrőkarika van rajta, amibe tölcserűt szoktunk tenni. A képen egy csapos, úgynevezett választótölcser van benne. Ez elég drága és nem is fontos: nem elegendő folyadékokat szoktak vele szétválasztani. Olcsón pótolhatjuk úgy, hogy a folyadékkeveréket egy megfelelő méretű műanyag palackba öntjük, egy edénybe állítjuk, megvárjuk, míg a két folyadék szétválik, majd gumikesztyűben összenyomjuk a palackot, amíg a könnyebb folyadék mind kifolyik. A Bunsen-állványra viszont szükségünk lesz, és elég drága. Egy nehéz vas talpból és egy beacsavarható vasrúdból áll. A szétcsavarhatóság azért jó, mert könnyebb tárolni. Mivel elég drága, magunk készítünk egyet. A talpa vastag fa, vagy méginkább egy műanyag doboz, amit teleöntöttünk gipszszel; a dobozt és tetejét is rajta hagyjuk a gipszen. A cső alumínium cső, amibe epoxival egy menetes rúd egy darabját vagy egy levágott fejű nagy csavart ragasztunk. A gipszbe belefúrunk és epoxi menetet öntünk bele. Felhasználhatjuk leselejtezett állólámpa talpát is. □

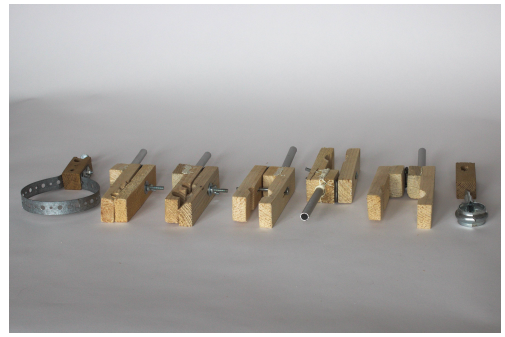
1.18.7 Kísérlet. A Bunsen-állványra *kettősdiónál* erősíthetünk fel szűrőkarikát és a különböző *fogókat*. A kettősdiónálakat magunk is elkészíthetjük hulladék keményfából. Az 1.18.6 fényképek közül a bal oldali szinte mindent elmond. A legegyszerűbb két egymásra merőleges lyukat fúrni a fába, egyikbe jön az állvány rúdja, másikba a fogó rúdja. Egy-egy 6 mm átmérőjű, röviden hatos csavarral szoríthatjuk be a rudat. A legegyszerűbb, ha 5,5 mm-es lyukat fúrunk a fába, becsavarva menetet vág bele a csavar. Ezt láthatjuk a képen a bal szélén. Ha 6 mm-es lyukat fúrunk, akkor a menetet epoxiból öntjük, ez van a következő kettősdiónál. Ha esetleg a menet tönkremenne, fúrunk 0,5 mm-rel nagyobb lyukat, és öntsünk új menetet. Egy másik lehetőség, hogy a bezsírozott csavarra anyát hajtunk, és azt epoxi ragasztóval felragasztjuk a fára, mint a következő kettősdiónál, legjobb ha besüllyesztve. Mindezekben az esetekben a kapupánt csavarokat villáskulccsal kell tekernünk. A következő kettősdiónál a csavart falemezen átdugva, a fejét egy műanyag



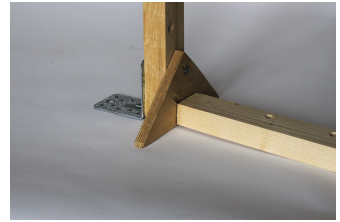
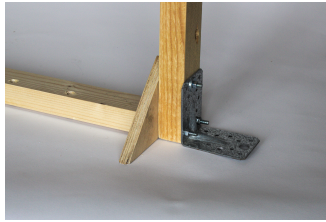
1.18.5 fénykép: bunsenállvány.

kupakba ragasztottam. A kupak belsejét vagdaljuk meg egy kicsit, nehogy elforduljon a ragasztás. Így kézzel is csavarható a csavar. A két utolsó kettősdíót nehezebb elkészíteni, de utólag is feltehető a Bunsen-állványra. Ezeknél anyáscsavart használtam, viláskulccsal tekerhetők. A jobb szélén egy csőbefogóból készült Hoffmann-szorító látható; csavarhúzóval szabályozható.

A fogók az 1.18.6 fényképek közül a jobb oldalin láthatók. Anyaguk puhafa, nyelük fa vagy alumínium rúd, alakjuk a megfogandó lombikhoz, hűtőhöz, csőhöz, stb., alkalmazkodik. A mozgó részre nagyobb lyukat fúrjunk. A két részt felcsavarozható pánt fogja össze. Kapupántcsavarra hajtott szárnyasanyával szorítjuk össze. A fogókat kettősdíval erősítjük a csövekhez. Egy nagy szűrőkarika is van a képen. Kisebb szűrőkarikákat 4–5 mm átmérőjű köracélból (helytelen nevén „gömbvas”) hajlíthatunk, és esetleg mind-



1.18.6 fénykép: kettős diók, szorító és fogók.



1.18.7 fénykép: szerelőfal.

járt a kettős dióba is befoghatjuk, vagy „egyes dióba” befúrjuk és beragasztjuk. A részletek leolvashatók a fényképekről.

1.18.8 Kísérlet. Néha több Bunsen-állványra is szükség lenne. Ilyenkor jobb az 1.18.7 fényképek közül a bal szélsőn látható *szerelőfal*. Minden függőleges alumínium cső egy-egy Bunsen-állványt helyettesít, és vízszintes csöveket is dughatunk bele. Pillanatszorítókkal csavarozzuk az asztalra. A függőleges csöveket az állvány tartja, ha vízszintes csőre is szükségünk van, azt egy kettős dióval egy függőlegeshez kell erősíteni.

A szerelőfal két 2 m-es farúdból készül. Én 35×50 mm keresztmetszetűt használtam. Az egyiket vágjuk félbe, ebből készülnek a lábak. A középső fénykép mutatja az — előlről nézve — bal oldali lábat előlről és kívülről, a jobb szélső pedig hátulról és kívülről. Mint látjuk, a láb külső oldalán egy erős szögvas van, a belső oldalán pedig egy vastagabb (nálam 15 mm vastag) rétegelt lemez négyzetet az átlója mentén szétfűrészelve kapott háromszög. A kettőt kapupántcsavarok fogják össze. A szögvasakat szorítjuk le a pillanatszorítókkal. A háromszögek szerepe a kitérés ellen. Az alsó kereszttrúd rövidebb, mint a felső, nálam 950 mm és 1050 mm. Az alsó kereszttrudat csak egy-egy tipli rögzíti a háromszögekhez. A tipli nincs beragasztva, hogy az állvány könnyen szétszedhető legyen. Minden darabot jelöljünk meg, hogy melyik melyikhez csatlakozik. A felső kereszttrudat egyszerű átlapolással erősítsük a lábakhoz (nem úgy mint én), mert akkor könnyű az egész szétszedni: a felső kereszttrúdnak a hátsó sarkait, a lábaknak az első sarkait vágjuk ki. Hátral két rétegelt lemez háromszög merevíti a felső kereszttrúd csatlakozásait. Három-három kapupánt csavar előlről hátra megy át a háromszögek három sarkán kissé besüllyesztve. A túloldalon alátét és anyacsavar van. □

1.18.9 Kísérlet. A vegyész nagyon sokszor használ *üvegcsöveket*. 1–2 m-es darabok-

MÉG NINCS KÉSZ
1.18.8 fénykép: csőrepszítő.

ban kapható. Magunk vágjuk le a szükséges hosszt. A csövet (vagy botot) háromszög keresztmetszetű reszelő élével a kerület hatodán–negyedén a tengelyre merőlegesen megkarcoljuk egy határozott mozdulattal. Nem szabad „fűrészelni”! Két kézzel megfogjuk úgy, hogy a hüvelykujjaink a karcolással szemben érjenek össze, majd húzva és enyhén nyomva a hüvelykujjakkal eltörjük. Ha egy rövid darabot kell egy csődarab végéből levágni, két összehajtogatott papírszalagot tekerünk a csőre és odaragasztjuk a karcolás mellé, attól 1–1 mm-re. A papírokat megvizezzük, de köztük a cső száraz maradjon. Hegyes túllángot irányítva a karcolásra, a cső körberoped. Nagyobb átmérőjű csöveket is körbereszthetünk az 1.18.8 fényképen látható berendezéssel, az árammal izzított dróthuzallal. Akár üvegvágóval körbekarcolt üvegpalackot is elvághatunk vele: az üvegvágót alkalmas magasságú dobozra szorítjuk, a palackot pedig oldalról hozzányomva körbe forgatjuk. A

karcolást az izzó dróthoz nyomva a repedést körbevezetjük. □

1.18.10 Kísérlet. Egy elvágott vastag palack éles szélét csiszolópapíron lecsiszolhatjuk. Üvegcsővel is eljárhatunk így, de egyszerűbb lángban leolvasztani a végét. Csak tiszta és száraz üveget vigyünk lángba, mert a piszok beleolvad, a vizes üveg pedig elreped! Minden gázlángban végzett üvegmunkánál az üvegcsővet a láng felső harmadában tartjuk, és lassan forgassuk. Az üveg nemsoká elkezdi festeni a lángot, megpuhul, az élek legömbölyödnek. Minden lángban végzett üvegmunka után lehetőleg „lágym” (kevés levegővel kevert) lángban hűtsük le a tárgyat. A melegítés határai ne legyenek élesek, hanem elmosódottak. A lassú lehűtés azért kell, hogy ne maradjon feszültség az üvegben, amitől később elpattanhat. Ha a cső végét ki akarjuk peremezni, akkor bal kézzel forgatjuk a lángban, és ha megpuhult, a jobb kezünkben tartott kúp vagy gúla alakú faszéndarabra állandó forgatás közben rányomva kiperemezzük. □

1.18.11 Kísérlet. Készítsünk vékony üvegcsővet, úgynevezett *kapillárist*! Tartsuk az üvegcsővet két kézzel, vízszintesen a gázlángba és forgatva melegítsük, amíg a lágylulás következtében szűkülni nem kezd. Kivéve a lángból húzzuk szét a két végét. A meglágyult rész megnyúlik. Kis gyakorlattal könnyen kihúzhatjuk a csövet kapillárisra. Minél hosszabb részt puhítunk meg, annál hosszabb kapillárist kaphatunk. Ehhez jó, ha van a gázégőnkre egy *pillangófeltét*. Ilyet láthatunk az 1.18.2 fényképek közül a középsőn, a jobbszélső égőn. Magunk is elkészíthetjük egy megfelelő átmérőjű vékonyfalú csődarabból, ha egyik végét ellapítjuk. Egyébként ha csak ki akarjuk hegyezni az üvegcsővet, akkor rövid részt lágym meg, és úgy húzzuk ki. Ha nem vesszük ki a lángból, az üveg összeolvad és elszakad. Így két kis kémcsövet készítünk, ha az összeolvadt részt melegítve, és esetleg enyhén befűjva legömbölyítjük. Ha a cső végét akarjuk kihúzni, forrassunk hozzá egy üvegcső darabkát.

Kihúzással könnyen készíthetünk osztott pipettát: egyik végét kihúzzuk, levágjuk, óvatosan (könnyen összeforrad!) leolvasztjuk az éles részt. A másik végét csak kicsit húzzuk ki. Beosztást ragasztunk rá, és hideg vízzel súlyméréssel kalibráljuk.

Büretta készítéséhez a cső egyik végét kihúzzuk, a végét levágjuk, és egy gumicsővel összekötjük a cső hosszabb részével. A gumicsőbe beleillő üveggolyó jön, esetleg szorítót teszünk rá.

1.18.12 Kísérlet. Készíthetünk *mosópalackot* egy nagyobb átmérőjű üvegcsőből és egy porüvegből: az üvegcső végét kihúzzuk, a kihúzott részt átdugjuk a dugón, amin egy másik, rövid elvezető cső is átmege. A gáz a kihúzott részen lép be, és a vastagabb csővégen keresztül buborékol át a mosópalackban levő folyadékra, ami a szennyezéseket megköti, majd a másik csövön megy tovább. Sokkal jobb a mosó hatás, ha a vastag csövet hársfaág dugóval bedugjuk: ezen nagyon finom lyukacsok vannak, így nagyon apró buborékok lépnek ki. Ha a hársfa nem áll ellen az alkalmazott vegyi anyagoknak, egy kúpos üvegbot darabra üvegszövetből csavarhatunk dugót. □

1.18.13 Kísérlet. Előfordulhat, hogy olyan anyagot akarunk megszűrni, ami a papírszűrőt megtámadja. Ilyenkor *üvegszűrőt* használhatunk. Az üvegszűrő úgy készül, hogy egy rövid üvegbotot — nem nagyon meglágyítva — kissé kúposra kihúzzunk, a kúpost részt némi hengeres résszel levágjuk, a vastagabb, hengeres végét forrón egy faszéndarabra nyomjuk. A kúpos részt körbetekerjük egy üvegszövet (faljavításra használják) csíkkal, és egy üvegtölcsérbe szorítjuk. Ha nem sikerül a szorosra tekert üvegszövetet beletenni a

tölsérbe, meleg hegedűgyantával leragaszthatjuk, de ekkor az elkészült szűrőből langyos denaturált szesszel ki kell oldani a hegedűgyantát. Akár sütőben is száríthatjuk. □

1.18.14 Kísérlet. Gyakran van szükség különböző átmérőjű üvegcsövek összekötésére. Ilyenkor gyűrűzött véget készítünk a csőre. Ha vastagabb gumicsövet kell rá felhúzni, akkor forgatva megmelegítjük a csövet, de csak annyira, hogy éppen alakítható legyen, majd a lángból kivéve és forgatva enyhe nyomással a szükséges méretű dudort nyomjuk rá. Célszerű két dudort készíteni, a nagyobbat a csővégtől távolabb. Ha vékonyabb a gumicső, kihúzással-összenyomással készítünk dudorokat. Készíthetünk egyik végén vastagabb, másik végén vékonyabb dudorokkal összekötő csövet. Ha kész vannak a dudorok, a felesleges csövet levágjuk. A gumicsövet másfél-két cm-nyit húzzuk rá az üvegcsőre. □

1.18.15 Kísérlet. Üvegcső hajlítása is gyakori művelet. Lehetőleg pillangó feltéttel megmelegítjük a csövet, amíg saját súlya alatt meghajlik. A lángból kivéve, egész kicsit meghúzza hajlítjuk. Ha behorpadna, kicsit bele is fújhatunk (de ekkor a másik vége legyen beforrasztva). Ha hosszú darabon, mindig csak egy kicsit hajlítunk, akkor akár 180°-os hajlítást is készíthetünk belefűjás nélkül. Például nagyobb átmérőjű csőből U alakot hajlítva azt szárítócsőnek használhatjuk, ha megtöltjük szárítóanyaggal és átvezetjük rajta a gázt. (Az U alak a szokásos, de egyenes csődarab is megfelel, ha a szárítóanyagot vatta dugók közé zárjuk.) □

1.18.16 Kísérlet. Üveggömböt úgy fújhatunk csőre, hogy az egyik végét leforrasztjuk, a kívánt helyen enyhén összenyomva anyagot gyűjtünk, jól átmelegítve kivesszük a lángból, és állandó forgatás közben a kívánt nagyságúra felfújjuk. Más üvegmunkáknál is, de itt különösen lényeges, hogy a lángban lassan forgatjuk a csövet, de kivéve a lángból gyorsan dolgozunk vele tovább, mert gyorsan kihűl. A cső végére úgy fújunk gömböt, hogy előbb lezárjuk, mintha kémcsövet készítenénk, majd anyagot gyűjtünk, és aztán kifűjjük. Ha nem gyűjtünk elég anyagot, a gömb nagyon vékony falú és így használhatatlan lesz. □

1.18.17 Kísérlet. A legbonyolultabb üvegmunka, amire esetleg szükségünk lesz, T cső készítése. Csak nagyon hasonló hőtágulású üvegeket lehet összeforrasztani, legegyszerűbb, ha ugyanannak az üvegcsőnek egy másik darabját használjuk. A T tetejét egy üvegcsőből készítjük, aminek egyik végét kihúzzuk és leforrasztjuk. Ugyanígy járunk el a szárával is. A tetejét a közepe táján az egyik oldalán kis helyen kilágyítjuk és óvatosan belefűjünk, hogy egy dudor keletkezzen. A dudort keskeny lángon erősen kilágyítjuk, majd gyorsan kivéve a lángból erősen belefűjünk a csőbe, hogy a dudor kipukkanjon. A foszlányokat lekaparjuk, majd mindkét csövet lágyulásig hevítve hirtelen kivesszük a lángból, összeragasztjuk és egy picit széthúzzuk. A gyűrődéseket keskeny lángon forgatás nélkül behorpadásig hevítjük, majd az eredeti átmérőig kifűjjük. □

1.19 Megmérjük a molekulák tömegét

Mivel az Avogadro-számot ismerjük, egy molekula tömegét megkapjuk, ha a móltömeget osztjuk az Avogadro-számmal. Egy módszert már ismerünk a gázok móltömegének meghatározására, ez a sűrűségmérésen alapul. Folyadékokra, sőt, akár szilárd anyagokra is alkalmazható, ha elpárologtatjuk őket. Két másik módszerrel ismerkedünk meg. Az első az oldatok olvadáspontjának illetve a forráspontjának változásán alapul. Először tehát az olvadáspont illetve a forráspont mérésével kell megismerkednünk.

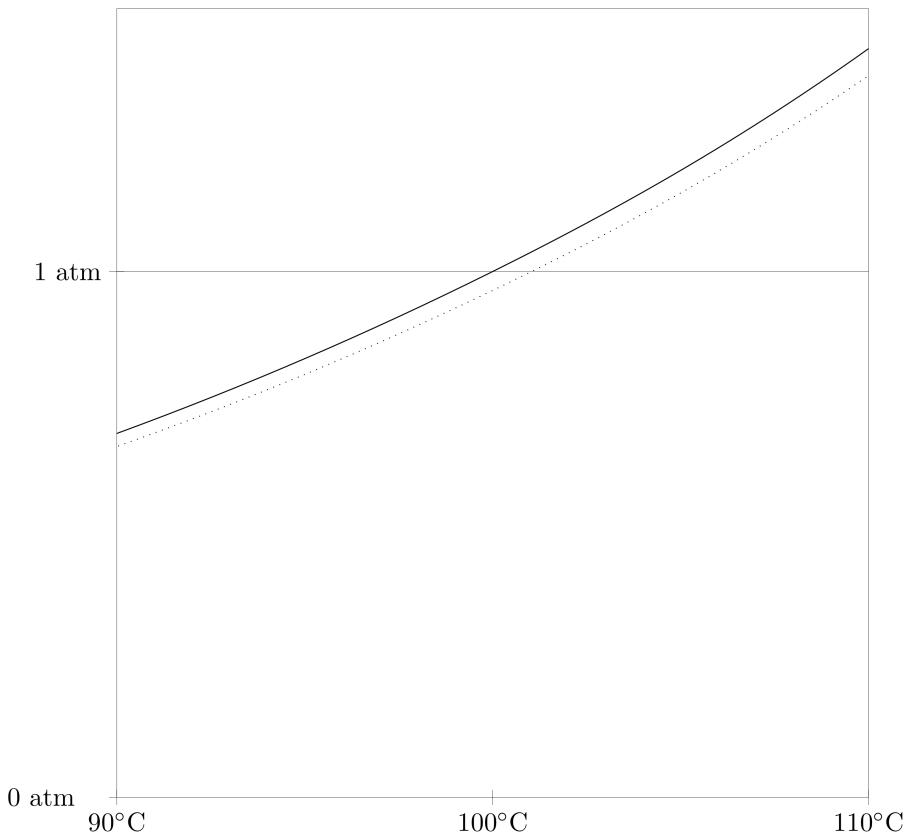
1.19.1 Kísérlet. Az olvadáspont méréséhez készítsünk egy vékony, 1–2 mm átmérőjű kapillárist. Egyik végét forrasztjuk le, a másik végét nyomjuk a vizsgálandó anyag porába, majd a leforrasztott végét ütögetjük egy falaphoz, esetleg ejtsük egy falra egy csövön át. Ezt néhányszor megismételve, pár mm vastag réteget gyűjtünk össze a kapilláris alján. Gumikarikával vagy más módon egy hőmérőhöz erősítve úgy, hogy az anyag az érzékelővel legyen egy szintben, mérjük egy kémcsőben lévő kevés szilikonolajba. (A szilikonolaj előnye, hogy $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól általában $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig használható.) Kis lánggal melegítve a kémcsövet, nagyítóval figyeljük az anyagot. Az olvadáspontnak azt a hőmérsékletet fogadjuk el, amelynél a szemcsék csúcsai, élei kezdenek legömbölyödni. Kipróbálhatjuk például cukorral ($179\text{--}180\text{ }^{\circ}\text{C}$), szőlőcukorral ($147\text{ }^{\circ}\text{C}$, bomlik), citromsavval ($155\text{ }^{\circ}\text{C}$), borkósavval ($170\text{ }^{\circ}\text{C}$) vagy szalicilsavval ($159\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ha az anyag nem tiszta, akkor eutektikum képződik, és annak az olvadáspontját észleljük. Ez felhasználható tisztaságvizsgálatra: a szennyezett anyag olvadáspontját sokkal alacsonyabbnak mérjük, mint a tisztáét. Ennek alapján tisztíthatjuk is az anyagot: kicsit megolvasztjuk, az olvadékat szűrőpapírral leitatva, tisztább anyag marad vissza. Végül ha egy anyagról — esetleg éppen az olvadáspontja alapján — sejtjük, hogy milyen anyag, eldönthetjük, hogy tényleg az-e? Összeolvasztjuk az adott anyagból valamennyivel, és megmérjük a keverék olvadáspontját. Ha nem változott, akkor a két anyag azonos. \square

1.19.2 Kísérlet. A fentiek szerint oldatok, keverékek kezdődő megfagyásának hőmérsékletét nem tudjuk meghatározni. Ehhez egy 4–5 mm átmérőjű, vékonyfalú üvegcsőből 4–5 cm hosszú kis kémcsövet kell készítenünk, és kapillárisból egy még hosszabb szárú tölcserkét. Ezzel a kis kémcsövet 5–10 mm magasságig megtöltjük a keverékkel. A kis kémcső másik végét is leforrasztjuk, hogy az anyag ne párologjon, és összeolvasztjuk a keveréket. A hőmérőre szerelve a szilikonolajos kémcsőben lehűtjük, mérve a kezdődő fagyási hőmérsékletet. Ez azonban csak tájékozódásul szolgál, mert a túlhűlés miatt a mérés nem pontos. Lassan felmelegítjük annyira, hogy már csak néhány szilárd kristályka maradjon, majd újra elkezdjük hűteni. Nagyítóval nagyon pontosan megállapíthatjuk, hogy a maradék kristályok mikor kezdenek növekedni: ez a fagyáspont. Vizes oldatok fagyáspontcsökkenésének mérésére egy még egyszerűbb módszer fogunk használni, lásd kicsit később. \square

1.19.3 Kísérlet. Forráspontot egy 0,6–1,2 mm átmérőjű, 7–10 cm hosszúságú kapillárisal mérhetünk. Az egyik végét még vékonyabb kapillárisra húzzuk ki, és kb. $1\ \mu\text{l}$ folyadékot szívunk fel. A vékony kapillárist kicsi lángban leforrasztjuk úgy, hogy a folyadék alatt apró légbuborék maradjon. A kapillárist hőmérőre szerelve a szilikonolajba tesszük. Melegítve a folyadékcseppecske a forrásponton felemelkedik a szilikonolaj felső szintjéig. Lehűtve rendszerint visszamegy, így a mérés többször is megismételhető. \square

1.19.4 Kísérlet. Mint az oldatoknál tapasztaltuk, ha valamilyen nem párologó anyagot oldunk fel vízben, az oldat forráspontja emelkedik, fagyáspontja pedig csökken. Híg oldatoknál ez jó közelítéssel arányos az 1 kg oldószerben oldott mólok számával, és vizes oldatokra a forráspontnövekedés $0,51\text{ K/M}$, a fagyáspontcsökkenés pedig $1,86\text{ K/M}$.

Akármilyen oldószerben oldjunk fel valamilyen anyagból egy keveset. Ha x az oldószer móltörtje az oldatban (azaz az oldószer móljainak száma osztva az összes mólok számával), akkor az oldatból kilépő oldószer molekulák száma arányos lesz x -szel. Így az oldószer parciális nyomása a gőztérben arányos lesz x -szel, amíg x közel van 1-hez, azaz az oldat híg. Ez *Raoult törvénye*. A forráspontemelkedés és a fagyáspontcsökkenés is ezen



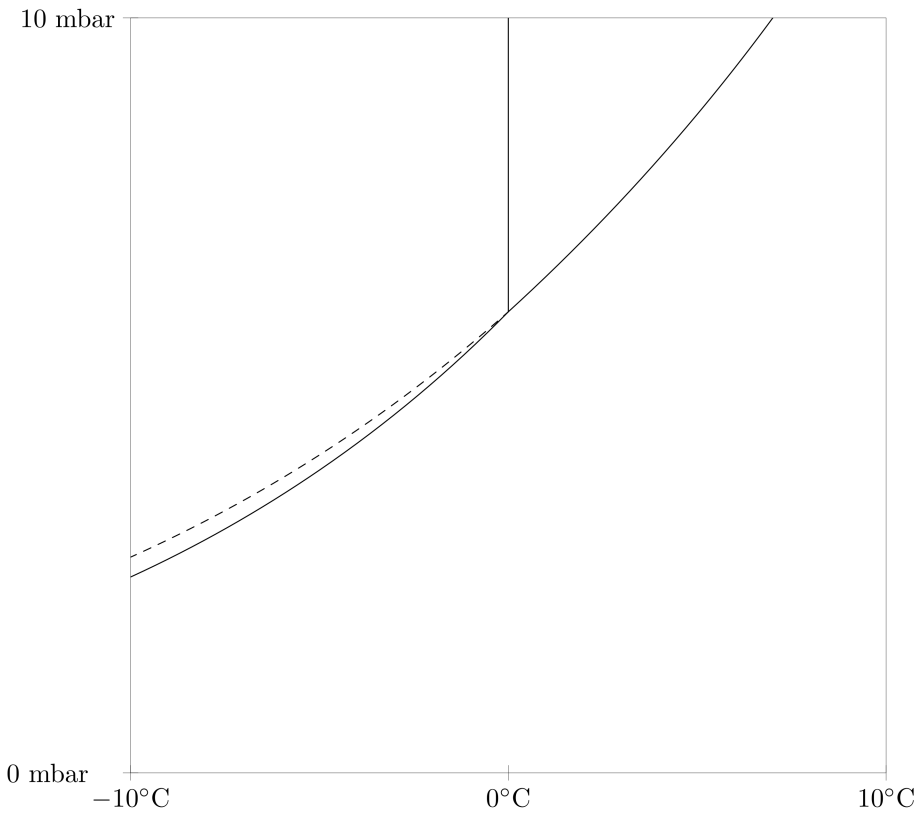
1.19.1 ábra: a víz állapotábrája, részlet.

múlik. (Vannak olyan elegyek, amelyekre ez minden x -re érvényes, a másik komponens gőznyomására is. Ezek az *ideális elegyek* ritkák, csak akkor lépnek fel, ha a két összetevő kémiaiag nagyon hasonló.)

** A forráspontnövekedést könnyebb megérteni. A víz móltömege 18,016 g. Ez azt jelenti, hogy 1 l víz $\approx 55,5$ mol. Ha mondjuk c mol nem párolgó anyagot oldunk fel 1 l vízben, akkor a molekulák $\approx c/(55,5 + c) \approx c/55,5$ -ed része nem fog elpárologni, a vizet mintegy „felhígítottuk” a párolgás szempontjából, és 100 °C-on a gőznyomás $p = 1$ atm helyett $\Delta p \approx c/(55,5 M)$ atm-val kisebb lesz. Csak ha növeljük a hőmérsékletet, akkor éri el a 1 atm nyomást. (Lásd az 1.19.1 ábrát. A víz gőznyomásgörbéje folytonos, az oldaté pontozott vonal.) De tudjuk, hogy

$$\frac{\Delta p}{p} \approx \frac{\Delta T}{T} \cdot \frac{H}{K \cdot T},$$

ahol H a párolgáshő, és vízre $H/(K \cdot T) \approx 13,1$ a $T = 373,15$ K forrásponton. Innen $\Delta T \approx T \cdot c/(13,1 \cdot 55,5 M)$, arányos a M =mol/l-ben mért koncentrációval, és az arányossági tényező 0,51 K/M. A közelítés nyilván annál pontosabb, minél kisebb a koncentráció.



1.19.2 ábra: a víz állapotábrája, részlet.

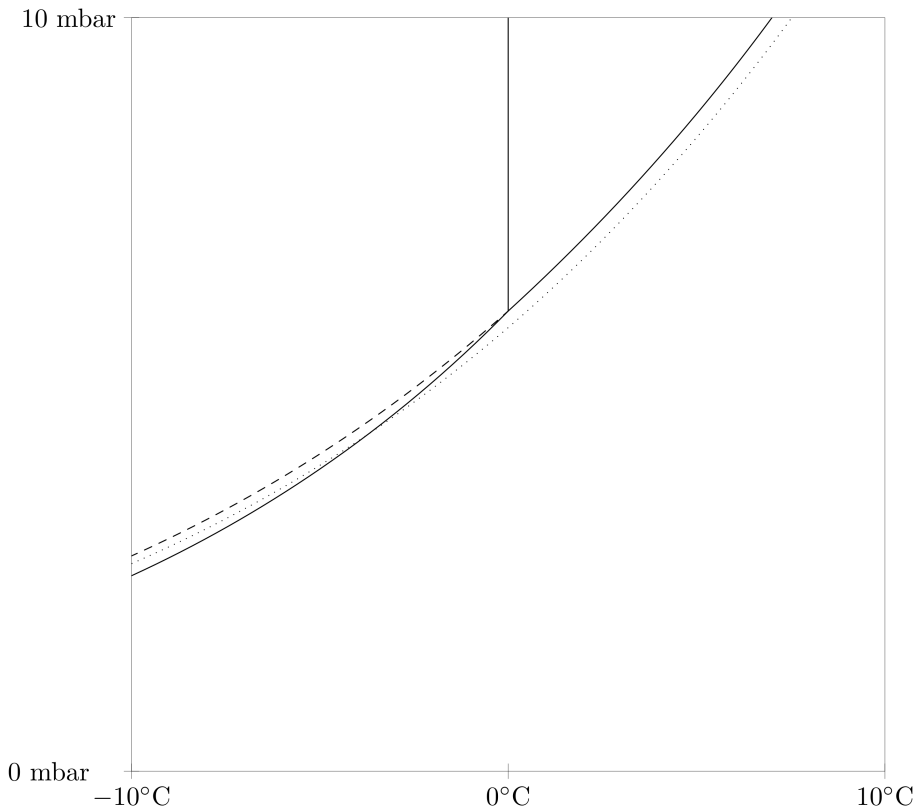
A gondolatmenet a fagyáspontcsökkenésre bonyolultabb. Először azt kell megérteniünk, miért van egyáltalán fagyáspontcsökkenés. Egy légmentes edénybe tegyünk elég sok oldatot. A víz egy kis része nyilván elpárolog. Ha a hőmérséklet a víz hármaspontjának megfelelő $T = 273,16$ K, akkor a gőznyomás kisebb, mint a víz p gőznyomása a hármaspontján, mert az oldat gőznyomása $\Delta p \approx p \cdot c / (55,5 M)$ -mel kisebb, mint p . Jég nem lehet jelen, mert annak — tiszta vízből állván — a gőznyomása p lenne, tehát elpárologna, a gőz pedig lecsapódna az oldatba. Ha csökkentjük a hőmérsékletet, a tiszta víz gőznyomása Δp_1 -gyel csökken,

$$\frac{\Delta p_1}{p} \approx \frac{\Delta T}{T} \cdot \frac{H_1}{K \cdot T},$$

ahol H_1 a tiszta víz párolgáshője. Még gyorsabban csökken a tiszta jég gőznyomása:

$$\frac{\Delta p_2}{p} \approx \frac{\Delta T}{T} \cdot \frac{H_2}{K \cdot T},$$

ahol H_2 a tiszta jég párolgáshője, ami az olvadáshővel nagyobb a tiszta víz párolgáshőjénél. Az 1.19.2 ábrán a túlhűtött víz gőznyomását szaggatott vonal, a víz és a jég



1.19.3 ábra: a víz állapotábrája, részlet.

gőznyomását pedig folytonos vonal jelzi. Így valamikor az oldat gőznyomása egyenlő lesz a tiszta jég gőznyomásával, és ekkor indul meg a tiszta jég kiválása. Ez akkor következik be, amikor $\Delta p + \Delta p_1 = \Delta p_2$, azaz $\Delta p = \Delta p_2 - \Delta p_1$. (Lásd az ?? ábrát, ahol pontozott vonal jelzi az oldat gőznyomását.) De

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta p_2 - \Delta p_1}{p} \approx \frac{\Delta T}{T} \cdot \frac{H_2 - H_1}{K \cdot T},$$

ahol $H = H_2 - H_1$ a jég olvadáshője. Innen

$$\frac{c}{55,5 \text{ M}} \approx \frac{\Delta T}{T} \cdot \frac{H}{K \cdot T},$$

tehát $\Delta T \approx c \cdot T^2 \cdot K / (H \cdot 55,5 \text{ M})$ arányos az $M = \text{mol/l}$ -ben mért koncentrációval, és az arányossági tényező $H \approx 79,7 \cdot 4,1868 \text{ J/g}$, $K \approx 0,4616 \text{ J/(K}\cdot\text{g)}$ miatt $1,864 \text{ K/M}$. **

Nézzük a kísérletet. Cukor móltömegét fogjuk meghatározni. Készítsünk kb. 15 %-os, de pontosan ismert töménységű cukoroldatot. Egy lapos műanyag tálba öntve, az oldat egy részét tegyük be a mélyhűtőbe, benne egy hőmérővel. Ha már -2 – -3 °C-os, és még nem kezdtek el jégkristályok kiválni, kapargassunk bele egy kis jeget a mélyhűtő oldaláról.

Ekkor megindul a jégkristályok kiválása, és a hőmérséklet kicsit emelkedik. Kevergessük a hőmérővel, és ha már nem emelkedik a hőmérséklet, olvassuk le. Megkapjuk a fagyáspontcsökkenést. Csináljunk egy második, pontosabb mérést is. Most csak $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal engedjük az oldatot az előbb leolvasott fagyáspont alá hűlni, egyébként teljesen hasonlóan járunk el. Ahányszor a fagyáspontcsökkenés kisebb $1,86\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál, annyiszor kisebb az egy kilogramm vízre jutó mólok száma 1-nél. Mivel az 1 kg vízre jutó cukor tömegét ismerjük, kiszámolhatjuk a móltömeget. Természetesen mérésünk rendkívül pontatlan, mert néhány tized fokos hőmérsékletkülönbséget akarunk $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os beosztású hőmérővel mérni. A vegyészek ehhez a méréshez olyan hőmérőt használnak, amelyek beosztása $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$, és $0,001\text{ }^{\circ}\text{C}$ még becsülhető vele. Pontos mérések szerint a cukor móltömege $342,30\text{ g}$. Pontosan ugyanígy határozhatjuk meg a szőlőcukor móltömegét, ami pontos mérések szerint $180,16\text{ g}$. Ha hozzájutunk karbamidhoz (műtrágya), annak a móltömegét is meghatározhatjuk: pontos mérések szerint $60,03\text{ g}$. Talán meglepő, de a szesz móltömegét is meghatározhatjuk vizes oldatának fagyáspontcsökkenése alapján, és pontos méréseknél $46,07\text{ g}$ adódik. Természetesen szesznél nem, de a többi anyagnál a forráspontemelkedés is használható. \square

Az ember azt hinné, a sók móltömegét is meg tudjuk határozni ezzel a módszerrel, azonban ez nem így van. A sók oldódáskor ionokra bomlanak, és az ionok külön-külön molekulaként viselkednek, így a valódi móltömegnek a felét, harmadát, stb. mérjük, attól függően, hogy a só egy molekulája hány ionra bomlott. Éppen azt bizonyítja a mérés, hogy a sók ionokra bomlanak.

1.19.5 Kísérlet. A forráspontemelkedést még sokkal nehezebbnek tűnik móltömeg meghatározására felhasználni, mint a fagyáspontcsökkenést. Van azonban egy nagyon szellemes módszer, amivel a forráspontnövekedést használhatjuk fel, még hozzá hőmérő nélkül, ha már néhány anyagnak ismerjük a móltömegét. Készítsünk az ismeretlen móltömegű anyagból ismert töménységű (de elég híg) oldatot, és töltsünk meg vele feléig-kétharmadáig egy kapillárist úgy, mintha forráspontmérést akarnánk végezni. Ugyanannak a kapillárisnak egy másik darabját (fontos, hogy egyforma átmérőjűek legyenek) töltsük meg feléig-kétharmadáig egy ismert móltömegű anyag ismert töménységű oldatával, például cukoroldattal. A két kapillárist nyitott végükkel egymás felé fordítva betesszük egy kicsit nagyobb átmérőjű kapillárisba, amennyire lehet, kiszivattyúzzuk a levegőt (például egy injekciós fecskendőt használva légszivattyúnak), és ebben az állapotban kihúzza leforrasztjuk a külső kapillárist. A víz a mol/l-ben mérve hígabb oldatból addig párolog át (néhány nap alatt) a másik oldatba, amíg egyforma töménységek nem lesznek. Hogy a víz hanyad része párologott át, azt egyszerűen hosszmeréssel állapíthatjuk meg. Jó, ha az ismert anyag móltömege hasonló az ismeretlen anyagéhoz, például cukor mellett szőlőcukrot és karbamidot használhatunk.

1.19.6 Kísérlet. Van még egy jelenség, amit fel lehet használni móltömeg meghatározására, ez az *ozmózis*. A kísérlethez szükségünk lesz egy peremezett szájú üvegtölcsérre és egy darab celofánra. Peremezett szájú üvegtölcsérnek én az üveg „kotyogót” használtam. A celofán nagyon finom lyukacsokat tartalmazó finom hártya. A lyukacsokon a baktériumok és gombaspórák, de még a kolloidok szemcséi sem férnek át, a vízmolekulák viszont igen: a celofán úgynevezett *féligáteresztő* hártya. A normál celofán víz hatására nedvesedik és gyorsan hullámosodik, íze édeskés. A páraátbocsátó képesség csökkentésére gyakran lakkozzák egyik vagy mindkét oldalán. A lakkozott celofán lakkozott oldaláról a víz leperreg. Egy $80\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű vizet tartalmazó főzőpohár külső oldalához si-

mítva, sem a lakkozott, sem a lakkozatlan oldal nem tapad. A hőképlékeny celofán egyik oldalán lakk, a másikon PE réteggel van bevonva. A PE bevonatról is leperreg a víz, nem olyan fényes, mint a lakkozott oldal, a főzőpohár oldalához tapad. A fóliát beszakítva a szakadt celofán részek között látható a megnyúlt PE réteg. Kísérletünkben a lakkozás nem jelent gondot, de a PE réteg igen. Keressünk tehát olyan celofánt, amin nincs PE réteg. A tölcser szájára feszítsünk celofánt jó erősen odaerősítve befőttes gumikkal vagy zsineggel. Töltsük meg a tölcserkét tömény cukoroldattal, és felfüggesztve lógassuk egy tálka vízbe. A celofán minőségétől függően a víz lassan (akár egy napig is tarthat) pár centimétert felemelkedik a tölcser szárában. Ez az ozmózis. A vízmolekulák átjutnak a celofán lyukacsain, a cukormolekulák pedig nem. Mivel a tölcserben „hígabb” víz van, onnan kevesebb víz áramlik a tálba, mint fordítva.

Számoljuk ki, tökéletesen féligáteresztő hártvánál milyen nagy az ozmózisnyomás, ami felemeli a vizet a tölcser szárában. ** Gondolatban tegyük az egész elrendezést egy magas hengerbe, amiből kiszivattyúztuk a levegőt, csak vízgőz van benne. Várjuk meg, amíg beáll az egyensúly. Legyen az oldat magassága a tölcser szárában h . Ha F a keresztmetszet, akkor az oldat tömege a szárban $F \cdot h \cdot \varrho_0$, ahol ϱ_0 az oldószer sűrűsége; mivel az oldat híg, a sűrűségét egyenlőnek vehetjük a tiszta oldószer sűrűségével. Az oldat súlya hozza létre azt a nyomást, amely egyensúlyt tart a p ozmózisnyomással. A súlyt megkapjuk, ha a tömeget megszorozzuk valamely g konstanssal, ami attól függ, hol vagyunk. Így $p = F \cdot h \cdot \varrho \cdot g / F = h \cdot \varrho \cdot g$. Meg szeretnénk határozni h -t. Legyen a tiszta oldószer gőznyomása a tálka felett p_0 . Ez a gőznyomás felfelé csökken, h magasságban már csak $p_1 = p_0 - h \cdot \varrho_0 \cdot g$, ahol ϱ_0 az oldószer gőzének sűrűsége, amit állandónak veszünk, mivel a h magasság nem túl nagy. A p_1 gőznyomásnak meg kell egyeznie az oldat feletti gőznyomással, mivel egyébként másodfajú örökmozgó keletkezne. Az viszont Raoult törvénye szerint $p_1 = x \cdot p_0$, ahol x az oldószer móltörtje az oldatban. Így $p_0 \cdot (1 - x) = h \cdot \varrho \cdot g$, amiből kifejezve h -t és beírva a p -re vonatkozó kifejezésbe, $p = \varrho \cdot p_0 \cdot (1 - x) / \varrho_0$; a g konstans kiesett, ahogy kell, mivel az eredmény nem függhet attól, hol vagyunk. Ha m_0 a gőz tömege, V_0 a térfogata, M_0 az oldószer móltömege, akkor az általános gáztörvény szerint

$$p_0 \cdot V_0 = \frac{m_0}{M_0} \cdot R \cdot T,$$

ahonnan

$$\varrho_0 = \frac{m_0}{V_0} = \frac{p_0 \cdot M_0}{R \cdot T}.$$

Ezt behelyettesítve azt kapjuk, hogy

$$p = \varrho \cdot (1 - x) \cdot R \cdot T / M_0.$$

Mivel ϱ az egységnyi térfogatra jutó tömeg, ϱ / M_0 az egységnyi térfogatra jutó mólok száma. (Az oldat híg, így átlagos móltömege közel M_0 .) Mivel $(1 - x)$ az oldott anyag móltörtje, $(1 - x) \cdot \varrho / M_0$ az oldott anyag egységnyi térfogatra jutó móljainak száma, azaz a c koncentráció. ** Amit kaptunk, az van't Hoff törvénye:

$$p = c \cdot R \cdot T,$$

ahol c a koncentráció M-ben. Az ozmózisnyomás nem függ az oldószertől. Ha V térfogatban n mol oldott anyag van, akkor $c = n/V$, és van't Hoff törvénye formailag teljesen megegyezik az általános gáztörvénnyel:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T.$$

□

1.19.7 Kísérlet. A van't Hoff törvény mutatja, hogy az ozmózisnyomás általában nagyon nagy. Például az úgynevezett izotóniás ('egyenlő nyomású') sóoldat fagyáspontcsökkenése $0,52\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mint láttuk a levezetésben, az ozmózisnyomás a gőznyomáscsökkenéssel, így közvetetten a fagyáspontcsökkenéssel van kapcsolatban, és ilyen sóoldat ozmózisnyomása 6–8 bar, a hőmérséklettől függően. Ez az elég nagy nyomás emeli fel a vizet a fák és más növények törzsében. Ha egy sebbe tiszta víz jut, ekkora nyomás feszíti belülről a még ép sejteket. Az izotóniás sóoldat, ami egyébként 9‰ -es, éppen olyan ozmózisnyomású, mint a sejtekben lévő folyadék. Ilyen sóoldatba keverik el az injekciók anyagát, így az injekció csak minimálisan roncsolja a sejteket. Nagyobb ozmózisnyomású oldat is káros a sejtek közötti térben: a sejtek folyadékot veszítenek, működésük sérül. Gondoljunk arra, hogy csíp, ha só jut egy sebbe.

Miért nem észleltük ezt az elég nagy ozmózisnyomást az előző kísérletben? A celofán igen-igen tökéletlen féligáteresztő hártya. A vegyész ugyan maga is tud (majd később) sokkal jobbat készíteni, de vegyük inkább igénybe a természet készítményét. * A kísérlethez mikroszkópra lesz szükségünk. Egy lila hagyma egyik belső levelének külső héjából nyúzzunk le egy csipesszel egy nagyjából 5 mm átmérőjű darabkát. Tegyük egy tárgylemezre, cseppentsük le egy csepp vízzel, és tegyük rá egy fedőlemezt. Nagyjából 100-szoros nagyításban jól látszanak a lila héj nagy sejtjei. Némelyik lila folyadékkal van tele, ezeket különösen könnyű megfigyelni. Cseppentsünk a fedőlemez egyik éléhez szemcseppentővel egy csepp tömény oldatot, például sóoldatot, a szemközti élhez pedig tartunk egy papírsebkendő darabkát. A papír átszívja a folyadékot a fedőlemez alatt, és a lila sejtek némelyike „összemegy”, fala elválik a sejteket szétválasztó faltól. Többféle töménységű oldat „áthúzásával” is próbálkozhatunk. * □

Egyébként az izotóniás sóoldat fagyáspontcsökkenése $0,52/1,86 \approx 0,28\text{ M}$ -nek felel meg. Innen a só móltömegére $9/0,28 \approx 32\text{ g}$ adódna, míg a valóságban $\approx 58,5\text{ g}$. Az eltérést az magyarázza, hogy két ionra bomlik.

1.19.8 Kísérlet. Ha valakinek nincs mikroszkópja, nagy „sejtet” kell vennie. Ilyen a tojás. A kísérlet lényege, hogy leoldjuk a tojás héját, majd tiszta vízbe tesszük. Ettől felduzzad. Ha sós vízbe tesszük, akkor újra kisebb lesz. Több helyen is olvastam ezt a kísérletet, de nekem nem volt szembetűnő a változás. Ezért így végeztem el: Egy tojást egy 1 dl-es pohárba tettem, és a poharat teleöntöttem erős, 20‰ -os ecettel. A tojás héja pezsgés közben leoldódik. Egy nap múlva már alig pezsgett, de lemosva még volt rajta héj. Ezért friss ecetet öntöttem rá. Újabb egy nap múlva a héj teljesen leoldódott. Lemosva a tojást, előtűnt a vékony féligáteresztő hártya. A tojás lemérve $60,13\text{ g}$ volt. Visszatettem a kimosott pohárba, és csapvizet öntöttem rá. Két nap múlva megmérve a tömege $62,13\text{ g}$ lett. Bőségesen szórtam a vízbe konyhasót. Időnként befogva a poharat felfordítottam, hogy a sóoldat elkeveredjen. Újabb 2 nap múlva a tojást már csak $59,30\text{ g}$ -nak mértem.

□

1.20 Lepárlás mégegyszer

A *lepárlás*, idegen szóval *desztilláció* a vegyész számára fontos művelet, foglalkozunk vele részletesen. A szesz lepárlásával fogunk foglalkozni. Ennél vannak egyszerűbb és bonyolultabb esetek is, mindenesetre ha ezt jól megértjük, akkor jól elboldogulunk.

MÉG NINCS KÉSZ
1.20.1 fénykép: egyszerű hűtő.

1.20.1 Kísérlet. Állítsunk össze egy komolyabb desztilláló berendezést. Szükségünk van egy forralóedényre és egy hűtőre. A vegyész forralóedénye egy lombik, amit átfúrt dugóval dugunk be. Ha nincs megfelelő lombikunk, helyettesítheti egy nagyobb üveg, amit alumínium háromszögre állítva vízfürdőben LASSAN melegíthetünk. (Ha nagyobb hőfok kell, használhatunk sóoldatot; alkalmas sóval 180 °C-ig felmehetünk, lásd később.) Ha nagyobb méretekben akarunk dolgozni, akkor jól megfelel egy régi kuktafazék. Ha ez sincs, átfúrt üvegfedőt szoríthatunk egy fazékra, körben szilikongumi tömítéssel, stb. A dugóba jön egy rövid üvegcső, amihez műanyag (legjobb a szilikongumi) csővel kapcsolódik egy ferdén lefelé lejtő üvegcső, a *hűtőcső*. A hűtőcsövet rövid műanyag csővel csatlakoztathatjuk egy, a *szedőedény*be lazán illeszkedő átfúrt dugó üvegcsővéhez. Az egész berendezés ne legyen zárt, mert akkor a gőznyomás szétveti. Kivétel a *vákuumdesztilláció*, amikor melegítésre könnyen bomló anyagot légritka térben desztillálunk, hogy alacsonyabb legyen a forráspont; ekkor viszont a szedő edényhez csatlakoztatjuk a vízszugárszivattyút, és a gumicsövek vákuumcsövek.

Egyelőre maradjunk a közönséges lepárlásnál. 150 °C feletti forráspontnál a hűtőcsőnek elég a levegő hűtő hatása. Ez alatt viszont vízhűtést alkalmazunk. A legegyszerűbb, ha a hűtőcsőre egy papír vagy vászon szalagot tekerünk, és arra vizet csepegtetünk. A víz végigszivárog a szalagon, részben elpárolog, a maradék a szalag alsó, lelógó darabjáról csepeg le. Ilyen egyszerű hűtőt mutat az 1.20.1 fénykép. E helyett a kissé primitív megoldás helyett legtöbbször Liebig-hűtőt alkalmazunk. Ilyet látunk az 1.20.2 képen. A lényege, hogy a hűtőcsövet egy külső, nagyobb átmérőjű üvegcső veszi körül. Ebbe alul hideg víz lép be, és szembe haladva a hűtőcsőben áramló gőzzel felül lép ki. Így a hideg víz a már lehűlt gőzzel találkozik, a már felmelegedett víz pedig a forró gőzzel, tehát a hűtővíz kihasználása a lehető legjobb. Ez az *ellenáram elve*; nagyon gyakran használják a vegyiparban. A Liebig-hűtő elég drága. Különböző hosszban árulják: 25 cm, 40 cm, 75 cm. Alacsonyabb forráspontú anyag desztillálásához hosszabb hűtő és gyorsabban áramló, hidegebb víz kell. Magunk is készíthetünk Liebig-hűtőt: nagyobb átmérőjű üvegcső két végébe karton karikákkal beillesztjük a hűtőcsövet illetve a víz be- és kivezető csövet, és szilikongumival



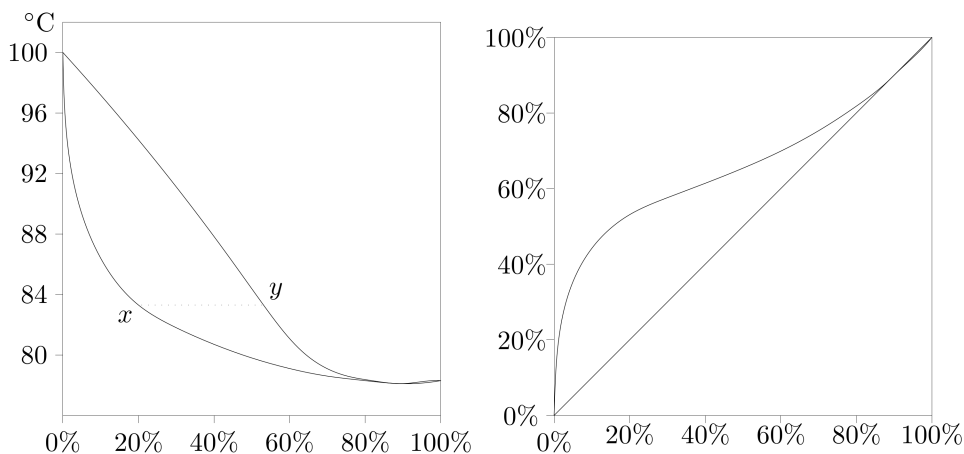
1.20.2 fénykép: Liebig hűtő.

MÉG NINCS KÉSZ
1.20.3 fénykép: saját Liebig hűtő.

beragasztjuk. Ilyen hűtőt mutat az [1.20.3 fénykép](#). Ha lemondunk arról, hogy lássuk a hűtőcsövet, akkor a nagyobb átmérőjű üvegcső helyett műanyag csövet is használhatunk.

Meg kell még oldanunk a víz hozzávezetését és elvezetését a hűtőhöz. Legegyszerűbb a vízcsapra csatlakoztatni a vízbevezető csövet, ha tudjuk, és a lefolyóhoz vezetni az elvezető csövet. Enélkül is boldogulhatunk: a vízbevezető csövet egy nagy kanna vízbe dugjuk, megszívjuk az elvezető csövet, és a kanna emelésével megindítjuk majd szabályozzuk a vízáramot. Az elfolyó víz egy nagyobb tartályba gyűlik. Ne felejtjük el utánaötlni a kannát! Ha kész a berendezés, valamilyen szeszes folyadék, például hulladék bor desztillálásával nyerhetünk szeszt. (Innen a név: *borszesz*.)

Vajon milyen tömény lesz az így kapott szesz? Az [1.20.4 ábra](#) bal oldala a vizes szesz



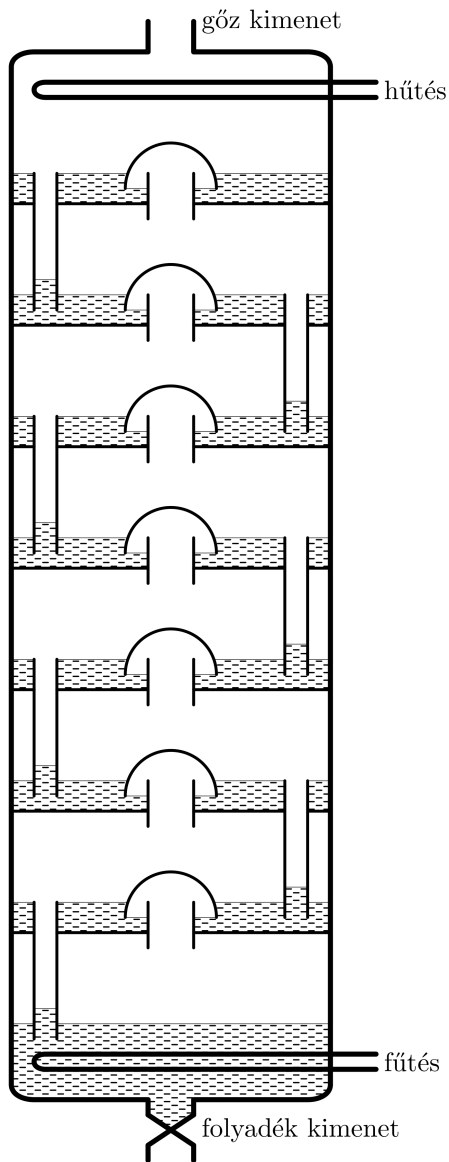
1.20.4 ábra: vizes szesz állapotábrája.

állapotábrája 1 atm nyomáson. Az alsó görbe alatt csak folyadék van. Az alsó görbe a forráspontgörbe, ha a folyadékot melegítve ezt elérjük, a folyadék elkezd forni. A felső görbe az úgynevezett *harmatpontgörbe*, e fölött csak gőz van. Ha a gőzt hűtve ezt elérjük, a folyadék elkezd lecsapódni. Ha a két görbe között vagyunk, például az x és y pontokat összekötő szakaszon valahol, akkor 1 atm nyomáson két fázis van: az x állapotú folyadék és az y állapotú gőz. Ha a gőzt elvezetjük és cseppfolyósítjuk, akkor — mivel abban több a szesz — az x pont eltolódik a forráspontgörbén balra, és így vele együtt a harmatpontgörbén az y pont is. Végül amikor a folyadék szesztartalma már jelentéktelen, abba hagyhatjuk a lepárlást és a maradék moslékot (ez a neve a szeszgyártásban) kiönthetjük. Hogy amit kaptunk szesz az milyen tömény, attól függ, a kiindulási anyag milyen tömény volt. Ha 10–15%-os borból vagy cefréből indultunk ki, akkor általában 30–40%-os. Ezt újra lepárolhatjuk. Nem is érdemes tovább párolni, mint amíg a maradék ugyanolyan híg nem lesz, mint a kiindulási cefre, mert a maradékot a kiindulási anyaghoz adhatjuk. Pálinkafőzésnél általában 2–3 lepárlást használnak és 40–50%-os szeszt kapnak. □

1.20.2. Azeotrópos elegy. * A következő táblázat a hőmérséklet függvényében adja meg az x és y százalékokat:

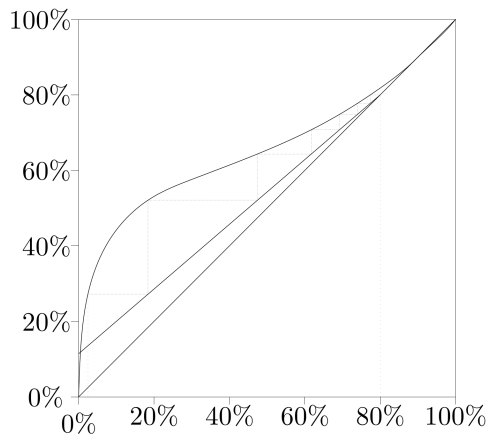
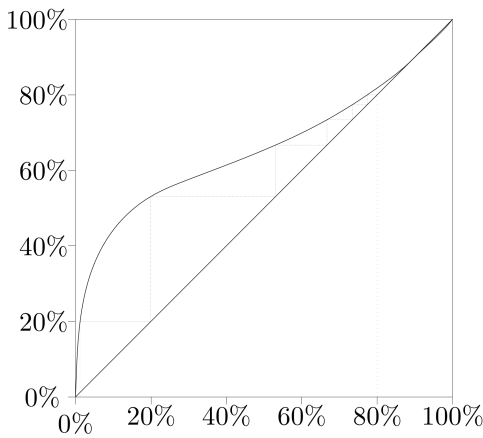
°C	x	y	°C	x	y
86,4	10,0%	44,2%	79,1	60,0%	69,9%
83,3	20,0%	53,1%	78,6	70,0%	75,3%
81,8	30,0%	57,6%	78,3	80,0%	81,8%
80,7	40,0%	61,4%	78,2	89,4%	89,4%
79,8	50,0%	65,4%	78,3	100,0%	100,0%

A táblázatot nézegetve feltűnő lehet, hogy a legalacsonyabb forráspont 78,2 °C, és ennél a folyadék és a gőz összetétele egyforma. Ezen az összetételen tehát akárhány desztillálással sem tudunk átjutni, ez változatlanul forró elegy, mint már volt szó róla. Ha ennél töményebb a szesz, akkor a gőz hígabb, mint a folyadék, ami elpárolog, az közelebb van az azeotropos összetételhez, mivel így kisebb a forráspontja.* □



1.20.5 ábra: finomító oszlop.

1.20.3 Kísérlet. ** Nyilván nem kényelmes újra meg újra desztillálni valamit. Az ötlet az, hogy a felszálló gőz forralja a már desztillált folyadékot, miközben maga lecsapódik. Ez valósul meg az 1.20.5 ábrán keresztmetszetben ábrázolt *finomító toronyban*. A torony alján lévő üstbe oldalról egy fűtőcső nyúlik be, és forralja a benne lévő folyadékot. Ez a gőz a még hideg toronyban felszáll a középső vastag csövön, lecsapódik az üst fölött lévő első tányéron, és ott összegyűlik. Összetétele megfelel az egyszeri desztillálással kapott párlatnak. Amikor már elég sok gyűlt össze, a középső csövön felszálló gőz a cső

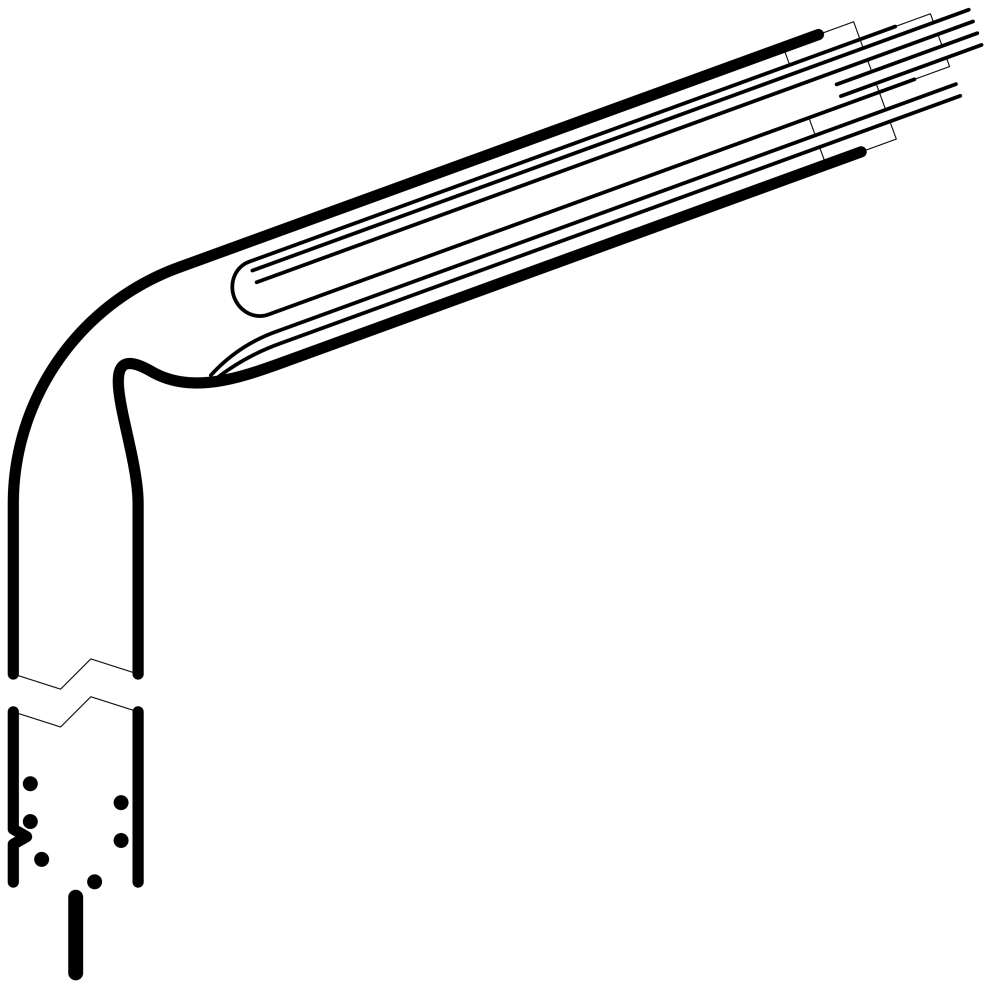


1.20.6 ábra: vizes szesz finomítása.

fölött lévő sapka miatt kénytelen átbuborékolni rajta. Részben lecsapódik, és forralja az első tányéron levő folyadékot. Az innen továbbhaladó gőz összetétele megfelel a kétszeri desztillálással kapott párlatnak, ez tölti fel a második tányért, stb. Nyilván nem jó, ha a torony hőszigetetlen, mert akkor valamilyen magassáig minden pára lecsapódik és visszafolyik az alsóbb tányérokra, ezért a finomító tornyot kívülről hőszigetelik.

Hogy jobban megértsük a finomító torony működését, ábrázoljuk az y gőzösszetételt az x folyadékösszetétel függvényében. Ez látható a szesze az 1.20.4 ábra jobb oldalán. Berajzoltuk az átlót is. Az azeotropos elegnyél a görbe az átló alá megy. Ebbe az ábrába rajzoltuk be a tányérokra a helyzetet az 1.20.6 ábra bal oldalán. A forralt x összetételű híg oldatból felszálló gőz összetételét a hozzá tartozó y adja meg: függőlegesen felmegyünk a görbéig. Az első tányéron ilyen összetételű folyadék van: vízszintesen elmegyünk az átlóig. Most ehhez az új x összetételhez a hozzá tartozó, függőlegesen felette lévő y adja meg a gőz összetételét; stb. Látható, hogy 6 tányérral — ha azok ideálisan működnek — 80 mólszázalék szesztartalmat érhetünk el.

Van azonban egy probléma: ez csak akkor érhető el, ha a tányérokra egyensúlyban van a folyadék és az onnan továbbhaladó gőz összetétele, az ábrán látható görbének megfelelően. Ez viszont csak akkor következik be, ha a torony tetején az oldalról benyúló hűtőcsővel minden gőzt cseppfolyósítunk és az mind visszafolyik a tányérokra. Ez a visszafolyás idegen szóval a *reflux*. Ha azonban a reflux teljes, akkor semmi gőzt nem vezetünk el, és az egész torony haszontalan. Gyakorlati ökölszabály, hogy a gőzelvétel nagyjából annyiad része legyen a torony tetejére jutó párlatnak, ahány tányér van, a többi pedig reflux. Ekkor azonban csodaszép szerkesztésünk nem működik. Szerencsére van erre az esetre is egy közelítő szerkesztés, amit az 1.20.6 ábra jobb oldala mutat be. Tegyük fel hogy 80 mólszázalékos szeszt szeretnénk gyártani. Az átló 80%-nak megfelelő pontjától húzzunk egy egyenest, ami a bal oldalon a 80% anyiad részénél megy át, ahányad részét el kívánjuk venni a felmenő párlatnak. Ha mondjuk 7 tányér van, akkor ez lehet a 80% $1/7$ -e, de több vagy kevesebb is. Most felülről kezdve berajzoljuk a lépcsőket, annyit, amennyi tányér van, de az átló helyett ezt az egyenest használva. Legalul megkapjuk, hogy a torony alján, az üstben legalább hány százalék szesznek kell lennie. Látható, hogy ha még egy tányér lenne, ez sokkal kevesebb lenne, de akármeddig nem tudunk lemenni,



1.20.7 ábra: vizes szesz finomítása.

hacsak nem növeljük a reflux arányát.

A vegyiparban számtalan helyen használnak finomító, idegen szóval *rektifikáló* tornyokat. A szeszgyártásnál is nem csak a szeszt kell a víztől elválasztani, hanem a nyers szeszt a benne lévő, kellemetlen ízű és magasabb forráspontú úgynevezett *kozmaolajoktól* és a mérgező (szerencsére kis mennyiségű) faszesztől. Finomító tornyokkal választják szét a nyersolajat benzinre, petróleumra és gázolajra, majd ennek a maradékát vákuumban kenőolajra, paraffinolajra, paraffinra és a maradék szurokra. Alacsony hőmérsékleten választják szét desztillációval a cseppfolyós levegőt nitrogénre és oxigénre, és még számtalan egyéb alkalmazás is van.

Tudunk-e magunk is finomító tornyot készíteni? Ez nagyon nehéznek tűnik a tányérok miatt. Van azonban egy egyszerűbb megoldás, a *töltetes oszlop*. Ebben nem tányérok vannak, hanem valamilyen töltet. Ez állhat például üveggolyókból. A töltettestek mérete legalább egy nagyságrenddel kisebb az oszlop átmérőjénél. A töltettől függően az oszlop

egy kisebb-nagyobb magasságú darabja felel meg egy tányérnak; ez nagyságrendben olyan magas, mint amennyi az oszlop átmérője.

A mi oszlopunk egy 3–3,5 cm átmérőjű, nagyjából 1,5 m hosszú üvegcsőből készül. Keresztmetszetét az ?? ábra mutatja. Az alján az üveget meglágyítva kihegyezett faszénnel három benyomódó tüskét csinálunk. Üvegbotból, esetleg üvegcsőből egy olyan sík spirált kell hajlítanunk, amely függőlegesbe fordítva a tüskék közt behelyezhető és vízszintesbe fordítva szilárdan nyugszik a tüskéken. Elrendezhetjük a tüskéket csavarmentnek is, az üvegbotból pedig nagy menetemelkedésű csavarspirált hajlítunk, amit be lehet tekerni a tüskék között; ez van az ábrán. Erre jön a töltet: 5 mm széles, 4 cm hosszú alumínium fólia csíkokból áll, amiket feltekerünk. Ezzel a töltettel majdnem a függőleges rész tetejéig megtöltjük a csövet. Ha olyan anyagot desztillálunk, ami megtámadja az alumíniumot, a töltetet ki kell cserélni 4 mm vagy 6 mm átmérőjű üveggolyókra. Az oszlop alja a forraló lombikba jól záró dugóval illeszkedik.

Az egész oszlop lelke a felső 20–50 cm-es darab, amit nagyjából 70°-os szögben meghajlítunk. Ebbe nyúlik be a hűtőcső, ami egy kémcsőnek megfelelő átmérőjű vékony falú cső. Egy rövid csövön vizet vezetünk bele, ami az aljáig lenyúló másik csövön távozik. A külső felületen cseppfolyósodó párlat összegyűlik a vastag cső hajlatánál, amit nem simára készítettünk, hanem esetleg direkt be is nyomjuk egy kicsit. Itt néhány tized ml párlat fér el. Ha megtelt, a többi refluxként visszafolyik az oszlopra, de egy részét időnként egy vékony üvegcsövön keresztül kiszívjuk egy gyűjtőedénybe (ez már nincs a rajzon). A vékony csövet és a hűtőcsövet is egy dugó tartja, ami persze nem zárhat jól. Kisebb átmérőjű oszlopot is lehet készíteni, célszerűen külső hűtéssel.

A cső függőleges részét hőszigetelni kell. Ezt is lehet, üvegyapottal. Ekkor viszont nem látjuk, hogy a töltetet nem árasztotta-e el a folyadék, pedig akkor az oszlop nem működik. Úgy segíthetünk a hőszigetelés hiányán, hogy fűtőhuzalt tekerünk a csőre, amit árammal fűtünk. Egy *külső fűtésű cső* dm²-enként 20 W teljesítménnyel 300 °C-ig fűthető. (700 °C-ig 100 °C-onként további 20 W, 1000 °C-ig 100 °C-onként további 30 W, végül 1300 °C-ig 100 °C-onként további 40 W szükséges.) Egy komolyabb áramforrásra lesz szükségünk, például egy gépkocsi akkumulátorra, amit közben tölthetünk is. A fűtőhuzalt osszuk 6–10 egyenlő részre, amiket párhuzamosan kapcsolunk. A tekercs menetei pár mm-re legyenek. Az áramot előtétellenállással szabályozzuk. Az oszlopot tartó fogók alatt nincs fűtés, hanem hőszigetelés van.

Ebben a könyvben nincs olyan kísérlet, amihez ilyen nagy teljesítményű finomító oszlop kell. Ha sikerül elkészíteni az oszlopot, és használni akarjuk, beindítás után legalább egy óráig járassuk teljes refluxszal, csak aztán kezdjük el a párlat elvételét.** □

Alapkísérletek

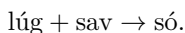
2.1 Színes virágok a kémiában

2.1.1 Kísérlet. Készítsünk 10,6%-os szódaoldatot. Legjobb, ha egy PE vagy PP palackban tartjuk el. Még egy „vegyszerre” lesz szükségünk, ecetre. Ez tulajdonképpen ecetsav vizes oldata. Ha lehet minél töményebbet vásároljunk, 20 vagy ha van 25%-ost, bár a kísérlet bármilyen ecettel, még elég gyenge borecettel is sikerül. A szódaoldatból öntsünk vagy kétujjnyit egy kémcsőbe, és adjunk hozzá egy kis ecetet. A keverék heves habzásba jön. Csakhamar lecsillapul a habzás, de újabb ecetmennyiség hozzáadására újra kezdődik. Végül főlésgbe kerül az ecet, nem kezdődik újra a habzás, hiába adunk hozzá még több ecetet. A keverék az ecet színét veszi fel, ha az nem volt színtelen. Ha most szódaoldatot adunk a keverékhez, akkor újra habzik, amíg a szóda nem kerül feleslegbe. Ha az ecet például vörös volt, akkor most szürkés a keverék. Újra ecetet adva hozzá, újra habzik, amíg az ecet feleslegbe nem kerül. A habzást szén-dioxid okozza, mint azt később majd kimutatjuk. □

2.1.2 Kísérlet. A szódaoldat felhabzását, pezsgését bármilyen savanyú anyag — sav — is kiváltja, például citromlé, citrompótló, borkősav. A bor azonban általában nem elég savanyú hozzá. Ha azonban a szóda közeli rokonát, a gyógyszerárban is kapható *szódabikarbónát* használjuk, ami lényegében csak abban különbözik a szódától, hogy több benne a szén-dioxid, akkor a savanyúbb borokkal is kapunk pezsgést: öntsünk kevés szilárd szódabikarbónára kémcsőben vörös bort. Mindenesetre a bor színe a szódától megváltozik: a fehér bor sötétebb lesz, a vörös bor pedig zöldesszürke vagy piszkoskék. Ecet hatására visszaáll a bor eredeti színe. A bor természetes festőanyaga tehát jelzőként, idegen szóval *indikátorként* viselkedik. A játék többször is megismételhető, ha a borhoz felváltva adunk szódát illetve ecetet. A lúgos szódától piszkoskék, a savas ecettől, vagy bármilyen más savanyú anyagtól vörös lesz a szín, jelezve, hogy az oldat lúgos vagy savas.

A szóda egyébként a természetben is előfordul. Az Alföldön, Debrecen és Szeged környékén a szikes tavak szódát és szódabikarbónát tartalmaznak. Ezek beszáradásakor kiváló sziksó nagyrész szóda és szódabikarbóna keveréke, például a palicsi, konyári és nyíregyházi sóstónál. Egyiptomban is vannak ilyen tavak, így a szódát már az ókori Egyiptomban is ismerték és használták *niter* néven. Latinul a neve *nátron*. □

2.1.3 Kísérlet. Az előző kísérletben lényegében *semlegesítés* játszódik le:



Ami keletkezik, az az ecetsav sója. Az ecetsav sóit *acetátoknak* hívják. Ami itt keletkezett, az a *nátrium-acetát*. Nagyobb mennyiségben is előállíthatjuk. Mondjuk 100 g szódát szilárd állapotban tegyünk egy nagyobb edénybe, célszerűen egy porcelán tálba vagy tűzálló üvegtálba. Addig adjunk hozzá apránként ecetet, amíg teljesen feloldódik

és már nem pezseg. Tiszta ecetsavból kicsit kevesebb, mint 120 g kellene, kiszámolhatjuk, hogy a mienkből mennyi kell. Az oldatot pároljuk be vízfürdőn. Ahogy töményedik az oldat, trihidrát kristályok válnak ki, amik már 58 °C-on megolvadnak kristályvizükben. Lassan tovább melegítve homokfürdőn, a kristályvíz is elpárolog, végül a teljesen száraz só újra megolvad ≈ 350 °C-on. Az esetleg jelenlévő többlet ecetsav (és minden más illékony szennyező is) elpárolog, a színes szennyező anyagok (például borecetnél) elbomlanak, elszesenednek. Ne hevítsük tovább, mert 390 °C-tól bomlik! A másodszor is megolvadt sót lehűtve a feloldásához éppen elegendő (kb. kétszer annyi súlyú) meleg hígított (70 térfogatszázalékos) szeszen oldjuk, szűrjük, és lehűtjük. Trihidrát válik ki. A szeszt az anyalúgból desztillálással visszanyerhetjük. Ha denaturált szeszt akarunk használni, egy keveset a tenyerünkbe öntve próbáljuk ki, hogy gyorsan és maradéktalanul elpárolog-e, különben a nem párolgó része szennyezi az anyagot. Ha nem akarunk a körülményes tisztítással foglalkozni, tiszta, nagyiparilag gyártott ecetsavból — nem pedig borecetből vagy egyéb, erjesztéssel kapott „természetes” ecetből — és tiszta szódából, vagy inkább a tisztábban kapható szódabikarbónából indulunk ki. Ebből kb. 160 g felel meg 100 g szódának. Ha az oldat színes vagy zavaros, adjunk hozzá gyógyszerárban kapható tiszta, idegen anyagoktól mentes széntablettából egyet, forraljuk fel és szűrjük meg. Szépen kitisztul. Hogy a széntabletta hogyan működik, arra majd visszatérünk. Nem kristályosítjuk, csak jól beszárítjuk. Persze, így a kristályosítás tisztító hatása elmarad. Vásárolhatunk is nátrium-acetátot. □

2.1.4 Kísérlet. Nagyon sok növény festőanyaga viselkedik indikátorként, nem csak a vörösbor. Mindenki tudja, hogy a tea citromléből kivilágosodik. Kipróbálhatjuk különböző gyümölcsök (cseresznye, meggy, eper, szeder, ribizli, szilva, vörös áfonya, galagonyabogyó, bodzabogyó) kipréselt levét, kész gyümölcsleveket, céklalevet, virágokat (ibolya, vörös muskátli, búzavirág, mákvirág, piros rózsza, levendula, árvácska, petúnia, szarkaláb, lila őszirózsza, egyéb piros és kék virágok, levelek), piros almahéjat, sárgarépat, petrezselymet, lila hagymát, vöröshagyma héját, általában bármilyen erős színű virágot, termést, héjat vagy levelet. Ezeket a festőanyagokat közös néven *virágkékek*nek, görög eredetű idegen szóval *antocián*oknak hívjuk. Általában kevés savtól borvörösek, gyenge lúg hatására ibolyaszínűek vagy kékek lesznek, további lúgosításra megzöldülnek vagy megsárgulnak. A vegyészek már vagy négyszáz éve használnak indikátorokat. A növényi nedvek közül legmegfelelőbbnek a lakmusszuzmó nedvét találták, ez sav hatására piros, lúg hatására kék lesz. A semleges tiszta víz hatására nem vált színt. Szűrőpapírba szokták felszívatni és megszáritani, ez a *lakmuszpapír*. Minekünk a legegyszerűbb lesz a vöröskáposzta levét használni. Egyszerűen lereszelünk valamennyi vöröskáposztát, és egy vászondarabba téve kifacsarjuk a levét. Mélyhűtőben akármeddig eláll. Legjobb, ha kis jégkockákat készítünk belőle, vagy vékony rétegben fagyasztjuk le, és összetörjük. Ha kell, csak előveszünk egy darabot a mélyhűtőből. Egyébként akárhányszor lefagyaszthatjuk és felolvaszthatjuk, nem árt neki. Készítsünk valamennyi káposztapapírt is. Készíthetünk a vöröskáposztából főzetet, forrázatot, vagy tinktúrát is: lásd később. Az is jó, ha egyszerűen felhorzsoljuk a vöröskáposzta levelét.

Persze, a növényi festőanyagok hátránya, hogy könnyen megromlanak, összetételük és hatóanyagtartalmuk is némileg bizonytalan. Ezért ma már szinte csak mesterséges indikátorokat használnak, általában 0,1 %-os oldatban. Ezek közül legkönnyebben hozzáférhető a *fenolftalein*. Hashajtónak is használják, gyógyszerárban kapható. Törjük porrá és készítsünk belőle szesszel (lehet denaturált szesz is) 1 %-os oldatot. A tablettázáshoz használ

kötőanyagok rendszerint nem oldódnak a szeszben. Amikor leülepedett, öntsük át az oldat tisztáját egy másik üvegbe. Lúgban szép piros, töményebb oldatban kárminvörös. Szódaoldatba cseppentve pár cseppet, kárminvörösre festi. Savban színtelen.

Nagyon jó, ha sikerül *univerzál indikátorpapírt* beszerezniünk. Rendszerint 5 m hosszú, 1 cm széles papírcsíkként árulják. A papírcsík többféle indikátor oldatának keverékével van átitatva. Nagyon sokáig elég lesz, mert egyszerre egy 5–10 mm hosszú darabkát használunk. Belemártjuk a vizsgálandó oldatba, és összehasonlítjuk a dobozon lévő színskálával, amely rendszerint 1–14 számozással mutatja az úgynevezett pH-t. A semleges 7-es, a kisebbek számok savas, a nagyobb számok lúgos kémhatást jelentenek. Pontosabban, 2 alatti pH erősen savas, 2–5 savas, 5–6,5 gyengén savas, 6,5–7,5 semleges, 7,5–9 gyengén lúgos, 9–12 lúgos, 12 feletti erősen lúgos kémhatást jelent. Ha nem tudunk univerzál indikátorpapírt vásárolni, a vöröskáposzta-papír is megfelel. Ha a pH 1–2, akkor vörös, ha 4–5, akkor vörösesibolya, ha 7, akkor kék, ha 8–9, akkor zöldeskék, ha 10–11, akkor zöld, ha 13, akkor sárgászöld, ha pedig 14, akkor sárga.

2.1.5 Kísérlet. Ha virágkékekkel akarunk kísérletezni, akkor érdemes megismerkedniünk a hatóanyagok leggyakoribb kivonási módjaival, a gyógyszerkönyv alapján. A kivonatok legegyszerűbben *áztatással* készülnek. A (turmixgépben vagy kávédarálóban) jól felaprított anyagot a megadott súlyú (általában ugyanannyi) kivonószerrel összekeverve áztatjuk, majd jól kipréseljük. Ha a kivonat az előírtnál kevesebb, akkor a hiányzó súlyú kivonószerrel a kivonást megismételjük. Kétszeres, háromszoros kivonásnál eleve ismételjük a kivonást. Ha a kivonóanyag nem víz, akkor az anyagot a kivonás előtt jól meg kell szárítani. A *tinktúrák* például általában tízszeres, néha ötszörös mennyiségű 70 térfogat-százalékos szesszel áztatással készült kivonatok. Vízzel melegen való áztatással készülnek a *forrázatok* és a *főzetek*. A felaprított anyagot porcelánmozsárban annyi szobahőmérsékletű vízzel duzzasztjuk, amennyi az egyenletes átnedvesedéshez szükséges. Az előírt mennyiségű (általában 3 g-onként 100 g) vízzel üvegedénybe, célszerűen Erlenmeyer lombikba mossuk, és tíz percig szobahőmérsékleten áztatjuk. Egy nagyobb fazékba berakjuk az alumínium háromágú csillagot, annyi vizet öntünk bele, hogy ne lepje el, és befedve felforraljuk. A kis csészével lefedett üvegedényt a forrázatnál 10, főzetnél 30 percig gőzfürdőben tartjuk. A főzetet még melegen, a forrázatot kihűlve tölcserbe tett kis vattapamaton megszűrjük. A forrázat régebben úgy készült, mint a tea, forró vízzel leöntve az anyagot, de a fokozatos felmelegítés jobb kivonást biztosít.

Ezeknek a recepteknek az alapján vonhatjuk ki a virágkéket a különböző gyümölcsökből, virágokból. Vöröskáposztából például készíthetünk főzetet. A háztartásban szoktak használni kurkumaport. Ebből is készíthető indikátor és indikátorpapír. Ehhez a kurkumaporból szesszel kurkuma-tinktúrát készítünk. A savas szín sárga, ami 7,4–8,6 pH között vörösre, majd 10,2–11,8 pH között narancsszínűre változik. Néhány illatszer is tinktúra, például készíthetünk szekfűszeg-tinktúrát.

2.1.6 Kísérlet. Ha sikerült univerzál indikátorpapírra szert tenniünk, vagy legalább van káposztapapírunk, káposztalevelünk, vizsgáljunk meg minél több anyagot a háztartásban. Az ecet mellett savas a citrom, grapefruit, narancs, citrompótló, borkósav, timsó, benzoésav, limonádé. Vizsgáljuk meg a sót, cukrot, kálsót, ammónsalétromot, sütőport, mosóport, szappant, különböző tisztítószereket (óvatosan!), a fahamut. Figyeljük meg, hogy a száraz szappannal például nem tapasztalunk elszíneződést, de ha bevizezzük a szappant vagy az indikátorpapírt, akkor látjuk, hogy lúgos.

A hypo vizsgálatánál, különösen, ha felhívjuk, láthatjuk, hogy erősen lúgos, de a legtöbb indikátort — és általában a színes anyagokat — csakhamar elroncsolja, ezért jó fehérítőszer. A vöröskáposztalé is azonnal elszíntelenedik. Néhány mosóport is így hat.

2.1.7 Kísérlet. A savak és lúgok szárazon nem csak az indikátorpapírral nem reagálnak, hanem egymással sem, legalábbis szobahőmérsékleten. Ezen alapulnak a pezsgótabletták és némely sütőpor: rendszerint szódadikarbóna és valamilyen szilárd sav, például borkósav van bennük. A kettő szárazon nem reagál, de víz hatására megindul a reakció, szén-dioxid fejlődik. Mivel a citrompótló is borkósavból vagy valamilyen más szilárd savból, például citromsavból van, magunk és készíthetünk sütőport vagy pezsgőport. Törjük össze a citrompótlót, borkósavat vagy citromsavat, és keverjük össze ugyanannyi súlyú szódadikarbónával. Szárazon a két anyag nem reagál, de ha vízbe szórjuk a port, pezseg. Ha a tésztába begyúrjuk, lassan szén-dioxidot fejleszt, és felfújja a tésztát: így működik a sütőpor. Limonádépor készítéséhez kétszer annyi citrompótlót veszünk mint szódadikarbónát, és a savval egyenlő súlyú cukrot is keverünk hozzá. Vízzel pezseg, és feloldódva kellemes savanykás ízű limonádét ad, mivel maradt még benne sav. Pezsgőpor készítéséhez 1 súlyrész citrompótlóhoz 1 súlyrész szódadikarbónát és 10 súlyrész cukrot vegyünk. Szoktak még színező és aroma anyagokat is hozzákeverni. Természetesen ha bármelyik készítményünket meg akarjuk kóstolni, akkor étkezési vagy gyógyszerári minőségű anyagokat kell használnunk. Mára ezek a dolgok kimentek a divatból, de a borkósavat és a citromsavat no meg a cukrot sok üdítőben megtaláljuk. □

2.1.8. A pH. Eddig csak dobálóztunk a pH-val, de nem mondtuk meg, mi az. Már volt szó róla, hogy a legtisztább vízben is vannak hidrogén ionok, mégpedig 10^{-7} M koncentrációban. A savakat éppen az jellemzi, hogy hidrogén ionokat bocsátanak az oldatba. A hígított ecetsavban, amit használtunk, a hidrogén ionok koncentrációja nagyságrendben 10^{-2} M. Azokat az anyagokat, amelyek a hidrogénionokat megkötik, *bázisoknak* nevezük. A lúgok bázisok vizes oldatai. A szóda oldatunkban például nagyságrendben csak 10^{-12} M a hidrogén ionok koncentrációja. Nehéz lenne ezt mindig így leírni, ezért a vegyészek abban állapodtak meg, hogy csak a kitevőt írják le, és annak is az ellentettjét, hogy ne legyen mínusz előjel. A pH jelölés ezt rövidíti: a p több európai nyelvben is a „kitevő” szó kezdőbetűje, a H pedig a hidrogén vegyjele, vagyis a rövidítés azt jelzi, hogy hidrogén(ion koncentráció) kitevő (ellentettje). Így a tiszta víz pH-ja 7, az ecetsav pH-ja ≈ 2 , a szódaoldat pH-ja pedig ≈ 12 .

** De vajon mit jelent az, hogy a pH 1,5? Ehhez abban kellene megállapodnunk, hogy például mit is jelent az, hogy $10^{0,5}$ vagyis $10^{1/2}$? Ha érvényben akarjuk tartani jól bevált szabályunkat, hogy hatványok szorzásakor a kitevők összeadódnak, osztásakor pedig kivonódnak, akkor $10^{1/2} \cdot 10^{1/2} = 10^1 = 10$, tehát $10^{1/2}$ az egyetlen olyan pozitív szám, amit saját magával szorozva 10-et kapunk. Ezt a 10 négyzetgyökének neveztük és $\sqrt{10}$ -zel is jelöltük. A négyzetgyökvonáshoz teljesen hasonlóan, próbálgatással számolhatjuk ki a 10 köbgyökét, $10^{1/3} = \sqrt[3]{10}$ -et, azt az egyetlen x pozitív számot, amelyre $x^3 = 10$, illetve akármilyen b pozitív szám n -edik gyökét, ahol n akármilyen pozitív egész szám: ez az egyetlen olyan x pozitív szám, amelyre $x^n = b$. Ezt a számot $b^{1/n} = \sqrt[n]{b}$ -vel jelöljük. Ennek hatványozásával akármilyen $b^{m/n}$ számot megkaphatunk, ahol n tetszőleges pozitív egész szám, m pedig tetszőleges egész szám. Szerencsére nem számít, hogy a kitevőt hogyan írjuk fel törtként, mindig ugyanazt kapjuk, például $10^{1/2} = \sqrt{10}$ ugyanaz, mint $10^{2/4} = (\sqrt[4]{10})^2$, és az sem számít, hogy előbb gyököt vonunk és aztán hatványozunk

vagy fordítva, például $(\sqrt[3]{10})^2 = \sqrt[3]{10^2}$. Végül, ha b^c -re van szükségünk, ahol c tetszőleges szám, akkor c -t törttel közelítve kaphatunk közelítést. Most már választ tudunk adni arra a kérdésre, hogy mit is jelent az, hogy a pH 1,5? Azt jelenti, hogy a hidrogénionok koncentrációja

$$10^{-1,5} = 10^{0,5} \cdot 10^{-2} \approx 3,15 \cdot 0,0100 = 0,0315 \text{ M.}$$

Bár a legtöbb zsebszámológép akármilyen b pozitív alap akármilyen c kitevős hatványát képes kiszámítani, sőt a fordított feladatot is megoldja, akármilyen $b \neq 1$ pozitív alaphoz és akármilyen c pozitív számhoz képes meghatározni azt az x kitevőt, amelyre $b^x = c$ (ezt az x -et a c szám b alapú *logaritmusának* nevezzük és $\log_b c$ -vel jelöljük), érdemes magunknak összeállítani egy kis táblázatot, amelyben olyan számok vannak, amelyek a leggyakrabban használt alap, a 10 hatványai, a kitevő pedig egyenletesen nő 0,000 és 1,000 között, a hatvány tehát 1,00 és 10,00 között változik. Három értékes jegyre fogunk számolni, és igyekszünk úgy kerekíteni, hogy az utolsó jegy 0, ha ez nem megy, akkor 5, ha pedig ez sem akkor legalább páros legyen. Az így kapott számokat a francia Renard emlékére R-számoknak nevezzük, és gyakran használatosak a műszaki életben.

Induljunk ki abból, hogy $10^3 = 1000 \approx 1024 = 2^{10}$. Mindkét oldalból ötödik gyököt vonva, $10^{3/5} \approx 2^2 = 4$. Mivel ötödikre hatványozáskor a hiba nagyjából megötszöröződik, az ötödik gyökvonásnál nagyjából ötödére csökken, így a hiba jóval kisebb lesz 1%-nál. Innen $10^{2/5} = 10^{1-3/5} \approx 10/4 = 2,50$. Másrészt $10^{1/5} = 10^{6/5-1} = 10^{3/5} \cdot 10^{3/5}/10 \approx 16/10 = 1,60$ és $10^{4/5} = 10^{1-1/5} \approx 10/1,60 \approx 6,30$. Így megvannak az R5-számaink (mindegyik kb. 60%-kal nagyobb az előzőnél):

kitevő	0,000	0,200	0,400	0,600	0,800	1,000
hatvány	1,00	1,60	2,50	4,00	6,30	10,00

A $10^{3/10}$ négyzete $10^{3/5}$, így $10^{3/10} \approx 2,00$ tehát $10^{7/10} \approx 5,00$. Mivel $10^{9/10} = 10^{6/10} \cdot 10^{3/10} \approx 4,00 \cdot 2,00 = 8,00$, azt kapjuk, hogy $10^{1/10} \approx 1,25$. Végül $10^{5/10} = 10^{4/5-3/10} \approx 6,30/2,00 = 3,15$. Így az R10-számok (mindegyik kb. 25%-kal nagyobb az előzőnél):

kitevő	0,000	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000
hatvány	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	6,30	8,00	10,00

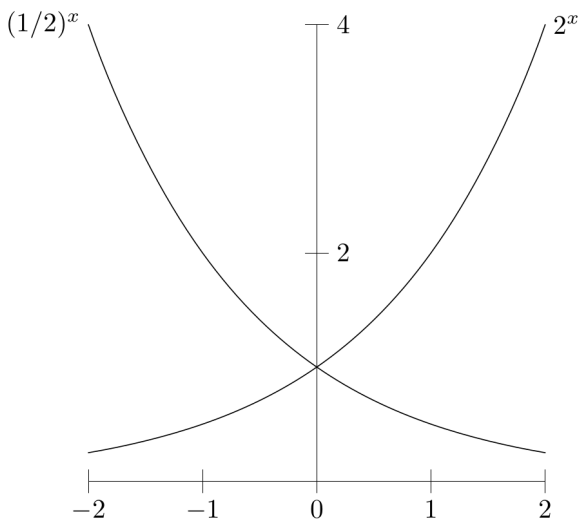
Az R10 számok ismerete elég lesz a számunkra. Ha valakit érdekel, az R20 számok mindegyike kb. 12%-kal nagyobb az előzőnél. A még hiányzó R20-számok kiszámításához $10^{1/20} \approx 1,12$ mert a $10^{1/10}$ négyzetgyöke, így $10^{19/20} \approx 9,00$ és $10^{7/20} = 10^{1/20} \cdot 10^{3/10} \approx 2,24$ valamint $10^{13/20} = 10^{19/20}/10^{3/10} \approx 4,50$ és $10^{5/20} = 10^{19/20} \cdot 10^{3/10}/10 \approx 1,80$. Továbbá $10^{15/20} = 10^{21/20-3/10} \approx 11,2/2,00 = 5,60$ valamint $10^{9/20} = 10^{15/20}/10^{3/10} \approx 2,80$ és $10^{3/20} = 10^{9/20}/10^{3/10} \approx 1,40$. Innen $10^{17/20} \approx 7,10$ és $10^{11/20} = 10^{19/20}/10^{3/10} \approx 3,55$. Így a még hiányzó R20-számok

kitevő	0,050	0,150	0,250	0,350	0,450	0,550	0,650	0,750	0,850	0,950
hatvány	1,12	1,40	1,80	2,24	2,80	3,55	4,50	5,60	7,10	9,00

Az R40 számok mindegyike kb. 6%-kal nagyobb az előzőnél. A még hiányzó R40-számok kiszámításához $10^{19/40} \approx 3,00$, mert a $10^{19/20}$ négyzetgyöke, így $10^{31/40} = 10^{19/40} \cdot 10^{3/10} \approx 6,00$ és $10^{7/40} = 10^{19/40}/10^{3/10} \approx 1,50$, valamint

$$10^{35/40} = 10^{47/40}/10^{3/10} \approx 15,0/2,00 = 7,50$$

és $10^{23/40} = 10^{35/40}/10^{3/10} \approx 3,75$. Az összes többi R40-számot úgy kapjuk, hogy vesszük az öt közrefogó két R20-szám átlagát, és ha kerekíteni kell, akkor lefelé kerekítünk úgy,



2.1.1 ábra: hatványfüggvények.

hogy ötre vagy páros számra végződő számot kapjunk. (Hasonlóan kaphatnánk R80-számokat, most már egyszerűen lefelé kerekítve). Az új R40-számok:

kitevő	0,025	0,075	0,125	0,175	0,225	0,275	0,325	0,375	0,425	0,475
hatvány	1,06	1,18	1,32	1,50	1,70	1,90	2,12	2,36	2,65	3,00

és

kitevő	0,525	0,575	0,625	0,675	0,725	0,775	0,825	0,875	0,925	0,975
hatvány	3,35	3,75	4,25	4,75	5,30	6,00	6,70	7,50	8,50	9,50

Ezekkel a táblázatokkal tudunk pH-t számolni. Például mit jelent az, hogy a pH 4,70? A hidrogénion-koncentráció $10^{-4,70} = 10^{0,30} \cdot 10^{-5} \approx 2,0 \cdot 10^{-5} = 0,000020$ M. Ha a hidrogénion-koncentráció 0,00300 M, mennyi a pH? Mivel

$$0,00300 = 3,00 \cdot 10^{-3} \approx 10^{19/40} \cdot 10^{-3} = 10^{0,475-3} = 10^{-2,55},$$

a pH 2,55. **

2.1.9. Az exponenciális függvények. A 2.1.1 ábrán az $y = 2^x$ és az $y = (1/2)^x$ függvények egy darabját látjuk. Az első balról jobbra haladva, azaz növekvő x -ekre nő, a másik csökken. Más alapokra is hasonlóan néznek ki a hatványfüggvények, ha az alap nagyobb, mint 1, akkor növekvők, ha viszont kisebb mint 1 (de pozitív, mert egyébként a nem egész kitevős hatványokat nem tudjuk értelmezni), akkor csökkenő.

** Vajon hogy számoltuk ki értékeiket? Természetesen megismételhetjük azt az eljárást, amit a 10^x értékek kiszámítására használtunk, de erre nincs szükség, ha felhasználjuk 10^x már kiszámított értékeit. Induljunk ki a $2^{10} \approx 10^3$ közelítésből. Ebből $(2^{10})^x \approx (10^3)^x$, azaz $2^{10 \cdot x} \approx 10^{3 \cdot x}$, vagy ami ugyanaz, $(2^x)^{10} \approx 10^{3 \cdot x}$. Mindkét oldalból tizedik gyököt vonva $2^x \approx 10^{3 \cdot x/10}$. Tehát 2^x értékeit a 10 hatványainak táblázatából is kiolvashatjuk. A másik függvény ábrázolásához egyszerűen vegyük észre, hogy $1/2 = 2^{-1}$ miatt $(1/2)^x =$

$(2^{-1})^x = 2^{-x}$, így ez a függvény az x helyen ugyanazt veszi fel értéként, mint az előző a $-x$ helyen, azaz az y tengelyre való tükrözéssel keletkezik az előzőből.

Ez az utóbbi trükk nyilván független attól, hogy mi az alap, az előző viszont nem. Mit csinálhatunk az általános esetben? Tegyük fel, hogy valamilyen a alapra rendelkezésünkre áll az a hatványainak egy részletes táblázata, de mi egy másik, b alapra akarjuk b^x értéket meghatározni. Először határozzuk meg $\log_a b$ értékét. Ez az a kitevő, amire hatványozva a -t b -t kapunk, tehát az a hatványainak táblázatából meg kell keresnünk azt a kitevőt, amire a hatványa éppen b lesz, ez az $\log_a b$. Képletben $a^{\log_a b} = b$, így mindkét oldalt x -edikre hatványozva $b^x = a^{x \cdot \log_a b}$. Az $a = 10$, $b = 2$ esetben $\log_{10} 2 = 0,3010300 \dots \approx 0,3$.
**

Ha jól megnézzük az exponenciális függvény képét, észrevehetjük, hogy már találkoztunk vele, amikor az ammónsalétrom kristályszerkezetének változását vizsgáltuk. Ennek oka az, hogy akármilyen c konstansra az a^{x+c} függvény, azaz az a függvény, amely az $x = 0$ helyen azt veszi fel, amit a^x az $x = c$ helyen, az $x = 1$ helyen azt, amit az a^x az $x = c + 1$ helyen, stb., nagyon hasonlít az a^x függvényhez. Ennek a függvénynek a képe az a^x függvény képének az eltoltja c -vel balra. De a hatványozás tulajdonságai szerint $a^{x+c} = a^c \cdot a^x$, azaz a függvény az a^x függvény egy konstansszorosa. Ugyanez igaz persze egy konstansszorosára is: $C \cdot a^{x+c} = C \cdot a^c \cdot a^x$. Hasonló a helyzet, ha két tárgy közötti hőmérsékletkülönbség hővezetéssel egyenlítődik ki: ha később kezdjük figyelni, már kisebb a hőmérsékletkülönbség, így kisebb a hővezetés is, a hőmérsékletkülönbség egyébként az időben hasonlóan változik, de egy konstansszor kisebb. Tehát a hőmérsékletkülönbség az idővel exponenciálisan csökken. Ez Newton *hőkiegyenlítődési törvénye*.

2.1.10. Számolás logaritmusokkal. Mint láttuk, ha valamilyen (pozitív, de 1-től különböző) a alapra van egy, az a hatványait tartalmazó táblázatunk, akkor abból az a alapú logaritmusokat is kiolvashatjuk, ha „visszafele használjuk”. Hasonlóan, ha van egy a alapú logaritmustáblánk, akkor abból az a alapú hatványokat is kiolvashatjuk, ha „visszafele használjuk”; a hatványozás és a logaritmus képzése egymás fordítottja, idegen szóval *inverze*. A 2.1.2 ábra az $y = 2^x$ és az $y = \log_2 x$ függvények egy darabját ábrázolja, bármelyik képe a másik képéből az $y = x$ egyenesre való tükrözéssel adódik.

** Hogyan számolhatunk logaritmusokkal? A logaritmus definíciója szerint ha b és c pozitív számok, akkor $a^{\log_a b} = b$ és $a^{\log_a c} = c$. Ezeket az összefüggéseket összeszorozva és újra felhasználva a logaritmus definícióját

$$a^{\log_a b + \log_a c} = b \cdot c = a^{\log_a b \cdot c}.$$

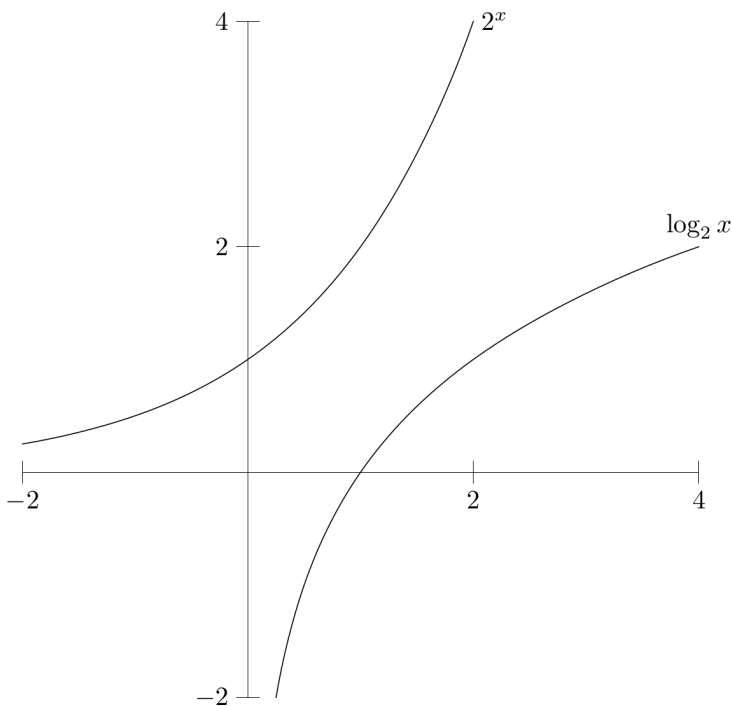
De az a alap két hatványa csak akkor lehet egyenlő, ha a kitevők egyenlőek, így $\log_a (b \cdot c) = \log_a b + \log_a c$, azaz a szorzat logaritmus a logaritmusok összege. Hasonlóan

$$a^{c \cdot \log_a b} = b^c = a^{\log_a b^c},$$

így $\log_a b^c = c \cdot \log_a b$, azaz a hatvány logaritmus a kitevőször az alap logaritmus.

A hatványozásnál kiderült, hogy egyetlen a alap hatványainak táblázata elegendő arra, hogy bármilyen alap bármilyen hatványát kiszámoljuk. Ugyanezt igaz a logaritmusnál is. Valóban, ha b nem 1, akkor a $b^{\log_b c} = c$ összefüggés a alapú logaritmusát véve $\log_a c = (\log_b c) \cdot (\log_a b)$, ahonnan

$$\log_b c = \frac{\log_a c}{\log_a b}.$$



2.1.2 ábra: hatvány és logaritmus.

A hőkiegyenlítődési törvényre talált $C \cdot a^x$ függvényt (vagy az ellentettjét, ha $C < 0$) például „kiegyenesíthetjük”, ha (akármilyen, például tízes alapú) logaritmusát vesszük:

$$\lg(C \cdot a^x) = \lg C + x \cdot \lg a, \quad \text{ha } C > 0.$$

Ezt használtuk az ammonsalétrom polimorfijával foglalkozó kísérletben. **

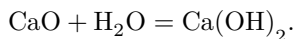
2.2 Mészoltás és mésvíz

2.2.1 Kísérlet. Sajnos, ehhez a kísérlethez olyan anyag kell, amihez manapság nagyon nehéz hozzájutni, pedig régen minden építkezésen előfordult: *égetett mész*. Lehet ugyan kapni, olcsó is, de előfordulhat, hogy a legkisebb mennyiség amit adnak, egy teherautónyi. Esetleg egy mészoltó telepen kérhetünk valamennyit. Ne keseredjünk azért el, nemsokára magunk is tudunk csinálni. Fehér, kőkemény darabokból álló anyag, pora erősen lúgos, vigyázzunk, nehogy a szemünkbe menjen. Ha sikerül hozzájutnunk, néhány kisebb darabra egy porcelán tálban vagy tányéron cseppenként öntsünk annyi vizet, hogy éppen átnedvesedjék. Kezdetben mohón szívja magába a vizet, majd hamarosan kezd felmelegedni. Rövidesen annyira felmelegszik, hogy a tányért nem is tudjuk a kezünkben tartani, sőt, ha sok vizet öntöttünk rá, akkor a víz felforr. Ezt kerüljük el, nehogy a lúgos, forró anyag a szemünkbe fröccsenjen, mert súlyos szemsérülés lehet belőle! A BIZTONSÁG KEDVÉÉRT TEGYÜNK FEL EGY VÉDŐSZEMÜVEGET! Néhány mészfajtánál lassan indul meg a felmelegedés, ilyen esetben várjunk türelmesen. Ha megindult a felmelegedés, a mész hamarosan

gőzölög, megdagad, majd szétmállik, porrá esik szét. Ez a fehér por az *oltott mész*, hibás, de elterjedt nevén *mészhidrát*. Sokszor lesz rá szükségünk, jól záró üvegben tegyük el. Amit csináltunk, az a mésztoltás. A mésztoltó telepeken is ezt csinálják az égetett mésszel, és az oltott meszet árulják. □

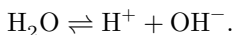
2.2.2 Kísérlet. Innentől a készen vett oltott mésszel is folytathatjuk az előző kísérletet. Ez is erősen lúgos, a szemünkre vigyázzunk! Ha némi vizet öntünk hozzá, sűrű tejfelszerű anyagot kapunk, ez a *szalonnás mész*, még több vízzel pedig *mésztej*. Már használtuk is a vízbontásnál. Persze, lehetőleg ne az ujjunkkal keverjük, hanem egy műanyag vagy fa pálcával. Az oltott mész alig oldódik vízben, a nagy része finom szemcsék alakjában van jelen. Legjobb, ha egy PE vagy PP palackban tartjuk el. Ha meg akarunk szabadulni az esetleges homokszerű szennyeződésektől, jól rázzuk fel, hagyjuk 1–2 percig ülepedni, majd a le nem ülepedett részt öntsük át egy másik palackba. Másnapra leülepszik. Öntsük le róla a felette lévő tiszta oldatot, ami némi oltott méssen kívül az esetleges oldható szennyezéseket is tartalmazza, majd töltsük fel a palackot desztillált vízzel. Jól rázzuk fel, majd hagyjuk leülepedni. A tisztája már majdnem tiszta *mészvíz*, az oltott mész telített vizes oldata. Nagyjából 1,59 g oltott meszet tartalmaz oldva literenként normál hőmérsékleten. (20 °C-on 1,65 g, 30 °C-on 1,53 g oltott mész oldódik 1 kg vízben.) Akármilyen indikátor megmutatja, hogy erősen lúgos. A pH-ja normál hőmérsékleten 12,45. Például 1–2 csepp fenolftalein oldatot cseppentve bele, kárminvörös lesz. (A fenolftalein 8,2-es pH-nál kezd halvány rózsaszín lenni, és 10,0 pH-tól már nem vörösödik tovább.) Némi ecetsavtól szintelen lesz, mészvíztől visszajön a vörös szín. □

Mi is történt a mésztoltásnál? Az égetett mész egy kalcium nevű fém és oxigén vegyülete. A *kalcium* latinul *calcium*, innen jön a vegyjele, Ca. Móltömege ≈ 40 g. Az égetett mész képlete CaO, amiből látjuk, hogy a kalcium két vegyértékű, hiszen az oxigén két vegyértékű. A mésztoltásnál lejátsszódó reakció



De miért írjuk ilyen furcsán a jobb oldalon az oltott mész képletét? Az oltott mész ionokból áll, minden molekulája egy Ca^{2+} kalciumionból és két OH^- hidroxil ionból. Vízben oldva fel is bomlik ezekre. Erre emlékeztet az írásmód. Egyébként a fémionból és egy vagy több hidroxil ionból álló vegyületeket *hidroxidoknak* nevezzük.

* De miért lúgos az oltott mész, meg a többi vízben oldható hidroxid oldata? Emlékezzünk vissza, hogy a tiszta víz egy része ionokra bomlik:



Ezt nem úgy kell elképzelni, hogy valameddig lejátsszódik ez a folyamat, aztán megáll. Ha egy H^+ hidrogén ion találkozik egy OH^- hidroxil ionnal, akkor csaknem mindig egyesülnek vízmolekulává az alsó nyílnak megfelelően. Amíg még nagyon kevés hidrogén és hidroxil ion van, nagyon ritkán találkoznak, de ahogy egyre több lesz belőlük, egyre több, az alsó nyílnak megfelelő egyesülés történik. Viszont a felső nyílnak megfelelő folyamat, a víz felbomlása, idegen szóval *disszociációja* is állandóan folyik: ha egy vízmolekula elég erősen ütődik neki egy másiknak, akkor szétbomlik, a felső nyílnak megfelelően. Ennek a folyamatnak a sebessége elsősorban a hőmérséklettől függ, annak növelésével gyorsul. Végül is a két ellentétes folyamatból alakul ki egy *dinamikus egyensúly*, akkor,

amikor a két folyamat sebessége éppen egyforma. A tiszta vízben normál hőmérsékleten a hidrogén és a hidroxil ionok koncentrációja is 10^{-7} M. A vegyszerek bármilyen anyag koncentrációját úgy szokták jelölni, hogy a képletét szögletes zárójelbe teszik. Tehát tiszta vízben $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ M.

Most képzeljük el, hogy egy kevés mézsvizet teszünk a tiszta vízbe, éppen annyi, hogy a hidroxil ionok koncentrációja tízszeresre, 10^{-6} M-re növekedjen. Ehhez nagyon kevés oltott mész kell, mert az oltott mész nagyon könnyen bomlik ionokra. A víz disszociációját ez nem változtatja meg, mert az oldat nagyon híg maradt. Viszont most a hidrogén és hidroxil ionok tízszer gyakrabban találkoznak, az alsó nyílnak megfelelő folyamat sebessége hirtelen tízszeresére nő. A hidrogén ionok koncentrációja gyorsan elkezd csökkenni, míg a hidroxil ionoké gyakorlatilag nem változik, hiszen azokat nagyrészt az oltott mész adja. Ahogy fogynak a hidrogén ionok, úgy csökken az alsó nyílnak megfelelő folyamat sebessége. Az eredeti sebesség akkor áll helyre, amikor a hidrogén ionok koncentrációja az eredetinek tizedére csökkent, azaz 10^{-8} M. Általában, ha oltott mésszel vagy akármilyen hidroxiddal a hidroxil ionok koncentrációját 10-szeresre, 100-szorosra, 1000-szeresre, ... növeljük, akkor a hidrogén ionok koncentrációja 10-edére, 100-adára, 1000-edére, ... csökken. Végül is az kaptuk, hogy híg oldatokban a hidrogén és a hidroxil ionok koncentrációjának szorzata mindig ugyanannyi, mint a tiszta vízben, $10^{-14} \text{ mol}^2/\text{l}^2 = 10^{-14} \text{ M}^2$. Ez a víz ionszorzata 25 °C-on. Képletben

$$[H^+] \cdot [OH^-] = K_v = 10^{-14} \text{ M}^2.$$

Az ionszorzat a hőmérséklet növelésével nő: 0 °C-on csak $0,69 \cdot 10^{-14} \text{ M}^2$, míg 100 °C-on $47,6 \cdot 10^{-14} \text{ M}^2$. *

Nézzük, mi történik, ha a tiszta vízhez ecetsavat adunk. Az ecetsav a hidrogén acetátja, hidrogén-acetátnak is szokás nevezni. Az acetát atomcsoport összetétele nem is érdekes most, bár elárulhatjuk, hogy két szén, három hidrogén és két oxigén atomból áll. Jelöljük az ecetsavra emlékeztető Ec-cel. Ha az ecet vízben van oldva, részben felbomlik hidrogén és acetát ionokra:



* Az ecetsav molekula bomlása akkor történik meg, ha elég gyors vízmolekulával ütközik. Nyilván minél több ecetsav van az oldatban, annál gyakoribb ez a bomlás. A másodpercenként felbomló ecetsav molekulák száma tehát

$$k_b \cdot [\text{HEc}],$$

ahol k_b a bomlás sebességére jellemző, a hőmérséklettől is függő állandó. Ha viszont egy Ec^- ion találkozik egy H^+ ionnal, akkor jó eséllyel egyesülnek egy ecetsav molekulává. Ennek a fordított reakciónak a sebessége egyenesen arányos az acetát ionok és a hidrogén ionok koncentrációjával is, tehát a másodpercenként egyesülő ionok száma

$$k_e \cdot [H^+] \cdot [Ec^-],$$

ahol k_e az egyesülés sebességére jellemző, a hőmérséklettől is függő állandó. Dinamikus egyensúlyban a két reakció sebessége egyenlő:

$$k_e \cdot [H^+] \cdot [Ec^-] = k_b \cdot [\text{HEc}],$$

ahonnan

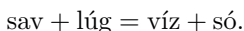
$$\frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{Ec}^-]}{[\text{HEc}]} = \frac{k_b}{k_e} = K,$$

ahol K az ecetsav disszociációjára jellemző savi *disszociációs állandó*. Az ecetsavnál például normál hőmérsékleten $K = 1,74 \cdot 10^{-5}$ M. Ez az állandó jellemző a sav erősségére, hiszen minél nagyobb, annál több hidrogén ion kerül ugyanannyi savból a vízbe. Valóban, c koncentrációjú ecetsav oldatára, mivel kevés disszociál, $[\text{HEc}] \approx c$, így

$$[\text{H}^+] \cdot [\text{Ec}^-] \approx c \cdot K.$$

Mivel a hidrogén ionok nagy része az ecetsavból származik, $[\text{H}^+] \approx [\text{Ec}^-] \approx \sqrt{c \cdot K}$. Például literenként 60 g ecetsavat tartalmazó oldatra, aminek a koncentrációja tehát 1 M, $[\text{H}^+] \approx 4,17 \cdot 10^{-3}$ M, így a $\text{pH} \approx 2,38$, a tízszer hígabb oldatra pedig $\approx 2,88$. A hidroxidokra is van ilyen *disszociációs állandó*, de itt a hidrogén ionok helyett hidroxil ionok szerepelnek. Ha kicsi a disszociációs állandó, a hidroxil ionok koncentrációját hasonlóan számolhatjuk ki, mint az ecetsavnál. Hasonlóan, mint a pH -nál, a disszociációs állandó helyett is sokszor a tíz kitevőjének ellentettjét adják meg, amit *disszociációs kitevő*nek nevezünk és $\text{p}K$ -val jelölünk. Például az ecetsavnál $\text{p}K \approx 4,76$. Néha K helyett K_d -t vagy savnál K_s -et, bázisnál K_b -t, $\text{p}K$ helyett $\text{p}K_d$ -t, $\text{p}K_s$ -et, $\text{p}K_b$ -t írunk. *

Nézzük, mi történik, ha például mézsvízhez ecetsavat adunk. Az ecetsav oldatban sok H^+ és Ec^- ion van. A mézsvízben viszont Ca^{2+} és OH^- ionok vannak. Ha a kettőt összeöntjük, a H^+ és OH^- ionok nagy része vízzé egyesül, egészen addig, míg a két koncentráció szorzata le nem csökken annyira, mint amennyi a tiszta vízben. Oldatban maradnak a Ca^{2+} és kétszer olyan mennyiségben az Ec^- ionok. Ha bepároljuk az oldatot, kalcium-acetát, CaEc_2 , egy só kristályosodik ki. Általában is a savak hidrogénből és valamilyen atomcsoportból, *savmaradékból* állnak. Vízben többé-kevésbé felbomlanak hidrogén ionra és savmaradék ionra. Ha ehhez az oldathoz lúgot adunk, például valamilyen hidroxid oldatát, amiben meg a hidroxil ionok vannak többségben, akkor a savas oldat hidrogén ionjai egyesülnek a lúgos oldat hidroxil ionjaival és vizet adnak, a lúgos oldat fémionjai pedig a savmaradék ionokkal sóvá egyesülnek. Ez a semlegesítés lényege:

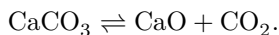


2.2.3 Kísérlet. Mézsvízünkéből öntsünk ki valamennyit egy pohárba. Ha állni hagyjuk, egy-két óra alatt fehér hártya képződik a tetején. Ha megbolygatjuk, lesüllyed az aljára, de aztán újraképződik a tetején. Néhány nap alatt megvastagszik, és magától lesüllyed a pohár aljára. Egy idő múlva a mézsvíz teljesen elveszti lúgosságát. Sokkal gyorsabban lejátszódik a folyamat, ha egy szívószállal belefújunk a mézsvízbe: azonnal megzavarosodik, és elég hamar elveszti lúgosságát. Ha egy üveg aljára öntünk pár ujjnyi mézsvízet és bedugaszoljuk, akkor is megjelenik a fehér hártya, de ha összerázzuk, rövidesen nem képződik újra. Ha azonban kinyitjuk az üveget, és különösen, ha belelehelünk az üvegbe, újraképződik a hártya. Nem maga a levegő, hanem egy alkotórésze, a szén-dioxid okozza a fehér hárttyát, amely szénsavas mézből áll. A szénsavas méz vízben gyakorlatilag oldhatatlan. Elég közönséges anyag, a mézskő, márvány, minden csigahéj, kagylóhéj, tojásbéj is az. Egész hegységek állnak mézskőből — például nálunk a Bükk-hegység — amely elhalt csigák, kagylók héjából képződött. □

2.2.4 Kísérlet. Az előző kísérletnek megfelelően mézsvizünket zárt PE palackban úgy érdemes eltartani, hogy az alján legyen valamennyi oltott méz. Ha a palackban lévő levegő szén-dioxid tartalma kicsapja is szénsavas mézsként az oltott méz egy részét, újra oldódik, és mindig telített lesz a mézsvizünk. Ha elfogy, csak feltöltjük a palackot desztillált vízzel, jól felrázzuk, és várunk, amíg leülepszik. Ez elég sokáig működik. Célszerű mindig készen tartani pár decit, mert kitűnő kémszere a szén-dioxidnak. □

2.2.5 Kísérlet. Aki nem jutott égetett mézhez, biztosan szeretne készíteni. Mivel vízzel hőfejlődés közben oltott mésszé egyesül, azt várjuk, hogy az oltott meszet hevítve visszakaphatjuk az égetett meszet. Valóban, ha egy vas edényben, például malteros kanálban oltott meszet 450 °C fölé hevítünk, égetett meszet kapunk. A vízgőz nyomása 350 °C-on 133 mbar, a légköri nyomást 450 °C-on éri el. Ha mézporból indulunk ki, a kapott égetett méz nagyon aktív. Egy vaslemezzel vagy vas fedővel takarjuk le az edényt, két okból is. Egyrészt a levegő szén-dioxidjával az oltott méz szénsavas meszet képez, és az már csak jóval magasabb hőfokon, 900 °C felett bomlik el. Másrészt a lúgok nagyon hajlamosak a fröcskölésre. Ez azért van, mert az edény faláról leoldják a szennyeződések, kiemelkedések, és így nincs, ahol a forrás meginduljon. A lúg túlhevül, és amikor a forrás megindul, szétfröccsen. Ne is vegyük le a vas fedőt, hanem ha már majdnem izzik az edény, oltjuk el a lángot és hagyjuk az anyagot lefedve lehűlni. Az égetett méz nagyon kemény, tegyük fel védőszemüveget, és kalapáccsal törjük össze. Tegyük nagyon jól záró üvegbe, a teteje alá tett PE fólia ne lógjon ki, és az üveg száját olvasztott paraffinba mártott ecsettel vastagon körbefestve légmentesen zárjuk le. Ha a zárás nem légmentes, az égetett méz a behatoló vízpárától megoltódik, kitágul, és széttöri az üveget. Számítsunk rá, hogy némelyik „konzerv” megromlik. □

2.2.6 Kísérlet. Iparilag természetesen nem oltott mézből, hanem szénsavas mézből, pontosabban mézskőből készítik az égetett meszet. Erős tűzben 1000 °C körülre hevítik mézszégető kemencében. Tulajdonképpen nem égés játszódik le, hanem az alábbi megfordítható folyamat megy végbe a felső nyíl irányába:



Ezt a folyamatot is ki tudjuk próbálni kicsiben. Egy tojásból darabot tisztítsunk meg, amennyire tudunk. Egy vas fogóval fogva tartjuk a gázlángba. Először a rajta lévő szennyeződések elszesenednek, elégnak. Elég sokáig kell izzítani, amíg kiféhéredik. Ha kiféhéredett, izzítsuk fel, amennyire csak lehet. (Figyeljük meg, hogy az égetett méz izzítva erősen világít.) Egy-két csepp vizet cseppentve rá a víz határozottan lúgos lesz. Lupéval a mézszégetést is észrevehetjük, különösen, ha összehasonlítjuk egy meg nem cseppentett darabbal. Próbáljuk ki, hogy a nem izzított tojásból a víz nem lesz lúgos. □

2.2.7 Kísérlet. Az égetett méz rendkívül hatásos szárítószer. Példaként elmondjuk, hogyan készíthetünk vele vízmentes szeszt 92 térfogatszázalékos tömény szeszéből. ** Két liter szeszt 600 g apróra, de nem porrá tört égetett mésszel keverünk, visszafolyó hűtővel 24 óráig forraljuk, majd ledesztilláljuk. Végig égetett mésszel töltött csővel védjük a levegő nedvességétől: a visszafolyó hűtőt olyan átfűrt dugóval dugjuk be, amibe kihúzott végével egy darabos égetett mésszel töltött vastagabb csövet dugunk. A desztillálásnál ezt a szedőedény kétfuratú dugójának egyik furatába tesszük. A kapott szesz 99%-os, ami a legtöbb célra elegendő. Ha még egyszer ugyanígy kezeljük 70 g égetett mésszel,

akkor 99,7%-os szeszt kaphatunk. ** Persze, mivel lehet kapni vízmentes szeszt (néha „bioetanol” néven), nem érdemes a készítésével kínlódni. □

2.3 A szén-dioxid

MÉG NINCS KÉSZ

MÉG NINCS KÉSZ

2.3.1 fényképek: gyertyák és szén-dioxid.

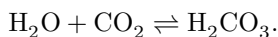
2.3.1 Kísérlet. Már kísérleteztünk szén-dioxiddal, megmértük a sűrűségét. Ideje, hogy alaposabban megismerkedjünk vele. Akkor készen vettük, szódavizes patronból; most is vehetjük készen. Az első kísérletet a 2.3.1 fényképek közül a bal oldali mutatja: egy szódásüveg csövére húzzunk egy műanyag csövet, fordítsuk fel, és lassan engedjük szén-dioxidot egy befőttes üvegbe, aminek az alján egy kis gyertya ég. Amint a szén-dioxid eléri a lángot, az kialszik, mert a szén-dioxid nem táplálja az égést. Látványosabb a jobb oldali képen látható elrendezés: a kis gyertyák alulról felfelé sorra alszanak ki. Ha a szén-dioxiddal teli üvegbe égő hurkapálcát tartunk, az kialszik. □

2.3.2 Kísérlet. Előző kísérletünknel azt is kihasználtuk, hogy a szén-dioxid nehezebb a levegőnél, és így fokozatosan tölti ki az üveget. Látványosan mutathatjuk ki ezt, ha egy másik befőttes üveg aljára is teszünk egy égő gyertyát. Ha a szén-dioxiddal teli üvegből lassan átöntjük azt ebbe az üvegbe, a gyertya úgy elalszik, mintha vízzel öntöttük volna le. Ha egy pontszerűen világító zseblámpával oldalról erősen megvilágítjuk közben az üveget, az árnyékon látható is, ahogy a szén-dioxid átfolyik a másik üvegbe. Ha egy érzékeny mérlegre tett könnyű műanyag edénybe öntünk így szén-dioxidot, kimutathatjuk a néhány tizedgrammnyi súlynövekedést. Hogy valóban szén-dioxidról van szó, azt legegyszerűbben úgy mutathatjuk ki, hogy egy kémcsőbe egy-két ujjnyi mésvizet öntve, abba szén-dioxidot öntünk át. Befogva és összerázva (majd kezét mosva!), láthatjuk, hogy a meszes víz erősen megzavarosodik. Úgynevezett *vakpróbaként* öntsünk egy másik kémcsőbe is meszes vizet, majd befogva rázzuk össze a felette lévő levegővel. Ha van is némi zavarosodás, hiszen a levegő tartalmaz némi szén-dioxidot, az jóval gyengébb. □

2.3.3 Kísérlet. Azt, hogy a szódából ecettel tényleg szén-dioxid keletkezett, könnyen kimutathatjuk, ha a fejlődő gázt átöntjük egy némi mésvizet tartalmazó kémcsőbe. (Régen a szódavízhez a szén-dioxidot szódából fejlesztették savval, innen a szódavíz neve.) Ugyanígy kimutathatjuk, hogy a szódabikarbónából is szén-dioxid keletkezik ecettel, és

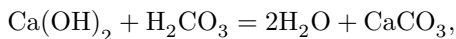
hogy akkor is, ha bármilyen más savat használunk. Az előző kísérleteket is könnyen megismételhetjük magunk készítette szén-dioxiddal: a befőttes üveg aljára teszünk egy kiskanál szódát vagy szódabikarbónát és öntünk rá némi ecetet. Ha szárazjéghez jutunk, azzal is elvégezhetjük a kísérleteket: elég egy kis darabot tenni az üveg aljára. Szódavízből vagy szénsavas ásványvízből kipezsgő szén-dioxiddal is próbálkozhatunk. Egy liter vízben 15 °C-on nagyjából egy liter szén-dioxid oldódik, nagyobb nyomáson pedig arányosan több. Ha kiengedjük a szódásüvegből, a kisebb nyomáson a szén-dioxid egy része kipezsges az oldatból, de így nem kapunk nagyon sok szén-dioxidot. Egészen biztos, hogy meszes vízzel sikerül kimutatnunk, de a gyertyás kísérletekhez jó sok szódavíz kell. □

2.3.4 Kísérlet. Tudjuk, hogy a szódavíz gyengén savanykás ízű. A magyarázat egyszerű: a víz egyesül a szén-dioxiddal *szénsavvá*, képletben



A szénsav már sav, két H^+ iont is le bír adni. (Néha hibásan a szén-dioxidot is szénsavnak nevezik.) Ha száraz indikátorpapírt mártunk szén-dioxid gázba, színe nem változik. Megnedvesítve is nagyon gyengén savas kémhatást jelez: a szénsav nagyon gyenge sav.

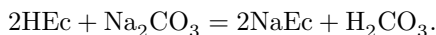
Ha a kétvegyértékű kalcium ionja helyettesíti a két hidrogént iont, akkor szénsavas mész, azaz mészkő képződik, ami vízben gyakorlatilag oldhatatlan és kiválik:



ezt a reakciót használtuk a szén-dioxid kimutatására. □

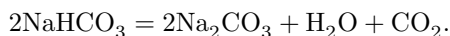
Az oltott meszet az építkezéseken meszhabarcs készítésére használják: a mészpépet vagy háromszor annyi térfogatú homokkal és némi vízzel keverik össze. Ezt teszik a téglák közé, ezzel vakolják a falakat. A homoknak egyszerűen az a szerepe, hogy több legyen a habarcs és a levegő jobban hozzáférjen a mészhez. A mész megkötésekor a fenti reakció játszódik le: az oltott mész reagál a levegő szén-dioxidjából keletkező szénsavval, és mészkő keletkezik. A teljes megkötés hónapokig, de akár évekig is eltarthat, a fal addig „izzad”, víz keletkezik. A megkötés elősegítésére az új épületekben vas kosarakban szenet (kokszt) szoktak égetni. Egyrészt a melegben a keletkező víz könnyebben elpárolog, másrészt a szén égésekor keletkező szén-dioxid kell a megkötéshez.

2.3.5 Kísérlet. Miért keletkezett a szódából ecettel szén-dioxid? Azért, mert a szóda tulajdonképpen a szénsav sója, benne a hidrogénatomokat egy nátrium nevű fémnek az atomjai helyettesítik. (Azt, hogy ha só, akkor miért lúgos mégis a szódaoldat, csak egy kicsit később tudjuk megmagyarázni.) A nátrium vegyjele Na, móltömege 22,9897686 g, olvadáspontja 97,8 °C, forráspontja 883 °C, sűrűsége 0,968 kg/l. A szóda képlete Na_2CO_3 , azaz mindegyik hidrogénatomot egy nátriumatom helyettesíti. Ezek szerint a nátrium egyvegyértékű. A szénsav sóit *karbonátoknak* hívjuk. A szóda kémiai neve *nátrium-karbonát*. Az ecettel azért képződött szén-dioxid, mert az ecetsav erősebb sav, mint a szénsav. A savak egymásnak, az erősebb kiszorítja vegyületeiből a gyengébbet. Az ecetsav is így jár, ha nála erősebb savval, például kénsavval kerül szembe. Az ecet és a szóda között lejátszódó reakció képletben:



A keletkezett szénsav aztán nagyrészt elbomlik szén-dioxidra és vízre. * Persze, ez csak egy szemléletes kifejezés, hogy a „savak ellenségei egymásnak”. Az történik, hogy az erősebb sav sok H^+ iont bocsát az oldatba, így a gyengébb sav disszociációja visszaszorul, a sav felszabadul. *

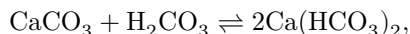
Mi a helyzet a szódadikarbónával? A szénsav *kétértékű sav*, két hidrogéniont is le tud adni. A szódadikarbónában a szénsavnak csak az egyik hidrogénjét helyettesíti nátrium, képlete $NaHCO_3$. A régies szódadikarbóna név onnan ered, hogy benne kétszer annyi szén-dioxid jut egy atom nátriumra, mint a szódában. A pontos kémiai neve *nátrium-hidrogén-karbonát*. Az ilyen anyagokat, amelyekben egy olyan savnak, amely több hidrogén iont is le tud adni, de nem mindegyiket helyettesíti fém, *savanyú só*nak hívjuk. Már tudjuk, hogy melegítve a szódadikarbónából szóda képződik. A bomlás már $100\text{ }^\circ\text{C}$ körül megindul, $200\text{ }^\circ\text{C}$ -on teljes. A reakció egyenlete:



Úgy is felfoghatjuk, hogy a bomlásban szóda és szénsav keletkezik, de a szénsav mindjárt tovább bomlik szén-dioxidra és vízre. Ez a reakció kényelmes lehetőséget ad arra, hogy szén-dioxidot állítsunk elő. Tegyük egy kémcsőbe vagy két ujjnyi szódadikarbónát, és dugjuk be a kémcsövet átfúr dugóval, amiben rövid üvegcső van. Az üvegcsőre húzzunk vékony műanyag csövet, aminek a másik végébe szükség esetén kihúzott üvegcövet dughatunk. Ha a kémcső végét ferdén lefelé tartva melegítjük a szódadikarbónát, jól szabályozható szén-dioxid áramot kapunk. Ha nem kell több szén-dioxid, egyszerűen megszüntetjük a melegítést. Azért kell ferdén lefelé tartani a kémcsövet, mert ha a képződő víz visszafolyik a forró részekre, akkor elcsattan a kémcső. A vizet a kémcsőbe tömködött vattával is visszatarthatjuk. Ha száraz szén-dioxidot akarunk, még jobb egy vattapamat fölé szilikagélt tenni. Ismételjünk meg néhány kísérletet új szén-dioxid fejlesztőnkkel! □

A kísérlet mutatja, miért jó a szódadikarbóna tűzoltásra: szén-dioxidot fejleszt, ami elfojtja a tüzet. Sok tűzoltó készülék is szén-dioxiddal, szódadikarbóna porral, vagy valamilyen savval és szódadikarbóna oldattal működik, amihez még esetleg habképző anyagot is adtak.

2.3.6 Kísérlet. Vajon az oltott mésszel is képződhet savanyú só a szénsavból? Igen! Kevés mésvízhez kémcsőben vagy pohárban adjunk pár csepp szódavizet vagy szénsavas ásványvizet. Természetesen szénsavas mész válik ki. Ha több szódavizet adunk hozzá, egy darabig nő a zavarosság, majd elkezd csökkenni, és elég sok szódavíztól teljesen meg is szűnik. Ehhez azonban jó nagy feleslegben kell lennie a szénsavnak. Számoljunk egy kicsit! Szén-dioxidból $15\text{ }^\circ\text{C}$ -on 1 l az kicsit kevesebb, mint 0,05 mol. Mivel ennyi oldódik 1 l vízben, a koncentráció kicsit kevesebb, mint 0,05 M. A mésvíz koncentrációja kicsit több, mint 0,02 M, tehát durván feleakkora. Ezek szerint az összes kalcium-karbonát leválik, ha a hozzáadott szódavíz mennyisége fele a mésvíz térfogatának, ha pedig egyenlő, akkor mindnek fel kellene oldódnia, de a kísérlet szerint ennél több szódavíz kell. Nemsoká visszatérünk még erre. A lejátszódó reakció:



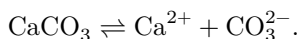
megfordítható, és csak sok szén-dioxiddal játszódik le teljesen a felső nyíl irányában. A keletkező *kalcium-hidrogén-karbonát* oldódik vízben, ezért tűnt el a zavarosság. Ha

azonban felforraltjuk az oldatot, a szén-dioxidot kiforraltjuk az oldatból, és a szénsavas mészt újra kiválik. Az egyértelműség kedvéért jobb, ha szén-dioxid patronnal vagy szén-dioxid fejlesztőnkkel desztillált vízből magunk készítette szódavizet használunk, mert az ásványvizek általában amúgy is tartalmaznak kalcium-hidrogén-karbonátot. □

A kísérlet szerint a szénsavas víz oldja a mészkövet. A növények életfolyamataik során szén-dioxidot használnak fel, de éjszaka, ugyanúgy, mint az állatok mindig, szén-dioxidot adnak le. A talaj közvetlen közelében a levegő szén-dioxid tartalma akár a 10 %-ot is elérheti. Vízrel ez szénsavat képez, ami oldja a mészkövet. A mészkőhegységekben így egész barlangok keletkeznek. Ha a barlang levegőjében kevés a szén-dioxid, annak egy része távozik az oldatból a levegőbe és a mészkő egy része kiválik. Így keletkeznek a *cseppkövek*. Számoljuk ki, mennyi szén-dioxid van a vízben! Tiszta szén-dioxidból 1 l vízben nagyjából 1 l oldódik, ami durván 2 g. Ha csak 10 térfogatszázalék a szén-dioxid tartalom, akkor a parciális nyomása 10-szer kisebb, így nagyjából 0,2 g oldódik. Az általunk kilélegzett levegő szén-dioxid tartalma durván 3 %, így ebből literenként 0,06 g oldódik. A levegő átlagos szén-dioxid tartalma jelenleg 0,043 %, amiből literenként 0,86 mg oldódik, persze 15 °C-nál magasabb hőmérsékleten még kevesebb.

2.3.7 Kísérlet. Az előző kísérlet alapján ellenőrizhetjük, van-e valamilyen oldható szennyeződés a mészvizünkben? Tegyük pár ujjnyit egy kémcsőbe, majd szívószállal fújunk bele! Kalcium-karbonát keletkezik, és egy része újra feloldódik. Forraljuk fel, hogy a keletkezett kalcium-hidrogén-karbonát bomoljon el. Hagyjuk a kivált kalcium-karbonátot leülepedni, és az oldat tisztájából egy cseppet szárítsunk be üveglemezen. Csak nagyon halvány nyomot hagyhat, alig erősebbet, mint a desztillált víz. Ha nem így lenne, öntsük le a mészvizet az oltott mészt iszapról, és öntsünk új desztillált vizet az iszapra. Ezt a kimosást ismételtethetjük, amíg a mészvíz elég tiszta nem lesz, de általában elég egyszer leönteni a mészvíz tisztáját. □

Teljesen maradék nélkül soha nem fog beszáradni a kalcium-karbonát feletti oldat, mert a mészkő is oldódik egy kicsit vízben:



A felső nyílnak megfelelő reakció sebessége ugyan függ a hőmérséklettől, de egyébként állandó, amíg az oldatban mindenütt van finom kalcium-karbonát. Az alsó nyíl irányába lefolyó reakció sebessége viszont arányos a $[\text{Ca}^{2+}]$ és $[\text{CO}_3^{2-}]$ koncentrációk szorzatával, így ugyanazzal a gondolatmenettel, mint amit a víz ionszorzatával kapcsolatban alkalmaztunk, azt kapjuk, hogy

$$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] = K_o,$$

ahol K_o a kalcium-karbonát *oldhatósági szorzata*. Megmérése telített CaCO_3 -oldat vezetőképességének mérésével lényegében ugyanúgy történhet, mint a víz ionszorzatának mérése. A mérések szerint normál hőmérsékleten $K_o = 4,8 \cdot 10^{-9} \text{ M}^2$. Mivel a tiszta CaCO_3 oldatában $[\text{Ca}^{2+}] = [\text{CO}_3^{2-}]$, így mindkettő $\approx 7 \cdot 10^{-5} \text{ M}$. Ez literenként 7 mg kalcium-karbonátnak felel meg.

2.3.8 Kísérlet. Oldjunk fel egy 1 cm³-es szappandarabot 2 dl desztillált vízben. Ha pár cseppet cseppentünk ebből a szappanoldatból egy pohár csapvízbe, a víz zavaros lesz, és idővel pelyhes csapadék ülepedik le. Kalciumsók és más hasonló sók okozzák ezt. Azt szokták mondani, hogy a víz „kemény”, mert ha ilyen vízben mosunk, a pelyhes

csapadék hozzátapad a ruhához, és a ruha kemény lesz. A *keménységet* nálunk *német keménységi* fokokban mérik, 1 német keménységi fok 10 mg CaO-dal ekvivalens kalcium vagy egyéb sók jelent 1 l vízben. Ha a víz keménysége német keménységi fokban 0–4 közötti, akkor igen lágy, 4–8 között lágy, 8–12 között közepkemény, 12–18 között meglehetősen kemény, 18–30 között kemény és 30 felett nagyon kemény. Kétféle keménységet különböztetünk meg, *változó keménységet* és *állandó keménységet*. A változó keménységet kalcium-hidrogén-karbonát vagy más hasonló, forralásnál elbomló hidrogén-karbonát okozza. A változó keménység tehát forraláskor eltűnik. Az állandó keménységet rendszerint gipsz (a gipsz is kalciumvegyület), vagy más hasonló forraláskor nem elbomló vegyület okozza. Meg tudnánk-e határozni a keménységet? MÉRJÜNK KI KÉMCSŐBE például 10 ml csapvizet, és csepegtessünk hozzá orvosi fecskendőből a szappanoldatból. Minden csepp után ellenőrizzük, hogy feleslegben van-e már a szappan? Ha igen, akkor összerázás után tartós hab képződik. Írjuk fel a *fogyást*, azaz hogy hány ml szappanoldat, úgynevezett *mérőoldat* kellett ehhez. Az egész eljárást *titrálásnak* nevezzük. Nyilván gondot okoz, hogy kicsit több szappanoldatot kell hozzáadnunk, mint amennyi reagál a keménységet okozó sókkal, hogy maradjon, ami habzást okoz. Ezt a *túlfogyást* úgy határozhatjuk meg, hogy egy másik kémcsőben nagyjából annyi tiszta desztillált vizet, amennyi a megtitrált oldat lett, titrálunk. A kapott túlfogyást levonjuk a fogyásból. Még nem tudjuk, hogy 1 ml fogyott szappanoldat hány német keménységi foknak felel meg: ezt nevezik a mérőoldat *titerének*. Ennek meghatározásához elég tudnunk, hogy a telített gipszes víz 85 német keménységi fokos. MÉRJÜNK KI $10 \cdot 20/85 \approx 2,35$ ml gipszes vizet, ami 10 ml 20 német keménységi fokos víznek felel meg, töltsük fel desztillált vízzel nagyjából 10 ml-re, majd titráljuk meg. A fogyásból kiszámíthatjuk a títert. Ha így meghatároztuk a csapvíz *összekeménységét*, forraljunk fel 10 ml-t. Vízkőként kiválnak a változó keménységet okozó sók elbomlásából keletkezett vegyületek: ezzel a jelenséggel már találkoztunk. Titráljuk meg a felforralt vizet: megkapjuk az állandó keménységet. Ez egy régi, nem nagyon pontos, de egyszerű vízkeménység meghatározási módszer, jól mutatja a titrálás alapelvét.

A kemény vizet ipari célokra mésszel és szódával lágyítják: a hidrogén-karbonátokat és a szénsavat oltott mésszel, az állandó keménységet okozó sókat pedig szódával karbonátok alakjában csapják le. Már láttuk a szóda kristályosításánál, hogy a vízből csapadékot választott le. □

2.3.9 Kísérlet. Vajon mészkőből is fejleszthetünk szén-dioxidot? Igen, például ecetsavval. Akármilyen mészkődarabot, de akár régi vakolatdarabot, tojáshejat öntsünk le kémcsőben ecettel. A fejlődő gázt mésvíz fölé átöntve kimutathatjuk, hogy szén-dioxid. Ami keletkezik még, az kalcium-acetát. Ha tisztán akarjuk előállítani, akkor ha tehetjük, márványból induljunk ki. Ez a mészkő szép fehér, kristályos változata. Nem túl kemény, még egy rézpenz is megkarcolja. Útfelszóró kőzuzaléknak is árulják. Öntsünk rá apránként ecetet, amíg fel nem oldódik (számoljuk ki, mennyi kell). A maradék ecetet semlegesítsük mésztejjel, amíg egy kevés oldatlan oltott mész marad az oldat alján. Ez azért kell, mert a lúgos oldatban a legtöbb szennyeződés nem oldódik. Ha leülepedett az oldat, öntsük le a mésziszapról vagy szűrjük meg, és fűjünk bele hosszabb ideig. A szén-dioxid leválasztja az oldatban maradt oltott meszet. Végül forraljuk fel, hogy a keletkezett kalcium-hidrogén-karbonát is elbomoljon. (Más kalciumsókat is így tisztíthatunk.) A tiszta, megszárt oldatot nem tudjuk a hagyományos módon kristályosítani, mert az anyag hidegen jobban oldódik, mint melegen. Egy széles szájú edényben kössük le újságpapírral, és hagyjuk bőséges kristálykiválásig bepárolódni. A kész kristályos anyagból

(nem tartalmaz kristályvizet) készítsünk egy kémcsőben hidegen tartott oldatot, majd melegítsük fel: az anyag egy része kiválik. □

2.3.10 Kísérlet. Foglalkozzunk egy kicsit a kémiai reakciók sebességével! Az ionok közötti reakciók nagyon gyorsak. Készítsünk nagyjából 0,05 M töménységű hígított ecetsavat! Mivel egy mól ecet 60 g, ez kb. 3‰-es. Egy pohárkába mérjük ki pipettával vagy fecskendővel 5 ml mésvizet, adjunk hozzá egy csepp fenoltalein oldatot, majd fecskendőből csepegtessünk hozzá az ecetsavból, minden csepp után összerázva, amíg elszíntelenedik. Mossuk ki a kis üveget, mérjük bele 5 ml mésvizet, adjunk hozzá egy csepp fenoltaleint. Mérjük ki a fecskendőbe ugyanannyi ecetet, mint amennyit az előbb felhasználtunk, és adjuk hozzá hirtelen a mésvízhez! Amint összekeveredik, azonnal elszíntelenedik az oldat (hacsak nem kevés az ecet), pedig az ecetnek csak egy része van disszociálva.

Most ismételjük meg ugyanezt ecet helyett szén-dioxid oldattal. Vagy desztillált vízbe vezetünk szén-dioxidot, vagy desztillált vízből készítünk szódavizet. Nem vétünk nagy hibát akkor sem, ha egyszerű szódavizet használunk. Mérjük meg és írjuk fel az elszíntelenedés idejét. Kezdjük 15 ml szénsavval, és ml-enként menjünk lefelé. Az elszíntelenedés ideje egyre hosszabb lesz, pedig a szénsav az első néhány mérésnél biztosan feleslegben van, hiszen még fel is oldódik a csapadék! A magyarázat az, hogy a szén-dioxid csak lassan reagál a vízzel szénsavvá, ami aztán már gyorsan reagál az oltott mészsel. A fordított reakció, a szénsav bomlása vízzé és szén-dioxiddá sokkal gyorsabb. Ezért például a szódabikarbóna oldata azonnal felpeszeg ecettől. A bomlás vagy 600-szor gyorsabb, ezért a szódavízben nagyjából 600-szor annyi szén-dioxid van, mint szénsav. Részben ez magyarázza, hogy miért is tűnik olyan gyenge savnak a szénsav.

En egy kicsit másként végeztem a kísérletet. Csak 3 ml mésvizet használtam, mert akkora fecskendőm volt. A mért idők:

szódavíz, ml	9	8	7	6	5	4	3	2,5	2
idő	2"	3"	4"	5"	9"	12"	30"	2'00"	3'40"

1,5 ml szódavíz már nem volt elég az elszíntelenedéshez. Legalább 4 ml szódavizet használva, a folyadék kitisztult, 3 ml-nél kicsit zavaros maradt, kevesebbnél pedig zavaros maradt. □

** A szénsav két lépésben disszociál. Az első lépésben a



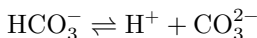
megfordítható reakció játszódik le. Ha ennek a disszociációnak az állandóját próbáljuk megmérni, akkor tulajdonképpen a

$$\frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = K_1 = 4,45 \cdot 10^{-7} \text{ M}$$

látszólagos disszociációs állandót találjuk. A valódi

$$\frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = K$$

disszociációs állandó ennél 600-szor nagyobb, mert a CO_2 -nek csak hatszázad része van jelen szénsavként. A második disszociációs lépés



már sokkal nehezebben játszódik le, mert a már negatív töltésű HCO_3^- ion sokkal nehezebben engedi el a második hidrogén ionot. Ennek a lépésnek a disszociációs állandója

$$\frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = K_2 = 4,84 \cdot 10^{-11} \text{ M.}$$

Most megérthetjük, miért lúgos a szóda. Ha a hidrogén-karbonát anionoknak csak a fele adta le hidrogénjét, azaz ha $[\text{HCO}_3^-] = [\text{CO}_3^{2-}]$, már akkor is a hidrogénionok koncentrációja kisebb, mint 10^{-10} , azaz a pH nagyobb, mint 10.

Ugyanez a gondolatmenet magyarázza a fenolftalein „működését” is. A fenolftalein gyenge kétértékű sav ugyanúgy, mint a szénsav. Ha mindkét hidrogénjét leadja, akkor a szerkezete megváltozik, ez adja a kárminvörös színt. Ha meg tudjuk mérni a pH-t, amikor a fenolftalein pontosan feleannyira vörös, mint erős lúgban, akkor megkaphatjuk a (második) disszociációs állandót is. A legtöbb indikátor hasonlóan működik: sav vagy lúg, és disszociációkor színt vált. Ha a savas és a lúgos színűből egyenlő vastag réteget teszünk egymás mögé, akkor az „átcsapási” színűnek látszik. Ilyen színű oldat pH-ját megmérve, megkapjuk a disszociációs állandót. Általában ha az indikátornak kevesebb mint 10%-a van lúgos alakban, akkor a keletkező színt már nem tudjuk megkülönböztetni a savas színtől. Ez azt jelenti, hogy az átcsapási színhez tartozó pH alatt eggyel már tiszta savas színt látunk, a fölött eggyel pedig tiszta lúgos színt. Az univerzális indikátor több indikátor keveréke, mindegyik máshol vált színt.

2.3.11 Kísérlet. Ha nagy mennyiségű szén-dioxidra vagy tartós szén-dioxid áramra van szükségünk, erjesztést használhatunk: 200 g cukrot oldjunk vízzel egy literre, és adjunk hozzá 1 g száraz élesztőt (ami megfelel 3,5 g friss élesztőnek). Langyos helyen szeszes erjedés indul meg, ami 2–3 hét alatt nagy mennyiségű szén-dioxidot termel. Így elméletileg 1 kg cukorból 1/2 kg szesz és 250–300 l szén-dioxid keletkezik, a gyakorlatban valamivel kevesebb. Jobban megy az erjedés, ha egy kevés virágtápsót is teszünk az oldatba. Ez tartalmazza azokat az anyagokat, amire az élesztőgombáknak növekedésükhöz szükségük van. A kísérlet megmagyarázza azt is, hogy a bor „forrásakor” miért veszélyes a pincébe lemenni. A bor „forrása” tulajdonképpen szeszes erjedés. A keletkező nagy mennyiségű szén-dioxid nehezebb lévén a levegőnél összegyűlik a pince alján, és bár nem mérgező, de kiszorítja a légzéshez szükséges levegőt. Vigyünk a kezünkben a hasunk előtt tartott gyertyát! Ha elalszik, azonnal menjünk vissza. □

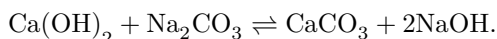
2.3.12 Kísérlet. Ha mi megfulladunk is a szén-dioxidban, a növényeknek nélkülözhetetlen. Két egyforma befőttes üvegbe tegyünk egy-egy marék termőföldet és abba 2–3 szem borsót vagy babot, amelyet előtte 1 napig vízben áztattunk. Egy kb. fele akkora üvegben fejlesszünk széndioxidot, és öntsük át az egyik üvegbe. Mindkét üveget zárjuk le és tegyük napfényre. Figyeljük meg, hogy a szén-dioxidos üvegben a kis növény jobban fejlődik. A növények főleg szén-dioxidból és vízből építik fel testüket, amely nagy részben szén-hidrátokból áll, és közben oxigént termelnek.

2.4 Nátronlúg és kálilúg

2.4.1 Kísérlet. A szódában ott rejtőzik a szén-dioxid, ami a mézsvízzel csapadékot ad. Talán a szódaoldat is adja ezt a reakciót? Próbáljuk ki! Cseppentsünk egy kémcsőben mézsvízbe egy csepp szódaoldatot: megjelenik a csapadék. Tudjuk, hogy a csapvíz

is csapadékot ad a szódaoldattal: a benne lévő mészsók — legtöbbször gipsz — kalcium-karbonátot adnak. Karbonátok előállításához sokszor fogunk szódaoldatot használni. Ha a lehető legtöményebbre van szükségünk, például átkristályosításhoz, 30 %-ost készítsünk, PE vagy PP edényben 50 °C-on desztillált vízben oldva a szódat. Fűjünk az oldatba pár percig levegőt. (Hogy miért, arra majd visszatérünk.) Ha nem tiszta az oldat, üleptsük vagy szűrjük. Ebből az oldatból csak 30 °C alatt kristályosodik ki a szóda. Kristályosításhoz 0 °C-ra hűtsük le. Ha el akarjuk tenni az oldatot, akkor 15 %-ost készítsünk, de egyébként ugyanúgy járjunk el. Ebből még 20 °C-on nem kristályosodik ki a szóda. □

2.4.2 Kísérlet. Térjünk vissza a mésvíz és a szóda reakciójához. A lényeg, hogy a karbonát ionok és a kalcium ionok találkozva kalcium-karbonátot adnak. Az oldatban nátrium ionok és hidroxil ionok maradnak, ami tehát nátrium-hidroxidot jelent. A teljes reakció:



Miért írtunk megfordítható reakciót, talán nem játszódik le teljesen? Hát, kezdetben gyakorlatilag csak jobbra fut a reakció, de ha felgyűlnek a hidroxil ionok, visszaszorul az oltott mész oldódása, és már nem lesz elég kalcium ion, hogy az egyre fogyó karbonát ionokkal kalcium-karbonát csapadékot képezzen. Sőt, nagyon sok nátrium-hidroxidnál már visszafelé fut a reakció. A nátrium-hidroxidot, pontosabban a vizes oldatát *kausztikus szódának*, *nátronlúgnak* vagy *marólúgnak* hívják, magát a folyamatot pedig *kausztfikálásnak*. A kausztikus szó marót jelent. Már a nevek jelzik, hogy óvatosnak kell lennünk! Az egyenlet szerint 1 mól szódához 1 mól oltott mész kell, ami 74 g. Mivel az oltott mész víztartalma, a feleslege pedig nem árt, hiszen nem oldódik, vegyünk 120 g oltott meszet. Mintha mésvizet készítenénk, tegyük egy megmért két literes PE palackba, és öntsük fel desztillált vízzel. Ha leülepedett, az oldható szennyezéseket tartalmazó vizet öntsük le a mésről. Mérjük le az előző pont szerint készített szóda oldatból 1 mólnál kicsit több, 110 g szódat tartalmazó oldatot, és öntsük a mészre. Desztillált vízzel öntsük fel 2120 g-ra a palack tartalmát. Semmi különöset nem tapasztalunk, a reakció lassan játszódik le. Tartsuk a palackot avatatlanok előtt elzárva, feltűnően ráírva, hogy nátronlúg, és hogy mérég! Langyos helyen gyorsabban végbemegy a reakció. Honnan tudjuk, hogy már lejátszódott? A nátronlúgban nincs szén-dioxid, így ha kiöntünk egy kicsit egy kémcsőbe, és (lehetőleg erős) ecetet adunk hozzá, amíg savas nem lesz (indikátor!), nem pezseg. Amíg szóda van az oldatban, a semlegesítés végén pezseg. A szódának nagyjából 99 %-a alakul át nátronlúggá, így nagyjából 2 mól nátrium-hidroxid van két literben, azaz 1 M a koncentráció. Sokszor lesz rá szükségünk. Legjobb, ha a mésziszap felett tartjuk, mert a bejutó szén-dioxidot elnyeli, vele szódává egyesül, de az oltott mész azt visszaalakítja nátronlúggá. Töltsünk ki 1–2 dl-t egy kis, lehetőleg PE palackba, mert a nátronlúg lassan megmarja az üveget, az üvegdugó beragad. Ha kétszer ennyi oltott mészből és szódából készítsünk 2 l nátronlúgot, az átalakulás már csak 95 %-os. Van azért egy trükk, amivel elég tömény, 15–25 %-os, mégis csak kevés szódat tartalmazó nátronlúgot készíthetünk. A tömény szódaoldattal kapott nátronlúgot hűtsük le só-jég keverékkel! A szóda rosszul oldódik a tömény nátronlúgban, így nagy része kiválik. Mérjük meg a kapott oldat sűrűségét, állapítsuk meg a koncentrációját, és készítsünk belőle 8 %-os oldatot. Leggyakrabban ezt fogjuk használni.

Egyébként ha a lúgkészítésnél főzzük az oldatot (vasfazékban vagy vas habarcsmerőben, vasfedővel lefedve, vagy rozsdamentes acél edényben rozsdamentes acél fedővel

lefedve), az átalakulás egy-két óra alatt befejeződik. A forró lúg azonban veszedelmes anyag, feltétlenül védőszemüvegben dolgozzunk! □

2.4.3 Kísérlet. Hogy milyen veszedelmes a nátronlúg, könnyen kipróbálhatjuk. Öntsünk kémcsőbe pár ujjnyit és tegyünk bele egy hajszálat. Kicsit megmelegítve a haj feloldódik. Melegítéskor legyünk nagyon óvatosak, mert a lúg könnyen kifröccsen: oldja az üveg egyenetlenségeit és így nincs, ahol a forrás meginduljon. A lúg túlmelegszik, és a forrás hirtelen megindulásakor kifröccsen. Vigyázzunk, a kémcső ne irányuljon senki felé! A lúgok egyébként síkos tapintásúak, mert a bőrünket is oldani kezdik. Ha erős lúg kerül a kezünkre, hamar mossuk le bő vízzel. A haj feloldása egyébként hypóban is sikerül: a hypo nátronlúggal készül, és bőven marad benne nátronlúg. □

2.4.4 Kísérlet. Öntsünk egy pohárba kevés nátronlúgot. Öntsünk fölé szén-dioxidot és megnedvesített tenyerünket szorítsuk a pohárra. A lúg gyorsan elnyeli a szén-dioxid egy részét és szódát ad vele, különösen, ha óvatosan egy kicsit lögyöbljük. A külső légnyomás a tenyerünkre szorítja a poharat, akár fel is emelhetjük. A szén-dioxid megkötésére nátronlúgon kívül *nátronmeszet* szoktunk használni. Ez úgy készül, hogy égetett meszet tömény nátronlúggal oltanak meg. Mi megelégedhetünk olyan nátronmészszel, amely égetett mészt tömény szódaoldattal való megoltásával készül. Az oltott mészt a szódaoldattal részben nátronlúgot ad (nagyjából a fele alakul át). Ha ez szén-dioxidot nyel el, a képződött szódából az oltott mészt újra nátronlúgot csinál, amíg van oltott mészt. □

2.4.5 Kísérlet. A szódaabikarbónából a nátronlúg szódát csinál. A nátronlúg erős lúg, vízben teljesen felbomlik Na^+ és OH^- ionokra. Így a mi 1 M koncentrációjú nátronlúgunk pH-ja 14. Ha a szódaabikarbóna oldatához nátronlúgot adunk, az megköti a szódaabikarbónában lévő H^+ ionokat, és szóda keletkezik. * Amikor már 10% átalakult szódává, akkor a

$$\frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = K_2 = 4,84 \cdot 10^{-11} \text{ M}$$

egyensúly fennállása miatt, mivel $[\text{CO}_3^{2-}]/[\text{HCO}_3^-]=1/10$, azt kapjuk, hogy $[\text{H}^+]=4,84 \cdot 10^{-10}$ M, azaz a pH értéke $\approx 9,3$. Amikor már a szódaabikarbóna fele alakult át szódává, a pH értéke $\approx 10,3$, amikor pedig 90%-a, akkor $\approx 11,3$. Ha megfelelő indikátort adunk az oldathoz, a jelenség jól követhető. Persze, amikor elfogy a szódaabikarbóna, a pH gyorsan felugrik 12 fölé. Fordított irányban játszódik le a folyamat, ha nátrium-karbonát oldatához a szénsavnál erősebb savat, például ecetsavat adunk, ami megköti a nátronlúgot és felszabadítja a szódaabikarbónát.

Hasonló dolgot tapasztalunk, ha ecetsav oldatához adunk nátronlúgot. A kezdeti 2 körüli pH a

$$\frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{Ec}^-]}{[\text{HEc}]} = K = 1,74 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

egyensúly fennállása miatt amikor az ecetsavnak 10%-a van megkötve, a pH $\approx 4,8$ -ra nő, amikor a fele, a pH $\approx 5,8$ -ra, amikor a 90%-a, akkor a pH $\approx 6,8$ -ra, majd amikor elfogy az ecetsav, felugrik 12 fölé. Ha megfelelő indikátort adunk az oldathoz, a jelenség itt még jobban követhető. Itt is fordított irányban játszódik le a folyamat, ha szódaoldathoz az ecetsavnál erősebb savat adunk, ami megköti a nátronlúgot és felszabadítja az ecetsavat.

Amit tapasztaltunk, az a *pufferhatás*: gyenge sav és erős bázissal képzett sójának elégyéhez savat vagy lúgot adva, a pH csak kicsit változik. (Az első esetben a szódaabikarbóna

mint savanyú só volt az igen gyenge sav.) Megfelelő arányban keverve gyenge savat erős bázissal képzett sójával a gyenge sav disszociációs állandójából számítható pH körüli pH-t állíthatunk be. Ilyen *pufferoldathoz* adott indikátor színével való összehasonlítással elég pontosan mérhetünk pH-t. Legegyszerűbb, ha a mérendő oldat meg a pufferoldat is egyenlő térfogatú ugyanolyan kémcsőben, és ugyanolyan hosszúságú univerzál indikátor papír csíkból áztatjuk ki benne az indikátort. A pufferoldat pH-ja nem függ a koncentrációjától, de minél töményebb, annál több erős sav vagy lúg kell a pH megváltoztatásához. *

2.4.6 Kísérlet. A szódának közeli rokona a *hamuzsír*. Tiszta fahamuból (szénhamu nem jó) vonhatjuk ki grammonként kétszer 1 ml forró vízzel, kétszeres kivonással. A szűrőzsák kifacsarásakor vegyünk fel háztartási gumikesztyűt, mert a hamuzsír is erősen lúgos! A kivonatokat egyesítve a lúgos oldatot vas edényben vízfürdőn pároljuk be kezdődő kristálykiválásig. (Sok vizet kell elpárologtatni, mert a fahamu csak nagyjából 5% hamuzsírt tartalmaz.) Ha hagyjuk kihűlni, kristályok válnak ki. Ezek főleg szennyezések. Szűrjük le az oldatot, és vas edényben pároljuk szárazra. Lángon jól fel is hevíthetjük, a szennyezések egy része elszenesedik. Amit kaptunk, az kémiaileg kálium-karbonát, a nátrium fém egy közeli rokonának, a kálium fémnek a karbonátja, képlete K_2CO_3 . Mint látjuk, a kálium vegyjele K, egy vegyértékű. A kálium móltömege 39,09831 g, olvadáspontja $63,7^\circ C$, forráspontja $759^\circ C$, sűrűsége 0,856 kg/l. Az anyag onnan kapta a nevét, hogy mint lúg, síkos, zsíros tapintású, másrészt nagyon jól oldódik vízben és nedvszívó is, levegőn lassan vizet szív és elfolyósodik. Két molekula kristályvízzel kristályosodik. A tömény hamuzsír oldat és $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$ keveréke felett az egyensúlyi vízgőz tartalom 45%, míg kristályvizes és vízmentes hamuzsír keveréke felett 5%, azaz a hamuzsír elég jó szárítószer.

2.4.7 Kísérlet. Az általunk készített kevés hamuzsír is elég lesz néhány kísérletre. A száraz anyagból adjunk egy keveset kémcsőben szeszhez. Feloldódik, és két réteg látható: alul tömény hamuzsír oldat, fölötte szesz, amiből a hamuzsír a víz nagy részét elvonta. Ezért lehet folyadékok szárítására felhasználni. Érdekes, hogy míg általában alkoholban azok az anyagok oldódnak, amelyek nedvszívóak (hiszen ezek erősen polárisak), a nedvszívó hamuzsír nem oldódik szeszben. Ez az egyetlen kivétel; ezt érdemes megjegyezni. □

2.4.8 Kísérlet. Régen a hamuzsírt üvegyártás mellett főleg mosásra használták. (Egész erdőket égettek el, hogy hamuzsírhoz jussanak. Ma már szinte csak a szódát használjuk helyette.) Próbáljuk ki ezt is. Kis darab rongyra cseppentsünk pár csepp étolajat, majd mossuk ki hamuzsír oldatban. Szépen kitisztul. A hamuzsír a növényi olajokkal, állati zsírokkal szappant képez, ez is szerepet játszik a tisztításnál. □

2.4.9 Kísérlet. Ha kevés hamuzsír oldathoz ecetet csepegtetünk, ugyanúgy, mint a szódaoldatból, szén-dioxid keletkezik. Ami marad, kálium-acetát. Másfél mól kristályvízzel kristályosodik. Ugyanúgy tisztítható, mint a nátrium-acetát. Vízben nagyon jól oldódik, így csak 50 térfogatszázalékos alkoholból lehet átkristályosítani, ugyanúgy, mint a nátrium-acetátot. □

2.4.10 Kísérlet. Az általunk készített hamuzsír elég szennyezett. Majd később leírjuk, hogyan készíthetünk tisztábbat, de vegyszerboltban vásárolhatunk is tisztát. Tisztítani inkább csak kémiaileg lehet. Tömény, megszárt hamuzsír oldatba vezessünk például

erjesztéssel előállított szén-dioxidot! A szén-dioxid fejlesztőre tegyünk egy borászati „kottogót”, amibe kevés vizet öntöttünk: így tisztább lesz a szén-dioxid. A gázbevezetéshez szükségünk lesz egy *elnyeletőharangra*. Vágjuk le egy műanyag (PE vagy PP) palack alját fűrészfogszerűen, és dugjuk be egyfuratú dugóval! Ebbe a „harangba” fogjuk a szén-dioxidot vezetni. A csipkézett alja érjen bele a hamuzsíros edénybe, de ne nagyon, csak annyira, hogy ha a folyadék elkezdene visszaszívódni, mert túl mohón nyeli el a szén-dioxidot, ne teljen meg a palack, mielőtt a levegő elkezd bebuborékolni. Ez az egyszerű berendezés mindig jó szolgálatot tesz gázelnyeletéskor: a folyadék nem tud visszaszívódni, és a keletkező szilárd anyag nem tömi el a gázbevezető csövet. A hamuzsír átalakul kálium-hidrogén-karbonáttá, ami rosszabbul oldódik vízben, és kiválik az oldatból. Kémiailag is ellenőrizhetjük, hogy teljes-e az átalakulás: ha már minden karbonát átalakult, az oldat egy kis része keserűsítő oldattal nem ad azonnal csapadékot. Egyszerűen úgy is eljárhatunk, hogy ha már nem válik ki több, egy napi állás után a kivált sót leszűrjük és kevés jéghideg vízzel mossuk. Szén-dioxid atmoszférában 20–25 °C-on kell szárítani, porítani és újra szárítani. Szén-dioxid atmoszférában kell üvegekbe tölteni, egyébként egy része elbomlik. Ha sütőben úgyis visszaalakítjuk hamuzsírrá, a szárítást megtakaríthatjuk. Ugyanúgy elbomlik, mint a szódabikarbóna. Szódabikarbóna is készíthető így szódából, tehát a szóda is tisztítható így, de könnyen át is kristályosítható, nem úgy, mint a hamuzsír. Egyébként a nátrium-hidrogén-karbonát 6 ml/g forró vízből átkristályosítva, a kálium-hidrogén-karbonát pedig 1,25 ml/g 65–70 °C-os vízben oldva, szűrve, és 15 °C-ra hűtve tisztítható. □

2.4.11 Kísérlet. A hamuzsír oldatából ugyanúgy készíthetünk *kálilúgot*, mint a szóda-oldatból nátronlúgot. Persze, érdemes tiszta hamuzsírból kiindulni, hogy tiszta kálilúgot kapjunk. Ez még egy kicsit erősebb lúg, mint a nátronlúg, de egyébként nagyon hasonlóak a tulajdonságai. □

2.4.12 Kísérlet. Bizonyára mindenkinek feltűnt, hogy míg szinte minden anyagot igyekeztünk tiszta, kristályos állapotban kinyerni, a nátronlúgnál és a kálilúgnál erről nem esett szó. Elvileg egyszerű a kausztifikálással kapott híg oldatot töményíteni, de a gyakorlatban nem. Mivel megköti a szén-dioxidot, vas edényben, vas fedővel lefedve kell dolgozni, ráadásul a lúg fröcsköl is! A nátronlúgot és a kálilúgot nem lehet könnyen kristályosítani és a vizet teljesen csak 300 °C felett vesztik el, ezért megolvadásig szokás őket hevíteni, majd melegen formákba önteni. Mondanunk se kell, hogy ez mennyire veszélyes. Tisztítani úgy lehet őket, hogy a lúgot 3,5-szer annyi súlyú legtöményebb szeszen oldjuk fel, ülepítjük, a tiszta oldatról a szeszt ledesztilláljuk, az anyagot ezüst csészében megolvastjuk és formába öntjük. A kálilúgnál még így is vigyázni kell, hogy ne melegítsük túl, mert még az ezüst csészét is megtámadja! Természetesen senkinek sem tanácsoljuk, hogy ezeket kipróbálja. Szerencsére mindkettő kapható tisztán, így ha esetleg tömény lúgra lenne szükségünk, a szilárd lúgból készíthetjük. Egyébként több lefolyótisztító is szilárd nátronlúgot tartalmaz, olyan anyagokkal keverve, amelyekkel oldáskor sok hőt fejleszt. A forró tömény lúg gyorsan szappanná alakítja a zsirokat, oldja a hajszálakat és hasonló szennyeződések. Mindkét lúg egy mól kristályvízzel kristályosodik. Nátronlúgnál a tömény oldat és a kristályvizes lúg keveréke felett a vízgőz tartalom 6 %, a kristályvizes és a vízmentes lúg keveréke felett pedig 3 %. Kálilúgnál a tömény oldat és a kristályvizes lúg keveréke felett a vízgőz tartalom 5 %, a kristályvizes és a vízmentes lúg keveréke felett pedig 2 %. Látjuk, hogy nátronlúg és a kálilúg is elég jó szárítószer. A kálilúg is elnyeli

a szén-dioxidot. Előnye, hogy a keletkező hamuzsír oldódik a lúgoldatban.

Még a legtisztább szilárd lúg is tartalmaz némi vizet és karbonátot. A karbonáttól úgy szabadulhatunk meg, hogy kevés vízzel leöblítjük. A nátronlúgnál úgy is eljárhatunk, hogy tömény, 50 %-os oldatot készítünk, amiben a szóda nem oldódik, és a tisztáját leöntjük. (Ez a trükk a káliblúgnál nem működik, a hamuzsír oldódik a tömény lúgban.) Oldáshoz jó a PE (még jobb a PP) edény, mert a tömény lúg az üveget megmarja. VIGYÁZAT, NAGYON SOK HŐ KÉPZŐDIK! Ezért a vizet előre mérjük bele az edénykébe, és apránként adagoljuk a lúgot. Hígításhoz kiforralt desztillált vizet használjunk. FELTÉTLENÜL VEGYÜNK FEL VÉDŐSZEMÜVEGET!

Ha mégis úgy döntünk, hogy magunk készítünk töményebb lúgoldatot, akkor nátronlúgot készítünk. A vas edényben főzéssel készített nátronlúgot ülepítés után öntsük le a mézről, majd vas edényben vas fedővel lefedve töményítsük. Jól lehűtve kiválik a szóda, és az elég tiszta lúgot leönthetjük róla. □.

2.4.13 Kísérlet. Látjuk, hogy a nátrium és a kálium vegyületei nagyon hasonlóak. Sokáig össze is keverték őket. A középkorban — arab eredetű szóval — minden lúgos anyag neve „alkáli” volt. Ebből lett a kálium neve, a nátriumé pedig a „nátron” szóból. Angolban (és franciában) a nátrium neve a „soda” szóból sodium, a káliumé pedig a hamuzsírt jelentő „potash” szóból potassium. Legegyszerűbben lángfestéssel lehet a nátrium- és káliumvegyületeket megkülönböztetni. A nátrium vegyületei sárgára festik a lángot, a kálium vegyületei pedig lilásra. Ezt konyhasóval és kálisóval próbálhatjuk ki. A konyhasó nátriumvegyület, a kálisó pedig, mint a nevéből már nyilván kitaláltuk, káliumvegyület. Csak gázlángra (szükség esetén borszeszegő is megteszi) és egy 0,5–1 mm átmérőjű vasdrótra lesz szükségünk. Ha kényelmesen akarjuk fogni, dugjuk át a drótot egy átszúrt parafadugón. Persze, ez nem feltétlenül szükséges. Egy csepp desztillált vizet cseppentve a drótra, vegyünk fel vele egy konyhasó kristálykát, vagy mártsuk a végét konyhasó oldatba, és tartsuk a láng alsó külső részébe: a láng tartósan sárgára (kissé narancsos árnyalatú sárgára) színeződik. Ilyen színe van a nátriumgőzt tartalmazó utcai világításra használt lámpáknak is. Utána egyszerűen csípjuk le a drót használt végét. A kimutatás rendkívül érzékeny: ha egy tiszta vasdrótot sokáig tartunk a lángba, amíg már nem festi azt, megvárjuk, míg lehűl, majd megfogjuk, már megkapjuk a sárga lángfestést. Az izzadságban lévő kevés konyhasó bőven elég a sárga lángfestéshez. Ezért csak percekig tartó sárga lángfestést tekinthetünk a nátriumtartalom bizonyítékának, mert már csekély (kb. 70 pg) szennyeződés is sárga lángfestést okoz.

Ismételjük meg a lángfestési próbát tisztított kálisónk egy kristálykájával. A nátrium több-kevesebb ideig tartó sárga lángfestése mellett lilás lángfestést is tapasztalunk. A kálisó kristályosítás anyalúgijával megismételve a próbát, esetleg már nem is látjuk a kálium lángfestését, mert a nátrium lángfestése elnyomja. Ilyenkor jó szolgálatot tesz egy 5 cm×5 cm-es *kobaltüveg*. Ez egy sötétkék üveg, amely a nátriumláng sárga fényét elnyeli, a káliumét viszont átengedi. Ha nem jutunk hozzá, kék műanyag több rétegével, lapos üvegbe töltött szeszes golyóstolltinta-oldattal, vagy más kék festék, például indigó oldatával, esetleg kék festékbe áztatott celofán több rétegével is próbálkozhatunk. Akkor jó a szín, ha a nátrium lángfestése nem látszik, de a káliumé látszik. Nekem kétféle kék palack anyaga is jónak bizonyult: az egyikből két réteg kellett, a másikkól négy, hogy a nátrium lángfestését kiszűrje. Jó, ha olyan részeket is hagyunk, ahol kevesebb réteg van, hogy megbecsülhessük, mennyi a nátrium. Próbáljuk ki, hogy látszik-e és milyennek a kálium lángfestése, mert a szín megváltozhat! Próbáljuk ki a két só vegyes oldatát is!

Egyébként a kálium lángfestését megkapjuk, ha növényi részeket, például egy kis darab krumplit szúrunk a vasdrótra, és azt visszük a lángba. A növényekben lévő káliumból származik a minden növényi hamuban megjelenő hamuzsír. Az állatok testében is van kálium, de jóval több a nátrium.

Még a nátrium és kálium egy közeli rokonát is könnyen kimutathatjuk lángfestéssel: a lítiumot (vegyjele Li, egyvegyértékű, atomtömege 6,9412 g, olvadáspontja 180,6 °C, forráspontja 1342 °C, sűrűsége 0,534 kg/l). A jó minőségű kenőzsírok — úgynevezett lítiumzsírok — lítiumtartalmúak. Egy kevés lítiumzsírt véve a vasdrótra, rövid ideig szép mélyvörös lángfestést tapasztalunk. A lítium lángfestése majdnem olyan érzékeny, mint a nátriumé. Próbáljuk ki a „kobaltüvegünkkel” is! □

Kísérletként nehéz bemutatni, de magas hőmérsékletű nátriumgőzzel festett láng fényében egy alacsonyabb hőmérsékletű nátriumláng árnyékot vet: a lángban lévő nátrium atomok a nátriumláng fényét nyelik el a legerősebben.

2.4.14 Kísérlet. Oldjunk kevés nátrium-acetátot desztillált vízben, adjunk hozzá pár csepp fenoltalein oldatot! Forraljuk fel az oldatot: halvány rózsaszín lesz. Ha lehül, újra színtelen. A játék akárhányszor megismételhető. Mi a magyarázat? Univerzál indikátor mutatja, hogy a nátrium-acetát oldata enyhén lúgos. Miért? Ha feloldjuk vízben, teljesen felbomlik Na^+ és Ec^- ionokra. Az acetát ionok egy része viszont reagál a vízből keletkező H^+ ionokkal. (A Na^+ ionok nem reagálnak a OH^- ionokkal, mert a nátronlúg erős lúg, teljesen ionokra bomlik.) ** Legyen mondjuk 1 M az Ec^- ionok koncentrációja. Az ecetsav disszociációjáról tanultak szerint

$$\frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{Ec}^-]}{[\text{HEc}]} = K_s = 1,74 \cdot 10^{-5} \text{ M},$$

ehhez viszont valamennyi ecetsavnak kell keletkeznie. Ez fogyasztja a H^+ ionokat, amelyek a víz disszociációjából pótlódnak. Közelítésként vehetjük azt, hogy a megmaradó hidrogén ionok mennyisége jelentéktelen az ecetsav képződésében elhasznált mennyiséghez képest, így $[\text{HEc}] \approx [\text{OH}^-]$. Mivel $[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_v = 10^{-14} \text{ M}^2$, azt kapjuk, hogy

$$\frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{Ec}^-]}{[\text{HEc}]} \approx \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{Ec}^-]}{K_v/[\text{H}^+]} = K_s,$$

azaz

$$[\text{H}^+]^2 \cdot [\text{Ec}^-] \approx K_s \cdot K_v.$$

Behelyettesítve $[\text{H}^+] \approx 4,17 \cdot 10^{-10} \text{ M}$, azaz a $\text{pH} \approx 9,4$. Innen $[\text{HEc}] \approx [\text{OH}^-] \approx 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ M}$, és a $[\text{HEc}]/[\text{Ec}^-]$ arány csak 2,4‰. Tehát igen kevés ecetsav keletkezik, de a szabadon maradó kevés nátronlúg is elég ahhoz, hogy jelentősen megemelje a pH -t. A jelenséget *hidrolízisnek* nevezzük, mert úgy fogható fel, hogy a víz reagál a sóval, és némi (gyenge) sav és (erős) lúg keletkezik. Teljesen hasonló a helyzet más gyenge sav és erős lúg esetén is. Például szódánál a szénsav második disszociációjának megfordulásával kell számolni, és azt kapjuk, hogy 1 M koncentrációjú oldat pH -ja $\approx 12,16$. Itt már a szóda 1,44‰-a alakul vissza nátronlúggá és szóda-bikarbónává. Egyébként már a szóda-bikarbóna is enyhén lúgos. **

Visszatérve a kísérlethez, a nátrium-acetát tehát kis mértékben reagál a vízzel, *hidrolizál*, némi gyenge sav és erős lúg keletkezik. Hogy ez milyen mértékű, az függ a hőmérséklettől, de függ az indikátor átcsapási tartománya is. Ez okozza a jelenséget. □

2.4.15 Kísérlet. Több könyvben megtalálható ez a kísérlet: kémcsőben meszes víz fölé vezetünk szén-dioxid gázt felfordított szódás üvegből vagy gázfejlesztőből. Fogjuk be a kémcsövet és rázzuk össze. A szén-dioxid egy része egyesül a meszes vízzel, az ujjunkat beszívja a légnyomáscsökkenés. Addig ismételjük a szén-dioxidnak a meszes víz fölé vezetését és az összerázást, amíg már nem tapasztalunk légnyomáscsökkenést. A kezdetben keletkező csapadék feloldódik. □

** Számoljuk ki, mennyi az a minimális szén-dioxid felesleg, ami adott mennyiségű kalcium-hidrogén-karbonát képes oldatban tartani. Jelölje a kalcium-hidrogén-karbonát koncentrációját M-ben x , a szükséges szén-dioxid koncentrációt pedig y . Mivel a kalcium-hidrogén-karbonát mint só teljesen disszociál, a hidrogén-karbonát anionok koncentrációja $2x$. Jelölje z a karbonát ionok koncentrációját. Ha éppen nem válik ki kalcium-karbonát, akkor $x \cdot z = K_o$, a mészkő oldhatósági szorzata. A szénsav első és második disszociációs egyensúlyából

$$\frac{2x \cdot [\text{H}^+]}{y} = K_1 \quad \text{és} \quad \frac{z \cdot [\text{H}^+]}{2x} = K_2.$$

Az első összefüggésből kifejezve y -t, majd a másodikból kifejezve a hidrogén ionok koncentrációját, és behelyettesítve, végül az oldhatósági szorzatból kifejezve z -t és behelyettesítve,

$$y = \frac{2x \cdot [\text{H}^+]}{K_1} = \frac{4x^2 \cdot K_2}{K_1 \cdot z} = \frac{4x^3 \cdot K_2}{K_1 \cdot K_o}.$$

Tehát $y = k \cdot x^3$, ahol k egy, a hőmérséklettől függő állandó. Kiszámolva az értékét normál hőmérsékleten $k = 9 \cdot 10^4 \text{ l/M}^2$. Például mennyi szén-dioxid kell a meszesvízből keletkező kalcium-karbonát feloldásához? A meszes víz koncentrációja normál hőmérsékleten 1,59/74 M, amiből $\approx 0,9 \text{ M CO}_2$ adódik. **

Hoppá! A számítás szerint olyan nagy szén-dioxid felesleg kell a kezdetben keletkező csapadék feloldásához, hogy annyi nem is oldódik fel a vízben! Ez a kísérlet így NEM IS MŰKÖDIK! Tehát annak a megfigyelése jó, akinek ez a kísérlet NEM SIKERÜLT! Tapasztaljuk ugyan, hogy a kezdetben keletkező csapadék jelentős része feloldódik, de nem az összes! A tudományban, mint az élet minden területén, fordulnak elő tévedések, hibák. De a mások által leírtakat ellenőrizni szokták, és így a jó könyvekben már általában nagyon kevés hiba marad. Ellenőrizetlen forrásokban, például a világhálón azonban sok számszág kering. Erre vigyázzunk. Végző soron mindig a kísérlet dönt!

Ha először nagyjából háromszorosára hígítjuk fel a meszes vizet, akkor x a harmadára csökken, így y a huszonhetedére, azaz $\approx 0,033 \text{ M-re}$. Ez nagyjából 0,8 l CO_2 egy liter vízben, ennyi már feloldódik. ** Mennyi lesz a pH? Fejezzük ki a hidrogén ionok koncentrációját abból az összefüggésből, amelyben rajta kívül csak x , y és K_1 szerepel:

$$[\text{H}^+] = \frac{K_1 \cdot y}{2x} = \frac{2K_2}{K_o} \cdot x^2.$$

Mivel $2K_2/K_o \approx 0,02 \text{ l/M}$, ha a meszes víz koncentrációja 1,59/74 M harmada, akkor $[\text{H}^+] \approx 10^{-6}$, így a pH nagyjából 6. **

2.5 Szerves vagy szervetlen?

2.5.1 Kísérlet. Ha eltörik valamilyen porcelán tárgy, ne dobjuk ki a cserepeit! Különböző széntartalmú anyagokat (fűrészipor, fadarabka, kenyér, hús, keményítő, cukor, gyapjú, vatta, toll, csont, bőr, köröm, a legtöbb műanyag) egy darab porceláncserépen lángban hevítve, elbomlanak, elszenesednek. Közben különböző szagú, általában éghető gázok keletkeznek, amelyek meg is gyulladhatnak. Próbáljuk ki! Ha tovább hevítjük a képződött szenet, lassanként elég. A konyhában — néhány kivétellel — szinte minden anyag szénvegyület, úgynevezett *szerves vegyület* vagy azok keveréke. A szerves vegyületek száma szó szerint végtelen. A magyarázat az, hogy a négy vegyértékű szén egy vagy több, akár mind a négy vegyértékével könnyen kapcsolódik más szénatomokhoz, és ez a kötés elég erős. Így nagyon bonyolult, elágazó láncok, gyűrűk, egyéb, akár térbeli vázak alakulhatnak ki szénatomokból. (Más elemek nem hajlamosak ilyen vázak kialakítására.) A szénatomok többi vegyértékét általában hidrogén, oxigén és nitrogén köti le. Az ilyen vegyületeket hívják szerves vegyületeknek. Hevítéskor visszamarad a szénvázból keletkező szén, míg a többi elem illékony anyagként távozik. Ha illékony vegyületeket nem képző elemek is vannak jelen, azok a szénnel maradnak, és elégéskor a hamuba kerülnek. Például a növényekben lévő kálium így kerül a fahamuba. A legközönségesebb hevítéssel készülő szénfésülés, a faszén, mindig tartalmaz egy kevés káliumot.

Ha valamilyen anyagot meg akarunk vizsgálni, hogy szerves vagy szervetlen, legjobb egy kémcsőben hevíteni. Egy darab 4–6 mm belső Ø-jű üvegcsőből is készíthetünk két kis kémcsövet: Középen kis darabon megolvastjuk, kihúzzuk, leforrasztjuk és esetleg kicsit felfűjjük a végét kis gömbbé. Ilyen *zárt üvegcső*ben való hevítésnél csak azok a szerves anyagok nem szenesednek el, amelyek elpárolognak, mint például a szesz. Ezeket viszont elégetve a szén-dioxidot tudjuk kimutatni. Nehezen gyulladó anyagoknál az égetést *nyitott üvegcső*ben való hevítéssel, úgynevezett *pörköléssel* tudjuk végrehajtani. Egy 10–15 cm hosszú üvegcső egyik végéből egy pár centiméteres darabot kicsit meghajlítunk, 30–45°-os szögben, de az egyenes cső is jó. A könyökhöz tesszük az égetendő vagy pörkölendő anyagot, és a csövet a másik végével felfelé ferdén tartva, először az anyag felett a csövet, majd az anyagot melegítjük. A cső hosszabb, egyenes vége mint kémény működik, az anyagból az éghető részek kiégnek. Az égéstermékeket meg is vizsgálhatjuk, például egy üvegbot végére véve egy csepp meszes vizet, kimutathatjuk a szén-dioxidot, vagy az égésterméket fecskendőbe szívhatjuk be. Próbáljuk ki faszénrel és grafitral! Faszenet olcsón vásárolhatunk, grillezésre használják. Ne hulladék faszénporból összepréselt brikettet vegyünk, hanem minél nagyobb, 5–6 cm-es darabokból álló darabos faszenet. Grafit a ceruza bele.

□

2.5.2 Kísérlet. * A legtisztább szénfésülés a *cukorszén*. Bár nem lesz rá szükségünk, magunk is készíthetünk, ha van egy nagyobb porcelán tálunk. Egy 1,2 l-es porcelán tálba 100–120 g kristálycukrot mérünk, és szabadban lángon lassan elkezdjük melegíteni. A cukor megolvad, karamellizálódik, elkezd szenesedni, gőzök és éghető gázok keletkeznek, amiket meg is gyűjthetünk. Ha erősen habzik, üvegbottal kevergetjük a tetejét. Ha már nem ég, tovább hevítjük, amíg nagy térfogatú, lyukacsos tömeggé szilárdul. Ha már nem szállnak fel gázok a szilárd tömegeből, akkor készen vagyunk. A további hevítésnek nincs értelme, mert csak elég a szén. Ha lehül, könnyen kivehető. Az eredmény legalább 12 g cukorszén. Porítani elég nehéz. * □

2.5.3 Kísérlet. A szén-dioxid összetételének meghatározására egy minél nagyobb üvegpalack jól záró gumidugójába erősítsünk egy vasdrótot, aminek végét egy kúpos felületre (például golyóstoll vagy ceruza végére) csavarva kis kosárkává alakítottuk. A kosárkába tegyünk faszenet, és lángon hevítsük izzóra. Az izzó szenet a palack szája fölé tartjuk, majd hirtelen mozdulattal a palackba süllyesztjük és a dugóval a palackot jól lezárjuk. Szorítsuk le a dugót, és hagyjuk a szenet tovább égni. Ha már kialudt, és az egész palack lehűlt, szájával lefelé mártjuk vízbe, és lassan húzzuk ki a dugót. Ha jól dolgoztunk, nem sok víz nyomul a palackba. Ez azt jelenti, hogy a szén égésekor ugyanannyi térfogatú gáz keletkezik, mint amennyi oxigén elhasználódik a levegőből. Fordítsuk vissza a palackot, és öntsünk bele mézsvizet, minden literre 1 dl-t számítva. Összerázva a mézsvíz erősen megzavarosodik, mutatva, hogy szén-dioxid keletkezett. Mossuk ki a palackot, vízzel kiszorítva az összes gázt. Öblítsük ki desztillált vízzel. Ha ugyanannyi mézsvizet öntünk bele, öszerázva a zavarosodás sokkal gyengébb, tehát az előbb azt nem a levegő széndioxidja okozta.

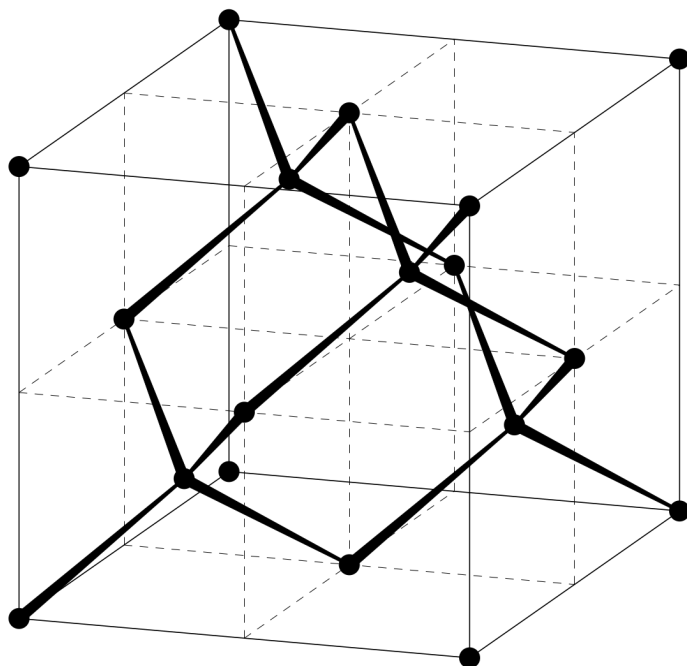
Tulajdonképpen a kísérlet csak azt mutatja, hogy egy molekula O_2 egyesül valamennyi szénnel és egy molekula C_xO_2 összetételű gáz keletkezik. Mint már volt szó róla, az O_2 móltömege 32 g, a szén-dioxidé 44 g, és soha semmilyen szén tartalmú gáz egy móljában nem találtak 12 g-nál kevesebb szenet, így a szén atomtömege 12 g, az égéstermék összetétele pedig CO_2 .

Hasonló kísérlettel mutatta ki Lavoisier a XVIII. század végén, hogy nem csak a szén, hanem a grafit és a gyémánt égésekor is CO_2 keletkezik, tehát ezek is szénfeleségek. A palackot oxigénnel töltötte, leforrasztotta, és gyújtólencsével gyújtotta meg a szenet. Súlyváltozást nem észlelt, így az anyagmegmaradás törvényét is bizonyította. (Avogadro törvényét még nem ismerték akkor.)

A mi kísérletünk kényes pontja, hogy hirtelen zárjuk le a palackot, mert egyébként a felmelegedő levegő egy része kitérül, és hogy hagyjuk lehűlni a kiindulási hőmérsékletre. Akár borosüveget használtam, akár 5 l-es demizsont, kb. 50 ml víz nyomult a palackba. Lavoisier módszere tökéletesebb. \square

2.5.4 Kísérlet. Megdöbbenő, hogy a legkeményebb anyag, a gyémánt, és az egyik legpuhább anyag, a grafit is szén. A magyarázat, hogy a szénatomok másként kapcsolódnak össze. A grafitban a szénatomok kapcsolódását már láttuk. A gyémánt elemi celláját vázlatosan a 2.5.1 ábrán láthatjuk. Az elemi cella kocka. Szénatomok a kocka csúcaiban vannak (ezeknek nyolcada esik a kockába), a lapok közepén (ezeknek fele esik a kockába), valamint ha a kockát felvágjuk nyolc kis kockára, akkor ezek közül minden másodiknak a közepén. Így egy elemi cellára 8 szénatom esik. Ha megfigyeljük például egy kis kocka közepén elhelyezkedő szénatom legközelebbi szomszédait, azok a kis kocka nem szomszédos négy csúcsán (három a nagy kocka lapjainak közepén, egy az egyik csúcsában) helyezkednek el. Ha levágnánk a kis kocka azon csúcsait, amelyekben nincs szénatom, egy négy darab egyforma háromszög által határolt test maradna vissza, egy úgynevezett *tetraéder*, magyarul négylap. Ennek középpontjában lévő szénatom nagyon erős kötésekkel kapcsolódik a csúcsokban lévő négy másik szénatomhoz. (Ezeket a kötések az ábrán távolodva keskenyedő sávok ábrázolják.) Ez adja a gyémánt nagy szilárdságát. Ha jól megnézzük az ábrát, kiderül, hogy a gyémántrácsban minden szénatomnak a legközelebbi szomszédjai így helyezkednek el. Az ábra vázlatos, csak a szénatomok középpontjának helyét tünteti fel. Valójában a legközelebbi szénatomok összeérnek, sőt egymásbanyúlnak.

Egy-egy elem fizikai tulajdonságokban különböző módosulatait *allotrop módosu-*



2.5.1 ábra: gyémánt kristályrácsának elemi cellája.

latoknak nevezzük. A szénnek a grafiton és a gyémánton kívül más módosulatai is vannak, a *fullerének*, amelyekben 60 vagy annál több, illetve kevesebb szénatom futball-labda szerűen kapcsolódik össze. Ezeket 1985-ben fedezték fel. Kis mennyiségben előfordulnak a koromban is, amely főleg apró grafitkristálykákból áll. A szerves anyagok elszenesítésekor keletkező, gyakran amorfnak nevezett szenek tulajdonképpen nagyon apró grafitkristályokból állnak. Lehet, hogy meglepő, de normál hőmérsékleten és nyomáson a kisebb sűrűségű grafit a legstabilisabb szénmódosulat. Szerencsére a gyémánt átalakulása grafitná közönséges hőmérsékleten mérhetetlenül lassú folyamat. A fordított irányú átalakuláshoz nagyon nagy nyomás (100 kbar vagy még több) és 2000–3000 °C hőmérséklet kell.

Az anyagok keménységét legegyszerűbben *karcolással* vizsgálhatjuk. Például egy kristállyal megpróbáljuk megkarcolni a körmünket. Lefújuk a port, és megnézzük, hogy maradt-e karc. Fordítva, megpróbáljuk a körmünkkel megkarcolni a kristályt. Itt is lefújuk a port, és megnézzük, maradt-e karc. Ha mindkét esetben egyformán maradt karc, a kristály és a körmünk egyforma kemény, egyébként a keményebb karcolja a puhábbat. Elterjedten használják a Mohs-féle skálát, amelynek a legkeményebb tagja a gyémánt, a legpuhább pedig nagyjából olyan puha, mint a grafit:

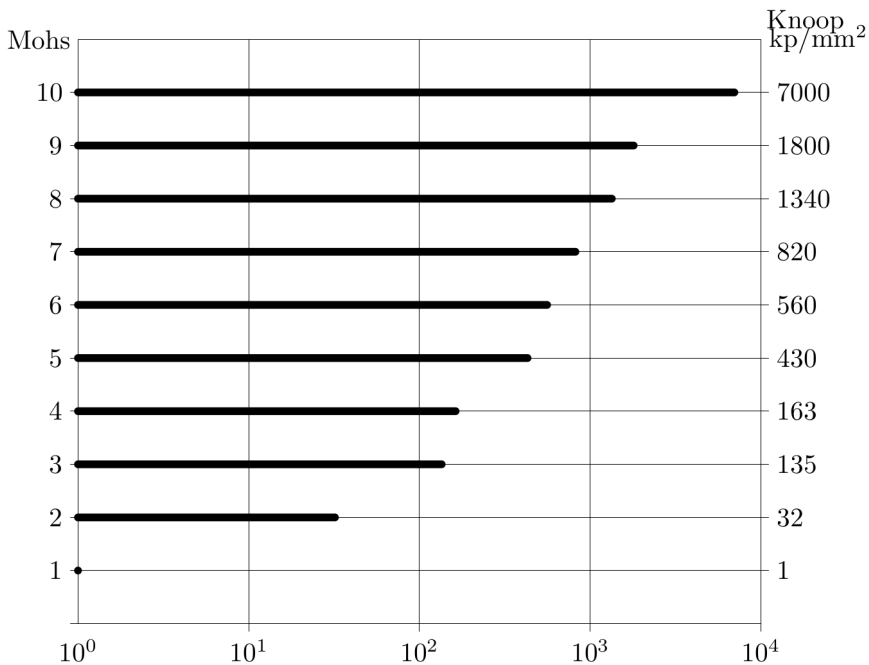
Mohs	Ásvány; egyéb anyag	Gyakorlati próba
1	zsírkö	körömmel könnyen karcolható
2	gipsz; kősó	körömmel nehezen karcolható
3	kalcit; mészkő, márvány	gombostűvel könnyen karcolható
4	fluorit	gombostűvel nehezen, késsel könnyen karcolható
5	apatit; fogzománc	késsel nehezen, reszelővel könnyen karcolható
6	amazonit; földpátok	reszelővel nehezen karcolható
7	kvarc	üveget könnyen karcolja, acéllal megütve szikrázik
8	topáz	üveget könnyen karcolja, acéllal megütve szikrázik
9	korund	üveget könnyen karcolja, acéllal megütve szikrázik
10	gyémánt	üveget könnyen karcolja, acéllal megütve szikrázik

Két keménységi fok közé becsléssel még be szoktunk illeszteni közbenső értékeket, például 2,5, 3,7, stb. Jó tudni, hogy a körmünk keménysége kb. 2,5, a rézpénzeké kb. 3,4, jó acélé 5,5, az ablaküvegé nagyjából 6, a kvarcüvegé, reszelőé, járólapé 6,5, keményfémé picit több, mint 9. A zsírkö szabókrétának használatos, keménysége olyasmi, mint a száraz agyagé. Dolomitot könnyen találhatunk, keménysége 3,5–4. Kvarckavicsot is szedhetünk. Kvarcnál keményebb anyagokkal ritkán találkozunk. Korundot majd később készítünk, egyébként ez a fehér köszőrűkövek anyaga. A szürke köszőrűkövek, csiszolópapírok anyaga 9,2 keménységű. Próbáljuk ki egy-két kezünk ügyébe eső anyag keménységét!

Tévedés lenne azt hinni, hogy ami nagyon kemény, az nem törik. Tudjuk jól, hogy az üveg könnyen eltörik, sokkal könnyebben, mint egy rézpénz, pedig sokkal keményebb. A gyémánt még jól is hasad, és ha például egy szépen csiszolt, a foglatatából kivett gyémánt a tűhegyesre csiszolt alsó csúcsára esik, darabokra törhet. (Ezt jobb, ha nem próbáljuk ki.) □

2.5.5. Egyéb keménységmérések. Bár gyakorlati célokra a Mohs-féle skála elég jól megfelel, a *karcolási keménység* fogalmát megpróbálták pontosabbá tenni. A *Martens-féle keménységmérés*nél egy kúpos hegyű (a kúp csúcsánál lévő szög általában derékszög) gyémánt tűvel a csiszolt anyagon 0,01 mm szélességű karcot ejtenek. A keménység mértéke az ehhez szükséges nyomóerő, általában pondban megadva. Ezzel a vizsgálattal kitűnik, hogy egy kristály különböző lapjai nem egyforma kemények, és egyes irányokba sem egyforma a keménység. Például elég kézenfekvő, hogy ha egy lapot egy hasadási sík szel át, akkor a metszésvonal irányába a keménység kisebb. A különbségek a gyémántnál is akár több tízszeresek lehetnek. Már csak ezért is nehéz egy-egy anyagra pontos karcolási keménységet mondani.

A fémekre inkább különböző *benyomódási keménységeket* mérnek: egy edzett acél vagy keményfém golyót vagy gyémánt gúlát nyomnak az anyagba meghatározott erővel és ideig. A nyomóerő és a benyomódás felületének hányadosa a keménység, amely tehát nyomás jellegű mennyiség. Sokszor a $\text{kp/mm}^2 \approx 9,81 \text{ MPa}$ egységet használják. Acélok *Brinell-keménységének* vizsgálatánál 10 mm átmérőjű edzett golyót, 3000 kp erőt és 10–15 s időt használnak. Az ettől való eltéréseket jelezni szokták, például 10/500/30 azt jelenti, hogy a golyó 10 mm átmérőjű volt, a nyomóerő 500 kp, az idő pedig 30 s. Általában 3000, 1000, 500, 250, 125, 50 kp terhelések használatosak, az idő pedig kemény anyagoknál 10 s, 140 kp/mm^2 keménység alatt 30 s, igen lágy anyagoknál 180 s. A golyóátmérő csökkenthető, ha a terhelést az átmérő négyzetével arányosan csökkentjük. Kb. 450 kp/mm^2 keménység felett keményfém golyót kell használni, kb. 800 kp/mm^2 felett pedig inkább

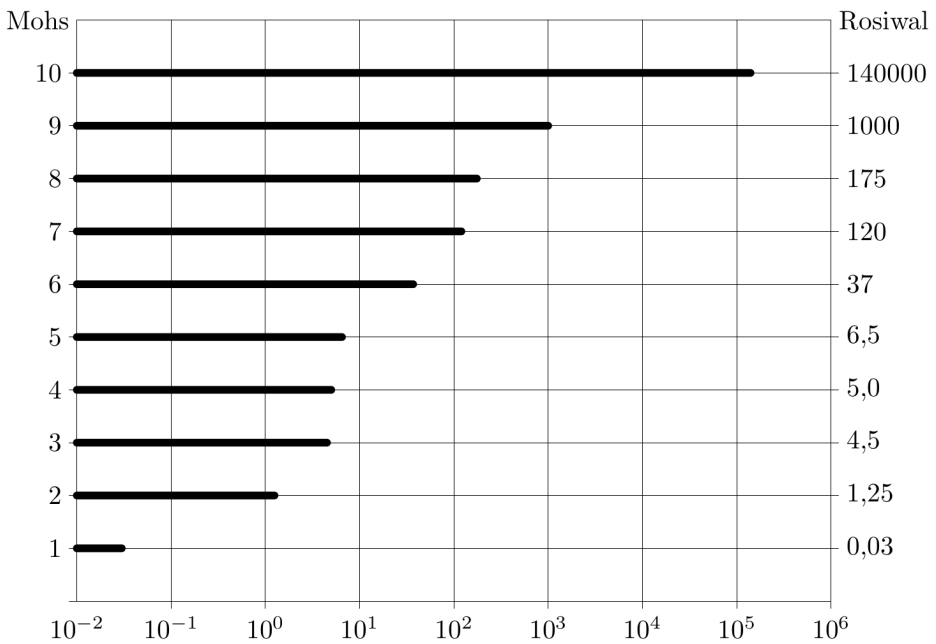


2.5.2 ábra: karcolási és nyomási keménység.

gyémántgúlát használnak, hogy a golyó deformációja ne okozzon hibát. Minden esetben a benyomódás átmérőjének a golyóátmérő 20 %-a és 70 %-a között kell lennie, de a keménység még így sem független a terheléstől. A gyémántgúla használatánál a keménység nem függ annyira a terheléstől, egészen kis erőket is lehet használni, bár ekkor már sokszor jóval nagyobb, akár kétszeres keménységet találunk. A *Vickers-vizsgálat*nál egy négyzet alapú gyémántgúlát nyomnak az anyagba, amelynek szemben lévő lapjai által bezárt szög 136° . Átnyomódás nem keletkezhet. Az eredmény általában 5 %-nál kisebb hibával megegyezik az acélgolyóval mért Brinell-keménységgel, ha kisebb, mint $\approx 450 \text{ kp/mm}^2$. E fölött már jelentősebb az eltérés, például 700 kp/mm^2 Vickers-keménységnek csak 604 kp/mm^2 acélgolyóval mért Brinell-keménység felel meg. Hasonló a *Knoop-keménység*, amelynél hosszú és lapos gyémántgúlát használnak, így törekenyebb anyagok, például ásványok vizsgálatára is megfelel. A gúla két rövidebb éle által bezárt szög 130° , a két hosszabb él által bezárt pedig $172,5^\circ$. A nyomóerőt a benyomódási gúla rombusz alakú alaplapjának területével osztjuk, ami kisebb a felületénél; mint kiszámolható, az így kapott keménység nagyjából $\approx 10,5\%$ -kal nagyobb a Vickers-keménységnél.

Csiszolásra használt anyagok vizsgálatára alkalmas a Rosiwal-féle *csiszolási keménység*. Korund csiszolóporral addig csiszolják az anyagot, amíg a csiszolópor hatását nem veszti. A keménység a lecsiszolt anyagmennyiség térfogatának reciprokával arányos; a korund keménységét 1000-nek vesszük. Hasonlóan vizsgálható például *fúrási keménység*, stb.

A 2.5.2 illetve 2.5.3 ábra a Mohs-skála ásványainak Knoop-féle és Rosiwal-féle keménységét adja meg. Jól látható, hogy a korund és a gyémánt keménysége között jóval nagyobb a különbség, mint a skála más ásványai között.



2.5.3 ábra: karcolási és csiszolási keménység.

2.5.6 Kísérlet. A faszéngyártást egészen kicsiben könnyen kipróbálhatjuk: gyűjtsünk meg egy vékony fapálcát, például hurkapálcát és vízszintes helyzetben dugjuk be egy kémcsőbe. Kicsit ügyeskedve elérhetjük, hogy a fa égjen, de ne égjen el tökéletesen, csak elszenesedjen. Ezen az elven alapul a faszén gyártása az erdőben: a fahasábokat nagy halomba rakják, földdel lefedik, alul közepén begyűjtják, de csak annyi levegőt engednek hozzá, hogy ne égjen el, csak elszenesedjen. A faszén tökéletesebb gyártási módját a következő kísérletben próbáljuk ki. □

2.5.7 Kísérlet. Egy kémcsövet nagyjából harmadáig töltünk meg fadarabkákkal. Dugjuk be egy átfúrt parafadugóval, amin üvegcső van átdugva. Az üvegcsőhöz műanyag csővel egy másik, kihúzott hegyű üvegcsövet csatlakoztatunk. A kémcsövet úgy fogjuk állványba, hogy a szája kicsit lefelé álljon. Nedves papírdarabbal vagy ronggyal húthatjuk is a szájánál. Kezdjük lassan melegíteni. A fa elkezd szenesedni, gőzök és gázok képződnek, a gőzök egy része a kémcső szájánál lecsapódik. Amit csinálunk, az a fa *száraz lepárlása*. Egy üvegedénybe töltünk meszes vizet, és vezessük bele a fejlődő gázt. Megzavarosodik, jelezve, hogy a gázban van szén-dioxid is, de nem nyelődik el teljesen. Fogjunk egy legyet, és a kémcsőbe téve, azt fejfelé tartjuk a mészvízbe, a buborékok fölül. A légy hamarosan megdöglök, jelezve, hogy a gáz — vagy egy része — mérgező. Végül meszes vízzel megtöltve a kémcsövet, fogjuk fel benne a gázt. Hogy a szén-dioxid minél jobban elnyelődjön, legjobb, ha egy kis tölcsért állítunk az üvegedénybe, amit a meszes víz teljesen ellep és a fölé tesszük a kémcsövet, hogy a szén-dioxid teljesen elnyelődjön. Ha megtelt a kémcső, fogjuk be, és lángnál gyűjtsük meg a gázt: kékes lánggal elég. A kihúzott üvegcső végénél is meggyűjthetjük, ha már elég ideig jött a gáz, és nincs levegővel keverve. □

A fejlődő gáz nagyjából fele szén-dioxid, harmada pedig *szén-monoxid*, CO. Ebben

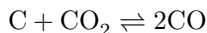
a szén kivételesen kétvegyértékű, és el tud égni szén-dioxiddá. A szén-monoxid mérgező, mert nagyjából háromszázszor erősebben kötődik a vér oxigén szállító alkatrészéhez, mint az oxigén. Fél-egy óra köbméterenként 1–2 l szén-monoxid tartalmú levegőben halálos lehet. A mi kísérletünkben messze nem képződik ennyi, így a kísérlet nem veszélyes, de azért jobb, ha kinyitjuk az ablakot, és vigyázunk, hogy ne szívjuk be közvetlenül a gázt. A nem halálos mérgezés utóhatás nélkül elmúlik, a szén-monoxid lassan távozik a vérből. A gáz maradék része nagyrészt szén és hidrogén vegyületeiből, szénhidrogénekből áll.

A falepárlás folyékony termékei a kémcső szájánál gyűlnek össze. A folyadék két részre válik szét: egy vizes részre és egy kátrányos részre. Ha megszagoljuk a vizes részt, ecetszagú, egy része ecetsav, de más *szerves savak* is vannak benne. Egy másik alkatrésze a *faszész*, a szesz közeli, de erősebben mérgező rokona: néhány ml már mérgező. A másik rész a kátrány: ez száznál is jóval több különböző szerves vegyületet tartalmaz. Ami a kémcsőben visszamarad, az a fekete *faszén*. 100 g száraz fa 450 °C-on végzett száraz desztillációjánál nagyjából 35 g faszén, 25 g víz, 6 g ecetsav, 1,5 g faszesz, 11 g szén-dioxid, 4 g szén-monoxid, 17,5 g kátrány és egyéb anyag képződik. A faszén C tartalma nagyjából 90%, a maradék oxigén, hidrogén és hamu. Ha a hőfokot 1000 °C-ig emeljük, csak 26% mélyfekete faszén marad vissza, de ennek széntartalma már 97%.

A közönségesen *szén* néven ismert anyagok betemetődött növények, főleg fák évmilliók alatt részben elszenesedett maradványai. A mocsarakban ma is képződik *tőzeg*, ez még szinte egyáltalán nem szenesedett el. Jobban elszenesedett a *lignit*, de még jól látszanak benne a fák maradványai. A *barnaszén* már magasabb széntartalmú. A még magasabb széntartalmú *kőszén*nek két fajtája van. Mindkettő fekete, de az egyiknek a karca barna, ez a *barnakőszén*, a másiké fekete, ez a *feketekőszén*. Egyébként a geológusok, ha azt akarják tudni, hogy egy ásvány pora milyen színű, egy mázatlan porcelándarabot karcolnak meg vele. A karc a por színét mutatja, ami eltérhet az ásvány színétől. Az ásványi szénfélések nem elemi szenet, hanem sokféle bonyolult szénvegyületet tartalmaznak. A magasabb széntartalmú *kőszén*fajtákat 1000 °C körül végzett száraz lepárlással szokták „nemesíteni”. A keletkező gázt *városi gáz* néven sokáig világításra és melegítésre használták. (Ma már melegítésre földgázt használunk.) A keletkező *gázvíz* lúgos anyagokat tartalmaz, a *kőszénkátrány* pedig sokáig a vegyészek kincsébányája volt, több száz szerves anyagot fedeztek fel benne. A visszamaradó *koks* a faszénhez hasonlóan elég tiszta szén, de sokkal szilárdabb. Kohókban használják fel. Mivel számunkra a szilárdság nem lesz lényeges, mindenütt használhatunk helyette faszenet.

A *cigaretta*zásakor a falepárláshoz hasonló folyamat játszódik le. A dohány nikotin (rendkívül erős mérge) tartalmán kívül a szén-monoxid, a faszesz és a kátrány is közvetlenül a tüdőbe kerülnek, és hosszabb idő alatt a kátrány nagy eséllyel tüdőrákot okoz. □

A vegyiparban rengeteg szén-monoxidot használnak fel. A szén oxigénnel közvetlenül szén-dioxiddá ég el, de ha a szén-dioxid izzó szénrétegen halad át, akkor a



egyensúlyi reakció szerint, főleg magasabb hőmérsékleten nagyrészt szén-monoxiddá alakul át. A kéményből visszaáramló nagy szén-dioxid tartalmú füstgázból vagy zárt térben felgyűlő égéstermékekből is így keletkezhet a lángban szén-monoxid. Ezért fontos, hogy a kémények huzata jó legyen.

2.5.8. Szerves vegyületek. Mivel a szénatomok nagyon sokféleképpen összekapcsolódhatnak, már elég egyszerű szénvegyületekben sem egyértelmű, hogyan kapcsolódnak össze

az atomok. Például az ecetsav képlete $C_2O_2H_4$ lenne, de inkább azt szoktuk írni, hogy CH_3COOH . Ebben a *rövidített szerkezeti képletben* minden szénatom mellé odairtuk a hozzá kapcsolódó atomokat vagy atomcsoportokat, a maradék vegyértékekkel a szénatomok egymáshoz kapcsolódnak. Itt tehát az egyik szénatomhoz három hidrogénatom kapcsolódik, a negyedik vegyértékével a szénatom a másik szénatomhoz kapcsolódik, és ahhoz kapcsolódik egy oxigénatom két vegyértékkel, és egy OH csoport az oxigén egyik vegyértékével. Ez a hidrogén, az OH csoport hidrogénje az, ami a savasságot okozza, ez válik el könnyen a maradéktól. Ugyanazzal az összegképlettel egy $CHOCH_2OH$ vegyület is létezik, ebben az egyik oxigén mindkét vegyértékével az egyik szénhez, a másik pedig egyik vegyértékével a másik szénhez kapcsolódik. A szeszből lévő *etilalkohol* vagy röviden csak *alkohol* rövid szerkezeti képlete CH_3CH_2OH , ebben a CH_3CH_2 -csoporthoz, az úgynevezett *etilcsoport*hoz, amiben az egyik szén egyik vegyértéke még szabad, egy OH-csoport kapcsolódik. Bár összegképlete ugyanaz, lényegesen különbözik tőle — nem is folyadék, hanem gáz — a $(CH_3)_2O$ szerkezeti képletű anyag. Ebben két egyvegyértékű CH_3 csoport, úgynevezett *metilcsoport* kapcsolódik az oxigén egy-egy vegyértékéhez. A faszész kémiai neve *metilalkohol*, képlete CH_3OH . Látjuk, hogy abban különbözik az etilalkoholtól, hogy az OH csoporthoz az etilcsoport helyett metilcsoport kapcsolódik. Két metilcsoport van a $(CH_3)_2CO$ összetételű *aceton*ban is, a $(CH_3CH_2)_2O$ összetételű *éter*ben, pontosabb nevén *etiléter*ben pedig két etilcsoport kapcsolódik egy oxigénatomhoz. Bár az alkoholokban is van OH-csoport, ezek nem savasak, csak a $COOH$ csoportban lévő H okoz savasságot. Még az ecetsavnál is egyszerűbb sav a *hangyasav*, amiben a $COOH$ csoport nem metilcsoporthoz, hanem egy hidrogénatomhoz kapcsolódik, azaz képlete $HCOOH$. Az *oxálsav* képlete $(COOH)_2$, azaz benne két $COOH$ csoport kapcsolódik egymáshoz; ez kétfázisú sav. A *borkősav* képlete $COOHCHOHCHOHCOOH$, tehát kétfázisú sav, de ez a képlet nem fejezi ki pontosan a szerkezetét, mert az atomok térbeli helyzete is számít. A *citromsav* háromfázisú és 6 szénatom van benne.

Sok szerves vegyület rokona a C_6H_6 összegképletű *benzol*nak: úgy keletkeznek belőle, hogy egy vagy több hidrogén atomot valamilyen csoport helyettesít. Például a *toluol* rövidített szerkezeti képlete $C_6H_5CH_3$, a *xilol*é $C_6H_4(CH_3)_2$: egy illetve két hidrogén van metilcsoporttal helyettesítve. A *benzoésav* rövidített szerkezeti képlete C_6H_5COOH , benne a benzol egyik hidrogénjét a $COOH$ csoport helyettesíti. Ha a benzolban egy vagy több hidrogént OH csoport helyettesíti, akkor a *fenolok*at kapjuk; ezek gyengén savasak. A *szalicilsav* rövid szerkezeti képlete $C_6H_4OHCOOH$, ebben egy hidrogént OH, egy másikat $COOH$ helyettesít, így fenol is meg sav is.

A *szénhidrátok* a szerves vegyületek egy további fontos csoportját alkotják. Ide tartozik a $C_6H_{12}O_6$ összegképletű *szőlőcukor*, az ugyanilyen összegképletű de kicsit más szerkezetű *gyümölcscukor*, a $C_{12}H_{22}O_{11}$ összetételű *répacukor* vagy *nádcukor*, amit egyszerűen csak cukornak szoktunk nevezni, az ugyanilyen összegképletű de kicsit más szerkezetű *tejcukor*, a *keményítő*, ami több száz szőlőcukor molekula vízkilépéssel való összekapcsolódásával jön létre, és a *cellulóz*, ami hasonlóan, de sok ezer szőlőcukor molekulából jön létre. A főleg cellulózból áll. A vatta (gyapot) és a papír majdnem tiszta cellulóz. A szénhidrát név onnan ered, hogy az összetételük olyan, mintha szénből és vízből állnának.

Azt hiszem, már ezek alapján is nyilvánvaló, hogy néhány tíz, pláne néhány száz szénatomot tartalmazó szerves vegyület milyen bonyolult lehet. A szerves kémiánál majd visszatérünk erre.

2.5.9 Kísérlet. Más szerves savak sóit hasonlóan állíthatjuk elő, mint az ecetsav só-

it: a savhoz a megfelelő lúgot vagy karbonátot adagoljuk, amíg a keverék lúgos nem lesz. Például ha borkősavból (élelmiszerboltban, gyógyszertárban kapható) valamennyit feloldunk vízben, és addig adjuk hozzá káliclór vagy hamuszólt oldatát, amíg lúgos nem lesz, *kálium-tartarátot* kapunk (a borkősav sóit *tartarátok*nak hívják). A borkősav minkét savi hidrogénjét kálium helyettesíti. Persze, ha szénsavas só-t használunk, akkor pezseg is az oldat, mert szénsav keletkezik. Ha most ehhez az oldathoz ugyanannyi borkősavat adunk, amennyit eredetileg használtunk, akkor savanyú só, *kálium-hidrogén-tartarát* keletkezik. Ez rosszul oldódik vízben, és kristályos csapadékként kiválik; ez a borkő. A borban, amiben különböző szerves savak vannak, többek között borkősav, és káliumsók is, borkő keletkezik, és kiválik a hordók falán. Ha a borkő csapadékot tartalmazó oldathoz nátronlúgot vagy szódát adunk, amíg lúgos nem lesz, a csapadék feloldódik. A keletkező *kálium-nátrium-tartarát*, az úgynevezett *Seignette só* jól oldódik vízben. Érdekes kikapcsolítani, majd használni fogjuk. Ebben az egyik savi hidrogént kálium, a másikat nátrium helyettesíti. □

2.5.10 Kísérlet. Ha megnézzük az ecetsav összegképletét, azt látjuk, hogy ha egy szén-dioxid molekulát sikerülne elvonni belőle, akkor egy szén és négy hidrogén maradna, tehát valószínűleg a CH_4 összetételű, legegyszerűbb szénhidrogén, a *metán*. A földgáznak (vezetékes gáznak) ez a legfőbb alkotórésze. A szén-dioxid elvonására valamilyen erős lúg, például nátronlúg kínálkozik. Egy részét akár az ecetsavhoz is hozzáadhatjuk, azaz mindjárt száraz nátrium-acetátból is kiindulhatunk. Porcelán mozsárban keverjük össze kétszer annyi nátronmészsel, a keverékkel félig töltünk meg egy kihúzott gázvezető csővel ellátott kémcsövet, és melegítjük. A lejátszó reakció



A gázt lefelé fordított kémcsőben foghatjuk fel, mert könnyebb a levegőnél. Ha a kémcsőben lévő gáz meggyújtva simán ég, az üvegcső szájánál is meggyújthatjuk. Halvány, nem kormozó lánggal ég. Ha a sűrűségét megmérnénk, azt találnánk, hogy a móltömege 16 g, ami alátámasztja, hogy a szén atomtömege 12 g. □

2.5.11 Kísérlet. Azt a kevés faszén, amit készítettünk, nem sok mindenre tudjuk felhasználni, de szerencsére olcsón vásárolhatunk. Ha nagyítóval megnézzük, látjuk, hogy lukacsos, nagy felületű anyag. Néhány darabot törjünk össze néhány milliméteres darabokra. Rostáljuk meg valamilyen rostán, leselejtezett térszűrőn, stb. Egy apróbb szemű leselejtezett leves- vagy teaszűrőn szitáljuk ki belőle a finom port. A darabokat tegyük egy nagyobb főzőpohárban vagy lábasban lévő desztillált vízbe. A faszén úszik a vízben, de ezt csak a levegőtartalma okozza. Forraljuk fel a vizet: a faszéndarabok pórusai megtelnek vízzel, és a faszén lesüllyed. Ezt a vizes faszén szűrjük le egy levestszűrővel, és egy vasedényben (például malteres kanálban) azon vizesen hevítjük vörös izzásig. Ne tartsuk sokáig ezen a hőmérsékleten, legfeljebb 10–20 percig, mert elég. Fedjük le, hagyjuk lehűlni valamennyire, az esetleges hamut fűjjük le róla például hajszárítóval, majd még melegen öntsük jól záró üvegbe és zárjuk le. Amit készítettünk, az *aktív szén*. Nagy felületű anyag, a felülete kb. 100–200 m^2/g . A vizes melegítés azért kellett, hogy a forró vízgőz levigye a faszén felületéről az esetleg rajta lévő kátrányt.

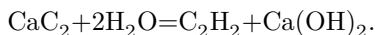
A nagy felületű anyagok a felületükön egy vagy néhány molekula vastagságú rétegben más anyagokat tudnak megkötni. Általában minél nagyobbak a molekulák, annál

könnyebben kötődnek meg. Ezt a jelenséget *adszorbciónak* hívjuk. Próbáljuk ki saját készítésű aktív szénünket: fél dl vörös borhoz adjunk egy kis kanálnyi szenet, majd forraljuk fel. Szűrés után a bor színtelen. (Ha nem így lenne, csak halványodna, több szén kell.) Gyógyszertárban is kaphatunk széntablettát, ami aktív szénből áll, felülete 1000–1200 m²/g. Arra használják, hogy például hasmenéskor bevéve megkösse a gyomorban lévő káros anyagokat. Körülbelül a saját súlyával egyenlő súlyú idegen anyagot tud megkötni. Ilyen minőségű aktív szenet majd később tudunk készíteni, megfelelő segédanyagok birtokában, de a faszénből készült aktív szénünk is sok mindenre jó. Nem csak oldott anyagokat, hanem gőzöket és gázokat is meg tud kötni. Ha például az erjesztéssel működő szén-dioxid fejlesztőkhöz aktív szénnel töltött csövet csatlakoztatunk, a kapott szén-dioxid tisztább, gyakorlatilag szagtalan lesz. Ha erjesztéssel és lepárlással kapott alkoholhoz aktív szenet adunk, megköti a szennyező, kellemetlen ízű anyagokat, a szűrlet sokkal tisztább. Azt, hogy az alkohol tényleg tiszta, úgy próbálhatjuk ki, hogy a kezünkbe öntve elpárologtatjuk. Tiszta alkohalnál a párolgás végén sem érződik idegen szag. A vegyészek gyakran használnak aktív szenet zavaros, szennyezett anyagok szennyezőinek megkötésére. □

2.5.12 Kísérlet. Ha aktív szénünket a gyógyszerári széntablettával akarjuk összehasonlítani, mérjük meg, hogy melyikből hány gramm kell adott mennyiségű vörös bor elszíntelenítéséhez. Ha úgy vesszük észre, hogy szénünk aktivitása csökkent, melegítsük fel 140–200 °C-ra 15'–30'-re. Ezzel a „frissítéssel” a megkötött gázok és vízgőz eltávolítható. □

2.5.13 Kísérlet. Barlangászok használnak lámpákban karbidot, pontos nevén kalcium-karbidot. Ez egy kemény, fehér anyag. Ha hozzájutunk, mogyoró nagyságú darabot kémcsőben öntsünk le két–három ujjnyi vízzel. A fejlődő gáz *acetilén*, összetétele C₂H₂. A két szénatomot hármassal kötés kapcsolja össze. Az ipari karbidból fejlődő gáz kellemetlen szagú, de ezt kis mennyiségben hozzákeveredő szennyezések okozzák. Gyűjtünk meg a kémcső szájánál a gázt: erősen kormozó lánggal ég. Ha ráfújunk a lángra, rendszerint nem sikerül elfújni, viszont a láng kormozása megszűnik, és erősen világít. A lánghőmérséklet elérheti a 2400 °C-ot is. Ezt használják ki a barlangászlámpákban: a vízzel fejlesztett acetilént két csövön egymással ferdén szembe vezetik. Így a láng szétterül, nem kormoz és erősen világít. A magas hőmérséklethez az is hozzájárul, hogy az acetilén szétesése már maga is hőtermelő folyamat, és két bar nyomás felett könnyen bekövetkezik. Ha oxigénnel keverve égetjük el, a láng hőmérséklete 3100 °C: ezt a lángot hegesztésre (fémek megolvasztással való összekötésére) használják fel.

A CaC₂ összetételű kalcium-karbid úgy fogható fel, mint az acetilén — ami rendkívül gyenge sav — kalciumsója. Vízzel tulajdonképpen hidrolizál:



Nedvességtől — levegőtől is — gondosan elzárva kell tartani, mert acetilén fejlődésével szétesik. A fém-szén vegyületek, azaz karbidok között vannak más sószerű vegyületek is. Más karbidok inkább ötvözet jellegűek: lásd később. □

2.6 Az égés

2.6.1 Kísérlet. Ideje, hogy részletesebben foglalkozzunk az égéssel. Gyűjtünk meg egy gyertyát, és tartsunk fölél felfordítva egy száraz befőttes üveget. Az üveg belsejében

vízcepek jelennek meg, tehát a gyertya anyagában van hidrogén. Ha a befőttes üveget lezárjuk a tetejével, talpra állítjuk, kicsit várunk, míg lehűl, majd némi meszes vizet öntve bele és lezárva összerázzuk, a meszes víz megzavarosodik. Ezzel kimutattuk a széndioxidot, tehát szén is van a gyertya anyagában. Lehetne benne oxigén is, de nincs, az mind a levegőből került az égéstermékbe. Később majd foglalkozunk vele, ezt hogyan lehetne eldönteni. A gyertya anyaga tehát szénhidrogén. Ugyanígy mutathatjuk ki, hogy a metán, a vezetőkes gáz és a palackos gáz égésénél is szén-dioxid és víz keletkezik. A kísérletet borszeszégővel megismételve az eredmény hasonló, de hogy a víz az égéskor keletkezett, az csak akkor biztos, ha vízmentes szeszt légtünk. Ha valaki kételkedő természetű, és nem hiszi el, hogy víz keletkezett, az összehasonlíthatja a keletkező cseppek fagyás- és forráspontját a vízéval.

2.6.2 Kísérlet. Próbáljuk meg a vasat elégetni! A lángfestéssel kapcsolatos kísérleteknél lehet hogy észrevettük, a vasdrótot sokáig tartva a lángba sötétszürke réteg, *reve* vonja be. Ez Fe_3O_4 összetételű vas-oxid. Ugyanígyen *reve* keletkezik az izzó vas felületén kovácsoláskor. Ha el akarjuk a vasat égetni, nagyon vékony szálakat kell vennünk. Igen vékony vasszálakból áll az *acélgyapot*. Súlylásra szokták használni. Esetleg háztartási célokra kapható acélszálás súlylóval is próbálkozhatunk, ha forró vízzel gondosan lemossuk róla a szappanszerű anyagot, amivel át van itatva. Csipesszel vagy fogóval gázlángba tartva az *acélgyapotot*, a finom szálak meggyulladnak és vakító izzással elégnék. A *reve* és a vas egy része, ami nem égett el, apró gömbökké olvad. □

2.6.3 Kísérlet. Méréssel is egybeköthetjük a kísérletet, ha a gázláng alá alumínium fóliát teszünk, az *acélgyapotot* pedig megmérjük. Nyilván tisztának kell lennie. Próbáljunk meg minden *revedarabkát* gondosan összegyűjteni, és az égéstermékét megmérni. Nekem 631 mg *acélgyapotból* 687 mg égéstermék keletkezett, de nyilván nem égett el teljesen. A fémek oxigénben való elégetésekor fellépő súlynövekedés alapján ismerte fel Lavoisier, hogy az égés oxigénnel való egyesülés, nem pedig valamilyen „tűzanyag” távozása, mint addig gondolták. Az oxigén név „savképzőt” jelent, mert úgy tapasztalta, hogy a savakban mindig van oxigén. Ez ugyan nem igaz, bár sok savban van oxigén, de nem mindegyikben, azonban a név megmaradt. □

2.6.4 Kísérlet. Más fémek égése is igen látványos. Ezüst porfestékként árult alumíniumport egy papírlapról vagy üvegszöből a gázlángba fújva csillagszórószerű vakító szikrákat látunk. A csillagszórókban is van finom alumínium- vagy vaspor, ez adja a szikrákat. □

2.6.5 Kísérlet. Vizsgáljuk meg most a levegőt. Egy kis tortagyertya végébe szúrjunk gombostűt, szöget, vagy tekerjük rá vékony drótot, hogy állva ússzon a vízen. Mészvízen úsztatva gyűjtsuk meg és hirtelen borítsuk le egy befőttes üveggel. Hamarosan kialszik, a víz pedig lassan felemelkedik az üvegben: a keletkező vízgőz lecsapódik, a szén-dioxidot pedig elnyeli a mésvíz. A levegőnek csak $\approx 21\%$ -a oxigén, a maradék főleg nitrogén, ami nem táplálja az égést. (A nitrogén vegyjele N, az N_2 móltömege ≈ 28 , amiről sűrűségméréssel meggyőződhetnénk. A pontos atomtömeg 14,006747, az olvadáspont $-210,0^\circ\text{C}$, a forráspont $-195,8^\circ\text{C}$.) Ha az oxigén elfogy, a gyertya elalszik. Sajnos, így pontosan nem tudjuk mérni a levegő oxigéntartalmát, mert egyrészt a leborításkor meleg levegő kerül az üvegbe, másrészt a gyertya már akkor elalszik, amikor még van némi oxigén. A következő kísérlet pontosabb mérést tesz lehetővé.

2.6.6 Kísérlet. A vas rozsdásodása is égés, lassú égés. Egy kémcső végébe gyömöszöljünk némi acélgypapotot. Öblítsük le ecettel, majd vízzel. (Esetleg vízzel majd ecettel jól megtisztított és vízzel leöblített acél mosogatószivaccsal is próbálkozhatunk.) A kémcsövet tegyük szájával lefelé egy vízzel telt üvegbe, aminek a szájába éppen csak befér a kémcső. Napok alatt a vas megrozsdásodik (egyesül a levegő oxigénjével), és a víz felemelkedik a kémcsőben. Ha az emelkedés megállt, jelöljük be a vízszintet, majd hosszmeréssel állapítsuk meg, a levegő hányad része fogyott el. Nekem egy kémcsőben, aminek gömbölyű része 3 mm, a többi 155 mm volt, 32 mm-t emelkedett a vízszint. A gömbölyű rész 2/3-át kell venni, így az O_2 -tartalom $\approx 32/157 \approx 20\%$. □

2.6.7 Kísérlet. Vizsgáljuk meg a gyertyaláng szerkezetét! Nézzük nem túl erős nagyítóval a gyertyalángot. A bél közelében van a sötét *lángmag*. Felette van a *láng világító része*, ez teszi ki a láng nagy részét. Az egész lángot egy alig világító *lángköpeny* veszi körül. Alul van még egy csésze alakú kék rész, ez az *alsó lángköpeny*. Nyomjuk le a gyertyalángot egy üveglemezzel, például mikroszkóp tárgylemezzel, majd pár másodperc után vegyük ki a lemezt a lángból. Ott, ahol a lemezt a lángmag érte, paraffint találunk (kicsit kapargassuk meg). A lángmagban tehát még elégtelen paraffin van. A paraffin körül fekete korom (szén) van. Ebből arra következtethetünk, hogy a világítást szénrészecskék okozzák. A lángok világítását rendszerint izzó szilárd részecskék okozzák. A lángköpeny nem hagy nyomot. Itt már az oxigén van feleslegben, és szén-dioxid meg vízgőz keletkezik. Ez a láng legforróbb része.

Égőinkben szénvegyületeket égetünk. Mindegyiknek a lángja hasonló szerkezetű. A folyadékokat (például borszeszégőben, petróleumlámpában, olajmécsesben) valamilyen növényi, finom szálakból álló anyag szívja fel a hajszálcsővesség segítségével, és a lángmagban elpárolognak. Lényegében ugyanez a helyzet a gyertyánál is, de a paraffinnak előbb meg kell olvadnia: a láng sugárzó hője olvasztja meg, illetve meggyújtáskor mi, a gyufával. □

2.6.8 Kísérlet. Kormot úgy kaphatunk, hogy kormozó lángba vaslemezt tartunk, és lekaparjuk róla a kormot. A korom elég tiszta szén. □

2.6.9 Kísérlet. Számos kísérlet mutatja, hogy a lángmag elég alacsony hőmérsékletű, csak 300–350 °C-os. Például egy gyufa fejét tegyük hirtelen mozdulattal egy minél szélesebb gyertyalángba. Nem gyullad meg azonnal. Ha a láng világító részébe vagy a lángköpenybe tartjuk, azonnal meggyullad. Egy vízszintesen tartott hurkapálcát tartunk hirtelen a gyertyalángba. A lángmagban lévő része később kezd el szenesedni, mint a két széle. Gyertya (például egy teamécses) lángját úgy növelhetjük meg, hogy a belet vastagabbra cseréljük. Ha nagyon vastag, akkor kormoz. □

2.6.10 Kísérlet. Azt is könnyen kimutathatjuk, hogy a lángmagban elégtelen anyagok vannak. Egy széles lánggal égő gyertya lángjának magjába fogóval tartunk ferdén felfelé 5–6 mm belső átmérőjű, pár centiméter hosszú, megmelegített üvegcsövet. A csövet fehér paraffin gőzök töltik meg, esetleg le is csapódnak a cső belsejében. Ha megjelennek a cső másik végén, kis ügyeskedéssel meg is gyűjthetjük a gőzöket. □

2.6.11 Kísérlet. Egy-két cm átmérőjű gyertyát, ami legalább 5 cm magas lánggal ég, gyűjtsünk meg. Egy kisebb PET palack alját vágjuk le és az összeszűkülő felső részt is. Az így létrehozott „kéményt” tartsuk a gyertyaláng köré. Ha a láng a kémény alsó részében van, akkor kiszélesedik, kicsit alacsonyabb lesz, jobban világít, és ha eddig esetleg kicsit



2.6.1 fénykép és videó: benzin égése.

kormozott, akkor most már nem. A kémény annál jobban működik, minél magasabb. A magyarázat, hogy a meleg és így kisebb sűrűségű füstgázra ható felhajtóerő légáramlást hoz létre alulról felfele; minél magasabb a kémény, annál hosszabb úton hat a felhajtóerő, annál jobb lesz a kémény „huzata”. A kéménynek nem kell túl szélesnek lennie, mert akkor túl sok levegőt szív be, így kisebb lesz a hőmérsékletkülönbség és így a felhajtóerő is. Ezen úgy is segíthetünk, hogy szűkítjük a kémény alsó beömlőnyílását. Így működik minden kémény, és a petróleumlámpa búrája is.

Ha valamilyen égőhöz kéményt akarunk készíteni, akkor persze ne műanyagból csináljuk, mert megolvad, sőt, meg is gyulladhat, hanem fémből. Az alját cikkcakkosan vágjuk le, hogy legyen bejutási lehetőség a levegőnek. □

2.6.12 Kísérlet. Az előző kísérletből tudjuk, hogy ha jobb égést akarunk, akkor levegőt kell vezetnünk a lánghoz. Még jobb, ha hozzá is keverjük. Egy fém golyóstollbetét (legjobb a Parker vagy Pax betét) végét óvatosan, anélkül, hogy összelapítanánk, fémfűrészszel levágjuk. A benne maradt tintát legjobban, ha kiegészítjük belőle. A képződött szenet a szélesebb vége felől egy vasdróttal kaparjuk ki. Fújjunk ennek a csőnek a szűk végével levegőt egy gyertyalángba: hegyes kék láng jön létre, amely nagyon forró és zúgó hangot ad. (Ezt a kísérletet később folytatjuk.) A laboratóriumi gázégők lényegében így működnek. Hogy pontosan megértsük működésüket, még néhány kísérletre lesz szükségünk. □

2.6.13 Kísérlet. Szabadban, betonon vagy más sima, nem éghető felületen szélcsendes időben terítsünk ki egy benzines madzagot vagy vastagabb fonalat: gyógyszerárban vásárolt benzinbe áztassuk be a madzagot, majd kivéve terítsük ki. A benzines üvegre tegyük gyorsan vissza a kupakját, majd a madzag egyik végét gyújtunk meg gyufával. A láng 30–40 cm/s sebességgel végigterjed a madzagon, és egy darabig ég, amíg a benzin el nem fogy. A madzag alig pörkölődik meg. Félénkebbek a 2.6.1 fényképhez tartozó videón megnézhetik a kísérletet, mielőtt kipróbálják. A magyarázat az, hogy a benzin, a közhi-

edelemmel ellentétben, nem robban (csak a filmekben), még csak nem is ég: ami ég, az a benzingőz-levegő keverék. Ennek az égése sem kifejezett robbanás, nem lassú, de nem is nagyon gyors, inkább csak lobbanás. Ha ilyen éghető anyag – levegő keverékből sok van zárt térben, akkor azonban a gyors égés robbanásba mehet át: a meggyulladt keverék elég, magas hőmérsékleten kiterjed, ez a nyomás hangsebességgel (ami magas hőmérsékleten nagyobb is) terjed szét, összenyomja a még nem égő keveréket. A keverék az összenyomástól felmelegszik. Ha eléri a gyulladási hőmérsékletet, akkor ott is meggyullad, és így az égés átmehet robbanásba, ami már 1000–3000 m/s sebességgel terjed.

Minden éghető gázra, gőzre van egy alsó és egy felső égési határ: ha a levegőben az alsó határnál kevesebb anyag van, akkor még nem gyullad meg, ha a felső határnál több, akkor már nem gyullad meg. Közte van egy ideális keverék, az égési sebesség erre a legnagyobb. A táblázat megadja ezeket az égési határokat levegővel való keverékekre (alsó–ideális–felső) normál állapotban, térfogatszázalékban, a gyulladási hőmérsékletet és égési sebességet az ideális keverékre. □

hidrogén	4,1	29,5	74,0	571 °C	2,65 m/s
szén-monoxid	12,5	29,5	74,0	609 °C	0,40 m/s
földgáz	≈ 4,5	≈ 9,47	≈ 13,5	≈ 530 °C	≈ 0,34 m/s
propán-bután	≈ 2,1	≈ 3,1	≈ 9,0	≈ 430 °C	≈ 0,37 m/s
benzin	≈ 1,2	≈ 1,5	≈ 7,0	≈ 430 °C	≈ 0,34 m/s
acetilén	2,5	7,72	80,0	305 °C	1,40 m/s
denaturált szesz	4,3	6,52	20,0	392 °C	0,42 m/s

2.6.14 Kísérlet. Egy kiskanálba szemcseppentővel vagy fecskendővel tegyünk egy pár csepp gyógyszerári benzint. A kanalat tegyük tűzbiztos helyre, például egy gáztűzhely lapjára, az üveget zárjuk le, majd égő gyufával közeledjünk a benzinhoz. Mikor pár mm-re van tőle a gyufa, meggyullad és elég. Nagy hidegben nem képződne belőle elég gőz ahhoz, hogy meggyulladjon. Az a legkisebb hőmérséklet, amin a folyadékból (vagy szilárd anyagból) elég gőz fejlődik, hogy pár mm-ről meggyulladjon, az anyag *lobbanáspontja*. Próbáljuk ki ugyanezt petróleummal: nem gyullad meg. Kicsit melegítve pár cseppet egy pici gyertyalángon, elérjük a lobbanáspontot. Először csak egy ellobbanó lángot tapasztalunk, majd általában 10 °C-kal magasabb hőmérsékleten megmarad a láng. Ha gázolajjal (tűzelőolajjal, dieselolajjal) próbáljuk ki ugyanezt, jobban kell melegíteni.

Még jobban kell melegíteni a paraffint vagy az étolajat. Egy kis gyertyát gyújtunk meg, majd ha már megolvadt valamennyi paraffin, gyújtunk meg a lángjánál egy hurkapálcát. Fújuk el a gyertyát, és dugjuk az égő hurkapálcát az olvadt paraffinba: elalszik. Csak a paraffin gőze ég. Öntsük az olvadt paraffint egy rozsdamentes kiskanálba. Kezdjük az olvadt paraffint melegíteni, és tíz–hús másodpercenként próbáljuk meg égő hurkapálcával meggyújtani. Csak akkor tapasztalunk ellobbanást, ha már gőzölög a paraffin. Ha végül égve marad, akkor viszont alig lehet elfújni. Más anyagok, papír, fa, szén is csak akkor gyulladnak meg, ha már elegendő éghető gáz fejlődik belőlük, egyébként (például faszén) csak az izzás hőmérsékletén.

Az éghető gázok és néhány nagyon alacsony forráspontú folyadék megfelelő mennyiségű levegővel még szibériai hidegben is meggyulladnak. Ezek a legmagasabb, 4-es tűzveszélyességi osztályba tartoznak. A szobahőmérséklet körüli (legfeljebb 35 °C) lobbanáspontú

anyagok, mint például a benzin, denaturált szesz a 3-as tűzveszélyességi osztályba tartoznak. A 2-es osztályba tartozik például a petróleum és a gázolaj (dieselolaj). Az 1-es osztályba az egyéb kevésbé éghető anyagok tartoznak, amiket 100 °C fölé kell melegíteni, hogy meggyulladjanak, mint például az étolaj, gépolaj, míg a 0-ásba a nem éghető anyagok. □

2.6.15 Kísérlet. Két szék támlájára tegyünk egy falapot, amibe lyukat fúrtunk. Szükségünk lesz egy *gázgyújtóra*: ugyanúgy működik mint egy öngyújtó, de hosszú szára van. A lyukon fogjuk alulról átdugni. A lyuk csak akkora legyen, hogy a gázgyújtó kényelmesen átférjen. Hogy a kicsapó láng meg ne pörkölje a kezünket, alumínium fóliából vágjunk egy nagy korongot, mintha szűrőpapírt vágnánk, és a sarkát is levágva a közepére készítsünk egy lyukat. Ez lesz a kézvédő: átdugjuk rajta a gázgyújtót, és védi a kezünket, mint a tőr markolata. Egy 2–3 literes átlátszó műanyag veder aljára ragasszunk egy darab vattát. A vattára szemcseppentővel cseppentsünk négy csepp gyógyszerári benzint, majd borítsuk rá a deszkára. Csavarjuk rá a benzines üvegre a tetejét. Dugjuk át a lyukon a gázgyújtót egészen addig, hogy a nyele elzárja a lyukat. Várjunk türelmesen pár percet, amíg a benzin elpárolog és a gőze elkeveredik a levegővel. Húzzuk vissza a gázgyújtót, hogy a hegye a deszkánál legyen és gyújtsuk meg. Valószínűleg semmit se látunk, a gázláng nyugodtan ég. Fordítsuk meg a vedret, várjunk vagy 10 percet, amíg a benzin elpárolog, szellőztessük ki, és négy cseppel megemelve a benzinadagot, ismételjük meg a kísérletet. Ahogy emeljük a benzinadagot, azt látjuk, hogy a gázgyújtó lángja egyre nagyobb lesz a benzingőzös levegőben. Egyszer csak elérünk egy olyan benzinmennyiséget, amelynél a benzingőz-levegő keverék kisebb durranással felrobban, és a veder is felrepül. Vigyázzunk, a veder aljánál kisebb láng csap ki, **NEHOGY MEGPÖRKÖLJÖN BENNÜNKET.** Ha nagyon sok benzint teszünk a vattára, szinte eláztatjuk, akkor a gázgyújtó meg se gyullad: a benzingőzben nem ég, a benzingőz önmagában, levegő nélkül nem robban. Ha nem sikerül a kísérlet, próbálkozzunk különböző várakozási időkkel és cseppszámokkal. Szinte lehetetlen pontos leírást adni, mert különböző forráspontú benzinek vannak, és a hőmérséklettől függ, hogy milyen gyorsan párolognak. Én nyári melegben dolgoztam, 2,75 literes vederrel. Három percet vártam. Az első robbanást 12 csepp benzinnél kaptam; 16, majd 20 csepp benzinnél a robbanás erősebb lett. Végül 24 és 28 cseppnél gyengült, 32 cseppnél pedig már nem gyulladt meg a gyújtó. Azt nem árt tudni, hogy a benzingőz nehezebb a levegőnél, így a deszka közelében gyűlik össze.

A kísérlet mutatja a benzinmotorok elvét: a robbanómotor a dugattyús hengerébe benzingőz-levegő keveréket szív be, azt összesűríti, és elektromos szikra gyújtja meg a keveréket. A robbanás nagy erővel löki meg a dugattyút, ez hajtja az autót. A benzin gyors elpárolgását Bánki Donát és Csonka János magyar gépészmérnökök találmánya biztosítja, a *porlasztó*. Úgy működik, mint egy parfümszóró: a levegőben a minimálisan szükséges mennyiségű benzint szétporlasztja, így az pillanatok alatt elpárolog. Ha nyomjuk a gázpedált, növeljük a benzin mennyiségét, a robbanások erősebbek lesznek. □

2.6.16 Kísérlet. Tévedés lenne azt hinni, hogy levegővel keverve csak éghető gázok illetve gőzök robbannak. Egy szívószálat dugjunk finom liszt, keményítő vagy cukor porba, és fújjuk gázlángba. Egy lobbanást látunk, a finom por hirtelen elég. Az előző kísérletet nehéz lenne porral megismételni, mert nehéz pontosan beállítani a keverési arányt, ráadásul a por gyorsan leülepedik. Mindenesetre éghető anyag pora levegővel keverve meggyulladhat. Erre például malmokban vigyázni kell. Még a szénpor-levegő keverék is

gyűlékony. □

2.6.17 Kísérlet. Most már mindent tudunk, hogy megértsük a gázégők működését. Ilyen égőt először Bunsen szerkesztett. Vegyünk egy kb. 10 mm átmérőjű üvegcsővet, fogjuk csipeszbe. Egy hasonló méretű csövet, ami azért nem fér bele az első csőbe, hozzunk ki kb. 1 mm átmérőjűre. Ez lesz a gázbevezető nyílás. A másik végére húzzunk gumicsövet, és vezessünk bele szabályozható áramban propán-bután gázt. Én egy elég olcsón kapható ceruza méretű kis égő végére húztam rá a gumicsövet. Ha az égőn van levegőbevezető nyílás is, azt ragasszuk le. A második üvegcsővet dugjuk bele az első csőbe, nyissuk meg a gázt, és az első cső másik végén gyújtjuk meg. Nagyjából úgy ég, mint egy gyertya. Húzzuk hátrább a második csövet, hogy mellette levegő keveredhessen a gázhoz. A láng kevésbé világít, és elég levegővel elérhetjük, hogy zúgó hangot adó *fúvóláng*ként égjen. Vegyük kisebbre a gázáramlást, és keverjünk több levegőt a gázhoz. Egyszer csak *visszacsap* a láng: az égés az első csövön át visszaugrik a kihúzott cső végéhez. (Ezért kell a csipesz.)

A *Bunsen-égő*ben a gáz egy szűk lyukon áramlik ki egy fémcsőbe. Magával ragadja a csőben lévő levegőt, ami a cső oldalán lévő levegőbeömlő nyílásokon pótlódik. A fémcső tetején gyújtjuk meg a keveréket, ami a hozzá kevert levegő miatt nem kormoz. A láng szerkezete lényegében nem változik, de a világító kúp kisebb és kékes színű lesz. Egy jó gázégőben lehet szabályozni a beömlő gáz mennyiségét (hiszen ettől függ, mekkora a láng), és a hozzákevert levegő mennyiségét. Ha nem keverünk a gázhoz levegőt, úgy ég, mint a gyertya. Sok levegővel viszont úgynevezett *fúvólángot* kapunk: az ilyen láng zúgó hangot ad és nagyon magas hőmérsékletű: a köpenyben és a kékes kúp hegyénél több, mint 1500 °C. Ha túl sok levegőt keverünk kevés gázhoz, előfordulhat, hogy a *láng visszacsap*: a cső belsejében (is) ég, morgó hangot adva. A cső nagyon felmelegszik, és az égés nem tökéletes, szén-monoxid keletkezik. Ilyenkor azonnal oltjuk el a lángot, várjuk meg, amíg az égő lehűl, és kevesebb levegővel gyújtjuk újra. A visszacsapás akkor következik be, ha a gáz-levegő keverék égési sebessége nagyobb, mint az áramlási sebessége: ilyenkor a láng visszafele terjed a csőben.

Sok különböző gázégő kapható, de sokszor a hozzákevert levegő mennyisége nem szabályozható. Például minden gáztűzhelynél kevernek annyi levegőt a gázhoz, hogy ne kormozzon, de nem többet. Más gázégőknél a lehető legtöbb levegőt keverik a gázhoz, hogy minél nagyobb hőfokot kapjanak. Ha ilyen égők van, meg kell oldanunk a levegőszabályozást. Ez egy fémgyűrűvel lehetséges, amit elcsúsztatva (ha nincsenek rajta lyukak) vagy elforgatva (ha vannak rajta lyukak) a levegő útját nyithatjuk-zárhatjuk. Igen kényelmes az 1.18.4 fénykép Bunsen-égőjének acélszalagból készült levegőszabályozója, de más fémszalagból, például küszöbsínből is készíthetünk levegőszabályzót. □

2.6.18 Kísérlet. Gázégő levegőnyílását zárjuk el teljesen. A lángba tartunk egy vasdrótból készült sűrű hálót, például egy rozsdamentes teaszűrőt. A szűrő fölött a láng nem ég: a fémháló elvezeti a hőt, és fölötte a gáz-levegő keverék nem éri el a gyulladási hőmérsékletet. Vékony drótból készült háló hamar izzásba jön, ekkor felette is beindul az égés. Oltjuk ki a lángot, tartjuk a szűrőt a gázba, és a háló felett gyújtjuk meg a lángot. Most nem terjed alulra, amíg a háló izzásba nem jön. A láng kékes, hiszen a gáz alul már levegővel keveredik. Ha egy másik hálót is tartunk a lángba, a gáz csak a két háló között ég.

Ezen alapszik Davy találmánya, a biztonsági lámpa. Szénbányákban nagy gondot okozott, hogy a szén rendszerint metánt zár magába. Ez a levegővel robbanó keveréket,

sújtóléget alkot, ami a lámpa lángjától meggyullad. Davy a lámpát drótketrecbe zárta. Metánt tartalmazó levegőben a láng megnagyobbodik, de ha a sújtólég elpuffan is belül, a láng nem jön át a dróthálón. Ma persze elektromos világítást használnak, de minden tűzveszélyes helyen nagyon kell ügyelni a szikraképződés elkerülésére. □

2.6.19 Kísérlet. A hidrogén és az acetilén esetén a lángsebesség nagyon nagy, és más gázok esetén is, ha oxigént keverünk a gázhoz, megnő a lángsebesség. Az ilyen égőket másként építik. Egy külső csövön, ami a végén kicsit összeszűkül, áramlik az éghető gáz. Középen van egy vékonyabb cső, ami majdnem a külső cső nyílásáig ér (néha szabályozható, hogy meddig), ezen keresztül oxigént fúvatnak. A két gáz csak az égő nyílásánál találkozik. Ha módunkban áll, nézzünk meg egy hegesztőpisztolyt közelről. Ez vas vágására is alkalmas: sok oxigént fúvatva a lángba a vas elég, akár víz alatt is. □

2.6.20 Kísérlet. Előfordulhat, hogy ici-pici lángra van szükségünk. Legjobb hidrogént használni (fejlesztését lásd később). Az égő egyszerűen egy üvegcső, amit kihúzzunk és derékszögben meghajlítunk. Csipeszbe fogva letesszük az asztalra, a kihúzott rész felfele áll. A műanyag csőbe vattát teszünk, és szorítóval a lángot közepesre állítjuk. Most fűvőlánggal oldalról melegítjük a kihúzott csövet. Megolvadva a nyílás kezd szűkülni. Addig szűkítjük, amíg a láng 5 mm magas lesz. A szorítót zárva, akár 1 mm magas lángot is előállíthatunk. □

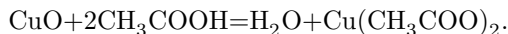
2.6.21. Tűzgyújtás. Az emberiség első nagy találmánya a tűz. A dörzsöléssel való tűzgyújtásról már volt szó. Máig is használatos a szikrával való tűzgyújtás. Vegyünk egy tűzköves öngyújtót (nagyon olcsó). Ebben egy kerék forgatásával egy recés acéldarabot dörzsölünk egy úgynevezett ritkaföldfémekből álló ötvözethez, a *tűzkő*höz. Kis darabkák válnak le, amik a súrlódástól meggyulladnak és a levegőn elégnak. Ezek kiáramló gázt gyűjtanak meg. Ha úgy forgatjuk meg a kereket, hogy a gázcsap ne nyíljon ki, láthatjuk az igen fényes szikrákat. Régebben a gáz helyett benzint használtak: egy kanóc szívta fel, és egy acélkupak, ami csak a tűzgyújtáskor nyílt fel, akadályozta meg, hogy a benzin elpárologjon. Ma rendszerint elektromos szikrát használnak gáz meggyújtására. A tűzköves gyújtók és a gyufa (a gyufára majd visszatérünk) előtt is szikrát használtak: acélt kovakőhöz ütve kaptak szikrát, az acélból leváló apró szilánk izzott fel és égett el a levegőn. A kova lényegében kvarc. (Gyerekkoromban téli esteiken azzal szórakoztunk, hogy a cipőnk megvasalt sarkával laposan belerúgtunk a betonba, és így annak kvarc kavicsai szikrát adtak a vasalással. Előnyben volt, aki megpatkolt csizmát hordott.) Az acélből kovával pattintott szikrával nem könnyű tüzet gyújtani. Acélt köszörülve a szikráktól nem gyulladt meg a széna, papír, benzines vatta. A régiek csepűt (finom kenderkócot) vagy taplót használtak, a taplógomba anyagát megfelelően kezelve. Mindenesetre ez sem volt egy kényelmes tűzgyújtási mód.

2.6.22 Kísérlet. A láng külső köpenye oxidáló hatású, a világító kúp pedig redukáló. A láng különböző részeinek oxidáló illetve redukáló hatása nagyon jól tanulmányozható egy vastagabb rézdrót vagy egy rézlemez segítségével. Vigyázzunk, mert a réz nagyon jól vezeti a hőt, elég hosszú legyen a drót! Vékony drót nem jó, mert elolvad. Csiszolópapírral alaposan tisztítsuk meg a drótot. Tartsuk a drótot a láng fölé, de ahhoz közel. Fekete réteggel vonódik be. Ez réz-oxid, képlete CuO. Ha a láng hegyébe, az oxidáló részbe tartjuk a drótot, a fekete réteg még vastagabb lesz. Ha azonban lentebb visszük, a fekete réteg visszaalakul fénylő rézzé. Látszik, hol van pontosan az oxidáló és redukáló zóna határa. A

játék akárhányszor megismételhető, azonban fényes rézként általában nem sikerül kivenni a drótot a lángból, mert a levegő oxigénjétől a még forró réz felülete azonnal oxidálódik.

□

2.6.23 Kísérlet. Az előző kísérletben kapott, réz-oxidral bevont drótot tegyük kevés, de erős (20%-os) ecetbe. Egy nap alatt a réz-oxid feloldódik; magát a rezet nem oldja az ecet. A savak az oxidokkal is egyesülnek, ugyanúgy, mint a hidroxidokkal, csak kevesebb víz keletkezik:



A rézvegyületek kék színűek. Ha esetleg nem látszik az eceten a kék szín, hajtogassuk össze a drót végét, újra oxidáljuk a lángban, és tegyük vissza az ecetbe. Egyébként ezért nem tanácsos a savanyú ételeket hosszabb ideig rézedényben tárolni: a levegő oxidálja a réz felszínét, és a réz-oxid feloldódik a szerves savakban, a rézvegyületek pedig mérgezőek. Bár elég nehéz lenne magunkat rézvegyületekkel megmérgezni, mert olyan erős hánytatató hatásúak, hogy régebben hánytatószernek alkalmazták őket az orvoslásban. □

2.6.24 Kísérlet. A természetben gyakran játszódik le lassú égés, például a korhadás is az. Egy műanyag palackba tömködjünk korhadó faleveleket, és adjunk hozzá kevés vizet. Csavarjuk rá a tetejét, és hagyjuk nyugodtan állni mondjuk egy napig. Egy beleillő dugót fúrjunk ki, illesszünk bele egy kotyogót. A kotyogóba tegyünk kevés mézsvizet. Vegyük le a palack tetejét, dugjuk a szájába a kotyogót, és a benne lévő gáz egy részét a palack összenyomásával hajtjuk át a mézsvízen. Megzavarosodik: szén-dioxid.

Természetesen a lassú égéskor is keletkezik hő. Egyes tyúkféle madarak ezt használják ki a tojásaik keltetésére: nagy halom korhadó falevelet kotornak a tojásokra. A halom belsejében meleg van, kikelnek a tojások. □

2.6.25 Kísérlet. Tulajdonképpen a testünkben is lassú égés játszódik le, innen a szén-dioxid a kilélegzett levegőben. Az élesztőgombák is cukrot „égetnek”, de nem tökéletesen, csak alkoholra és szén-dioxidra bontják le. Az előző kísérlet mintájára ha a palackba kevés cukrot, vizet, és egy pici élesztőt teszünk, ugyanúgy kimutathatjuk a szén-dioxidot, mint ott. □

2.6.26 Kísérlet. A lassú égés átmehet gyors égésbe. Egy nagyobb főzőpohárba tegyünk egy marék jó száraz szénát. Vas lángelosztón tegyük fel a tűzhelyre, és melegítsük. Alul a széna kezd elszenesedni. Várjunk, amíg a széna alul elszenesedik és feljebb is kicsit megpörkölődik. Oltsuk el a lángot, és várjunk, amíg felül a szénát kézzel meg tudjuk fogni. Egy csomóban tegyük ki egy vasháromlábra helyezett dróthálóra (például egy fröcskö-lésgátlóra). Az elszenesedett rész alul legyen! A széna lassan füstölni kezd, majd alul izzásba jön, esetleg meg is gyulladhat. Ez az *öngyulladás*: néha előfordul, hogy a lassú égés magától gyorsba megy át. □

2.7 Ismerkedés a fémekkel

A fémeket könnyen meg lehet ismerni fémes fényükről: a fényt nem engedik át, hanem nagy részét visszaverik. A poruk sötétebb, mint a tömör darab, míg más szilárd testek pora világosabb. A hőt és az áramot jól vezetik: hogy miért, arról már volt szó. A fémes fényt a jó elektromos vezetés okozza. A szerkezetük magyarázza azt is, hogy általában — egyéb szilárd anyagokkal összehasonlítva — szívósak, nehezen törnek: meglehetősen sok

munkát kell befektetni, hogy egy fémdarabot eltörjünk. A fémek kalapálással általában alakíthatók, némelyik csak izzó állapotban. (A gyémánt kalapáccsal porrá törhető.) Az emberiség akkor lépett ki a kőkorszakból, amikor a fémeket szerszámként kezdte használni. Az elemeknek kb. háromnegyede fém. Ismerkedjünk meg a legfontosabbakkal!

2.7.1. Nemes fémek. Az emberek ősidők óta ismerik a *nemes fémeket*. Ezek a természetben majdnem tisztán, elemként is előfordulnak, így már a kőkorszakban is felkeltették az emberek figyelmét. Legfeltűnőbb, ha nem is gyakori az *arany*. Mindenki ismeri, nagy részét ékszerkészítésre használják: már a kőkorszakból maradtak ránk arany ékszerek. Levegőn nem változik, mindig fényes marad. Sűrűsége nagy, 19,32 kg/l, olvadáspontja 1064 °C, móltömege 196,966552 g. Nagyon vékony, 0,1 μm vagy még kisebb vastagságú lapokká nyújtható. Vegyjele a latin *aurum* névből Au. Pénzként használják ősidőktől fogva. Mi is aranyban adjuk meg az anyagok, eszközök árát, legalábbis nagyságrendileg: azt mondjuk, hogy ha 1 kg, 1 l vagy 1 db 1 mg Au, akkor *szinte ingyen van*, ha 10 mg Au, akkor *nagyon olcsó*, ha 100 mg Au, akkor *elég olcsó*, ha 1 g Au, akkor *elég drága*, ha 10 g Au, akkor *drága*, ha 100 g Au, akkor *nagyon drága*, ha 1 kg Au, akkor *aranyárban van*.

Olcsóbb, de fontosabb fém az *ezüst*. Tiszta levegőn ez sem változik, de szennyezett levegőtől megfeketedik. Sűrűsége 10,49 kg/l, olvadáspontja 961 °C, móltömege 107,86822 g. Tiszta fényes fehér, nagyon enyhén sárgás árnyalattal. A legjobb elektromos- és hővezető. Szintén igen jól nyújtható. Egyiptomban 6000 éves ezüsttárgyakat találtak. Később részletesebben foglalkozunk vele, mert vegyületei fontosak. Vegyjele a latin *argentum* névből Ag.

Az ezüsthöz hasonlóan nemes fém a *higany*. Az egyetlen fém, amely szobahőmérsékleten is folyékony, csak -38,9 °C-on fagy meg. Ennek is nagy a sűrűsége: 13,534 kg/l, az atomtömege 200,592 g. Elterjedten használták hőmérők töltésére, ma már azonban kerülik a használatát, mert mérgező, és már szobahőmérsékleten is párolog (forráspontja 357 °C). Már az ókorban ismerték, de az ezüst folyékony változatának tartották. Csak amikor Szibériában egy hőmérőben megfagyott a higany, és kalapálni lehetett, azután tekintették önálló fémnek. Vegyjele a folyékony ezüstöt jelentő latin *hydrargyrum* szóból Hg.

Van még hat olyan nemes fém, amelyek közeli rokonságban állnak egymással: a platinafémek. Bár nemigen fognak a kezünkbe kerülni (áruk az aranyéval vetekszik), röviden bemutatjuk őket. Legfontosabb a *platina*. Bár az ókori Egyiptomból is maradt ránk platina tárgy, Európában csak azután kezdtek foglalkozni vele, hogy a spanyolok behozták Dél-Amerikából. Ott ismerték, de megolvasztani nem tudták (az olvadáspontja 1769 °C), és feldolgozni sem, ezért „ezüstöcskének” nevezték: a platina spanyol szó ezt jelenti. Vegyjele Pt, sűrűsége 21,45 kg/l, móltömege 195,0782 g. Tulajdonképpen a természetben előforduló úgynevezett *termésplatina* sohasem tiszta, hanem több-kevesebb mennyiséget tartalmaz a többi platinaféméből is, valamint aranyat, vasat, esetleg más fémeket is. A fémek hajlamosak más fémekkel nem csak folyékony, hanem szilárd állapotban is keveréket alkotni. A fémek keverékét *ötvözetnek* nevezzük. A többi termésmém is ötvözet. A higany ötvözeiteinek külön neve van, *amalgámoknak* hívjuk őket. A termésplatinában lévő más platinafémek a *palládium* (vegyjele Pd, olvadáspontja 1552 °C, a sűrűsége 11,99 kg/l, móltömege 106,426 g), a *ródiium* (vegyjele Rh, olvadáspontja 1960 °C, sűrűsége 12,39 kg/l, móltömege 102,905502 g), az *ozmiium* (vegyjele Os, olvadáspontja 3045 °C, sűrűsége 22,59 kg/l, móltömege 190,233 g), és az *iridium* (vegyjele Ir, olvadáspontja 2443 °C, sűrűsége 22,56 kg/l, móltömege 192,2173 g). Az utóbbi kettő ötvözete külön is előfordul, és néha tartalmaz

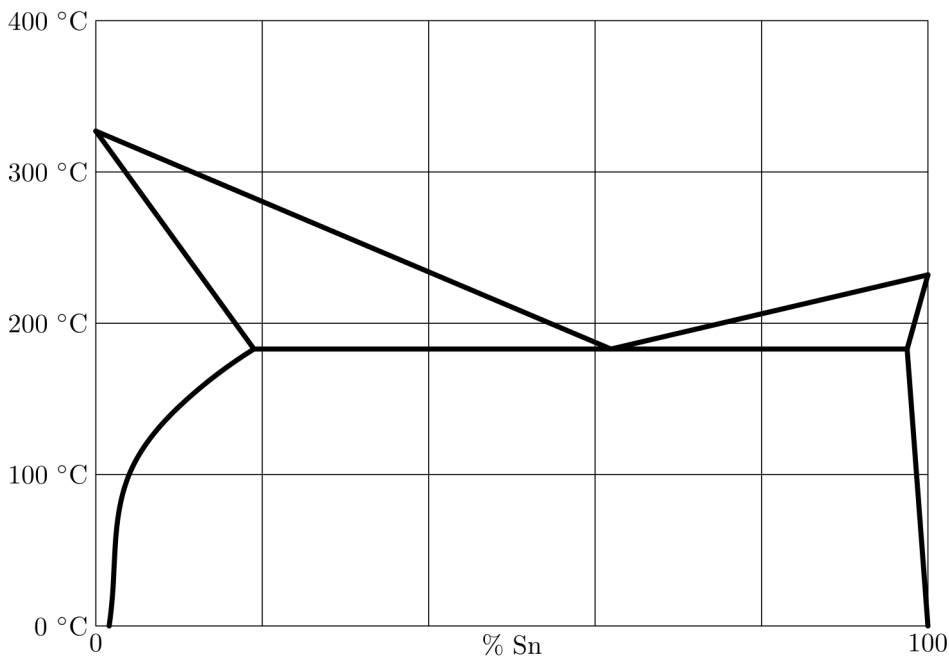
egy hatodik platinafém, a *ruténiumot* (vegyjele Ru, olvadáspontja 2282 °C, sűrűsége 12,37 kg/l, móltömege 101,072 g).

2.7.2. Színesfémek. Ezen a néven a rezet és a réz ötvözőiként használ *nehézfémeket* szokták emlegetni. Nehézfém az a fém, amelynek sűrűsége nagyobb, mint 5 kg/l. Bár a réz és az ötvözetei színesek, maguk az ötvöző fémek nem. A vegyész rézen mindig vöröszret ért: ez elem, a sárgaréz ötvözet. Félnemes fém, nem könnyen rozsdásodik. Vegyjele Cu, a latin nevéből (*cuprum*) származik. Ez onnan ered, hogy a rómaiak Ciprus szigetén bányásztak rezetet. Olvadáspontja 1083 °C, a sűrűsége 8,95 kg/l, móltömege 63,5463 g.

Az emberiség történetében a rézzel kezdődött a fémek szerszámként való használata: 9000 éves réztárgyakat is találtak. Kezdetben a *természret* gyűjtötték össze, kalapálták, később már faszéntűzben meg is olvasztották. A termésréz a természetben található, rézvegyületekből — rézércből — álló telepek tetején képződik, ott, ahol a rézerc a levegővel érintkezik. Ha az érc hozzákeveredett a termésrézhez, a faszéntűzben abból is réz keletkezett. Mivel az érc legtöbbször más fémek vegyületeit is tartalmazta, nem tiszta réz, hanem rézötvözet, *bronz* keletkezett. Észrevették, hogy ez még jobb anyag. Öntve alig keményebb, mint a tiszta réz, de kovácsolva kétszer keményebbé válik mint a réz, pedig a réz is keményedik alakításakor.

Például 5000–5500 évvel ezelőtt több helyen elég magas arzén tartalmú bronzok készültek. Az *arzén* (latin neve arsenikum, vegyjele As, móltömege 74,921602 g) egy nagyon mérgező félfém: fémes fényű, az áramot vezeti, de nem túl jól. Magyarország területén, Velemben 3800 éve *antimon* (latin neve stibium, vegyjele Sb, sűrűsége 6,684 kg/l, olvadáspontja 630,7 °C, móltömege 121,7601 g) tartalmú bronzok készültek. Már 4000–5000 évvel ezelőtt is készültek *ólom* (latin neve plumbum, vegyjele Pb, sűrűsége 11,342 kg/l, olvadáspontja 327 °C, móltömege 207,21 g) tartalmú bronzok. A legfontosabb bronzok azonban *önt* tartalmaznak, úgyhogy ha egyszerűen bronzot mondunk, akkor ónbronza gondolunk. Minden más esetben megmondjuk, hogy mi az ötvöző fém, például *arzénbronz*, *antimonbronz*, *ólombronz*, stb. Ha több ötvöző is van, akkor *kevert bronzról* beszélünk. Az ónbronzoak közül az *ágyúfém* 10%, a *harangfém* 20% önt tartalmaz. 4000–5000 éve az ónbronzoak ónérc tartalmú rézércből készültek, később a (rendszerint másutt található) ónércet adagolták az olvadt rézhez, és csak kb. 3000 éve készítenek először tiszta önt, és azt adják az olvadt rézhez. Ismerünk 3400 éves öntárgyat. Sokáig összetévesztették az ólommal, amit már 5000 évvel ezelőtt is ismertek Babilóniában és Egyiptomban. Csak a rómaiak különböztették meg világosan a két fém. Kezdetben az ónról mint plumbum candidum-ról (fehér ólom) beszéltek, ellentétben a plumbum nigrum-mal (fekete ólom), majd elterjedt az ónra a stannum név, és a plumbum már csak ólomot jelentett, amiből vízvezetékeket készítettek. A stannum névből ered az ón vegyjele: Sn. Olvadáspontja 232 °C, sűrűsége 7,265 kg/l, móltömege 118,7107 g.

Ha már a bronzoknál tartunk, említsünk meg néhány csak újabban használatos bronzot is. A *kadmiumbronz* 1% kadmiumot tartalmaz, villamosok felsővezetékének használják. A kadmium a cink rokona (a cinkről nemsoká szó lesz), cink ércben fordul elő, itt is fedték fel. Latin neve cadmium, egy cinkérc régi cadmia nevéből ered. Vegyjele Cd, sűrűsége 8,65 kg/l, olvadáspontja 320,8 °C, forráspontja 765 °C, móltömege 112,4118 g. Sokkal gyakrabban használatos a 2–2,5% ötvözőanyag tartalmú *berilliumbronz*. A legjobb acélokkal vetekedő, kiváló anyag, bár drága. Rugókat, elektromos érintkezőket, tűzveszélyes helyen használatos nem szikrázó szerszámokat készítenek belőle. A berillium vegyjele Be, legfőbb ásványa a berill drágakő (zöld változata a smaragd, kék-kékeszöld az akva-



2.7.1 ábra: ólom–ón fázisdiagramm.

marin), így érthető drágasága. Olvadáspontja 1289 °C, sűrűsége 1,848 kg/l, móltömege 9,012182 g. Mint látjuk, könnyűfém, de mivel a réz ötvözése a legfontosabb felhasználása, itt említjük meg. Van *alumíniumbronz* is, de az alumíniummal a könnyűfémeknél foglalkozunk.

Egyetlen nagyon fontos rézötvözet van, amivel még nem foglalkoztunk, a *sárgarézt*. Ez réz és cink ötvözete. Régi bronzokban is fordul elő kevés cink. 2000 évvel ezelőtt a cadmia nevű cinkércet keverték az olvadt rézhez, így állítottak elő sárgarezet. A legjobb sárgarézt 20% cinket tartalmaz, általában a cinktartalom 22-30%, de 40%-ig használható az ötvözet. Bár már 2000 éve leírták a cink előállítását is, és egy cink szobrocska is fennmaradt ebből az időből, az első cinkkohó Európában csak kevesebb mint 300 éve kezdett működni. A cink neve a német Zinke (tüske, fog) szóból ered, vegyjele Zn. Sűrűsége 7,14 kg/l, olvadáspontja 419,5 °C, forráspontja 907 °C, móltömege 65,392 g. Az alacsony forráspontból érthető, miért nehéz tiszta cinket előállítani: gőzként keletkezik, és ha levegővel érintkezik, azonnal elég.

A réz ötvözőiként használt fémek egymással is érdekes ötvözeteket alkotnak. Legfontosabb a *forrasztóón*. Ez ón és ólom ötvözete. Általában harmada ón, a jobbaknak fele. A 2.7.1 állapotábra mutatja az olvadáspontokat. Nagyon hasonlít a só-jég állapotábrára, az egyetlen különbség, hogy a dermedéskor kiváló ón tartalmaz szilárd oldatként némi ólmot, az ólom pedig némi ónt, a hőfoktól függő mennyiségben. Nyilván ha más könnyen olvadó fémeket is adunk az ötvözethez, akkor még alacsonyabb olvadáspontot is kaphatunk. Az ilyen ötvözetek rendszerint tartalmaznak *bizmutot*. Ezt a fémét már az ókorban is ismerték, de csak a középkor vége felé lett általánosan ismert. Neve német eredetű, wis mat (talán fehér fém, mai német neve Wismuth) ez latinostították bisemutum-ra. Vegy-

jele , olvadáspontja 271,4 °C, sűrűsége 9,808 kg/l, móltömege 208,980382 g. *Wood féme* 4:2:1:1 súlyarányban Bi, Pb, Sn és Cd ötvöze, olvadáspontja 71 °C. *Rose féme* 2:1:1 súlyarányban Bi, Pb és Sn ötvöze, olvadáspontja 93,75 °C. Egyébként (az amalgámok kivételével) a legalacsonyabb olvadáspontú ötvözet a galinstan, 68 % ű galliumot (vegyjele Ga, olvadáspontja 29,767 °C, sűrűsége 5,904 kg/l, móltömege 69,723 g), 22 % indiumot (vegyjele In, olvadáspontja 156,63 °C, sűrűsége 7,31 kg/l, móltömege 114,818 g) és 10 % ón tartalmaz, esetleg legfeljebb 2 %-ig terjedő antimon és 2 %-ig terjedő bizmut tartalommal. Neve a gallium-indium-stannum szavak összevonásából ered, hőmérők töltésére használják, -19 °C-on olvad.

2.7.3 Kísérlet. Rézhez könnyen hozzájuthatunk. Réz csövet, rudat lehet kapni, réz lemezt küszöbsínnek használnak. Rézdrótot elektromos vezetékből szerezhethünk. A falvezeték (falba szánt vezeték) egy szálból áll, általában 1,5 mm² keresztmetszetű, de kapható vastagabb is. A hajlékony vezetékek sok vékony rézszálból állnak. A réz vezetékek anyaga igen tiszta réz. Réz vezetéket gázlángban könnyen meg tudunk olvasztani, nagyobb réz darabokat nem, mert a réz jó hővezető. A réz oxidációjával és redukációjával már foglalkoztunk. Rézdrótot satu üllőjén vékony lemezzé kalapálhatunk. A megmunkálástól felkeményedik. Egy szemléletes kísérlet erre, hogy egy 1 mm körüli átmérőjű drót egyik végét fúróba, másik végét satuba befogva (vagy más módon) a drótot megcsavarjuk. A megcsavart drótot fenyőfába szegként be tudjuk űtni, míg az eredeti drótot nem. Egyébként ha megpróbáljuk meghajlítani, kézzel is érezzük a keményedést. Ha gázlángban megmelegítjük, újra meglágyul. A magyarázat, hogy a megmunkáláskor a fém kristálykáiban sok hibahely jön létre, ezek akadályozzák a kristálykák darabjainak elcsúszását egymáson. A legtöbb fém alakítás után a kelvinben mért olvadáspontjának kb. 40 %-ára hevítve kilágyul; ilyenkor átkristályosodik. Magasabb hőmérsékleten az átkristályosodás tovább folyik, nagy kristályszemcsék jönnek létre, ami már legtöbbször nem előnyös. □

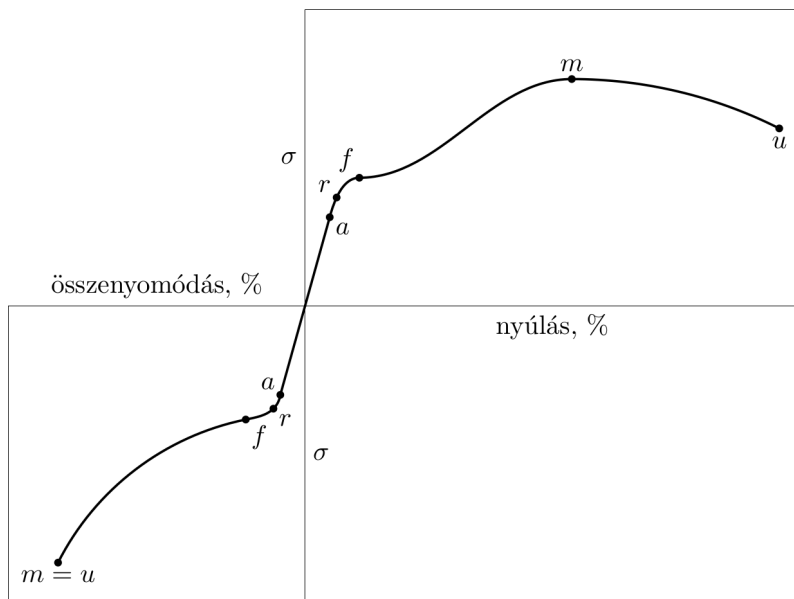
2.7.4 Kísérlet. Határozzuk meg a réz szakítószilárdságát! Vékony, 0,2–0,3 mm átmérőjű rézhuzal átmérőjét mérjük meg minél pontosabban. Vegyünk egy kb. 40 cm hosszú darabot. A végét hajtsuk vissza hurkot képezve, és a visszahajtott részt tekerjük rá a huzalra. Mindkét végén a hurokba egy kampó jön. Az egyik kampóval akasszuk fel egy létrán vagy két széken keresztbe tett erősebb rúdra, a másik kampóra akasszunk könnyű, de nagy, 5 l-es műanyag vedret. A huzal megnyúlását szeretnénk mérni. A középső részéhez erősítsünk egy könnyű kis műanyag vagy fa lécet. A felső hozzáerősítés egy háromszög keresztmetszetű reszelő egy darabkájával történhet, amit keresztben a huzal és a léce közé teszünk, és befőttes gumival a huzalt a léchez szorítjuk. Itt a léce együtt mozog a dróttal. A másik végén a léce és a huzal közé egy megmért átmérőjű gombostű jön, amire középen átszúrt szívószál mutató kerül. Ha kell, ragasszuk oda a tűhöz, hogy ne tudjon elfordulni. A tű másik végére is tehetünk mutatót, hogy egyensúlyban legyen. Itt is befőttes gumival szorítjuk a tűt a léchez. Mérjük meg a két alátámasztás távolságát: lehet 100 vagy 200 mm. A 2.7.2 képek mutatják a berendezést.

Terheljük meg a rézhuzalt először az üres vederral, majd a vederbe rakott kisebb súlyokkal! Mérjük meg a mutató szögelfordulását (legjobb, ha videóra vesszük); ebből majd ki tudjuk számítani a huzal megnyúlását. Kezdetben a mutató szögelfordulása, így a megnyúlás is arányos a terheléssel (ez a *Hook-törvény*), és a hossz visszaáll az eredeti hosszra. A legnagyobb terhelés, aminél ez még igaz, az *arányosság határ*, *a*. Ennél nagyobb terhelésnél az arányosság már elromlik, de a hossz még visszaáll a terhelés megszűnésekor;

MÉG NINCS KÉSZ
2.7.2 fényképek: szakítópróba.

ez a *rugalmassági határ*, *r*. (A gyakorlatban a 2‰_∞ vagy 2‰_∞ megmaradó nyúláshoz tartozó határt tekintik rugalmassági határnak.) Tovább növelve a terhelést az anyag rendszerint elkezd nyúlni, és még csökkenő terhelésnél is nyúlik, majd felkeményedik, és a nyúlás megáll. Ahol a folyás elkezdődik, az a *folyási határ*, *f*. (Néhány anyagfajtánál nem állapítható meg egyértelmű folyási határ; ilyenkor a 0,2‰ megmaradó nyúláshoz tartozó terhelést adják meg helyette.) Tovább növelve a terhelést a nyúlás folytatódik, az anyag keresztmetszete csökken (befűződik), végül egy *maximális terhelés*, *m* után csökkenő terhelésnél is elszakad. A szakadáshoz tartozik az *utolsó terhelés*, *u*. Persze, nem az erőt szoktuk megadni, hanem az egységnyi keresztmetszetre jutó erőt, a mechanikai *feszültséget*. Ezt rendszerint σ -val jelöljük. Úgy kapjuk, hogy a terhelő erőt osztjuk az eredeti keresztmetszettel. A *szakítási diagramm* tehát a feszültséget adja meg a százalékban megadott megnyúlás függvényében. Fokozatosan terhelve a rézhuzalt, vegyük fel a szakítási diagrammot! A számításoknál vegyük figyelembe, hogy a tű egy körfordulásához a drót kétszer annyit mozdul el, mint a tű kerülete.

A 2.7.3 ábra vázlatosan ábrázol egy szakítási diagrammot, egy összenyomási diagrammal együtt. Azt, hogy a szakítási diagrammon a görbe jobb oldala lefelé hajlik, a befűződés magyarázza: a valódi feszültség egyre nő ugyan, de mivel a keresztmetszet gyorsan csökken, a terhelő erő csökken. Összenyomásnál viszont az anyag kihasasodik, így az erő egyre nő, itt a maximális terhelés megegyezik az utolsó terheléssel. Rideg anyagoknál (például



2.7.3 ábra: szakítási-összenyomási diagramm.

üveg, beton, kő, stb.) folyás nincs, az elszakadás kis erőnél, mindjárt a rugalmassági határ után bekövetkezik. A nyomószilárdság viszont nagy lehet. Nagy nyomó terheléskor az anyag külseje leválik, két egymásba tolt kúp alakú rész marad vissza.

A szakítóvizsgálat eredményeként meg lehet adni a σ_a , σ_r és σ_f feszültségeket és a hozzájuk tartozó megnyúlásokat %-ban. Legfontosabb a σ_m *szakítószilárdság* (nyomásnál a *nyomószilárdság*) és az utolsó terheléshez tartozó δ nyúlás (összenyomásnál összenyomódás). A δ nagyon függ attól, hogy a próbatest hossza hányszorosa az átmérőjének. Általában ez ötszörös vagy tízszeres; ilyenkor δ_5 -öt illetve δ_{10} -et írnak. Drótoknál persze összenyomásnál a drót kihajlik, így csak szakítóvizsgálatot végeznek. Függetlenül az átmérőtől 100 mm vagy 200 mm hosszon mérnek, ahogy mi is tettük, és δ_{100} -at vagy δ_{200} -at írnak. Egyébként acéloknál a szakítószilárdság a Brinell-keménységnek nagyjából 36 %-a.

2.7.5 Kísérlet. Ha egy ezüst pénzérmét, gyűrűt (nem köves gyűrűt!) gázlángban felizzítunk, ugyanúgy megfeketedik, mint a réz. Ezt azonban csak a réztartalma okozza, színezüst nem feketedik meg. (Az ezüstöt azért szokták rézzel ötvözni, mert az ötvözet keményebb, mint a tiszta ezüst.) A felületen és a felület közelében lévő réz kidiffundál a felületre, és ott oxidálódik. Egyébként a réz szilárd állapotban nem tökéletesen elegyedik a rézzel, hidegen alig, tehát a rézzel ötvözött ezüstben vegyesen vannak réz és ezüst kristálykák. Ha a tárgyat egy napra erős ecetbe tesszük, az feloldja a réz-oxidot, és a gyűrű visszakapja ezüstszínét, de fehérebb lesz, mert a sárgás színt nagyrészt a réz adja. Újra izzítva nem feketedik meg, mert a felületén már színezüst van. □

2.7.6 Kísérlet. Hasonló jelenséget tapasztalunk, ha egy aranytárgyat izzítunk. Ha nem színarany, megfeketedik. Az aranyat is rézzel szokás ötvözni, hogy keményebb legyen. Ugyan ezüsttel is ötvözhetnék, de a rézötvözetek színe szebb. Itt is leoldhatjuk ecettel a réz-oxidot. Nekem azonban másodszeri, sőt, harmadszeri izzításnál is megfeketedett a ka-

rikagyűrűm. Már kezdtem gyanakodni, hogy nem is arany. Negyedszerre aztán aranyszínű maradt. Figyeljük meg az első izzításnál, hogy mennyire kellett melegeíteni, hogy megfeketedjen, és a többi alkalommal is csak addig melegítsük. Az arany messze nem olyan jó hővezető, mint az ezüst, és az olvadásponthoz közel már gyors a diffúzió, így a réz a felszínre juthat. Ha a gyűrű mattabb lesz, fogkrémes ronggyal kifényesíthetjük.

Az arany- és ezüstoötvezetek nemesfém tartalmát manapság ‰-ben szokás megadni. Régebben karátban adták meg, ami 1/24-ed részt jelent, tehát egy 18 karátos aranytárgy aranytartalma 18/24-ed rész, 750 ‰. Vigyázat, a karát drágaköveknél súlyegység, pontosan 0,2 g! □

2.7.7 Kísérlet. Ón rézből készült vízvezeték forrasztásához 97 ‰-os tisztaságban kapható, a maradék 3 ‰ réz. Ez a mi céljainkra megfelel, tisztábbat majd magunk állítunk elő. (Az úgynevezett „forrasztóón” nem jó, legfeljebb 60 ‰ ónt tartalmaz.) Hidegen is vékony lemezzé kalapálható, elég puha, könnyen hajlítható. A tiszta ón hajlítgatáskor úgynevezett „önzőrejt” ad. Érdekes, hogy 200 °C körül, közvetlenül az olvadáspontja alatt olyan rideg lesz, hogy porrá törhető. Ónport tehát úgy készíthetünk, hogy egy porcelán mozsárban a törővel együtt betesszük a sütőbe, és 250 °C-on megolvasztjuk. A sütőt elzárjuk, várunk amíg megdermed, majd a törőt egy jó vastag ruhával megfogva porrá dörzsöljük. Ha az ónt vasedényben megolvasztjuk, és jól felmelegítjük, a felületén ón-dioxid képződik, ami különböző színekben játszik, a vastagságtól függően. □

2.7.8 Kísérlet. Tiszta ólom beszerzése nem olyan egyszerű. Esetleg egy régi házbontásakor juthatunk ólomcsőhöz. Régen vízvezetéknek használták, ma már nem használják. Vethetünk horgászati boltban ólom nehezéket, vagy búvárboltban szintén nehezéknek használt ólomtéglat. Ha kemény, nem jó, a tiszta ólom meglehetősen puha, körömmel karcolható, és halványan, de fog a papíron. Később majd foglalkozunk vele, hogyan juthatunk kemény ólomhoz (ólom–antimon ötvözet) és abból hogyan kaphatunk teljesen tiszta ólomot. Ha az ólomra egy érmét rákalapálunk, lenyomatot kaphatunk. Vasedényben megolvasztva és jól felmelegítve sárga ólom-oxid réteg vonja be. Az olvadáspontja nem magas, akár gipszformába vagy ceruza méretű papírcsőbe is készíthetünk öntvényt.

2.7.9 Kísérlet. Az ón és ólom ötvözetét *forrasztóón* néven lehet kapni. Ez 33–60 ‰ ón tartalmaz, a magasabb óntartalmú a jobb. A két fém állapotábrájáról már beszéltünk, a 2.7.1 ábra mutatja. Az ábrából látjuk, hogy az eutektikum olvadáspontja 183 °C, és 61,9 ‰ ón tartalmaz. Egy vaslapra a közepétől egyforma távolságra tegyünk kevés (de nagyjából ugyanannyi) ónt, ólomot, illetve forrasztóónt, és kezdjük a vaslap közepét melegeíteni! Először a forrasztóón olvad meg, majd az ón, végül az ólom. □

2.7.10 Kísérlet. A *forrasztás* lényegében a fémek „összeragasztása” könnyebben olvadó ötvözzel. A forrasztandó fémfelületeket meg kell tisztítani a szennyezésektől, például drótkéfével. A végső tisztítás kémiai módszerekkel történik. Nagyobb tárgyaknál „forrasztókövet” vagy „forrasztóvizet” használunk; ezekről később lesz szó. Finomabb forrasztásoknál, például elektronikai célokra ezek túl durvák: inkább *fenyőgyantát* (hegedűgyantát, hangszerboltban kapható) használunk. Legjobb az úgynevezett „gyantás cín”; ez olyan forrasztóón huzal, amelyiknek a belsejében fenyőgyanta van. (Az ón német neve Zinn, ejtsd cinn.) A forrasztandó tárgyakat lehetőleg összeerősítjük valahogy (például a drótkat összetekerjük), mert a forrasztóónnal készült úgynevezett *lággyforrasztás* nem bír el nagy terhelést. A részeket például fémcsipesszel rögzítjük. Ezután melegeíteni kezdjük a



2.7.4 fénykép: vitorláselem.

forrasztandó anyagot, miközben hozzáértetjük a gyantás cin-t. Nem a gyantás cint melegítjük közvetlenül! Ha az anyag, például rézdrót, eléggé megmelegedett, akkor rajta a gyanta kicsit füstöl, letisztítja a felületet, a forrasztóon megolvad, és szétfut a fémtiszta felületen. Ekkor abbahagyhatjuk a melegítést. Ha lehűlt a tárgy, kivehetjük a csipeszből. Ha nem fut szét a forrasztóon a felületen, akkor az nem tiszta, nemigen lesz jó forrasztás. Ilyenkor kenjük a forró felületre fenyőgyantát. A melegítés általában *pákával* történik, ami vagy elektromos fűtésű, vagy egy lángon melegített nagyobb réztömb, de lehet lánggal vagy forrasztócsővel is forrasztani (lásd később). Az alumíniumot nem lehet ilyen egyszerűen forrasztani. □

2.7.11 Kísérlet. Cinkhez nem könnyű manapság hozzájutni. Lehet ugyan kapni, de valószínű, hogy 2 m^2 a legkisebb lemezdarab, amit tudunk venni, az pedig több kiló. Esetleg egy bádognál kérhetünk egy darab cinklemez. Kisebb alkatrészek esetleg cinköntvényből készülnek: próbáljuk meg megolvasztani, ha izzási hőmérséklet alatt megolvad, akkor valószínű cink. Régen minden szárazelem burkolata cink volt. Manapság tudtommal már csak a vitorlázásban használnak ilyen típusú elemet. Mindenesetre a 2.7.4 fényképeken ilyen 6 V-os elemet láthatunk, eredeti formában illetve szétbontva. A hengerek külső burkolata cink. Vágjuk szét, és megvan a cinklemez. A középső szénrúd is hasznos lesz elektrolízisnél, az azt körülvevő zacskó pedig barnakő és szén keverékét tartalmazza. A többi rész egy ragacsos massa, ezt később megvizsgáljuk. Ha nem jutunk cinkhez, akkor se keseredjünk el: később előállítjuk könnyen beszerezhető vegyületeiből, illetve sárgarézéből. □

2.7.12 Kísérlet. Egy kis darab cinket hajtogassunk erősen! Nem túl nehéz eltörni. Közben a hajtogatáskor az önzörejhez hasonló hangot ad. Megolvasztva és formába öntve cinkrudat kaphatunk. Ha ezt hidegen kalapáljuk, eltörik, ha azonban forrásba lévő tömény konyhasó oldatban felmelegítjük, akkor melegített üllőn kalapálható. Ha lángban melegítjük, vigyázzunk: 200 °C felett újra olyan rideg lesz, hogy porrá törhető, így cinkporhoz juthatunk. □

2.7.13 Kísérlet. A cink levegőn csak lassan oxidálódik (és vonódik be szürke oxidréteg-gel). Ha azonban megolvasztjuk, akkor a felületén gyorsan oxidálódik. Ha *szemcsézett* — idegen szóval *granulált* — cinket akarunk előállítani, akkor az olvadt fémeket egy dróthálón (például acél levestűrőn) keresztül fél-egy méteres magasságból öntsük vízbe! Esés közben cseppekké oszlik, és így dermed meg a vízben. Más fémeket ugyanígy granulálhatunk. □

2.7.14 Kísérlet. A cink magas hőmérsékleten elpárolog, meggyullad és elég. Egy kis porcelán téglében vagy csészében, de akár egy porcelán cserépen erős gázlángon világos vörösre hevített cink magától is meggyullad, ha elég forró. Ha nem gyullad meg, egy előmelegített üvegbottal megkavarjuk, így rendszerint meggyullad és kékes, erősen világító lánggal ég. Az égéskor fehér füst — cink-oxid, ZnO — keletkezik, ami melegen sárga, kihűlve fehér. Cinkforgácsot (egy cinktárgyba belefúrunk) gázlángban meggyújthatunk. A lángba szórt finom cinkpor is elég. □

2.7.15 Kísérlet. A fémek öntése általában homokformába történik. A rendszerint fából készült mintát csak alig nedves homokkal töltött dobozba tesszük, jól körüldöngöljük homokkal, mint mikor a gyerekek „homoktortát” csinálnak, majd óvatosan kiszedjük a mintát. Megvárjuk, amíg a homok megszárad, és a formába beleöntjük az olvadt fémeket. Bonyolultabb öntvényeknél a minta két vagy több részből állhat, például az alsó részét egy alsó dobozba, a felső részét egy felső dobozba formázzuk, és kiszáradás után a kettőt egymásra fordítjuk. Ilyenkor beöntőnyílást is kell hagynunk, és járatot a levegőnek, ahol kijöjjön. Üreges öntvénynél a „magot” előre elkészítik homokból, és beleteszik a formába. Tudni kell, hogy a fémek megszilárdulásakor összehúzódnak, a mintát ennyivel nagyobbra kell készíteni. A zsugorodás dermedéskor, térfogatarány:

Al	Zn	Sn	Pb	Fe	Ac	Öv	Bz	Sr
1:19	1:21	1:43	1:31	1:24	1:17	1:32	1:21	1:22

A rövidítések a fémiparban szokásosak: Ac=acél, Öv=öntött vas, Bz=bronz, Sr=sárgaréz.

Acélt is lehet homokba önteni, de elég, ha egyszerű formák ónból, ólomból, cinkből és esetleg alumíniumból való öntésével próbálkozunk meg. □

2.7.16 Kísérlet. A réz 39% cinket képes felvenni, az ötvözet a sárgaréz. A jobb sárgarézek kevesebb cinket tartalmaznak, a legjobbak csak 20%-ot. Keményebb, mint a tiszta réz, és jobban megmunkálható. A rácsban véletlenszerűen helyezkednek el a cink és réz atomok. Magasabb, mint 39% cinktartalomnál a tulajdonságai erősen romlanak. Először ZnCu összetételű kristálykák jelennek meg, majd bonyolultabb összetételű kristálykák. Az olvadáspontja valamivel alacsonyabb, mint rézé. Vékony drótot, forgácsot ugyanígy megolvaszthatunk lángban, mint a rezet. Ecetsav csak lassan oldja ki belőle a cinket, erősebb savak gyorsabban és a felületén megjelenik a réz vörös színe. □

2.7.17 Kísérlet. Az emberiség számára legfontosabb fém a *vas*. Vegyjele Fe a latin ferrum szóból. Sűrűsége 7,874 kg/l, olvadáspontja 1535 °C, forráspontja 2750 °C, atomtömege 55,8452 g. Ősidők óta ismerik, mert vasmeteoritok formájában — ha ritkán is, de — megtalálható a természetben. Könnyen meg tudjuk különböztetni más fémektől, mert a mágnes vonzza. A vasat szinte soha nem használják tiszta állapotban, hanem *ötvözet*ként, mivel az ötvözetek gyakran előnyösebb tulajdonságúak (például szilárdabak) mint a tiszta fémek. Tágabb értelemben az ötvözőelemek közé számíthatunk néhány nemfémeket is: a hidrogént, az oxigént, a szenet, a nitrogént, a szilíciumot (vegyjele Si, sűrűsége 2,53259 kg/l, olvadáspontja 1420 °C, forráspontja \approx 3280 °C, atomtömege 28,08553 g) és a bórt (vegyjele B, sűrűsége 2,35 kg/l, olvadáspontja 2092 °C, forráspontja \approx 4000 °C, atomtömege 10,8115 g) is. A vasötvözeteket általában *acél*nak nevezzük. A legtöbb acélban csak egyetlen ötvöző van jelentősebb mennyiségben: szén. Ezeket *szénacéloknak* nevezzük. A csak szenet tartalmazó acélokat ötvözetlen acéloknak is szokás nevezni. Kezdjük ezekkel az ismerkedést.

2.7.18 Kísérlet. Csiszoljunk tisztára egy vasdarabot, és kezdjük el melegíteni! A felülete kezd elszíneződni, a hőfoktól függő úgynevezett *futtatási színek* keletkeznek:

kezdődő ezüstössárga	200 °C	világosbíbor	275 °C
ezüstössárga	220 °C	bíbor	280 °C
világossárga	225 °C	sötétbíbor	290 °C
világos szalmasárga	230 °C	kék	295 °C
szalmasárga	240 °C	búzavirágkék	300 °C
mély szalmasárga	245 °C	világoskék	320 °C
sötétsárga	250 °C	kékesszürke	350 °C
barna	260 °C	szürke	400 °C
sötét vörösbarna	270 °C		

A magyarázat az, hogy a felületén vékony oxidréteg keletkezik. Ennek vastagságától függ a visszavert fény színe, úgy, mint egy víztócsa tükrén szétterülő vékony olajréteg színe. A 2.7.5 fénykép futtatási színeket mutat. Egyébként más fémek felületén is megfigyelhetünk már hasonló futtatási színeket. Mivel ezek az oxidréteg vastagságától függnek, más fémeknél más hőfokon keletkeznek.

A kovácsok a futtatási színeket használják fel a vas hőmérsékletének a becslésére. Ennél nagyobb hőfokokat úgy szoktak megbecsülni, hogy szappant, fűrészport, faforgácsot dörzsölnek az acélhoz. A szappan 300–350 °C-on bomlik, a forgács és fűrészpor 400–450 °C-nál barnul, 500–550 °C-nál szikrázik és 550–600 °C-nál meggyullad.

2.7.19 Kísérlet. Egy pár mm átmérőjű vas- vagy acélrudat gázlángban izzítsunk fel minél jobban, és állón, ha nincs, satu tetején, vagy egy fa alátétre elhelyezett nagyobb vasdarabon (pl. sándarab, fejsze, nagykalapács, hasítóék, stb.) kezdjük el kalapálni! Amíg vörösen izzik, jól *kovácsolható*, (ez a *melegalakítás*) hidegen már sokkal nehezebben (ez a *hidegalakítás*). Nem valószínű, hogy sikerülni fog, de megpróbálkozhatunk a *kovácshegyszéssel* is: két, fehéren izzó vasdarabot egymásra helyezve és erősen kalapálva összehegednek. □

2.7.20 Kísérlet. Az acélok legfontosabb tulajdonsága, hogy *edzhetőek*. Legegyszerűbben egy hajcsaton, vagy más kis acéltárgyon (nagyobb varrótű, acélhúr, acél kötőtű, órarugó) próbálhatjuk ezt ki. Melegítsük fel a tárgyat vörösen izzóra, majd lassan, a lángban



2.7.5 fénykép: futtatási színek.

fokozatosan emelve hűtsük le! Most hajlítható. Ez a *kilágyítás*. Melegítsük fel ismét vörösen izzóra, és hirtelen vízbe mártva hűtsük le! Ez az *edzés*. Nagyon kemény és rideg lesz. Lehet, hogy fogóval sikerül eltörnünk, és az üveget is karcolja. Ha most egy darab csiszolópapírral tisztára csiszoljuk a felületét, és magasan a láng felett tartva kicsi megmelegítjük, veszít egy kicsit a keménységéből, de sokkal szívósabb lesz. Ez a művelet a *megeesztés*. A futtatási szint figyelve, beállíthatjuk a megeesztési hőmérsékletet. Próbáljunk megedzeni egy darab *virágrótot*, azaz virágkötözésre használt drótot is. Ez csak 0,3% szén tartalmaz, nem lesz sokkal keményebb. □

Tulajdonképpen a vas-szén övzeteknél körülbelül $\approx 2\%$ szénig beszélünk acélról, mégpedig 0,6%-ig szerkezeti acélról, a fölött szerszámacélról. Ennél magasabb széntartalmú vas a nyersvas. Az öntöttvas 2,3–4,5% szén tartalmaz, általában kemény, de rideg, törékeny, ellentétben az acéllal, amely szívós. Kovácshegesztéssel az acél 0,25% széntartalomig jól hegeszthető, 0,6%-ig rosszul, a fölött nem hegeszthető. 850 °C fölötti hőmérsékleten általában kovácsolható, mégpedig 0,8% széntartalomig korlátlanul, 1,3%-ig korlátozottan, 1,7%-ig alig, a fölött rosszul. A kilágyított acél szakítószilárdsága 350 MPa-tól 900 MPa-ig nő, miközben a széntartalom 0,1%-tól 0,8%-ig nő; 0,9%-tól kezdve a szakítószilárdság csökken. Nő a kilágyított acél folyáshatára is, 200 MPa-tól 600 MPa-ig, miközben a széntartalom 0,1%-tól 1,2%-ig nő; a szívósság viszont csökken.

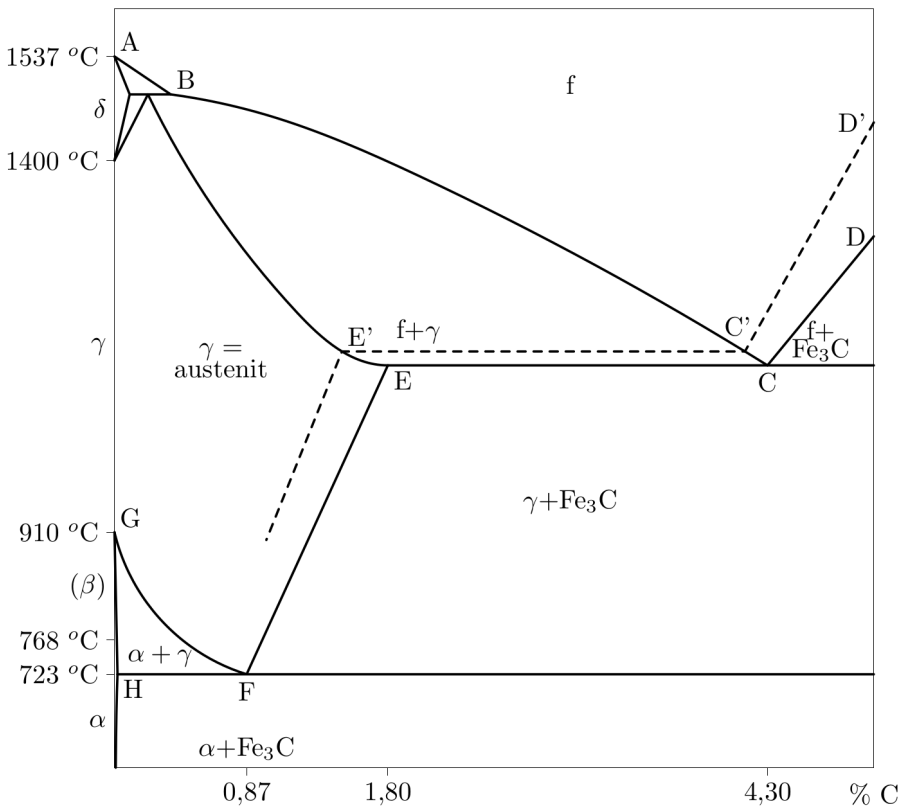
Egy legalább 0,8% szén tartalmú szerszámacél darabot kb. 780 °C-ra melegítve, majd vízben gyorsan lehűtve, sokkal, akár több, mint háromszor nagyobb lesz a Brinell-keménysége. A szénacélok csak körülbelül 0,25% széntartalomtól edzhetőek, minél nagyobb a széntartalom, annál jobban. Ha kisebb a széntartalom, akkor magasabb hő-

fokra kell az acél hevíteni az edzéshez, például 0,25 % széntartalomnál 900 °C-ra, 0,65 % széntartalomnál 800 °C-ra. Az edzéshez szénacéloknál vízűtés kell, még kis daraboknál is. Az edzés magyarázata, hogy 720–850 °C felett a vas kristályszerkezete megváltozik, és sokkal jobban oldja a szén. A hirtelen lehűtéskor a kristályszerkezet visszaváltozik, de az oldott szénnek nincs ideje kiválni, a kristályrács tele lesz hibahelyekkel, ez okozza a keménységet. Mivel az edzés után az acél nagyon kemény, de elég rideg is, felmelegítjük 100–400 °C-ra, ez a megeresztés. Minél magasabb hőfokon végezzük a megeresztés, annál több vész el a keménységből, a szakítószilárdságból és a folyáshatárból, de szívósabb lesz az anyag, nehezebben törik el, jobban nyúlik. Például szerszámacéloknál rendszerint csak 180–240 °C-on végezzük a megeresztést, mert 250 °C felett a keménység már rohamosan csökken. 400 °C felett az anyag már sokat lágyul, bár a kilágyításhoz 600 °C kell, a teljes kilágyítást pedig az edzési hőmérsékletre való melegítéssel és lassú hűtéssel érhetjük el. A megeresztéskor illetve a lágyításkor a kristályrácsban lévő szénatomok különválnak kis, magas széntartalmú úgynevezett vaskarbid szemcséket képezve. Ezek még mindig keményítik a vasat, de közel sem annyira, mint az edzett állapot. Az edzhetőség jelentősége az, hogy ugyanabból az anyagból készült szerszámmal, ha az edzve van, meg tudjuk munkálni a kilágyított acélt. Például egy kovács kilágyított acélból tud kovácsolni egy vágót, amit megedzve a kilágyított acélt vághatja vele vagy bevágásokat készíthet egy lapos, kilágyított acéldarabba, amit megedzve, abból reszelő lesz, ezzel egy kilágyított acélszalagból fűrészlapot lehet reszeleni, stb. Ez a lehetőség óriási jelentőségű volt a szerszámkészítésben. Ha tehát acélból akarunk valamit elkészíteni, ezeket vegyük figyelembe. Lehetőleg melegen, kovácsolással alakítjuk. Hidegen csak kilágyított állapotban és kis mértékben alakítsuk, majd újra lágyítsuk ki. Kilágyítva fűrész, reszelhető, menetet vághatunk bele, stb. Edzzük meg, majd szükség szerint eresszük meg. Ma már sokszor nem csak szénacélokat, hanem gyengén (5 %-nál kevesebb szén ötvöző) vagy erősen ötvözött acélokat használnak. Ezek is edzhetőek, de edzésük módja erősen függ az ötvözőktől. Más fémek, illetve ötvözeteik nem, vagy nem ilyen jól edzhetőek. Például a réz hirtelen lehűtve kilágyul. Néhány szénacél szerszám típus megeresztési hőmérséklete:

100 °C	kifőzés vízben	maximális keménység, például hideghengerek
120 °C	kifőzés	mérőeszközök
200 °C	halványsárga	hidegvágó, spirálfúró
220 °C	szalmasárga	maró, fémfűrész
240 °C	barna	menetvágó
260 °C	bíbor	borotva, lyukasztó
280 °C	lila	olló, zsebkés, famaró
290–320 °C	kék	tőr, kasza, kés, finom fűrész, fafúró, balta
350–400 °C	szürke	nagy ütőszerszámok

Példának néhány keménységérték: üveghengerek szerszámacél 6400 MPa, sárga futtatású szerszámacél 5400 MPa, kék futtatású szerszámacél 4600 MPa, kovácsolt szerszámacél 3040 MPa, acél öntőforma 2160 MPa, öntöttvas 1620 MPa, folytvas (azaz öntött kis széntartalmú vas) 1130 MPa, sárgaréz 640 MPa, vas 900 MPa, alumínium 150–300 MPa, ezüst 150–250 MPa, platina 500–550 MPa, réz 350 MPa, arany 185 MPa, magnézium 250 MPa, cink 250–350 MPa, ón 40 MPa, ólom 30 MPa, stb.

2.7.21. Vas–szén-állapotábra. ** Az acélok sok tulajdonságára a vas–szén-állapotábra (2.7.6 ábra) nyújt magyarázatot. Első pillantásra kicsit ijesztőnek tűnik, pedig ez csak



2.7.6 ábra: vas-szén állapotábra.

az állapotábra tiszta vas felőli része. Kezdjük vele az ismerkedést a bal szélén, a tiszta vasnál. A legalacsonyabb hőmérsékletektől egészen 912 °C-ig a vas úgynevezett α módosulatként van jelen. 768 °C felett a vas nem mágnesezhető. Régen azt hitték, hogy ez egy másik vasmódosulat, és β -vasnak nevezték. Ma már tudjuk, hogy a kristályszerkezet nem változik, ez is α -vas, ezért tettük a β -t zárójelbe. 912 °C fölött a vas kristályszerkezete megváltozik, γ -vassá alakul. Ez a szerkezet marad egészen 1400 °C-ig. Ott ismét változik a kristályszerkezet, δ -vas jön létre. Ez marad egészen 1537 °C-ig, ahol a vas megolvad. Az α és a δ módosulat kristályszerkezete köbös tércentrált, a γ módosulat kristályszerkezete köbös lapcentrált; hogy ez mit is jelent, lásd később. A szilárd vas is fel tud oldani egy kevés szenet, anélkül, hogy a kristályszerkezet megváltozna. Ezt látjuk az α -vasnál, a G–H görbétől balra, és lefelé is, illetve a δ -vas vonalától balra. Ezt is δ -vasnak fogjuk nevezni, némi oldott szénnel. A γ -vasnál ez a terület sokkal nagyobb, az oldott széntartalom egészen 1,8%-ig terjedhet. Ezt a széntartalmú γ -vasat, ami szilárd oldat, mi csak γ -vasnak fogjuk nevezni, de a fémiparban a neve *austenit*, a széntartalmú α -vas neve pedig *ferrit*.

Most nézzük az állapotábra folyékony vas felőli, felső részét. A folyékony vasat, pontosabban vas-szén keveréket az ábrán egyszerűen f-fel jelöltük. Az A–B vonal alatti kis háromszög szerű rész f és δ keveréke, az az alatti kis háromszög pedig γ és δ keveréke. A B–C vonal alatti rész f és γ keveréke, a C–D vonal alatti rész pedig f és Fe₃C keveréke. Az

Fe_3C , vaskarbid kohászati neve *cementit*, széntartalma 6,67%. Összetételét nem kémiai vegyértékek határozzák meg, hanem inkább az, hogy tud a szén beépülni a kristályrácsba, tehát inkább ötvözetszerű. Tulajdonképpen az állapotábra a vas–vaskarbid állapotábra, mert a vasban oldott szén 6,67% alatti széntartalomnál általában vaskarbid alakjában van jelen. A C pont a vas–vaskarbid eutektikus pont, 1130 °C-nál és 4,3% széntartalomnál. Az ennél kiváló eutektikumnak is van kohászati neve, *lebedurit*nek hívják; ez γ -vas, pontosabban austenit és vaskarbid elegye. Az ábrán még egy eutektikus pont van, az F pont, 723 °C-nál és 0,87% széntartalomnál. Ez úgy jön létre, hogy a γ -vasban oldott szén még szilárd állapotban is szételegyedik α -vasra és vaskarbidra. Az eutektikus összetételnél ez váltakozó rétegekben elhelyezkedő finom α -vas és vaskarbid rétegekből áll, amit a fémiparban *perlit*nek neveznek. Kisebb széntartalomnál a perlithez több-kevesebb α -vas szemcse keveredik, nagyobbánál pedig több-kevesebb vaskarbid szemcse. Alacsonyabb széntartalomnál tehát több az α -vas, magasabbnál több a vaskarbid.

Van még az állapotábrán néhány szaggatott vonal is. Ezek azt mutatják, hogy ha nagyon lassú a lehűlés, akkor a vaskarbid elbomolhat vasra és grafitra, az acélban grafit-szemcsék jelennek meg.

Az eddigiek még mindig nem magyarázzák meg az edzést. Durván szólva arról van szó, hogy nagyon nagy lehűtési sebességnél a γ -vas átalakul ugyan α -vassá, de a szénnek nincs ideje kiválni, benne marad az α -vasban, torzítva annak szerkezetét. Nagyon kemény tűk jönnek létre. Ezt a szerkezetet a fémiparba *martenzit*nek nevezik. A szükséges lehűtési sebesség 400 °C/s, nagyon kis széntartalmú acéloknál még ennél is nagyobb. Főleg 400 °C felett fontos ez a nagy lehűtési sebesség. Ha ennél kisebb, akkor más kristályszerkezet is létrejöhet.

Más ötvöző anyagok megváltoztatják az állapotábrát. Kevés ötvözőnél csak kismértékben változik az ábra, de edzésnél más szerkezetek is létrejöhetnek. Nagy mennyiségű ötvözőnél az állapotábra teljesen átalakul. Például a saválló acélok szobahőmérsékleten is austenites (γ -vas) szerkezetűek, nem mágnesesek és rossz hővezetők. **

2.7.22. Vassfémek. A vas két közeli rokona a kobalt és a nikkel. Ezek is mágnesesek, és vassal valamint esetleg még más fémekkel alkotott ötvözeteik különleges mágneses tulajdonságúak. Nem csak ezeket soroljuk azonban a vassfémekhez, hanem minden olyan fémét, amelyet elsősorban a vas ötvözésére használunk fel.

A *kobalt*, latinosan cobalt neve a kobold német szóból ered. A középkori német bányászok úgy gondolták, hogy gonosz bányamanók, koboldok akadályozzák meg, hogy a szemre ígéretesnek tűnő ércből fémét nyerjenek. Felfedezték azt is, hogy az ilyen ércek az üveget kékre festik, ami már az ókorban is ismeretes volt, de később feledésbe merült. A fémét magát a XVIII. században sikerült előállítani. A vegyjele Co, sűrűsége 8,90 kg/l, olvadáspontja 1495 °C, forráspontja 3100 °C, móltömege 58,9332009 g. Üveg és mázak színezésén kívül elsősorban mint különleges, nagyon szilárd acélok ötvözőanyagát használják.

A *nikkel* története is hasonló. Rézzel és cinkkel alkotott ötvözetét már az ókori Kínában is használták. A középkori német bányászok ismertek egy rézércnek látszó ásványt, de nem lehetett belőle rezet előállítani, amit az ördög művének tekintettek. Az ördög alnémet nyelvjárásban Nickel, az ásvány Kupfernickl-nek („ördög réz”) nevezték el, ebből ered a fém neve. A fémét magát a XVIII. században sikerült előállítani. A vegyjele Ni, sűrűsége 8,90 kg/l, olvadáspontja 1495 °C, forráspontja 3100 °C, atomtömege 58,69342 g/mol. Rézzel képzett ötvözetei is fontosak, például a fémpenzék egy része 25% Ni, 75% Cu

összetételű. Elsősorban mint különleges acélok ötvözőanyagát használják. Tiszta állapotban nemigen találkozunk vele. Különleges laboratóriumi eszközök készülnek nikkelből és néha vékony bevonatok, de az, amit általában nikkelezésnek gondolunk, manapság általában nem nikkel-, hanem krómbevonat.

A *króm* nevét és a Cr vegyjelet a görög chroma ‘szín’ szóból kapta, mert vegyületei színesek. A XVIII. század végén állították elő először. Sűrűsége 7,14 kg/l, olvadáspontja 1900 °C, forráspontja 2690 °C, atomtömege 51,99616 g/mol. Nem ritka elem. Legnagyobb felhasználása rozsdamentes, söt, saválló acélok előállítására. A legelső saválló acél, a nevezetes V2A acél, 18% krómot és 8% nikkelt tartalmaz, a többi vas, és nem mágneses, a hőt pedig elég rosszul vezeti; a háztartásban is gyakran használják. (Az acélok nem mind mágnesesek, és van néhány ritka vasmentes ötvözet is, ami mágneses.)

A króm rokona a *molibdén*. Nevét az ólom egy régi görög nevéből kapta, mert legfontosabb ásványát, amit molibdenitnek neveztek el, gyakran összekeverték az ólom egyes érceivel, illetve a grafittal. Ezt is a XVIII. század végén állították elő először. Vegyjele *Mo*, sűrűsége 10,28 kg/l, olvadáspontja 1620 °C, forráspontja 4650 °C, atomtömege 95,941 g/mol. Saválló acélok ötvözőjeként használják.

Az izzólámpák izzószála a króm és a molibdén rokonából, *volframból* készül. Szintén a XVIII. század végén állították elő először. Neve a német Wolf ‘farkas’ szóból ered, mert a német bányászok megfigyelték, hogy a gyakran ónércekkel együtt előforduló vegyületei „elragadják az ónt”, mint a farkas a bárányt. Vegyjele *W*, sűrűsége 19,3 kg/l, olvadáspontja 3422 °C (a legmagasabb a fémek között), forráspontja \approx 5500 °C, atomtömege 183,841 g/mol. Acélötvözőként az úgynevezett *gyorsacélok* (HSS jelzésű fúrószárazak, stb.) előállítására használják. A név onnan származik, hogy az ilyen acélokkal gyorsan lehet dolgozni, mert még vörösizzáson sem lágyulnak, megtartják élükét. Egyébként a volfram szénnel alkotott vegyülete a fő alkotóanyaga a kőzetfúrók hegyeként is használt „keményfémnek”, a widiának is. A név a német wie Diamant ‘mint a gyémánt’ kifejezés rövidítése.

Az egyik leggyakoribb acélötvöző a *mangán* (vegyjele *Mn*), nagyon sok acél tartalmaz belőle valamennyit. Szívóssá teszi az acélt. Gyakori (és legfontosabb) ásványát, a *barnakövet*, MnO_2 már az egyiptomiak is használták üvegyártásnál, mert szinteleníti az üveget. A galvánelemek nagy része is tartalmaz barnakövet. Scheele, a kémia-történet talán legnagyobb felfedezője ismerte fel, hogy a barnakő egy ismeretlen fémeket tartalmaz, és elő is állították még a XVIII. század végén. A sűrűsége 7,43 kg/l, olvadáspontja 1244 °C, forráspontja 2060 °C, atomtömege 54,938051 g/mol.

Fontos acélötvöző még a *vanádium*. Felfedezése a XIX. század elején történt, és kissé kalandos: az első felfedezést nem ismerték el. Végül egy svéd vasércben találták meg újra. Kiváló tulajdonságokat kölcsönöz az acélnek már néhány tized százalék is: például motoralkatrészek, rugóacélok gyártására használják. Nevét a szépség skandináv istennőjéről kapta, vegyületeinek szép színei alapján. Vegyjele *V*, sűrűsége 6,11 kg/l, olvadáspontja 1915 °C, forráspontja 3350 °C, atomtömege 50,94151 g/mol.

2.7.23 Kísérlet. A volframmal és a molibdénnel tiszta állapotban is találkozunk: az izzólámpák izzószála volframból, az azt középen tartó vékony szálak pedig molibdénből készülnek. Ha kiég egy izzólámpa, ne dobjuk el, hanem bányásszuk ki belőle a *W*-ot és *Mo*-t, egy-két kísérletre ez a kevés is elég lesz. A kiégett halogénlámpákat is tegyük el, még az üvege is különleges kvarcüveg, a szála *W*, az üvegen való átvezetés pedig *Mo*. □

2.7.24. Könnyűfémek. A könnyűfémek királya lehetne a *titán*. Vegyjele *Ti*, sűrűsége

4,5 kg/l, olvadáspontja 1667 °C, forráspontja 3285 °C, móltömege 47,8671 g/mol. Nem ritka fém, a kilencedik leggyakoribb elem a földkéregben. Sajnos, igen nehéz tisztán előállítani, és már igen kevés O, N és C is lerontja kiváló tulajdonságait. Egyik ásványa a *rutil*, TiO_2 . Ezt tisztítás után kiváló fehér festékként használják. Kristályosan átlátszó, de finom porként fehér, és mivel fénytörése még a gyémánténál is nagyobb, igen erősen szórja a fény. Szinte semmilyen anyag nem támadja meg, így lassan az összes többi fehér festéket kiszorítja. A fém titán kevés alumíniummal és ónnal ötvözve a legjobb szilárdság/súly arányt adja az ipari fémek közül. Főleg gázturbinákhoz és a repülőgépiparban használják.

A legtöbbit használt könnyűfém az *alumínium*. Vegyjele Al, sűrűsége 2,699 kg/l, olvadáspontja 660,45 °C, forráspontja 2520 °C, móltömege 26,9815382 g/mol. A leggyakoribb fém a földkéregben. Neve a timsót jelentő *alumen* szóból ered. Már a régi kémikusok is tudták, hogy a timsóból lúgokkal egy csapadék keletkezik, amit kiizzítva egy „földet” ad, a timföldet. A régiek „földnek” neveztek minden nem fémes anyagot, ami vízben nem nagyon oldódott, izzítva nem változott, de nem tudtak belőle fémeket előállítani. Nagy siker volt, amikor Davy a XIX. század elején az alkálilúgokat megolvasztva elektrolizálta, és előállította a nátriumot és a káliumot. Vizes oldatban ezeket nem lehet előállítani, mert bontják a vizet. Hasonló módszerrel, olvasztott sók elektrolízisével, vagy más, így nyert fémek segítségével aztán a „földeket” is sikerült felbontani, a bennük rejtőző fémeket előállítani. Lényegében így gyártják az alumíniumot is: a timföld Al_2O_3 , alumínium-oxid. Mivel nagyon magas hőfokon olvad, egy másik alumíniumsó olvadékában oldják, és így elektrolizálják. A tiszta alumínium elég puha, ilyen például az alumínium fólia. Levegőn az alumíniumot azonnal 10 nm-nél is vékonyabb timföldréteg vonja be, ami a további oxidációtól megvédi. Néha ezt mesterségesen megvastagítják, nagyságrendben akár ezerszeresre is. A kapott réteg nagyon kemény, kopásálló és jól színezhető. Az alumínium tulajdonságait ötvözéssel lehet javítani, pár százalék Cu, Mn, Si, Zn vagy könnyűfémek hozzáadásával, és akár az acél szilárdsága is elérhető.

A „földek” közül néhány vízzel lúgos lesz. Ezeket alkáliföldeknek nevezték. Egy ilyet mi is ismerünk, az égetett meszet. Azt is tudjuk már, hogy a benne rejtőző fém a *calcium*. Mivel a mész latin neve *calx*, a fém latin neve *calcium* lett, innen a vegyjele Ca. Sűrűsége 1,55 kg/l, olvadáspontja 842 °C, forráspontja 1494 °C, móltömege 40,0784 g/mol. Nedves levegőn lassan oxidálódik, a vizet elbontja és oltott mész képződik, így a gépiparban nem használható.

A gépiparban, különösen a repülőgépiparban gyakran használt, a magnézia (vagy égetett magnézia, gyógyszerárban is kapható) nevű alkáliföldből kinyert fontos könnyűfém a *magnézium*. Vegyjele Mg, sűrűsége 1,738 kg/l, olvadáspontja 650 °C, forráspontja 1090 °C, móltömege 24,30506 g/mol.

Az alkálilúgokból kapható alkálifémek közül egyedül a lítiumot használják nagyobb mennyiségben, elemekben és akkumulátorokban. Magnézium 14% Li-ot és 1% Al-ot tartalmazó ötvözetet páncelemezek és rakéták készítésére használható. A nevét a görög lithos 'kő' névből kapta, mert egy kőben fedezték fel először, ellentétben a nátriummal és a káliummal. A legkönnyebb szilárd anyag szobahőmérsékleten.

2.7.25 Kísérlet. Ha egy fémtárgy meglepően könnyű, magnéziumra vagy valamilyen magnéziumötvözetre gyanakodhatunk. Például egy ceruzahegyszőről leszerelve az acélpengét, a tömege 6,67 g, térfogata 3,86 ml volt, így a sűrűsége 1,729 g/ml, tehát magnézium. Egy fémfúróval belefúrva vékony forgácsot kaphatunk. Egy ilyen forgácsot acélcsi-

pesszel (amit esetleg acéldrótból magunk is barkácsolhatunk) tartunk lángba! Meggyulladva vakító fényes lánggal ég. A keletkező fehér (esetleg szennyezésektől szürkés) „hamu” magnéziumoxid, MgO . Kevés vízzel eldörzsölve részben $Mg(OH)_2$, *magnézium-hidroxid* keletkezik, ami bár nagyon rosszul oldódik vízben, de a fenoltaleint vörösre színezi. Ha a forgácsot nem sikerül meggyújtani, reszelővel reszeljük le a tárgyból. A port lángba szórva, vagy még jobb, egy csőből lángba fújva nagyon fényes szikraesőt látunk. Rozsdamentes acél kanálban izzóra melegítve a por rendszerint meggyullad. Nagyobb darab magnézium megolvad, de nem szokott meggyulladni. Sok magnéziumhoz juthatunk, ha szert teszünk egy villanybojlerből kisserelt, használt úgynevezett „anódra” és kalapálással meg drótkéfével megtisztítjuk, vagy veszünk egy újat. □

2.7.26 Kísérlet. Az alkálifémek közül egyedül a lítiumhoz tudunk hozzáférni, és ez a legkevésbé veszélyes is. Szedjük szét egy CR sorozatú lítium elemet! Más típusú lítium elemet, akkumulátort TILOS szétszedni, mert nagyon maró, veszélyes anyagok lehetnek benne, akár fel is robbanhat, vagy legalábbis robbanásszerűen meggyulladhat! A CR sorozatú elemekben a pozitív elektród úgynevezett „barnakó”, a negatív elektród lítium. Az elem belseje lúgos, így tegyük fel a szétszereléshez egy VÉDŐSZEMÜVEGET, amit az egész kísérlet alatt tarsunk magunkon. A szám első két jegye az elem átmérője mm-ben, a második két jegye pedig a vastagsága tizedmilliméterben. Én CR2025-ös elemet használtam. Fogjuk be satuba, persze szigetelők közé, mert egyébként rövidre zárjuk, és elhasználdik a lítium, az elem pedig nagyon felmelegszik és szét is durranhat. A satuból kiálló 5–6 mm-es rész szélére tegyük egy csavarhúzó, és kalapáccsal üssünk rá! Ha sikerült a nagyobb — a pozitív — lemezt elgörbíteniünk, és a két lemez szétvált, akkor már nyert ügyünk van. Ha esetleg nem sikerült, ellenőrizzük, nem melegszik-e nagyon az elem? Ha igen, várjuk meg, míg lehűl. Feszegessük szét a két részt két fogóval vagy egy vékony, éles csavarhúzóval, vigyázva arra, hogy ne zárjuk rövidre a két fémlemezt. Ha sikerült szétszedni, a lítium lemezt FOGÓVAL vagy CSIPESSZEL fogjuk meg. Ha nem válik el a negatív sarkot adó acéllemeztől, akkor kaparjuk le a barnakövet, és CSIPESSZEL vegyük ki az elválasztó papírt. Alatta ott van a lítium. Kezdetben elég fényes, teljesen száraz levegővel csak nagyon lassan reagál, víztartalmúval gyorsabban. Nagyjából 5 perc alatt fénye eltompul, sötét színű lesz. Ezért ne sokat vacakoljunk. Kaparjuk ki egy rozsdamentes kanálba, és tartsuk a gázlángba a kanalat! A lítium megolvad (vasdróttal megkavarhatjuk), majd jóval az olvadáspontja felett meggyullad, és vakító lánggal elég: $4Li + O_2 = 2Li_2O$. Vigyázzunk, hova tesszük le a kanalat, mert nagyon forró, és még lehet is a belsejében Li, ami tovább ég! Fehér lítium-oxid marad vissza. Ha már lehűlt a kanál, akkor ezt kaparjuk egy kémcsőbe: egy következő kísérlethez fogjuk felhasználni. A maradék lítiumot használjuk fel a következő két kísérlethez; ezeket is olvassuk el!

2.7.27 Kísérlet. Egy morzsányi, kb. 2 mm átmérőjű Li-darabkát (NEM TÖBBET!) helyezzünk a satu üllőjére és üssünk rá egy kalapáccsal. Gyengébb ütéstől szétlapul, mint bármely más fém. Erősebb ütéstől lángnyelv csap ki a kalapács alól vagy akár 10 cm hosszú szikraeső: a Li meggyullad és elég. □

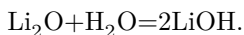
2.7.28 Kísérlet. A negatív sarok fémborításában biztosan maradt még egy kevés Li. Tartsuk fogóval gázlángba: szép kárminvörösre festi a lángot. Esetleg fehér füst keletkezik: ezt ne lélegezzük be, mert ERŐSEN MARÓ! A kísérlet végén megmaradó minden hulladékot: a legapróbb Li darabkát, barnakövet, szigetelőgumit, fémburkolatot, stb., gyűjtsünk össze egy vas edényben és öntsük le vízzel. A szerszámok szennyezett végét is merítsük a vízbe.



2.7.7 fényképek: cink kristályok.

A lítium bontja a vizet, és lúggá alakul (ez egy későbbi kísérletben, a hidrogénnél szerepel, de ha elég a Li, most is kipróbálhatjuk). Egy nap után mossuk el a szerszámokat, öntsük a vizet a lefolyóba és dobjuk ki a többi maradékot! □

2.7.29 Kísérlet. Egy előző kísérletben kapott lítium-oxidhoz adjunk pár csepp vizet! Olyasmi reakció játszódik le, mint a mészoltáskor, de sokkal hevesebb:



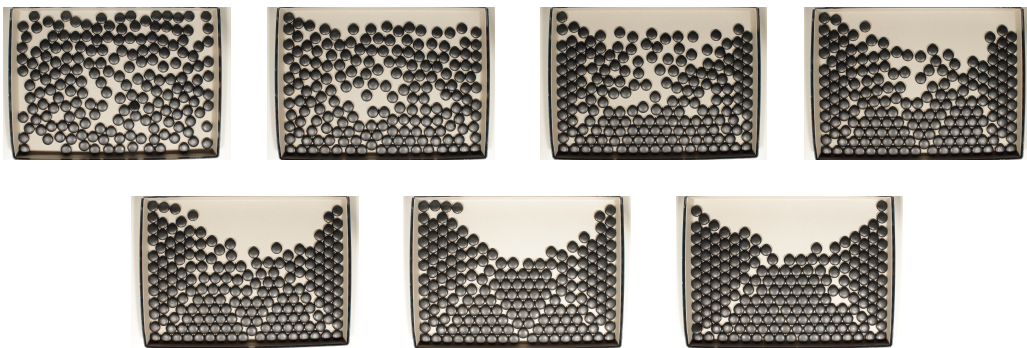
A keletkező oldat erősen lúgos, mint a nátronlúg. Felhasználjuk a következő kísérletre. Kipróbálhatjuk, hogy festi a lángot. □

2.7.30 Kísérlet. Ha az előző kísérletben kapott LiOH-ot levegőn hagyjuk állni, lassan fehér csapadék képződik. Ez lítium-karbonát, ami nem valami jól oldódik vízben. Kevés ecetet adva az oldathoz, pezsgés közben feloldódik, lítium-acetát képződik. Próbáljuk ki a lángfestését! Figyeljük meg, hogy a nátrium lángfestése csak a lítium lángfestése után jelenik meg: a lítiumsók illékonyabbak, mint a nátriumsók. Egyébként a lángfestésnél a világoskék, csésze alakú alsó köpenybe érdemes tartani a vasdrótot. Minél lejjebb tartjuk, annál hidegebb a láng. Az illékonyabb elemek lángfestése már itt megjelenik, a kevésbé illékonyaké csak feljebb. □

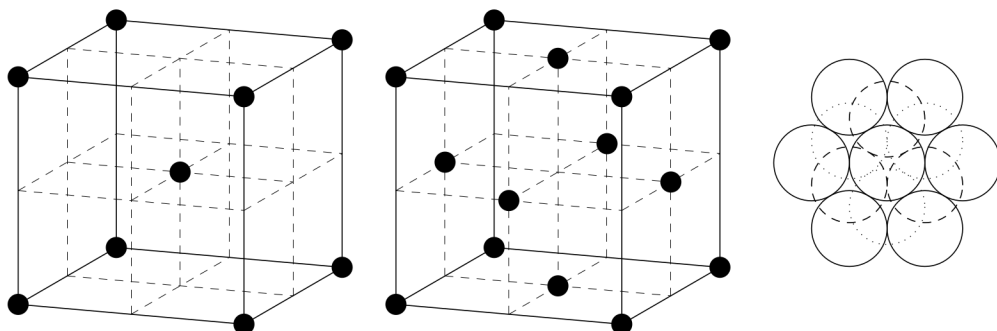
2.7.31. Fémek kristályszerkezete. A fémek kristályosak, de kristályaik általában igen aprók, csak mikroszkópban láthatók. Egy kivétel a cink, vagy nyelvújítás korabeli nevén horgany. Talán láttatok már *horganyzott vaslemezt*. Ez cinkkel bevont vaslemez. Úgy készülhet, hogy a vaslemezt olvasztott cinkbe mártják. A cinkbevonat arra szolgál, hogy megvédje a vasat a rozsdásodástól. Az ilyen lemezen a cinkkristályok jégvirágszerű mintát képeznek. A 2.7.7 fényképeken cink kristályokat láthatunk. Úgy készültek, hogy a megolvastott és dermedőfélben lévő cinkről hirtelen leöntöttem a még olvadt fémeket. Egyébként öntött cinkdarabot kettétörve is nagyon szépen látszanak a kristályok.

Az atomok kristályszerkezetének kialakulását mutatja az 2.7.8 fényképsorozat. Úgy készült, hogy a go játék egyforma „köveit” egy lapos papírdobozba tettem és a dobozt ütöttem. Lassan kialakulnak a „kristályszemcsék” és a köztük lévő határok. Hosszabb idő alatt a határok némelyike megszűnik, „a kristályszemcsék növekednek”.

** A fémek három féle kristályszerkezetben kristályosodnak. A 2.7.9 ábrán balra láthatjuk a *tércentrált köbös* rács alapcelláját. A jobb áttekinthetőség kedvéért csak az atomok



2.7.8 fényképek: kristályosodás modellje.



2.7.9 ábra: fémek kristályrácsa.

középpontját tüntettük fel: egy atom a kocka középpontjában, nyolc a csúcaiban helyezkedik el, így az elemi cellában $1 + 8 \cdot 1/8 = 2$ atom van. A valóságban az atomok inkább egymáshoz érő gömbök, így a cella 68%-át töltik ki. Ilyen szerkezetű a Li, Na, K, Mn, α -Fe, Cr, Mo, V, W. Középen látható a *lapcentrált köbös* rács elemi cellája (vázlatosan). Itt az atomok a kocka csúcaiban, illetve lapjainak középpontjaiban helyezkednek el, így az elemi cellában $8 \cdot 1/8 + 6 \cdot 1/2 = 4$ atom van. A térkitöltés 74%-os. Ilyen szerkezetű például az Al, Au, Ag, Ca, Cu, Ni, γ -Fe, Pb, Pd, Pt, Rh, Ir. Végül tekintsük a jobb oldali ábrát. A folytonos vonallal rajzolt körök egy réteg egyforma golyót jelképeznek. Könnyen el tudjuk képzelni, hogy a síkot egy réteg golyóval így töltjük ki. Most tekintsük a szaggatott vonallal rajzolt golyókat! Csak három golyó van lerajzolva, de könnyen el tudjuk képzelni az egész golyóréteget: ez van a folytonos vonallal rajzolt réteg alatt. Jelöljük ezt az alsó réteget A-val, a folytonos vonallal rajzolt réteget B-vel. A B réteg fölé megint jöhet egy A réteg, stb., így egy *legszorosabb illeszkedésű hatszöges* ABABAB... kristályszerkezetet kapunk; a térkitöltés 74%-os. Ilyen szerkezetű például a Be, Mg, Zn, Ti, Cd, Os és Co. Talán meglepő, de a B réteg fölé (vagy alá) nem csak A réteg jöhet. A jobb oldali ábrán pontozott vonallal berajzolt három kör egy olyan C réteggé folytatható, amely ugyan hasonló az A réteghez (és a B-hez is), de el van tolvá azokhoz képest. Lehetségesek tehát ACACAC... vagy ABACABAC..., stb., típusú rétegződések is. Ezek is legszorosabb illeszkedésűek és hatszögesek is.

Mi van az ABCABC... rétegződéssel? Egy kis gondolkodással beláthatjuk, hogy ez megegyezik a lapcentrált köbös ráccsal! Szemeljünk ki a középső ábrán egy csúcsot, mondjuk a jobb hátsó felső csúcsot. A kiszemelt csúcs három legközelebbi szomszédja egy szabályos háromszöget alkot, amely merőleges a kiszemelt csúcsot a szemben lévő csúccsal összekötő testátlóra. Ezek lesznek a jobb oldali ábrán az A síkban fekvő atomok. (A szomszédos csúcsok atomjai is ehhez a síkhoz tartoznak.) A kiszemelt csúcs nyolc kockához tartozik, amelyek ebben a csúcsban futnak össze. Az egyiknek a testátló meghosszabbítása a testátlója. Az ebben a kiszemelt csúcsához legközelebbi atomok felelnek meg a jobb oldali ábrán a C síkban fekvő atomoknak; figyeljük meg, hogy 60° -kal elforgatott, a testátlóra merőleges háromszöget alkotnak. Végül a másik hat kockában a kiszemelt csúcsához legközelebbi, eddig még nem vizsgált hat atom (mindegyik két kockához tartozik) egy szabályos hatszöget alkot, aminek a középpontja a kiszemelt atom. Ezek felelnek meg a jobb oldali ábrán a B síkhoz tartozó atomoknak.

Az ötvözetek szerkezete általában bonyolultabb, bár nem mindig. Az Au és az Ag például ugyanolyan szerkezetben kristályosodnak, és a rácsállandóik közötti különbség is csak 2% . Ennek megfelelően az Au és az Ag folyékony és szilárd alakban is tökéletesen keverednek, az atomok a kristályrácsban véletlenszerűen helyezkednek el. A réz és az arany ötvözete Cu_3Au összetételnél lapcentrált köbös, az Au atomok a kocka csúcaiban helyezkednek el, a Cu atomok pedig a lapok közepén. A CuAu összetételnél olyan kristály alakulhat ki, amelynél egy kocka csúcaiban, felső és alsó lapjának középpontjában Cu atomok vannak, az oldallapok középpontjaiban pedig Au atomok. Lehetséges rendezetlen szerkezet is, vagy a különböző szerkezetű kristálykák keveredhetnek. Mint azt az acélnál már láttuk, az ötvözet tulajdonságait a kristályszerkezet határozza meg, ezért jó ötvözetek készítéséhez nélkülözhetetlen a kristályszerkezetek ismerete. **

2.7.32 Kísérlet. Szenteljünk egy kísérletet a fémek legnagyobb ellenségének, a korrózióznak! A nemes fémek kivételével a fémek gyakorlatilag nem fordulnak elő a természetben. Ez azért van, mert előbb-utóbb egyesülnek a levegő oxigénjével, ez a *korrózió*. Némelyiken a keletkező réteg egy darabig védi az alatta lévő fémet (alumínium, magnézium, ón, ólom), de például a vas rozsdásodása elég gyorsan halad, ha nem védjük a felületét festékkel, lakkal, műanyaggal, zománcsal, vagy más módon. Próbáljuk ki ezt egy kísérletben! Kémcsövekbe tegyünk egy-egy vas szeget. Az első kémcsőbe csapvizet öntsünk, forraljuk amíg lökdösni nem kezd, ha lehűlt tegyük bele a szeget, öntsünk rá egy kevés étolajat, és dugjuk be. A másodikba annyi csapvizet tegyünk, hogy ellepje a szeget. A harmadikba csak kevés vizet tegyünk, ne lepje le a szeget. A negyedikbe ne tegyünk vizet, hanem egy kevés szilikagélt, és dugjuk be. Az ötödikben adjunk egy kevés sót a csapvízhez. A hatodikban adjunk egy kevés ecetet a csapvízhez. A hetedikben adjunk a csapvízhez egy kevés nátronlúgot. Mindegyik kémcsövet tegyük el pár napra, majd vizsgáljuk meg, melyikben mennyire rozsdásodott meg a szeg. Azt tapasztaljuk, hogy a levegőmentes vízben, a száraz levegőben, lúgos oldatban nem olyan erős a rozsdásodás. A savas oldatban és a sós oldatban viszont erősebb a rozsdásodás. Ezekre a jelenségekre még visszatérünk. □

2.7.33 Kísérlet. A kísérlet egy másik változatában vizes papírlapra vizes, sós vizes, szappanos, illetve ecetes vasszivacsot vagy acélgypapot teszünk, és megfigyeljük, melyik esetben milyen gyors a rozsdásodás. A lúgos szappan lassítja, az ecet viszont gyorsítja a folyamatot. □

2.7.34. Fémek vegyületei. A fémek vegyületeit néha a tiszta fémből, de leggyakrabban

a fém oxidjából vagy karbonátjából állítjuk elő. Régen sok fémvegyületet használtak festékeknek. Ma már ezek szerepét szerves festékek vették át, kivéve a kerámiaiparban. Felsorolok néhány, a kerámiaiparban használt fémvegyületet, ezeket jelenleg kapni is lehet: CuO , Co_3O_4 , MnO_2 (barnakő), SnO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , ZnO , ZrSiO_4 (cirkóniumszilikát), $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ (dolomit), bentonit, SiO_2 , kaolin=fehér agyag, agyag, talkum=zsírkő, BaCO_3 , CuCO_3 , Li_2CO_3 , TiO_2 (rutil), samott liszt, SrCO_3 , CaCO_3 , MgCO_3 , CoCO_3 , csonthamu, borax, gipsz, vízüveg, szóda, arany- és platinavegyületek, stb. \square

2.8 Kísérletek hidrogénnel

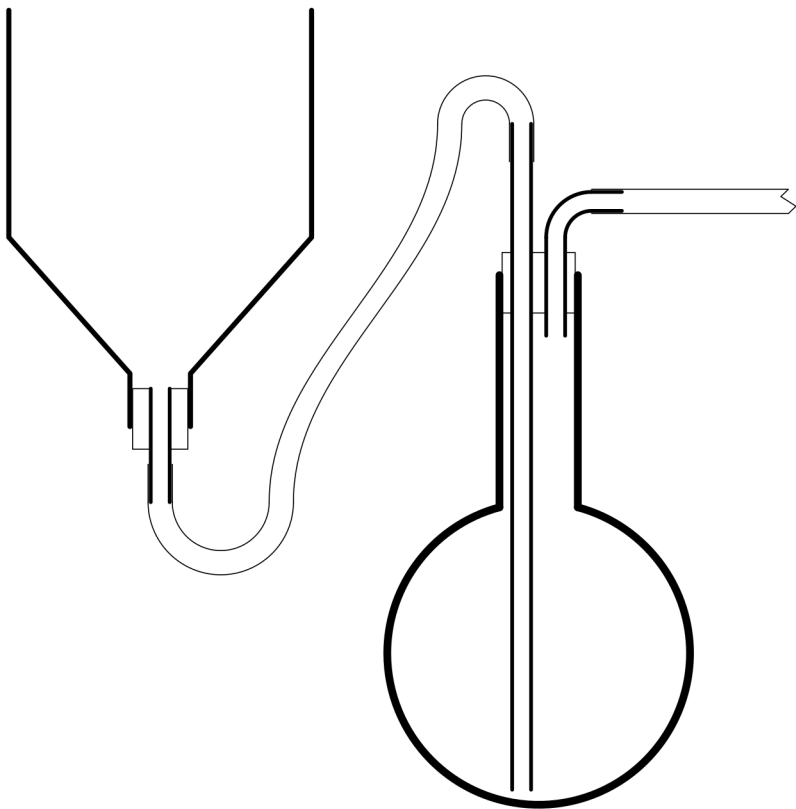
2.8.1 Kísérlet. A fentebb leírtak szerint galvánelemből kiszerezelt lítium darabkát (CSI-PESSZEL) dobjunk egy kémcsőben pár ujjnyi vízbe. A lítium úszik a vízen, de hevesen gázt fejleszt. Várjunk egy kicsit, majd a kémcső szájánál gyűjtjük meg a gázt! A gáz hidrogén. A reakció lényege, hogy a lítium olyan könnyen adja le egy elektronját, hogy szinte „rátukmálja” a vízben lévő hidrogénionokra: $\text{Li} + \text{H}^+ = \text{Li}^+ + \text{H}$. A hidrogénatomok aztán kettessével molekulává egyesülnek. A vízben Li^+ és OH^- ionok maradnak, azaz LiOH oldat keletkezik. Ez ugyanúgy erős lúg, mint a NaOH és a KOH . A Li egyébként magasabb hőmérsékleten a H_2 gáz atomjaira is képes „rátukmálni” egy elektronját: $2\text{Li} + \text{H}_2 = 2\text{LiH}$, azaz lítium-hidrid keletkezik. Ez fehér, sószerű vegyület, ami vízzel elbomlik, lítium-hidroxid és hidrogén gáz keletkezik.

Más alkálifémek hasonlóan reagálnak a vízzel, csak még hevesebben: a nátrium golyóvá olvad és ide-oda szaladgál a víz felszínén (a fejlődő hidrogén lökdösi), a kálium pedig meg is gyullad a fejlődő hőtől. \square

2.8.2 Kísérlet. A magnézium is képes bontani a vizet, de sokkal kevésbé hevesen. Egy kémcsőben pár ujjnyi vízbe tegyünk kevés magnézium forgácsot vagy reszeléket. Hidegen semmit sem látunk. Tegyünk egy csepp fenoltaleint a vízbe! Ha felforraljuk a vizet, lassan rózsaszínű lesz. Nagyítóval látható, hogy ha kivesszük a lángból a kémcsövet, akkor is a Mg szemcsékből buborékok szállnak fel. A reakció lényege itt is az elektronátadás: $\text{Mg} + 2\text{H}^+ = \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2$, de a Mg két elektront ad le. Magnézium-hidroxid, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ keletkezik, amely azonban rosszul oldódik vízben. Égő magnéziumot nyilván nem jó gondolat vízzel oltani: a magnézium tovább ég, a vízből vonja el az oxigént, és hidrogén fejlődik. A reakció: $\text{Mg} + \text{H}_2\text{O} = \text{MgO} + \text{H}_2$. \square

2.8.3 Kísérlet. Tulajdonképpen az alumínium is képes elbontani a vizet, de a felületén összefüggő oxidréteg van, amely ezt megakadályozza. Ha az oxidréteget leoldjuk, hidrogént fejleszt. Legegyszerűbb lesz az oxidréteget nátronlúggal leoldani. Ez a keletkező, vízben oldhatatlan alumínium-hidroxidot, $\text{Al}(\text{OH})_3$ -ot is feloldja. Próbáljuk ki kémcsőben: kevés Al-fóliára öntsünk nátronlúgot! Azonnal megindul a hidrogén fejlődés. (Egyébként a közönségesebb fémek közül csak a cink és az ón fejleszt lúgokkal hidrogént, de csak töményebb lúgoldattal és inkább csak melegen.) Kémcsövünket könnyű lenne hidrogén fejlesztővé alakítani: a szájába teszünk egy kis vattát a lúgcseppek visszatartására, bedugjuk egy egyfuratú dugóval, és lefelé fordított kémcsőben máris felfoghatnánk a gázt. Jobb lesz azonban egy komolyabb gázfejlesztőt összeállítani. \square

2.8.4 Kísérlet. Gázfejlesztőnket keresztmetszetben a 2.8.1 ábra mutatja. Lényege egy gömblombik, vagy másmilyen lombik, hogy ha kell, melegíteni is lehessen, de szükség



2.8.1 ábra: gázfejlesztő.

esetén lehet bármilyen üveg. A gömblombikot ugyan állványba kell fogni, de ez bírja legjobban a melegítést. Ebbe jön egy kétszer átfúrt, jól záró dugó. Az egyik lyukba egy rövid, derékszögben meghajlított üvegcső jön, amire egy hajlékony műanyag csövet húzunk. Ezen keresztül vezetjük el a keletkezett gázt, rá szorító kerül. Jó, ha oda, ahova a szorító jön, egy kevés vattát teszünk, jobban lehet szabályozni a gázáramlást. A másik lyukba egy hosszú üvegcső jön, ami leér egészen a lombik aljáig. A külső végére ugyancsak hajlékony műanyag cső jön szorítóval, ami egy nagy tölcsérhez vezet. Ha nincs elég nagy tölcsérünk, egy PE vagy PP palackból csinálhatunk, a szájába átfúrt és paraffinozott parafadugót dugva (jobb lekötözni). A tölcsért állványba kell befogni. Nem árt lefedni valamivel. A magasságával szabályozhatjuk a gáznyomást. Most 8–10 g alumíniummal (drótdarabok, lemezdarabok, esetleg fólia összegyűrve), 3 dl 4%-os vagy 1,5 dl 8%-os nátronlúggal akarunk hidrogén fejleszteni. Kb. 10 l H_2 fog fejlődni. Melegítésre nem lesz szükség, de az oldat melegszik, így jobb lombikot használni. A lombik méretét úgy válasszuk meg, hogy az összes folyadék elférjen benne, de nem kell sokkal nagyobbak lennie, ha nem várunk nagy habzást. Most 5 dl vagy 2–3 dl lehet. A tölcsér is olyan nagy legyen, hogy az összes folyadék elférjen benne. A lombikba tegyük be a szilárd anyagot, azaz az alumíniumot. A lombik szájába tehetünk a rövid cső elé egy vattapamatot (még jobb üvegyapotot vagy feltekert üvegcsövet), hogy visszatartsa a folyadékcseppeket,

majd dugjuk be az átfúrt dugóval (nem árt lekötözni a dugót egy madzaggal). Nyissuk ki a gázelvező cső szorítóját, majd a tölcser szorítóját is. A folyadék lefolyik a lombikba, és megindul a gázfejlődés. Hagyjuk egy kis ideig fejlődni a gázt, hogy kiöblítse a levegőt a lombikból, majd zárjuk el a gázelvező csövet. A fejlődő gáz nyomása felnyomja a folyadékot a tölcserbe. Ha esetleg még fejlődik valamennyi gáz, az a tölcseren keresztül kibuborékol. Ha azt tervezzük, hogy meg fogjuk szakítani a gázfejlesztést, akkor tegyünk a lombik aljára megmosott kvarckavicsot, és erre jöjjön a szilárd anyag.

Ha nem darabos anyagból, hanem porból vagy másik folyadékból kell folyadékkal gázt fejleszteni, akkor a hosszú cső ne érjen a lombik aljára, legyen kihúzva, és csak csepegtessük a tölcser tartalmát. A tölcser is lehet kisebb.

Nem szóltunk még a gáz felfogásáról. Ez egy félig vízzel töltött lábasban történik. Néhány, lehetőleg csavaros fedelű üveget töltünk meg előre vízzel színültig. Rácsavarva a fedelét, tegyük a lábas vízbe felfordítva, majd vegyük le a fedelét. Ha nincs csavaros fedél, üveg vagy más lappal borítsuk le az üveget, úgy fordítsuk fel és tegyük a tálba. A tál közepére jön az alumínium háromszög. Az egyik üveget erre állítjuk, és alá vezetjük a gázt. A gázelvező cső végébe tehetünk egy kihúzott üvegcsövet. Ha az üveg megtelt gázzal, lezárjuk a fedelével és kivesszük.

Mielőtt megkezdénénk a hidrogénfejlesztést, olvassuk el a következő néhány kísérletet.

□

2.8.5 Kísérlet. Mielőtt elkezdenénk a fejlődő hidrogénnel kísérletezni, van egy nagyon fontos feladat. Meg kell győződnünk róla, hogy nincs levegővel keverve. Ez a *durranógáz próba*. Egy kémcsövet töltünk meg színültig vízzel, fogjuk be, és töltjük meg a gázfelfogó tálban hidrogénnel. Ha megtelt, fogjuk be, és ferdén lefelé fordítva vigyük a 2–3 lépésre lévő gyertyához vagy borszeszegőhöz. Közvetlenül az égőnél vegyük el az ujjunkat és tartsuk a kémcsövet a lánghoz. Ha a gáz ostorcsapásszerű hanggal ég el, még levegővel van keverve: ez a keverék a *durranógáz*. Ha hangtalanul vagy gyenge pukkanással gyullad meg, akkor tiszta, továbbmehetünk az alábbi kísérletekre. □

2.8.6 Kísérlet. Látványos kísérlettel mutathatjuk be, hogy a hidrogén ég, de az égést nem táplálja. Hosszabb pálca végére erősítsünk vékony gyertyát, és gyújtsuk meg. Szájával lefelé vegyük ki a gázfelfogó edényből egy hidrogénnel teljesen megtöltött keskeny, magas üveghengert, és alulról közelítsük a szájához a gyertyát. A hidrogén meggyullad az üveg szájánál, és alig látható lánggal ég. Ha a gyertyát feljebb emeljük, a láng a hidrogénben kialszik. Újra lejjebb húzva az égő hidrogéntől újra meggyullad. Ha ügyesek vagyunk, a játékot többször is eljátszhatjuk. Pár lépésről már nem is látszik, mitől gyulladt meg a gyertya. (A hidrogén lángja forró, de alig világít, mert nincsenek benne izzó szénrészecskék.) □

2.8.7 Kísérlet. Látványos kísérlettel mutathatjuk meg azt is, hogy a hidrogén könnyebb, mint a levegő. Vezessük a gázfejlesztőből a gázt kiszélesedő végű csővel szappanoldatba. Buborékok képződnek, amelyek ha elszakadnak az oldattól, felfele szállnak. Égő gyújtópálccával meggyújtva, a felfele szálló buborékok szétdurranak. □

2.8.8 Kísérlet. Ugyanezt mutatja az alábbi kísérlet is: Egy befőttes üveget töltünk meg hidrogénnel, egy másik ugyanolyanba — még jobb, ha valamivel kisebbbe, de ugyanolyan szájnnyílásúba — pedig fújunk füstöt, és takarjuk le egy lappal. A hidrogénnel töltött üveget is takarjuk le egy lappal, vegyük ki a vízből, és tegyük a füsttel töltött üvegre.

Húzzuk ki a lapokat. A két üveget együtt lassan fordítsuk meg. A füst leszáll az alsó üvegbe, a hidrogén pedig nyilván felszáll a felsőbe. A hidrogént át is önthetjük alulról felfele egy levegővel telt, valamivel kisebb üvegbe. Pontszerű zseblámpával megvilágítva, az árnyékon látszik az áttöltés. A felső üveg tartalmát — ha kisebb volt — gyújtópálcával meg is gyűjthetjük. □

2.8.9 Kísérlet. Egy magas, keskeny konzervdoboz, vagy még jobb, egy átlátszó műanyag doboz alján fúrjunk 3–4 mm-es lyukat. A lyukat tömjük be gyurmával, asztalosgittel vagy rágógumival. Töltsük meg a dobozt hidrogénnel, tegyük az asztalra, vegyük ki a lyuk tömítését, és már égő gyújtópálcával azonnal gyűjtsük meg a lyukon kiáramló hidrogént. A hidrogén egy darabig nyugodtan ég, majd heves robbanás a levegőbe repíti a dobozt. A magyarázat, hogy a dobozba alulról beáramló levegő a hidrogénnel durranógázt képez. Mikor a levegőtartalom már elég magas, a hidrogén–levegő keverék visszagyullad a lyukon, és a dobozban felrobban. A kísérlet jól mutatja, hogy az éghető anyag, a hidrogén, önmagában nem robban, csak levegővel keverve. □

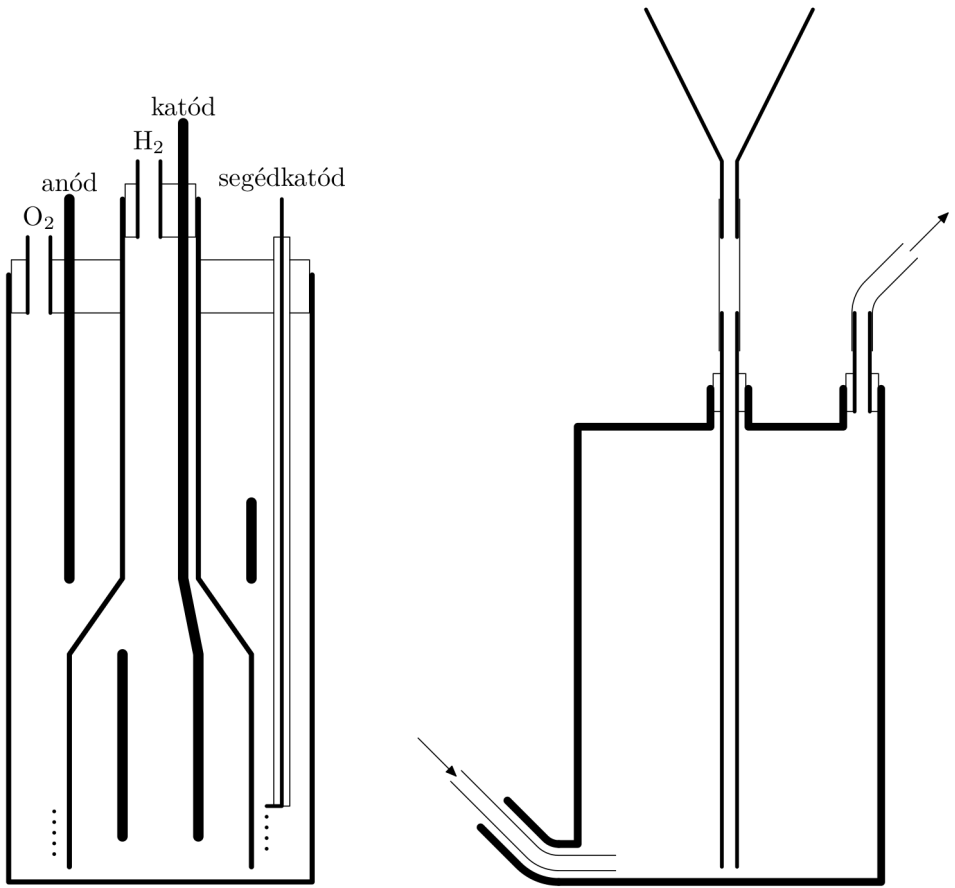
2.8.10 Kísérlet. Nehezebb elvégezni ezt a kísérletet: egy mázatlan agyaghengert dugjunk be jól záró, egyfuratú dugóval. A dugó furatába U alakú üvegcső jön, amibe félig vizet töltünk. Töltsünk meg egy befőttes üveget hidrogénnel, és borítsuk az agyaghengerre. Az U-csőben a víz jelzi, hogy túlnyomás képződött az agyaghengerben (esetleg a víz ki is spriccol: ha igen, töltsük utána). Egy idő után a nyomáskülönbség kiegyenlítődik. Ekkor vegyük el a befőttes üveget. Most az agyaghengerben lesz kisebb a nyomás, de lassan megint kiegyenlítődik. Ha nem jutunk mázatlan agyaghengerhez, virágcserepet is használhatunk saját készítésű szilikongumi dugóval. □

A jelenség magyarázata, hogy a kis tömegű hidrogén molekulák jóval gyorsabban mozognak, mint a levegőmolekulák. Így gyorsabban is diffundálnak át az agyaghenger falán, mint a levegőmolekulák kifelé. Ezért nő meg a nyomás az agyaghengerben. Egy idő után a hidrogén koncentrációja ugyanannyi lesz a hengerben, mint a befőttes üvegben, ekkor már a diffúzió nem okoz nyomáskülönbséget. Ha elveszük a befőttes üveget, kívül nulla lesz a hidrogén koncentrációja. Ekkor a hidrogén gyors diffúziója kifelé csökkenti a belső nyomást. Végül, ha az összes hidrogén kidiffundált, újra megszűnik a nyomáskülönbség.

A hidrogén molekulák gyors mozgása miatt a hidrogén hővezető képessége is nagy; ezt mérésrel ki is lehetne mutatni. Ha olyan gázra van szükség (például izzólámpákban), aminek kicsi a hővezetőképesége, nagy molekulatömegű gázt használnak, például kripton vagy xenont.

2.8.11 Kísérlet. Ha biztosan levegőmentes a hidrogén, az elvezető cső végébe egy kis kihúzott végű üvegcsövet dugva (jobb víz alatt), annak a végénél meg is gyűjthetjük a gázt. Száraz üvegedényt tartva a láng fölé, azon apró vízcseppek csapódnak ki. Hogy tényleg vízről van szó, azt már tudjuk, hogyan vizsgálhatjuk meg. □

2.8.12 Kísérlet. Ha teljesen tiszta hidrogénre van szükségünk, akkor vízelektrolízissel állíthatjuk elő. ** A berendezés a 2.8.2 ábrán bal oldalon látható: egy 30–40 cm magas üveghenger. Vas elektródokkal nátronlúgot elektrolizálunk benne: ez sokkal jobban vezet, mint a meszes víz, és ha nem töményebb 15%-nál, akkor nem támadja meg a vasat. Az áramerősség 4–5 A, egy nagyobb tápegységet, akkumulátortöltőt vagy gépkocsiakkumulátort használunk. A hengerben van egy harang, ami egy levágott aljú palack. Ebben van a katód, ami feltekert vaslemez, vasháló, vagy vastagabb vasdrót. A szára a harang nyílását



2.8.2 ábra: vízelektrolízis és gazométer.

elzáró átfúrt dugón keresztül van kivezetve. A dugóba illesztett csövön lép ki a hidrogén, és műanyag csövön vezetjük tovább, ami szorítóval zárható el. Az üveghengert nagy paraffinozott parafa (esetleg fa, tömítéssel) dugó zárja el. Ennek a közepén lép ki a harang nyaka. Van még benne egy elvezető cső az oxigénnek, és két vas elektród megy át rajta. Az egyik az anód, feltekert vaslemez, vasháló, vagy vastagabb vasdrót a harang külsején, vagy 15 cm-re a harang aljától. A másik egy segédkatód vékony vasdrótból tekerve laza menetekben a harang aljára kívül. A vasdrót legyen szigetelt, kivéve alul a meneteket, és egy 40–50 Ω-os ellenállással csatlakoztassuk a katódkivezetéshez. Ha a segédkatód nincs bekötve, sima vízbontás történik. Ilyenkor a lúgoldat némi oxigént és hidrogén old, és így mindkét gázhhoz keveredik néhány tized % a másiktól. Ha nagyon tiszta hidrogénre van szükségünk, bekötjük a segédkatódot. Ezen némi hidrogén fejlődik, és felfelé buborékolva „kisöpri” a lúgban oldott oxigént. Természetesen hozzákeveredik az oxigénhez, így az még szennyezettebb lesz, a hidrogén viszont tisztább! A bekapcsolás után fogjuk be az oxigén kivezető nyílását. A növekvő nyomás a harang nyakában felfelé szorítja a lúgot. Mikor már az elzáróig ér, zárjuk le a hidrogén elvezető csövet, és engedjük el az

oxigén nyílását. Most az anódtérből is kiszoríthatjuk a levegőt, de ennek csak akkor van értelme, ha a segédelektrod nincs bekötve, mert egyébként az oxigén úgymint szennyezett, nem használható. Használat előtt egy darabig hagyjuk a hidrogént fejlődni, míg a tiszta hidrogén átöblíti a berendezést. Fordítva kapcsolva igen tiszta oxigén fejlesztésére is használhatjuk. Természetesen igen gondosan ki kell szorítani az előző gázt a harangból. ** □

Az elektrolízist az iparban is használják hidrogén fejlesztésre, de csak ha nagyon tiszta gázra van szükség. Egy darabig használták a még Lavoisier egy alapkísérletéből származó eljárást: izzó vasforgácsra vízgőzt vezettek. Ilyenkor tulajdonképpen megfordítható reakció játszódik le: a vas a vízgőz egy részéből elvonja az oxigént és vas-oxiddá alakul. Lehűtve a gázt, a maradék víz cseppfolyósodik. A vas-oxidot (szén tökéletlen elégetésével nyert) szén-monoxiddal alakították vissza vassá, amit újra felhasználtak. Később arra tértek át, hogy fehéren izzó szénre vízgőzt fúvattak. A reakció: $C + H_2O = CO + H_2$, a keletkező keverék a *vízgáz*. Mivel a reakció endoterm, 1–2 perc után a szénre újra levegőt kell fúvatni, hogy felmelegedjen. Vízgőzzel megfordítható reakcióban a szén-monoxidot is át lehet alakítani hidrogénné: $H_2O + CO \rightleftharpoons CO_2 + H_2$. Ez az úgynevezett *vízgázreakció*.

2.8.13 Kísérlet. Az elektrolízissel történő hidrogénfejlesztésnek az a hátránya, hogy elég lassan fejlődik a gáz. Ilyenkor célszerű a 2.8.2 ábrán a jobb oldali rajzon keresztmetszetben ábrázolt *gazométert*, magyarul gáztárolót felhasználni a gáz összegyűjtésére. A következőképpen működik: A felül lévő csapokat kinyitva, az alul lévő nyílást elzárva, a tölcséren át az edényt színiültik megtöltjük kiforralt csapvízzel. Ezután minden más csapot elzárva, az alul lévő nyílásba illesztett csövön vezetjük be a fejlesztett gázt. A víz a bevezető cső mellett folyik ki. Ha gáz akarunk a gazométerből kivenni, a bevezető csövet kivesszük, az alul lévő nyílást elzárjuk, és a tölcsérbe kiforralt csapvizet öntünk. A tölcsér magasságával szabályozhatjuk a nyomást. A tölcsér csövet megnyitjuk, és a fent lévő elvezető csövet megnyitva engedjük ki a gázt.

Egél nehéznek tűnik ilyen edényt beszerezni, azonban két nyílás is elég, mert a gázbevezető és a gázelvezető nyílást úgysem használjuk egyszerre. Megfelel egy olyan műanyag kanna is, amin az egyik hiányzik. Ha a gázbevezető nyílás hiányzik, akkor a kannát oldalára fordítva, az elvezető nyílást használjuk bevezetőnek, majd talpára állítjuk, ha a gázelvezető nyílás hiányzik, akkor pedig fordítva. □

2.8.14 Kísérlet. Egyébként ilyen kétnyílású műanyag kannákból nagy mennyiségű gáz előállítására alkalmas berendezést állíthatunk össze. Ha például felül középen és felül oldalt van lyuk, akkor az egyik kannát oldalára fordítjuk, a középső nagy lyukba jön egy dugó a gázelvezető csővel, amit ferdén felfelé irányítunk, a másik nyílás elé pedig műanyag rácsot vagy egyszerűen csak megmosott kvarc kavicsokat teszünk. Erre jön a gázfejlesztéshez használt szilárd anyag. Az oldalsó nyílást egy rugalmas csővel egy másik (esetleg nagyobb) kanna hasonló nyílásával kötjük össze, ez a „tölcsér”, ebbe jön a folyadék. A második kanna magasságával szabályozhatjuk a gáznyomást. Célszerű kezdetben elárasztani az első kannát a folyadékkal, hogy minél kevesebb levegő maradjon benne. A fejlődő gáz úgymint kiszorítja a folyadékot, és a reakció megáll. □

2.8.15 Kísérlet. Egy egyszerű de nagyon fontos kísérletet ne hagyjunk ki, ha van árammérőnk. Egy-egy műanyag csipeszbe fogunk be alumínium fóliát, illetve (lecsiszolt) vaslemezt. Mindkettőhöz csatlakoztassuk az árammérő egy-egy mérőhegyét (együtt befogva vele). A csipeszeket beföttes gumival össze is erősíthetjük. Mártsuk mindkét lemezt

egy pohárka nátronlúgba. A hidrogén főleg a vaslemezen fejlődik, az árammérő pedig 20–50 mA áramot mutat. Ha az árammérőt feszültségmérő állásba kapcsoljuk, több, mint 1,2 V feszültséget mérhetünk. Galvánelemet hoztunk létre! Egyébként vaslemez helyett rézlemez is jó, és még jobb lenne az ezüst lemez; legjobb a platina. Egy idő után az alumínium lemez megmaródik, tehát oldódik, a másik lemez nem.

Mi történt itt? Az alumínium atom szívesen lead három elektront, de a hidrogén nehezen válik ki az alumíniumon. Ezért az elektronok átmennek a vaslemeze, és ott válik ki a hidrogén. (Nem jó, ha a vas felülete kicsi, mert akkor ott is megnehezül a hidrogén kiválása, ezért választottunk vas lemezt, nem drótot.) Az alumínium megszabadult elektronjaitól, oldatba mehet, ezért maródik meg az Al fólia. A vasnak csak annyi a szerepe, hogy könnyebben válik ki rajta a hidrogén, így bármilyen más fém jó helyette, amelyik nem oldódik, és könnyen válik ki rajta a hidrogén.

A galvánelemet Galvani olasz orvos fedezte fel. Békákat boncolt és a békacombot kiasztotta egy rézkampón a vaskorlátra. Megfigyelte, hogy ha a nedves békacomb hozzáér a vaskorláthoz, összerándul. A jelenséget állati elektromosságnak nevezte el, és azt gondolta, a békacomb hozza létre a feszültséget. Valójában az elektronokat a vasatomok adják, de átmennek a rézre, mert ott könnyebben válik ki hidrogén. A békacomb a „műszer”: a még élő idegek az áram hatására ingerületet közvetítenek az izomba, és az összerándul. A jelenséget Volta olasz tudós vizsgálta tovább, rájött, hogy békacombra nincs szükség, csak két különböző fémre és egy elektrolitra. Erre még visszatérünk.

A kémia szempontjából az a fontos, hogy egy kémiai folyamatnál nem csak hő termelődhet, hanem elektromos áram is, vagy más formában hasznos munka. Egy darabig azt hitték, hogy a kémiai folyamatok hajtóereje a hőtermelés. Ennek azonban ellentmond, hogy magasabb hőmérsékleten inkább hőelnyelő folyamatok játszódnak le. Közöséges hőmérsékleten is lejátszódnak hőelnyelő folyamatok, például egyes sók oldódása vízben. Butaság lenne ezekre azt mondani, hogy ezek fizikai folyamatok: a természet nem ismer olyat, hogy fizika és kémia, ezeket az elnevezéseket csak mi találtuk ki. Egy természettörténeynek mindenféle folyamatra érvényesnek kell lennie. Kiderült, hogy a kémiai folyamatok hajtóereje az adott körülmények között a folyamat által végezhető munka. Például állandó nyomáson lejátszódnó folyamatnál a hőtermelés a reakció entalpiája. Ennek a — például elektromos vagy mechanikai munkaként (maximálisan) — kapható része a *szabad entalpia*. Ez a kémiai folyamat hajtóereje. Nem lényeges, hogy tényleg munkaként nyerjük-e ki a szabad entalpiát. Például az alumínium akkor is feloldódik lúgban, ha nincs ott a vas. Ekkor a szabad entalpiát is hőként kapjuk meg. Ha galvánelemet hozunk létre, akkor a szabad entalpia több-kevesebb részét munkaként kapjuk meg, de egy része elveszhet (pontosabban hővé alakulhat), ha például az alumíniumon is válik ki hidrogén. A szabad entalpiát Gibbs amerikai fiziko-kémikus vezette be, és a tiszteletére G -vel szokás jelölni. □

2.8.16. Gondolatkísérlet a szabad entalpiával. Ellenvetés lehet, hogy például ha egy anyag, mondjuk ammónsalétrom oldódáskor lehűl, hol a szabad entalpia? Vizsgáljuk meg ezt egy gondolatkísérletben! Zárjuk be az ammónsalétromot egy hengerbe egy csak a vizet áteresztő anyagból készült dugattyúval, a dugattyú másik oldalán legyen víz. Ahogy a só elkezd oldódni, jó nagy ozmózisnyomás lép fel. Lassan engedjük a dugattyút elmozdulni. Jó sok munkát végez nekünk. Ebbe nincs benne a légköri nyomás ellen végzett munka, az nem számít az entalpiába. Ha a só teljesen feloldódott, még mindig képes az ozmózis munkát végezni számunkra, amíg a másik oldalon van víz. Megvan

a szabad entalpia, a rendszer szempontjából negatív! Mindeközben az entalpia pozitív (a rendszer szempontjából), azaz a folyamat endoterm, hiszen a sódat lehűl, még ha nem is végez munkát. Így, hogy munkát is végez, még több hőt vesz fel a környezetből, hiszen a munkavégzéshez szükséges energiát is a környezetből felvett hővel fedezi. Nem keletkezett örökmozgó? Nem, hiszen nem körfolyamatról van szó. Ha most nagyon lassan visszanyomjuk a dugattyút, akkor fordított ozmózis játszódik le, végül a só ki is kristályosodik, miközben hőt ad le. Ha mindkét irányba nagyon lassú a folyamat, akkor csak ici-picit több munkát kell felhasználnunk, mint amennyit kaptunk az oldódáskor. Tulajdonképpen a szabad entalpiát kell visszatáplálnunk. □

2.8.17 Kísérlet. Meg tudjuk-e ismételni Galvani kísérletét? Békacombhoz nehéz lenne hozzájutni, de egy giliszta is megteszi. Nagyobb eső után keressünk egy gilisztát, ilyenkor kijönnek a földből. Tegyük egy nagyobbacska rézlemezre, amit egy nagyobb alumínium fólia közepére helyeztünk. Alumínium helyett még jobb egy cinklemez vagy horganyzott vasbádóg. A giliszta persze megpróbál lemászni, de amint az alumíniumhoz ér, galván-elem keletkezik, és egy apró, veszélytelen áramütés éri, mire visszahúzódik, és másutt próbálkozik. □

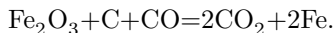
2.9 Kohó az asztalon

Biztosan meglepő, de magunk fabrikálta eszközökkel el tudjuk érni azt, amit egy nagykohóban: a vasérc redukcióját vassá. Az eljárás a régi bányászoktól származik, és az ércek úgynevezett „próbázásából” nőtt ki, majd a kémia hőskorában tökéletesítették.

2.9.1 Kísérlet. Eszközünk a *forrasztócső* lesz. Tulajdonképpen már készítettünk is forrasztócsövet Pax vagy Parker golyóstollbetétből, de az igazi forrasztócsőhöz egy fa hengerbe vagy tömbbe készítsünk egy pl. 8 mm-es furatot jó mélyen, oldalról fúrjunk bele olyan átmérőjű fúróval, mint a golyóstollbetét, és a lyukba illesszük, ha kell, ragasszuk bele a golyóstollbetétet. A furatba egy vastagabb cső jön tetszőleges anyagból. A vastag csőbe fújjunk bele és az oldalcsövön kiáramló levegőt irányítsuk egy gyertyalángra. Hegyes szúróláng jön létre, hasonló egy kis gázlánghoz. Ez a *redukáló láng*. A világító kúp hegyét használjuk, de jó, nem imbolygó redukáló lángot nehéz fűjni. Ha a forrasztócső nyílását egészen a gyertyalángba tesszük, akkor zúgó hangot adó, hegyes, kékes *oxidáló láng* jön létre. Ennek a leghegyét használjuk, ez a legmelegebb, elérheti az 1700–1800 °C-ot is. Természetesen nagy lánggal égő gyertyát kell használni: cseréljük ki egy teamécses belét kellően vastagra. Néha borszeszegőt fogunk használni. A forrasztócsövet úgy kell fűjni, hogy az arcunkkal folyamatosan fújjuk, és az orrunkon veszünk közben levegőt. Ezt nem könnyű megtanulni. Ha nem sikerül, akkor is el tudjuk végezni a legtöbb kísérletet. Legjobb beszerezni egy kis membránszivattyút (akváriumokhoz használják), és egy műanyag- vagy gumicsővel vezetni a levegőt, amibe vattát teszünk, kívülre pedig szorítót. Természetesen ekkor elég a golyóstollbetétet használni. Felfűjt matracból, stb. is vehetjük a levegőt: rálépünk, ezzel szabályozva a légnyomást. Elég olcsón kaphatók kis ceruza alakú gázégők: ezeknél csak a levegőszabályozást kell megoldani. Ráhúzhatunk egy megfelelő fémcsővet, ami elzárja a levegőbeömlő nyílásokat. A másik végét kicsit kilapítjuk és ferdén levágjuk, ha forrasztócsővel akarjuk használni. Az égésnél leírt hidrogénégőt is használhatjuk 1–3 cm-es lánggal. □

2.9.2 Kísérlet. Ha már van forrasztócsövünk, nekiláthatunk a vasérc „kohósításának”. Nem kell igazi vasércet használnunk (bár ha van, azzal is próbálkozhatunk), hanem lehet kapni vas-oxid porfestéket, három félét is. A *vasoxidvörös*, Fe_2O_3 a *vörösvasércnek* felel meg, ha lehet, ezt vegyünk. A *vasoxidsárga*, FeOOH a *gyepvasércnek*, végül a *vasoxidfekete*, Fe_3O_4 , a *mágnvasércnek*. Egy műanyag zacskón keresztül kipróbálhatjuk, hogy ezt vonzza a mágnes (például mágneses csavarhúzó hegye), a másik kettőt nem.

Bármelyik vas-oxidból az oxigént elvonva kapjuk a vasat. Az oxigén elvonását *redukciónak* nevezzük. Az oxigént szénnel, illetve szén-monoxiddal fogjuk elvonni. A lejátszódó reakció nagyjából



Egy nagyobb tömör faszéndarab sima felületének (ha kell, fűrészeljük el) szélébe kaparjunk egy kb. 1 cm átmérőjű, 1–2 mm mély kerek mélyedést egy vésővel, hidegvágóval, reszelő végével, vagy egy lemezdarabbal. Csak olyan mély legyen, hogy éppen megtartsa az anyagot. A faszéndarabot $\approx 30^\circ$ -os szögben megdöntve, tegyünk a mélyedés alsó széléhez 5–50 mg anyagot, és egy csepp vízzel cseppentsük le, hogy a lángtól ne repüljön szét. Először oxidáló láng hegyével melegítsük, amíg összezsugorodik, majd redukáló lánggal. A redukció végén a kapott anyagot kaparjuk ki, dörzsöljük szét, és mágnessel szedjük ki a vasport. Tegyük el, később tovább vizsgáljuk. \square

2.9.3 Kísérlet. Lehet, hogy valakinek nem sikerül az előző kísérlet. Jobban megy a redukció, ha a vas-oxidot összekeverjük ugyanannyi térfogatú vízmentes szódával. Még jobban megy, ha némi faszénport vagy nátrium-oxalátot (szén-monoxidot fejleszt) keverünk hozzá. A kapott vasport itt is eltehetjük. \square

2.9.4 Kísérlet. A kékgalic kémiai neve réz-szulfát. Nyilván van benne réz. Ha hozzájutunk, szódával keverve hevítsük faszénnel redukáló lánggal. A szóda felveszi a savas részt, a keletkező réz-karbonát bomlik, a réz-oxid pedig redukálódik fémrézzé. Ha elég magas a hőmérséklet, akkor rézcseppecske, úgynevezett *regulus* képződik, ami vörös és kalapáccsal lapítható. Nem elég magas hőmérsékletnél rézlemezkék, rézfletter képződik. Ezt jobban láthatjuk, ha kikaparjuk a maradékot, és kémcsőben vízzel rázzuk össze. A szóda feloldódik, a nehéz réz leülepedik, a szénpor pedig leönthető. Rézércek is adják a reakciót. A régiek hasonlóan vizsgálták más ércek fémtartalmát is. \square

2.9.5 Kísérlet. Most próbálkozzunk meg az oxidációval. Tegyünk egy széndarabra egy darabka forrasztóónt és fűjjünk rá erős oxidáló lángot. A faszénnel sárga színű bevonat, *verődék* keletkezik. Ezt a magas hőmérsékleten elpárolgó és oxidálódó ólom oxidja, a sárga PbO okozza. Ha a lángot a verődékre irányítjuk, a láng kékesre színeződik, ez az ólom lángfestése. Az ón visszamarad az ólom egy részével, és csak egészen erős oxidáló lánggal hevítve ad fehér SnO_2 verődéket közel a fémhez. \square

2.9.6 Kísérlet. Tegyünk a faszénnel egy darabka sárgarezet (drótdarabot, port, vagy fűrésszel kapott forgácsot), és melegítsük forrasztócsővel! Figyeljük meg a fém színváltozását sárgából vörösbe. Emeljük a hőmérsékletet: a fém körül verődék keletkezik, ami melegen sárga, hidegen fehér. Ez az elpárolgó cinkből képződött cink-oxid. Az oxidáló lánggal megérintve a verődéket, az nem párolog el, de zöldesen világít. \square

2.9.7 Kísérlet. Az előző kísérlet megfordításaként megpróbálhatunk egy darabka rézdrotot és cinket megolvasztással sárgarézzé ötvözni. Sikerül, de nehezen, mert a cink párolog. \square

2.9.8 Kísérlet. Tegyük a faszén mélyedésébe egy pár kristályka ammónitrátot és melegítsük! A magas oxigéntartalmó anyag élénk lánggal ellobban. Ez jellemző az ilyen anyagokra. □

2.9.9 Kísérlet. Egy doboz gyufa fejről kaparjuk le a „mérget” (a régi gyufák feje mérget tartalmazott, innen a név). Az anyagot forraljuk fel kevés vízzel, vigyázva, hogy ne hogy szárazra párolódjon, mert akkor meggyullad. Az oldatot forrón szűrjük meg. Az oldatból kiváló kristályokat üveggolyón szívassuk le és óvatosan szárítsuk meg. Ez a gyufafej magas oxigéntartalmú anyaga, de oxidálható anyagokkal (ragasztó) szennyezett, ezért könnyen meggyulladhat. Egy kis részét tegyük faszénre és melegítsük. Könnyen ellobban: magas oxigén tartalmú anyag. □

2.9.10 Kísérlet. Tegyük a faszénre gipszet! Redukáló lánggal hevítve, figyeljük meg, hogy erősen világít. A maradékot tegyük egy ezüst érmére, és cseppentsük meg egy csepp vízzel. Néhány perc múlva öblítsük le, és figyeljük meg a barna foltot az ezüstpénzen. A gipsz kénvegyület, és a képződő kevés kén okozza a foltot. Minden kénvegyületnél ezt kapjuk. A kénnek ezt a kimutatását vegyületeiben *kénmáj-próbának* nevezzük. A reakcióra a kén tárgyalásakor majd visszatérünk. Ismételjük meg a reakciót úgy, hogy a gipszet szódával keverjük: így is megkapjuk a barna foltot. Ha csak szódát használunk, nem szabad barna foltot kapnunk. Erdemes ezt a vakpróbát is elvégezni, mert némelyik gáz kénvegyületeket tartalmaz (rosszabb esetben a szóda; ekkor át kell kristályosítani). Másik lehetőség, hogy borszeszégőt használunk: a borszesz nem szokott kénvegyületeket tartalmazni. □

2.9.11 Kísérlet. Egy anyag olvadákonyságát úgy állapíthatjuk meg, hogy belőle vékony szilánkot (1–1,5 mm átmérőjű) hasítunk vagy vékony darabot veszünk, és csipeszbe fogva gázlángban, majd forrasztócsővel megpróbáljuk megolvasztani. A geológusok által használt, úgynevezett *Winchell-féle olvadási skála* az alábbi táblázatban látható. Próbáljunk ki néhány anyagot, hogy milyen könnyen olvad! □

Szám	≈ °C	Leírás
1	525	nagyobb darabok könnyen, már gázlángban is megolvadnak
2	800	gázlángban megolvad
3	1050	gázlángban gömbölyödik, forrasztócsővel jól olvad
4	1200	forrasztócsővel megolvad
5	1300	forrasztócsővel nehezen (5–10”) olvad
6	1400	forrasztócsővel csak vékony szilánkok gömbölyödnek kissé
7	> 1400	forrasztócsővel meg nem olvasztható

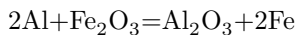
2.9.12 Kísérlet. A forrasztócső onnan kapta nevét, hogy először kis nemesfém tárgyak forrasztására illetve hegesztésére használták. A *hegesztés*nél két fémdarabot kötünk össze úgy, hogy megolvasztjuk őket, vagy legalább az egyiket. Acél hegesztéséhez acetilén–oxigén lángot vagy elektromos ívet szokás használni. Különböző olvadáspontú vékony drótok hegesztéséhez a drótvégeket gyengén egymásnak nyomjuk, majd finom túlánggal a nehezebben olvadót hevítjük. Vásároljunk elektronikai boltban 1–2 m konstantán huzalt. Lehetőleg legalább 1 mm átmérőjűt vegyünk. Hegesszük össze mindkét végét egy-egy hasonló vagy kicsit nagyobb átmérőjű rézdróttal. Ami csináltunk, az egy *hőelem* vagy

termoelektromos hőmérő. A két rézdrót vége között a forrasztási helyek hőmérsékletének különbségével arányos feszültség mérhető, mégpedig °C-onként 58 μ V. Az egyik forrasztási helyet olvadó jégben tarthatjuk, ez a nulla pont. Itt a rézdrótról csak rövid darabon szedjük le a szigetelést, a forrasztás után húzzunk a drótra vékony üvegsövet, és tegyük be a két drótot valamilyen szigetelő olajjal (például szilikonolajjal) töltött vékonyabb üvegsőből készült kémcsőbe. Be is ragaszthatjuk a kémcső nyílását. Ez a kémcső merül az olvadó jégbe. A másik forrasztási hely a hőmérő. Teljesen hasonlóan készítjük elő, de hosszabb darabon helyettesítjük a szigetelést üvegsővel. A külső kémcsőbe szilikonolaj kerül, vagy ha magasabb hőmérsékleteket akarunk mérni, szabadon is maradhat. □

Persze, ilyen hőmérőket készen is lehet kapni. A kisebb pontosságú, sütéshez használt hőmérők elég olcsók. A -50 °C-tól 1250 °C-ig mérő hőmérők már elég drágák. Egyikhez sem kell jeges víz, azt elektronika helyettesíti. Feszültség- és árammérőműszerek között is vannak olyanok, amelyekhez hőelem csatlakoztatható.

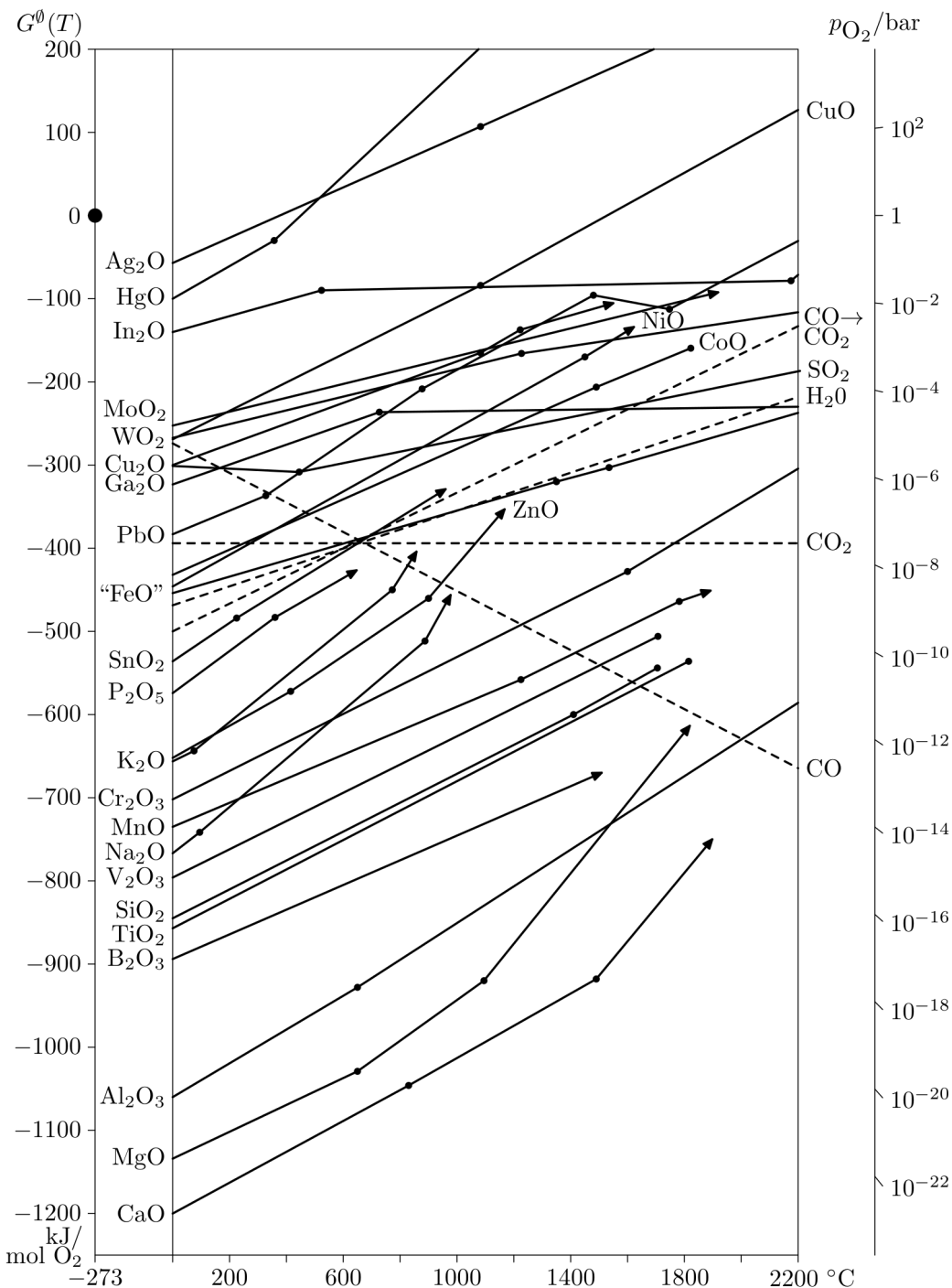
2.9.13 Kísérlet. Mint már volt szó róla, a *forrasztás* tulajdonképpen fémek összeragasztása valamely könnyebben olvadó fém, rendszerint ötvözet segítségével. A lágyforrasztásnál forrasztóónt használunk. Megpróbálhatunk forrasztócsővel lágyforrasztani, nem a legkényelmesebb. Kaphatók azonban árammal vagy gázlánggal működő forrasztópákák is. Sokkal erősebb kötést ad a keményforrasztás. Ez sárgarézhez hasonló összetételű *keményforraszt* használ. Legjobb az *ezüstforraszt*, ez acél forrasztására is használható. A keményforrasztásnál a forrasztandó felületekre bóraxport hintenek, összeillesztik a felületeket, megmelegítik, és hozzáértetve a forraszt, az megolvad és befolyik a felületek közé. Öt rész ezüstforraszt reszelék és négy rész bórax keverékével is forraszthatunk. Termoelektromos hőmérőt keményforrasztással is készíthetünk. □

2.9.14 Kísérlet. Nem csak szénnel vagy szén-monoxiddal redukálhatjuk a vasat, hanem például alumíniummal is. Vegyünk „ezüst porfestékként” árult 5 g alumínium port, és keverjük össze háromszor annyi vasoxidvörös porfestékkel! Ha esetleg nedves a keverék, sütőben szárítsuk ki! Ez a *termit keverék*. Kis virágcserepben a lyukat fedjük le egy Al fóliával, és öntsük rá kúpba a termit keveréket. TŰZBIZTOS HELYEN, SZABADBAN a virágcserepet tegyük két téglára, a lyuk alá tegyünk egy vas konzervdobozban vizet! A kúpba szúrjunk egy csillagszórót! A csillagszórót gyűjtjük meg, például gázlánggal, majd menjünk hátrébb! Nagy szikrázás közben a keverék elég, 2000 °C-os olvadt vas folyik ki a lyukon, amely elbontja a vizet és a fejlődő hidrogén valószínűleg meggyullad. (A termit keveréket sínek hegesztésére szokták használni, persze víz nélkül.) Ha befejeződött a heves



reakció, kihűlt a maradék, vizsgáljuk meg! Mágnessel kimutathatjuk a vasat. Az Al_2O_3 , *korund*, 9-es keménységű anyag, a fehér köszörűkövek anyaga. Az üveget könnyen karcolja. A szennyezésektől később, sósavval főzve megszabadíthatjuk: az olvasztott korundot ez sem oldja. Gyémántmozsárban apríthatjuk. □

2.9.15. Az Ellingham-diagram. Eddig szénnel, szén-monoxiddal redukáltunk fémoxidokat, alumíniummal vas-oxidot, illetve magnéziummal szén-dioxidot. Számptalan olyan különböző kísérletet találunk, amelyben más anyaggal, például hidrogénnel redukálnak fém-oxidokat. A réz nemesebb fém a vasnál, ennek alapján azt várjuk, hogy vassal is lehet réz-oxidot fémmé redukálni. Ez valóban így van, a kísérlet leírása sok könyvben megtalálható. Annyi ilyen típusú kísérlet van, hogy az ember szinte nem bírja áttekinteni, hogy



2.9.1 ábra: Ellingham-diagram.

adott hőmérsékleten mit mivel redukáljon. Persze, vannak gyakorlati szempontok: a szén olcsó, a hidrogén nagyon tisztán előállítható, de jó lenne egy „csodafegyver”, amely megmondja, milyen hőmérsékleten mi mivel redukálható. Ez a „csodafegyver” a 2.9.1 ábrán látható *Ellingham-diagram*. Tulajdonképpen a fém-oxidok képződésénél (1 mól O_2 felhasználásánál) felszabaduló szabadentalpiát ábrázolja. Már mondtuk, hogy egy kémiai reakció akkor megy végbe, ha a reakció során szabadenergia (nem csak hő alakjában kinyerhető energia) képződik, azaz ilyen képes a rendszer leadni. Pontosabban, ha állandó nyomáson a reakció szabadentalpiája negatív (a rendszer szempontjából). Például amikor az alumínium oxidálódik, a szabadentalpia nagyon negatív. A leadott szabadentalpia sokkal több, mint ami a vas oxidációjakor felszabadul, így képes azt „visszaadni” a vasnak, és még marad is. Ez a diagramon a következőképpen látszik: megkeressük az Al_2O_3 görbéjén a mondjuk $1000\text{ }^\circ\text{C}$ -hoz tartozó pontot. Ha ez az FeO görbéjén $1000\text{ }^\circ\text{C}$ -hoz tartozó pont alatt van, akkor az Al redukálja az FeO vas-oxidot.

Egy másik, kissé pontatlanabb megfogalmazása ugyanennek: a kővér ponttal jelölt (0 kJ, 0 K) origót kössük össze az FeO görbéjén például $1000\text{ }^\circ\text{C}$ -nál lévő ponttal egy egyenessel. Ez az egyenes metszi a jobb oldalon lévő függőleges egyenest, most valahol 10^{-10} és 10^{-12} bar között. Ez az az oxigén nyomás, ami FeO fölött $1000\text{ }^\circ\text{C}$ -on fennáll. Ha ez nagyobb, mint a Al_2O_3 -ra hasonlóan kapott nyomás (ami most olyan kicsi, hogy le sem olvasható), akkor az oxigén át fog menni az Al -hoz, mindaddig, amíg van Al , és Fe válik szabaddá.

Szigorúan véve a fentebb mondottak akkor igazak, ha az oxigéneken kívül minden jelenlévő anyag — fém és fém-oxid — szilárd vagy folyékony (és nem alkotnak vegyületet). Néhány oxid esetében ez nem áll fenn, vagy csak bizonyos hőmérsékletig. Tájékoztató jelleggel berajzoltuk szaggatott vonallal négy nagyon fontos olyan oxid vonalát is, amelyre ez sehol sem teljesül: a szén-dioxid (szénből), a szén-monoxid, a szén-dioxid (szén-monoxidból), és a víz. Ezekben az esetekben a reakció egyensúlyra vezet. Például a FeO és a H_2O vonala igen közel van. Hidrogénnel a vasat redukálni lehet, ha elég sok hidrogént használunk, hogy a keletkező vízgőzt elvigye. Ha viszont vízgőzt vezetünk vasra, akkor az annak egy részét hidrogénné redukálja, amit a vízgőz magával visz, és ha a gőz lecsapódik, tiszta hidrogént kapunk. Azt se felejtjük, hogy szobahőmérsékleten a reakciók lassúak lehetnek, de például vörösszáson már redukálja a vas a vízgőz egy részét.

Az ábrában vannak kisebb pontatlanságok. Például a vas FeO összetételű oxidja szobahőmérsékleten nem stabil, vassá és Fe_2O_3 vagy Fe_3O_4 összetételű oxidokká esik szét. Ezért használtunk idézőjelet. Ezek a magasabb oxigéntartalmú oxidok redukálódnak aztán az alacsonyabb oxigéntartalmú FeO oxiddá, tehát az ábrán több különböző vas-oxidhoz tartozó görbének kellene szerepelni egymáshoz elég közel, akkor azonban teljesen áttekinthetetlen lenne. Néhány más esetben is ez a helyzet.

A diagram tetején lévő oxidokat melegítve hamar eléri az oxigénnyomás az 1 bar-t; ekkor ezek elbomlanak. Ezért használtak a kémia hőskorában higany-oxidot tiszta oxigén előállítására. Magasabb hőfokon a CuO réz-oxid is elbomlik oxigén leadással Cu_2O oxidra. Tulajdonképpen a CuO oxid nem is stabil (ezért jó oxidáló anyag), de alacsony hőmérsékleten nagyon kicsi a bomlási sebesség. □

2.10 Tiszta oxigén

Sokat beszéltünk már az oxigénről, de tiszta állapotban, nagyobb mennyiségben nem

találkoztunk még vele. Előállíthatnánk elektrolízissel a hidrogénnél leírt készülékkel, de egyszerűbb lesz egy könnyen elbomló vegyületéből. Ez a könnyen bomló anyag a hidrogén-peroxid. Előbb azonban ismerkedjünk meg a katalizátor fogalmával.

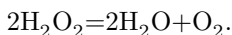
2.10.1 Kísérlet. A *katalizátorok*, magyarul *serkentő anyagok* olyan anyagok, amelyek elősegítenek egy kémiai reakciót, anélkül, hogy megváltoznának. A legegyszerűbb kísérlet a következő: próbáljunk meg egy kockacukrot gyufával meggyújtani. Lehet, hogy megbarnul, megolvad, de nem gyullad meg. Ha azonban előbb bedörzsöljük a sarkát cigarettahamuval, akkor gyufával meggyújtható. A cukor égését a cigarettahamuban lévő fém-oxidok katalizálják. Ha a kockacukrot sárga, vörös vagy fekete vas-oxid porfestékkel vagy króm-oxid zöld porfestékkel dörzsöljük be, ugyanúgy meggyújtható. □

2.10.2 Kísérlet. Egy 0,5–1 mm átmérőjű rézdrótból csavarjunk spirált, hosszabb nyelet hagyva neki. Kis, 100 ml-es lombikba, esetleg pohárba öntsünk egy kevés acetont, és fedjük le. A spirált izzítsuk fel gázlángban. Amíg még gyengén izzik, tartsuk a lombikba, kb. 1 cm-rel az aceton fölé. A spirálon az izzás fel-le mozog, mint valami láng. A lombikból furcsa szag (aldehidszag) és savas gőzök áramlanak ki, amiket indikátorpapírral ki is mutathatunk. A magyarázat, hogy az izzó réz katalizálja az aceton oxidációját: a felületi oxidréteg oxidál és rézzé redukálódik, majd a levegő oxigénje visszaoxidálja. Az aceton nem gyullad meg, pedig lobbanáspontja $-10\text{ }^\circ\text{C}$! A réz tehát mint oxigénátvivő katalizátor működik. A kísérlet sötétben szebb. Körömlakklemosóval is próbálkozhatunk: ez aceton némi olajjal keverve, ami úgysem párolog.

A kísérlet denaturált szesszel is működik, de azt csaknem forrásig kell melegíteni. Forraljunk vizet, oltsuk el a lángot, és tegyük bele a szeszt lefedve. Ha a rézdrót kész, vegyük ki a szeszt, és tartsuk fölé a drótot. □

2.10.3 Kísérlet. Az oxigént hidrogén-peroxidból fogjuk fejleszteni. Hajszőkítésre használják, gyenge lúggal (szalmiákszesz) keverve. A hidrogén-peroxid a víz rokona, színtelen folyadék, tisztán robbanékony, erősen hígítva nem veszélyes. A 30%-os hidrogén-peroxid a bőrünkön fehér foltokat hagy, amelyek fájnak is, de később nyomtalanul elmúlnak. Szerkezete H-O-O-H, azaz összegképlete H_2O_2 . Igen gyenge savként viselkedik, sői a *peroxidok*. Ezek néha a levegő oxigénjéből is képződnek, például a nátrium égésénél nátrium-peroxid, Na_2O_2 képződik. Ma főleg az egyes szerves vegyületek oxidációjánál a levegő oxigénjéből keletkező hidrogén-peroxidot nyerik ki. Vannak olyan savak is, amelyekben szintén előfordul az -O-O- peroxid-kötés. Ezek nem állandók, elbomlásukkor hidrogén-peroxid keletkezik. Sóik között azonban vannak állandók, például perborátok, perszulfátok. Felszabadítva a savat, a hidrogén-peroxid desztillációval kinyerhető. A nátrium-perkarbonátot, $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$, amiben a hidrogén-peroxid kristályvíz szerepét játsza, fehérítő mosóporokban használják, és lehet kapni „környezetbarát” „fehérítő só” néven. A hatása azon alapul, hogy a belőle oldódáskor képződő hidrogén-peroxid oxigént ad le, ami elroncsolja a színes szennyeződéseket. Havonta nagyjából 0,3%-a bomlik el. A perborátokat is hasonló célra használják, $90\text{ }^\circ\text{C}$ felett bomlanak. Ezek stabilabbak, de károsabbak a környezetre.

Hidrogén-peroxidot 3%-os vagy 30%-os vizes oldatként kaphatunk. Sokat ne vegyünk, mert lassan elbomlik. (Rendszerint van benne valamilyen „konzerválószer”, például citromsav, ami lassítja a bomlását.) Néha ezeket „10 térfogatosnak” vagy „100 térfogatosnak” nevezik, amivel azt akarják kifejezni, hogy 1 l oldatból 10 l, illetve 100 l oxigént kaphatunk:



A bomlás lúgos oldatban gyorsabb, savasban lassabb. A hidrogén-peroxid „konzervált alakjának” tekinthető a gyógyszerárban kapható hyperol tablettá: ez karbamid, ami kristályvízszerűen megkötve hidrogén-peroxidot tartalmaz vagy 35 %-ot és némi citromsavat. Fertőtlenítőszernek használják. Legjobb, ha ilyet veszünk. Első kísérletként mindjárt ki is próbálhatjuk a fertőtlenítő hatását: két kémcsőbe tegyünk egy-egy darabka virslit. Az egyiket öntsük le vízzel, a másikat ugyanannyi 8 %-os hyperol oldattal, ami 3 % H_2O_2 -nek felel meg. A vízzel kezelt hamar megromlik, a hyperolos kifehéredik, de jóval később romlik csak meg. □

2.10.4 Kísérlet. Tegyünk kémcsőbe pár sötét hajszálat, egy darabka hyperol-tablettát, és adjunk hozzá pár csepp szalmiákszeszt. (A szalmiákszesz lúgos.) A hajszálakon rövidesen pezsgés indul meg, és 4–5 perc alatt kivilágosodnak. □

2.10.5 Kísérlet. A hidrogén-peroxid bomlását nagyon sok anyag katalizálja: rézsó+lúg, vassó+lúg, barnakő, ezüstpor, platina, aktív szén, stb. A növényekben és állatokban olyan enzimek — szerves katalizátorok — vannak, amelyek nagyon erősen katalizálják a hidrogén-peroxid bomlását. Vágjunk le egy darabot egy krumpliból, és cseppentsünk a felületre hidrogén-peroxid (például hyperol) oldatot. Azonnal pezsegni kezd, hacsak nem bomlott még el a hidrogén-peroxid. Egy kis darab krumplit vágjunk össze és tegyük kémcsőbe. Hidrogén-peroxidot öntve rá, nagy pezsgés indul meg. Sajnos, erősen habzik az oldat. □

2.10.6 Kísérlet. Ha véletlenül megvágjuk magunkat, cseppentsünk egy csepp vért egy kémcsőbe, vagy véres papírt, vattadarabkát dobjunk bele. Ha szándékosan akarjuk magunkat megszűrni, egy varrótűt rövid időre tartsunk csipesszel lángba hogy fertőtlenítsük, és ha lehűlt, az ujjunk oldalán (ott kevésbé fáj) szűrjük meg magunkat, majd passzírozunk ki egy csepp vért. A vérre a kémcsőben hidrogén-peroxidot öntve, pezsgés támad. Nem árt, ha egy késhegynyi szódabikarbónát is adunk hozzá, hogy az oldat biztosan gyengén lúgos legyen. Itt is oxigén keletkezik. Egy meggyújtott hurkapálcát fűjünk el, majd a még parázsló pálcát dugjuk a kémcsőbe: újra lángra lobban, vagy legalábbis felizzik.

Ennek és az előző két kísérletnek a magyarázata, erősen leegyszerűsítve, hogy az élet kialakulása idején a Föld légkörében még nem volt oxigén. A sejtekre (és a baktériumokra is) az erősen oxidáló anyagok mérgezőek, ezért kiváló enzimeket alakítottak ki, hogy a hidrogén-peroxidhoz hasonló magas oxigéntartalmú anyagoktól minél hamarabb megszabaduljanak. Mikor az algák már elég oxigént bocsátottak a légkörbe, akkor alakulhattak csak ki az állatok, amelyek ezt felhasználják, de belső sejtjeiket máig is védeniük kell az erősen oxidáló anyagoktól, mint amilyen a hidrogén-peroxid. □

2.10.7 Kísérlet. Az oxigént hidrogén-peroxidból fogjuk fejleszteni. Katalizátornak réz-oxidot használunk. Vékony rézdrótból készült gombolyagot tartsunk magasan gázláng fölé. Ha nagyon vékony a drót, szinte meggyullad, olyan gyorsan oxidálódik. Ha vastagabb, akkor lassan megfeketedik. Egy kis gomolyagot rakjunk egy kémcsőbe, és öntsünk rá 8%-os hyperol oldatot. Ez a katalizátor nem olyan jó, mint a szerves katalizátorok, viszont nem árt neki a melegítés. Melegítsük az oldatot: a gázfejlődés megélenkül. Parázsló pálcával egészen biztosan sikerül kimutatni az oxigént. Egyébként a hidrogén-peroxid forralásra lassan amúgy is elbomlik.

Ha kiöntjük a hyperol oldatot, és egy ujjnyi „fehérítő só” teszünk a kémcsőbe meg vagy kétujjnyi vizet és melegítjük, akkor is sikerül kimutatnunk az oxigént. Ez az oldat

jobban habzik. A nátrium-perkarbonát 157 g-jából 24 g oxigént kaphatunk, ha teljesen bomlatlan. □

2.10.8 Kísérlet. Sok oxigén fejlesztéséhez készítsünk több oxidált felületű finom rézdrotot. Rakjuk a gázfejlesztő (lásd a hidrogénnél) lombikjába, és csepegtessünk rá 8%-os hyperol oldatot, vagy minél töményebb nátrium-perkarbonát oldatot. Ha nátrium-perkarbonátot használunk, akkor nagy lombikot vegyünk. Egyelőre nem sokat látunk. Melegítsük az oldatot: megelégnünk a gázfejlődés. A fejlődő gázt fogjuk fel gázfelfogó hengerekben. Olvassuk el a következő öt kísérletet is.

Ha hyperol tablettát használtunk, a maradékból kikristályosíthatjuk a karbamidot. A másik esetben a maradék egyszerűen szódaoldat. □

2.10.9 Kísérlet. Az első gázfelfogó üvegbe mártsunk vasdrótra erősített égő vékony gyertyát. A gyertya égése sokkal hevesebb lesz. Mészvízzel kimutathatjuk a keletkezett szén-dioxidot. □

2.10.10 Kísérlet. Hasonlóan égethetünk faszenet oxigénben: vasdrótból csavarjunk kúpos felületen kis kosárkát. Tegyünk bele egy darabka faszenet. Izzítsuk fel gázlángon, és mártsuk a hengerbe: az izzás erősebb lesz, Mivel van némi esélye, hogy a faszén meggyújtja a vasdrótot, hagyjunk az üveg alján némi vizet, ha nem akarjuk, hogy elrepedjen. □

2.10.11 Kísérlet. Most kifejezetten az a célunk, hogy vasat égessünk. Hurkapálcán szúrjunk át acél gombostűt, és a a végét szúrjuk át egy darabka gyufán. A gyufát gyújtjuk meg, nagyjából hagyjuk leégni, majd mártsuk az oxigénbe. A gombostű meggyullad, és szikrázva elég, miközben égő vascseppek csepegnek le. □

2.10.12 Kísérlet. Egy gyufaszálra tekerjünk egy Al fóliából vágott szalagot. A másik végét tekerjük egy vasdrótra. Gyújtjuk meg a gyufát, hagyjuk nagyjából leégni, majd mártsuk az oxigénbe. □

2.10.13 Kísérlet. Tűzbiztos alapra (gáztűzhelyen cserép) állítsunk egy nagy lángú gyertyát. Az oxigénfejlesztőt csatlakoztassuk a forrasztócsőhöz. Fújjuk az oxigént a gyertyalángba: a keletkező szúrólángban egy vékony vasdrót könnyen megolvad. □

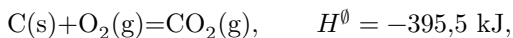
2.11 Hő és kémia

2.11.1. Reakcióhő. A vegyészt gyakran érdekli, hogy egy reakcióban mennyi hő szabadul fel vagy nyelődik el. Ezt elvileg könnyű megmérni: kaloriméterben lejátszatjuk a reakciót és megmérjük, mennyi hő szabadul fel. Mi is fogunk ilyen csinálni, amikor lúgok és savak reakciójánál megmérjük a keletkező hőmennyiséget. Elvileg legegyszerűbb azt megmérni, hogy a keletkező hő mennyi jeget olvaszt meg, mert ekkor nem érdekes a kiindulási és a keletkező anyagok fajhője. Persze, ha nem 0 °C-on van szükség a reakcióhőre, akkor mégiscsak ismerni kell a fajhőket, hogy átszámoljuk a reakcióhőt 0 °C-ról mondjuk a normál hőmérsékletre, 25 °C-ra. Ha állandó nyomáson mérünk a kaloriméterrel, akkor a *reakcióentalpiát* kapjuk. Például a grafit égésére

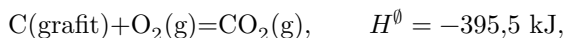


azt jelenti, hogy egy mól grafit égésénél normál körülmények között, azaz normál nyomáson és hőmérsékleten (ezt jelzi a $^\theta$) 395,5 kJ hő szabadul fel. Az előjel azért negatív, mert

a rendszer szempontjából kell vizsgálni a helyzetet, az pedig hőt ad le. Néha precízebben azt írják, hogy

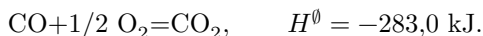


jelezve, hogy melyik anyag milyen halmazállapotban van: a latin szavakból g azt jelenti hogy gáz, az f azt jelenti, hogy folyadék (fluidum), az s pedig azt, hogy szilárd (solid). Még precízebben azt is lehet írni, hogy

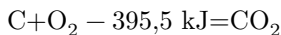


jelezve, hogy grafitról van szó. Erre azonban általában nincs szükség: ha nem írunk semmit, a normál körülmények között stabil módosulatról van szó.

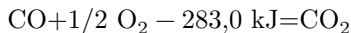
A szén-monoxid égésénél



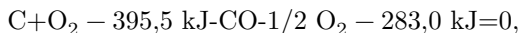
Írjuk fel az első összefüggést



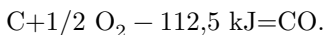
egyenlet alakba. Ezt az egyenletet akárhogy átrendezhetjük, végigsorozhatjuk kettővel (ekkor két mól C-re vonatkozik), stb. A második összefüggést is átírhatjuk



egyenlet alakba. Ezt az egyenletet vonjuk ki az első egyenletből. Azt kapjuk, hogy



azaz



Megkaptuk a szén szén-monoxiddá való égésénél a reakcióentalpiát. Ez nagyon hasznos eredmény, mert a reakció közvetlenül nem megy végbe. A számolásban tulajdonképpen az energiamegmaradás törvényét használtuk fel.

2.11.2. Képződéshők. Mivel rengeteg kémiai reakció van, nehéz lenne a reakcióentalpiákat táblázatba foglalni. Ezért csak az úgynevezett *képződéshő*ket vagy pontosabban *normál képződési entalpiákat* foglalják táblázatba. Ez annak a reakciónak a normál entalpiája, amiben az illető anyagból 1 mól képződik elemekből. Értelemeszerűen ez az elemekre nulla. Pontosabban, ha az elemnek több módosulata van, akkor a stabil módosulatét veszik nullának. Például C(grafit)-ra $H_k^\theta = 0$, de C(gyémánt)-ra $H_k^\theta = 1,9 \text{ kJ/mol}$; a kis k betű arra utal, hogy képződési entalpiáról van szó. Ezekből akármilyen reakció entalpiáját ki tudjuk számolni: a jobb oldalon álló anyagok képződéshőjéből kivonjuk a bal oldalon álló anyagok képződéshőjét.

2.11.3. Égéshő. * Sok anyag képződéshőjét közvetlenül nem tudjuk meghatározni, mert a reakció nem megy végbe: például egy bonyolult szerves vegyület nem fog összeállni az elemeiből. Ekkor úgy járunk el, mint a szén-monoxidnál tettük: kerülő utat választunk.



2.11.1 ábra: bomlás szabadentalpiája.

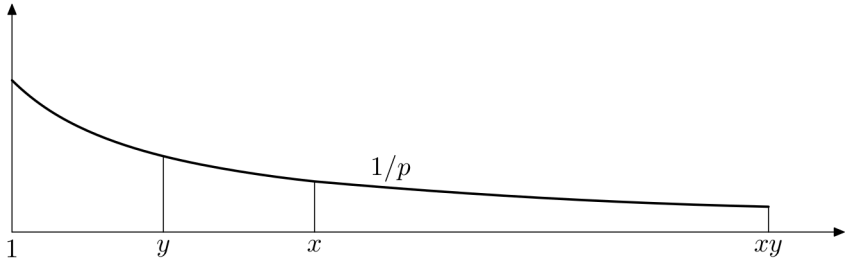
Elégetjük a vegyületet oxigénben, és megmérjük, a keletkező hő mennyi jeget olvaszt el. Ez az elégetés egy erős falú saválló acélból készült „bombában” történik. Beletesszük az anyagot (például cukrot), feltöltjük nagy nyomású oxigénnel, majd egy platina szál rövid ideig való izzításával megindítjuk az égést, és megmérjük, hogy a keletkező hő mennyi jeget olvaszt el. Van azonban egy probléma: nem állandó nyomáson mértünk, hanem állandó térfogaton, azaz az állandó térfogaton mért égéshőt határoztuk meg. Ha szenet égetünk el ilyen módon, nincs nagy probléma: amennyi mól oxigént elhasznál az égés, annyi mól széndioxid keletkezik, így az oxigén sűrítésére befektetett munka ugyanannyi, mint amennyit a szén-dioxid kiterjesztésénél visszkapunk, tehát az állandó térfogaton mért égéshő (majdnem pontosan) megegyezik az állandó nyomáson mért égéshővel. A szén-monoxidnál már nem ez a helyzet: kevesebb mól gáz keletkezik, mint amennyi kezdetben volt, ezért a sűrítésbe több munkát kell befektetni, mint amennyit a végén visszkapunk. Ezt figyelembe kell venni, amikor az állandó térfogaton mért égéshőből kiszámoljuk az állandó nyomáson mért égéshőt. Ebből már számolható a képződéshő, mint ahogy a szén-monoxidnál tettük. Még egy dologra vigyázzunk: főleg műszaki könyvek, az állandó nyomáson mért égéshőből levonják a keletkező víz elpárolgatásához szükséges hő; ez az úgynevezett *alsó égéshő*. Ha ugyanis az anyagot nem kondenzációs kazánban égetjük el — amiből a víz folyadékként távozik — a víz gőz alakban távozik, és elviszi a párolgáshőjét is. *

2.11.4. A bomlási nyomás és a szabad entalpia kapcsolata. * Próbáljuk meg kideríteni, mi a számszerű kapcsolat a fém-oxidok bomlásakor T hőmérsékleten fellépő p_1 egyensúlyi O_2 -nyomás és T hőmérséklethez és p_0 nyomáshoz tartozó szabad entalpia között. Elvileg a dolog egyszerű: a fém-oxidot az adott T hőmérsékleten tartva egy kis edényben, ahhoz egy dugattyús hengert csatlakoztatunk és a dugattyút lassan hátrahúzzuk, olyan lassan, hogy az O_2 -nyomás mindig nagyon közel legyen az egyensúlyi p_1 nyomáshoz: lásd a 2.11.1 ábrát. Ha a bomlás befejeződött, akkor a kis edényt egy csapot elzárva elválasztjuk a hengertől, és a dugattyút addig mozgatjuk, amíg a hengerben a nyomás meg nem egyezik a külső p_0 nyomással. Az eközben kapott munka megegyezik a bomlás szabad entalpiájának ellentettjével. Azért az ellentettjével, mivel a hasznos munkát a fém-oxid szempontjából kell számolnunk, nem a mienkből. Több (a mi szempontunkból nézve) nyilván nem lehet, kevesebb viszont azért nem, mert a folyamat (majdnem) megfordítható, és így visszafelé vezetve a már látott gondolatmenettel másodfajú örökmozgót tudnánk csinálni. A hőtan második főtételének tárgyalásánál megúsztuk annak a munkának a kiszámítását, amit a p_1 nyomásról a p_0 nyomásra táguló gáz végez, de itt nem tudjuk ezt megúsni. Ennek a munkának a kiszámításához először tegyük fel, hogy a külső nyomás nulla. Mint ott is, miközben az első lépésben T hőmérsékleten a

nyomás p -ről egy tőle csak kicsit kisebb p' -re csökken, a térfogat $V = n \cdot R \cdot T/p$ -ről $V' = n \cdot R \cdot T/p'$ -re nő. A gáz által végzett munka közelíthető a

$$\frac{p+p'}{2}(V'-V) = n \cdot R \cdot T \cdot \frac{p+p'}{2} \cdot \left(\frac{1}{p'} - \frac{1}{p}\right)$$

szorzattal. Ez $n \cdot R \cdot T$ -szer egy kis trapéz területe, amely az $1/p$ görbe alatti terület egy részét közelíti. Amire szükségünk van, az ennek a görbének a p_0 és p_1 közé eső része alatti terület. Ha sikerülne meghatározni az $1/p$ görbe 1 és x közé eső része alatti területet, akkor készen lennénk. Valóban, ha ez $F(x)$, akkor az általunk keresett terület $F(p_1) - F(p_0)$.



2.11.2 ábra: $1/p$ alatti terület.

Vizsgáljuk tehát az $F(x)$, $x \geq 1$ függvényt! Tekintsünk egy $y \geq 1$ értéket. A görbe 1 és y közötti része alatti területet x -szeres hosszra nyújtva, de x -szer kisebb magasságúra összenyomva, az pontosan átmegy az $1/p$ görbe x és $x \cdot y$ közötti része alatti területbe: lásd a 2.11.2 ábrát! Valóban, ha $1 \leq p < p' \leq y$, akkor a p és p' közötti terület a $p \cdot x$ és $p' \cdot x$ közötti, $1/(p \cdot x)$ és $1/(p' \cdot x)$ közötti magasságú területbe megy át. Ez azt jelenti, hogy $F(x) + F(y) = F(x \cdot y)$. Hasonló gondolatmenet mutatja, hogy ez akkor is igaz marad, ha $0 < x < 1$ illetve $0 < y < 1$, de ekkor $F(x)$ illetve $F(y)$ negatív. Tehát a F függvény úgy viselkedik, mint valami logaritmus. Ezt a logaritmust *természetes alapú logaritmus*nak nevezzük, és \ln -nel (a latin „logaritmus naturalis” rövidítése) jelöljük. *

2.11.5. A természetes logaritmus alapszámának meghatározása. ** Vajon mennyi az a „természetes alap”? Ha valakinek van kedve egy kis matematikai kitérőhöz, tartson velünk a meghatározására. Nyilván az alap logaritmus 1, tehát azt az y értéket keressük, amire $F(y) = 1$ teljesül. Osszuk fel 0,1 széles sávokra az $1/p$ alatti területet, és közelítsük minden sávon a Simpson-formulával a sáv területét. Ezeket fogjuk összeadogatni. Azt kapjuk, hogy

$$\frac{1}{60} \left(\frac{1}{1} + \frac{4}{1,05} + \frac{2}{1,1} + \frac{4}{1,15} + \frac{2}{1,2} + \dots \right).$$

Nem tudjuk, meddig kell az összeadogatást folytatni, de egyelőre hagyjuk a 60-nal való osztást, és kezdjük el kiszámolni a zárójelben álló összeget. Ezt kapjuk, az utolsó nevező függvényében:

1,1	6,62770562770
1,2	11,7726331639
1,3	16,5110947024
1,4	20,9026290939
1,5	24,9945831169
1,6	28,8252282782
1,7	32,4259412907
1,8	35,8227666875
1,9	39,0375604286
2,0	42,0888424799
2,1	44,9924429445
2,2	47,7619989699
2,3	50,4093419650
2,4	52,9448029579
2,5	55,3774560191
2,6	57,7153142394
2,7	59,9654889424

Ez a táblázat csak arra szolgál, hogy mindenki ellenőrizhesse a számításait, és ha eltéveszti, ne kelljen előlről kezdeni. Talán feltűnik, hogy a részeredmények több tizedesjegyre vannak megadva, mint amit a legtöbb zsebszámológép kijelez. Például $1/1+4/1,05+2/1,1$ kiszámolása után az én gépem 6,627705628-at, egy kerekített értéket írt ki. Még két tizedesjegy van azonban a memóriájában. Ezt például úgy lehet előcsalogatni, hogy az eredményből levonunk 6,62-t, majd szorzunk 1000-rel. Visszavinni ennek az eljárásnak a megfordításával lehet: $7,70562770/1000 + 6,62$.

Világos, hogy a következő lépésben az összeg átlépné a 60-at, tehát 60-nal való osztás után túllépnénk az 1-et. Először is $1/2,7$ -tel többet adtunk hozzá a kelleténél, ezt vonjuk le, majd ami marad, azt vonjuk le 60-ból. Az eredmény 0,404881428. Még valamilyen x szélességű sáv területe hiányzik. Ezt a Simpson-formulával közelítve az

$$\frac{x}{6} \left(\frac{1}{2,7} + \frac{4}{2,7 + x/2} + \frac{1}{2,7 + x} \right) = \frac{0,404881428}{60}$$

egyenletet kapjuk. A megoldása első pillantásra reménytelennek tűnik, de ne keseredjünk el. Szorozzuk végig az egyenlet mindkét oldalát 6-tal. Az

$$x \left(\frac{1}{2,7} + \frac{4}{2,7 + x/2} + \frac{1}{2,7 + x} \right) = 0,0404881428$$

egyenletet kapjuk. Az x valahol 0 és 0,1 között van. Valamilyen kezdő x -szel számítsuk ki a zárójelben álló kifejezést, és osszuk el vele a másik oldalt. Kapunk x -re egy jobb közelítést. Most ezzel megismételjük az eljárást, stb. Én kezdő értéknek $x = 0$ -t választottam, a további közelítések 0,018219664, 0,018281068, 0,018281275, 0,018281276. Tehát a keresett alapszámra azt kaptuk, hogy 2,718281276. **

2.11.6. A természetes alap használata. * A természetes logaritmus alapszámát e -vel szokás jelölni. Nagyon gyakran előfordul a matematikában, fizikában és kémiában. Pontosabb számítások szerint értéke $e = 2,718281828459 \dots$ Tulajdonképpen már találoztunk

is vele: a 1.17.5 ábrán látható „haranggörbe” értéke az x helyen

$$\frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-x^2/2},$$

a 1.17.6 ábrán látható, sebességeloszlást leíró függvény értéke

$$\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot x^2 \cdot e^{-x^2/2},$$

a 1.17.8 ábrán látható, a haladási energia eloszlását leíró függvény értéke pedig

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{x} \cdot e^{-x}.$$

Ez tehát $x = E/(\mathbf{k} \cdot T)$ eloszlását írja le, ahol E a három szabadsági fokra jutó energia. Az ütközési energia eloszlását leíró, a 1.17.9 ábrán látható Boltzmann-eloszlás

$$\frac{1}{\mathbf{k} \cdot T} e^{-E/(\mathbf{k} \cdot T)}.$$

Még egyszerűbb az $x = E/(\mathbf{k} \cdot T)$ eloszlását leíró függvény, ahol E az ütközési energia: ennek értéke e^{-x} . Egyébként sokkal általánosabb feltételek mellett igaz, hogy annak esélye, hogy egy részecskét E energiájú állapotban találunk, $e^{-E/(\mathbf{k} \cdot T)}$ -vel arányos.

A legtöbb zsebszámológép e^x mellett $\ln x$ értékét is ki tudja számolni. Ha a miénk mégsem tudná, akkor elég tudnunk, hogy $10^{\lg x} = x$ miatt $\lg x \cdot \ln 10 = \ln x$, és $\ln 10 = 2,302585092994 \dots$ *

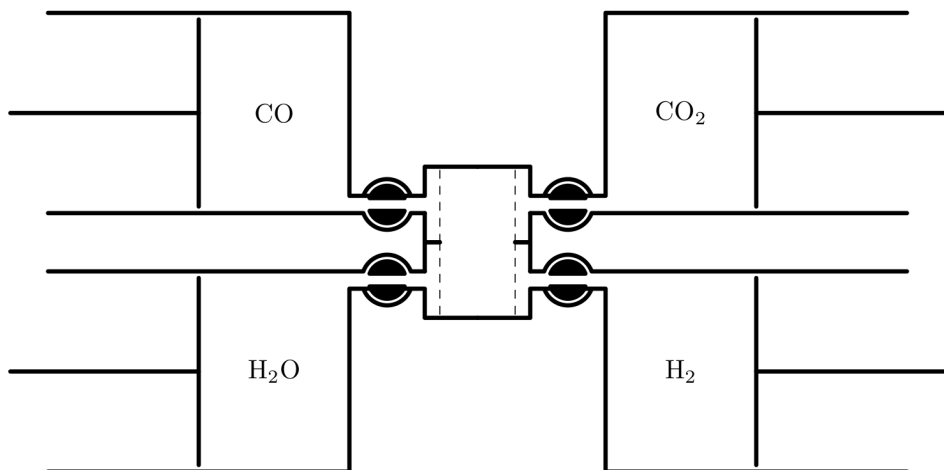
2.11.7. A bomlási nyomás és a szabad entalpia kapcsolata: az eredmény. *
Térjünk vissza a szabad entalpia és az O_2 -nyomás kapcsolatához. Mennyi hasznos munkát végez a gáz, ha a külső nyomás p_0 ? (A külső nyomás ellen végzett munkát nem számítjuk, az legtöbbször nem hasznos számunkra.) Az első lépésben, amíg a hengerben a nyomás p_1 , nyilván $(p_1 - p_0) \cdot V_1$ munkát, ahol V_1 a képződött O_2 térfogata p_1 nyomáson. A második szakaszban a légüres térben végzett teljes $n \cdot \mathbf{R} \cdot T \cdot (\ln p_1 - \ln p_0) = n \cdot \mathbf{R} \cdot T \cdot \ln(p_1/p_0)$ munkából le kell vonnunk a külső levegő ellen végzett $p_0(V_0 - V_1)$ munkát, ahol V_0 a képződött O_2 térfogata p_0 nyomáson. Így a teljes hasznos munka

$$(p_1 - p_0) \cdot V_1 + n \cdot \mathbf{R} \cdot T \cdot \ln(p_1/p_0) - p_0 \cdot (V_0 - V_1) = n \cdot \mathbf{R} \cdot T \cdot \ln(p_1/p_0),$$

mivel $p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot V_1 = n \cdot \mathbf{R} \cdot T$. Ez a bomlás szabad entalpiája. Ha tehát a szabad entalpiát G -vel jelöljük, akkor $G = -n \cdot \mathbf{R} \cdot T \cdot \ln(p_1/p_0)$. Hogy világosabbak legyenek a jelölések, a külső nyomást jelöljük p -vel, az oxigén nyomását p_{O_2} -vel. Ekkor képletünk

$$G(T, p, n) = -n \cdot \mathbf{R} \cdot T \cdot \ln(p_{O_2}/p).$$

A $G(T, p, n)$ jelölés arra emlékeztet bennünket, hogy a szabad entalpia függ a hőmérséklettől, a nyomástól és a mólszámtól. Látjuk azonban, hogy — nem meglepő módon — a szabad entalpia arányos a mólok számával, ezért elég egy mól O_2 -re tudnunk. Jelöljük ezt



2.11.3 ábra: van't Hoff-doboz.

$G(T, p)$ -vel. Másrészt mivel p_{O_2} független p -től, elég egyetlen p' -re ismernünk $G(T, p')$ értékét, hogy abból kiszámolva p_{O_2} -t, egy másik p nyomásra kiszámoljuk $G(T, p)$ -t:

$$G(T, p) = -R \cdot T \cdot \ln(p_{\text{O}_2}/p)$$

és

$$G(T, p') = -R \cdot T \cdot \ln(p_{\text{O}_2}/p'),$$

ahonnan

$$G(T, p) - G(T, p') = -R \cdot T \cdot (\ln(p_{\text{O}_2}/p) - \ln(p_{\text{O}_2}/p')),$$

azaz

$$G(T, p) = G(T, p') + R \cdot T \cdot \ln(p/p').$$

Így rendszerint csak a normál nyomásra vonatkozó $G^0(T)$ értékeket adják meg. A hőmérséklettől való függés nem ilyen egyszerű. Mindenesetre adott p_{O_2} -höz adott p mellett a $G(T, p)/T$ hányadosnak ugyanannak kell lenni. Például $p = p^0$ választással adott p_{O_2} -re $G^0(T)/T$ állandó. Ez magyarázza az Ellingham-diagrammon az adott oxigénnyomáshoz tartozó, origóból kiinduló egyenes vonalakat. Ne felejtjük el, hogy használtuk az általános gáztörvényt, így a talált összefüggés csak annyira pontos, mint az általános gáztörvény. Természetesen nem csak akkor érvényes, ha O_2 keletkezik, hanem például a mészko bomlására is égetett mészre és szén-dioxidra. *

2.11.8. Gázreakciók egyensúlya és szabad entalpiája. * Foglalkozzunk most egy gázreakció szabad entalpiájának és az egyensúlynak a kapcsolatával. Hogy valami konkrétum legyen előttünk, a magasabb hőmérsékleten lejátszódó, megfordítható úgynevezett *vízgázreakció*val fogunk foglalkozni: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Képzeljünk el egy dobozt, amelyben valamennyi van ezekből a gázokból. Lehet még benne más is, például katalizátor, más gázok. A lényeg az, hogy T hőmérsékleten a fenti, mindkét irányban lejátszódni képes reakció egyensúlyban legyen. Tegyük fel, hogy négy dugattyús henger csatlakozik a

dobozhoz, de csappal lezárható a csatlakoztatás. Ezen kívül a doboz és az egyes hengerek között olyan anyag van, amely csak a szén-monoxidot, csak a vízgőzt, csak a szén-dioxidot illetve csak a hidrogént engedi át. A hidrogénre ilyen anyag például a palládium. Nem fontos, hogy tényleg létezik-e ilyen anyag, végül is ez csak egy gondolatkísérlet. Ez az elrendezés a van't Hoff-doboz: ennek a gondolatkísérletnek a kitalálójáról van elnevezve; lásd a 2.11.3 ábrát. Lezárt csapoknál a H_2 és a CO_2 hengere legyen üres, a CO és a H_2O hengerében legyen 1-1 mól gáz a külső p nyomásnak megfelelő nyomáson. Mindegyik gáz nyomása a csak azt áteresztő anyag és a csap között annyi, mint az adott gáz parciális nyomása a dobozban. A CO és a H_2O nyomását állítsuk be erre a nyomásra. Most nagyon lassan, hogy mindegyik gáznál csak nagyon kicsit térjünk el az egyensúlyi nyomástól, és a hőmérséklet is csak nagyon kicsit térjen el T -től, nyomjuk be a CO és a H_2O dugattyúját, és húzzuk ki a H_2 és a CO_2 dugattyúját. Amikor a CO és a H_2O elfogyott, zárjuk el a csapokat, és állítsuk be a H_2 és a CO_2 nyomását a külső p nyomásra. A fém-oxidok bomlásánál tanultak szerint eközben a kémiai reakció

$$\begin{aligned} & \mathbf{R} \cdot T \cdot \ln(p_{H_2}/p) + \mathbf{R} \cdot T \cdot \ln(p_{CO_2}/p) - \mathbf{R} \cdot T \cdot \ln(p_{H_2O}/p) - \mathbf{R} \cdot T \cdot \ln(p_{CO}/p) \\ &= \mathbf{R} \cdot T \cdot \ln \left(\frac{p_{H_2} \cdot p_{CO_2}}{p_{H_2O} \cdot p_{CO}} \right) \end{aligned}$$

munkát végzett. Ez $-G$ kell legyen, ahol G a reakció szabadentalpiája: több nem lehet, és kevesebb se, mert az egész folyamat (majdnem) megfordítható, így megfordítva másodfajú örökmozgót tudnánk készíteni. Tehát azt kaptuk, hogy

$$G(T, p) = -\mathbf{R} \cdot T \cdot \ln \left(\frac{p_{H_2} \cdot p_{CO_2}}{p_{H_2O} \cdot p_{CO}} \right).$$

Ez azt jelenti, hogy

$$\frac{p_{H_2} \cdot p_{CO_2}}{p_{H_2O} \cdot p_{CO}} = K,$$

valamilyen, csak a hőmérséklettől függő, de a nyomástól nem függő (hogy miért, lásd később) állandó. Ez egy nagyon fontos összefüggés, a kémia egyik alaptörvénye, a *tömeghatás törvénye*. Nevét onnan kapta, hogy mutatja, ha valamelyik kiindulási anyag parciális nyomását növeljük, akkor a keletkező anyagok parciális nyomásainak növekednie kell, vagy a másik kiindulási anyag parciális nyomásának csökkennie kell (vagy mindegyik változik), tehát a reakciónak balról jobbra kell lejátszódnia. Ha viszont valamelyik kiindulási anyag parciális nyomását csökkentjük, akkor a reakció jobbról balra játszódik le.

Mi lesz a helyzet, ha valamelyik keletkező anyagból több mól is keletkezik? Akkor a parciális nyomása többször fog szerepelni a számlálóban, azaz annyiadik hatványon lesz, ahány mól keletkezik belőle. Ugyanígy, ha valamelyik kiindulási anyagból több mól használdik el, akkor parciális nyomása annyiadik hatványon lesz a nevezőben, ahány mól használdik el belőle.

Mi a helyzet általában? Tegyük fel, hogy egy gázreakcióban az A_1, A_2, \dots, A_k anyagok vesznek részt. Írjuk fel a reakcióegyenletet

$$0 = n_1 \cdot A_1 + n_2 \cdot A_2 + \dots + n_k \cdot A_k$$

alakban, ahol ha az A_i anyag keletkezik, akkor az n_i mólszám pozitív, egyébként negatív. Legyen $n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$. Ekkor a van't Hoff-doboz használatával azt kapjuk, hogy

$$G(T, p) = -R \cdot T \cdot \ln(p_1^{n_1} \cdot p_2^{n_2} \cdot \dots \cdot p_k^{n_k} / p^n).$$

Úgy tűnik, mintha a

$$K = p_1^{n_1} \cdot p_2^{n_2} \cdot \dots \cdot p_k^{n_k}$$

egyensúlyi állandó függne a p külső nyomástól is. Ez (legalábbis ameddig az általános gáz-törvény érvényes) természetesen nincs így, hiszen az, hogy a van't Hoff-doboz belsejében milyen parciális nyomások állnak be, nem függhet attól, hogy mi van rajta kívül. A K egyensúlyi állandó a doboz belsejében uralkodó nyomástól azaz a p_i parciális nyomások $p_1 + p_2 + \dots + p_k$ összegétől, az esetleg jelenlévő más gázoktól, más anyagoktól, például katalizátoroktól sem függhet, csak a hőmérséklettől, hiszen kiszámítható $G(T, p)$, T és p segítségével. Általában $G(T, p)$ változik a külső nyomással, és hogy hogyan, azt már ki is számoltuk. Ezért elég, ha egyetlen, mondjuk a p^0 nyomáson ismerjük $G(T, p)$ értékét. Ezt $G^0(T)$ -vel fogjuk jelölni. Jelölje c_i az A_i anyag koncentrációját $M = \text{mol/l}$ egységekben. Ekkor 1 l gázban c_i mol, pontosabban $c_i \cdot 1$ l mol van az A_i anyagból, így annak p_i parciális nyomására $p_i \cdot 1 \text{ l} = R \cdot T \cdot c_i \cdot 1 \text{ l}$, azaz $p_i = c_i \cdot R \cdot T$. Innen

$$K = c_1^{n_1} \cdot c_2^{n_2} \cdot \dots \cdot c_k^{n_k} \cdot (R \cdot T)^n.$$

Hogy a különböző egyensúlyi állandókat össze ne keverjük, amit eddig K -val jelöltünk, jelöljük K_p -vel. A K_p -ben a p betűt azt jelzi, hogy a (parciális) nyomásokra vonatkozik. A $K_c = c_1^{n_1} \cdot c_2^{n_2} \cdot \dots \cdot c_k^{n_k}$ jelöléssel ez azt jelenti, hogy $K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^n$, és így a K_c egyensúlyi állandó sem függ a nyomástól, csak a hőmérséklettől. A tömeghatás törvényét leggyakrabban ebben az alakban fogjuk használni:

$$K_c = c_1^{n_1} \cdot c_2^{n_2} \cdot \dots \cdot c_k^{n_k}$$

(csak a hőmérséklettől függő) állandó, mert így oldatokra is jó közelítéssel érvényes. Még egy alakban felírhatjuk a tömeghatás törvényét. Ha a gázkeverékben x_i az A_i anyag móltörtje (azaz A_i móljainak száma osztva az összes mólok számával), akkor $p_i = x_i \cdot p$, ahol p a gázkeverék teljes nyomása. Így

$$K_p = x_1^{n_1} \cdot x_2^{n_2} \cdot \dots \cdot x_k^{n_k} \cdot p^n.$$

A $K_x = x_1^{n_1} \cdot x_2^{n_2} \cdot \dots \cdot x_k^{n_k}$ jelöléssel ez azt jelenti, hogy $K_p = K_x \cdot p^n$, és mivel K_p nem függ a nyomástól, ha $n < 0$, akkor a nyomás növelésekor K_x -nek növekednie kell, azaz a mólszámcsökkenéssel járó reakciókat a nyomás növelése elősegíti. Hasonlóan a mólszámnövekedéssel járó reakciókat a nyomás csökkenése segíti elő. Ez összhangban van a Le Châtelier-elvvel, tulajdonképpen annak a pontos, mennyiségi leírása gázreakciókra a nyomásváltozás esetére.

Mi a helyzet, ha a reakcióban szilárd anyag vagy anyagok, illetve folyadék vagy — egymással nem elegyedő — folyadékok is részt vesznek? Ezeket nyugodtan beletehetjük a van't Hoff-dobozba, és az egész gondolatmenet érvényes marad, mert ezek térfogatának változása elhanyagolható a gázok térfogatához képest. Tehát az egyensúlyi állandó számításánál ezeket egyáltalán nem kell figyelembe venni. Tulajdonképpen ezt a gondolatmenetet alkalmaztuk az Ellingham-diagram tárgyalásánál. *

2.11.9. Képződési szabad entalpiák. * Látjuk, hogy egy reakció szabad entalpiája a vegyész számára rendkívül fontos mennyiség. Hogyan tudnánk kiszámítani? Ugyanúgy lehet vele számolni, mint az entalpiával (ha nem így lenne, lehetne másodfajú örökmozgót csinálni), ezért elég a vegyületek *képződési szabad entalpiáit* táblázatba foglalni. Sajnos, a hőmérséklettől való függése nem olyan egyszerű mint a képződéshőé, ezért a táblázatnak különböző T hőmérsékletekre is tartalmaznia kell (az egy móltra vonatkozó) $G^\theta(T)$ képződési szabad entalpia értékeket. Jobb szeretik a $(G^\theta(T) - H^\theta(0))/T$ értékeket táblázatba foglalni, mert ezek sokkal kevésbé változnak a hőmérséklettel. Persze, ekkor $H^\theta(0)$ értékét — az egy mól anyagra, az abszolút nulla fokra és normál nyomásra vonatkozó képződéshőt — is meg kell adni. Néha nem ezt adják meg, hanem a $H^\theta(T^\theta) - H^\theta(0)$ különbséget és $H^\theta(T^\theta)$ értékét. A táblázat a $(H^\theta(0) - G^\theta(T))/T$, és az utolsó két oszlopban a $H^\theta(T^\theta) - H^\theta(0)$ illetve $-H^\theta(T^\theta)$ értékeket tartalmazza (mivel egyébként sok negatív előjel lenne). A két utolsó oszlopban az egység kJ/mol, egyébként J/(K·mol).

T	T^θ	500 K	1000 K	1500 K	2000 K		
C(s)	2,2	4,85	11,6	17,5	22,5	1,050	0,0
CH ₄ (g)	152,5	170,5	199,4	221,1	239,0	10,029	74,81
Cl ₂ (g)	192,2	208,6	231,9	246,2	256,6	9,180	0,0
CO(g)	168,4	183,5	204,1	216,6	225,9	8,673	110,53
CO ₂ (g)	182,3	199,5	226,4	244,7	258,8	9,364	393,51
H ₂ (g)	102,2	116,9	137,0	148,9	157,6	8,468	0,0
H ₂ O(g)	155,5	172,8	196,7	211,7	223,1	9,908	241,82
HCl(g)	157,8	172,8	193,1	205,4	214,3	8,640	92,31
N ₂ (g)	162,4	177,5	197,9	210,4	219,6	8,669	0,0
NH ₃ (g)	159,0	176,9	203,5	221,9	236,6	9,92	46,11
O ₂ (g)	176,0	191,1	212,1	225,1	234,7	8,682	0,0

A vízgázreakcióra összevont értékek:

T	T^θ	500 K	1000 K	1500 K	2000 K		
reakció	-39,4	-39,9	-37,4	-34,7	-32,6	-0,749	41,16

Az interpolációval kapott értékek J/(K·mol)-ban és $-H^\theta(0)$ J/mol-ban:

T	600 K	800 K	1000 K	1200 K	1400 K	1750 K	2000 K	$H^\theta(0)$
reakció	-39,4	-38,4	-37,4	-36,86	-35,24	-33,65	-32,6	40411

Innen az egyensúlyi állandók:

T	600 K	800 K	1000 K	1200 K	1400 K	1750 K	2000 K
$\ln K$ szám.	3,36	1,46	0,36	-0,38	-0,77	-1,27	-1,49
$\ln K$ mért	3,29	1,40	0,33	-0,34	-0,79	-1,29	-1,52
x	0,84	0,67	0,54	0,46	0,40	0,34	0,32

Az utolsó sorban az ugyanannyi mól CO és H₂O keverékéből az átalakult anyag részaránya szerepel. *

2.11.10. Az entrópia. ** Ki lehet-e vajon számolni egy reakció szabad entalpiáját tetszőleges hőmérsékleten pusztán hőtani adatokból? Képezzük az

$$S(T, p) = \frac{H(T, p) - G(T, p)}{T}$$

mennyiséget. Ez valami „kötött entalpia” osztva hőmérséklet mennyiség, tehát valami „redukált” (a hőmérséklettel osztott) hőmennyiség. A körfolyamatok hatásfokának vizsgálatánál láttuk, hogy a $Q_1/T_1 = Q_2/T_2$ összefüggés, ami szintén redukált hőmennyiségek egyenlősége, milyen fontos. Az S -et *entrópiának*, az adott reakció entrópiájának fogjuk nevezni. Ha sikerül kiszámítani, akkor G -t is ki tudjuk számítani, mert H -t ki tudjuk számítani. A *hőtan harmadik főtétele* szerint bármely reakció entrópiája nullához közeledik, ha T nullához közeledik: ez tapasztalati tény. (Emiatt $T = 0$ -nál a reakció entalpiája és szabad entalpiája megegyezik, és néha az elemek entalpiáját $T = 0$ -nál szokás nullának venni. Ha ezt tesszük, és az entalpiát, illetve a szabad entalpiát az abszolút nulla foktól számítjuk, akkor *abszolút entalpiáról* illetve *abszolút szabad entalpiáról* beszélünk.)

Az egyszerűség kedvéért rögzítsük a nyomást. Legyen például $p = p^\theta$, a táblázatokban található értékek ígyis erre a nyomásra vonatkoznak. A továbbiakban a nyomástól való függést nem fogjuk kiírni. Hogyan változik a reakció entrópiája a hőmérséklettel? Írjuk fel a (tetszőleges reakció) reakcióegyenletét

$$0 = n_1 \cdot A_1 + n_2 \cdot A_2 + \dots + n_k \cdot A_k$$

alakban, ahol ha az A_i anyag keletkezik, akkor az n_i mólszám pozitív, egyébként negatív. Egy gondolatkísérletet fogunk végrehajtani: a kiindulási anyagokat lehűtjük az abszolút nulla fokra, végrehajtjuk a reakciót, majd a keletkezett anyagokat újra felmelegítjük. A trükk az, hogy tudjuk, az abszolút nulla fokon a reakció szabad entalpiája megegyezik az entalpiával.

Foglalkozunk először egyetlen A anyag egy móljával. Vegyünk fel az abszolút nulla és a T hőmérséklet között közbenső hőmérsékleteket jó sűrűn: legyen $T_0 = 0$ K, és $T_0 < T_1 < T_2 < \dots < T$. Jelölje ΔT_j a T_j hőmérséklet és az előző hőmérséklet különbségét. Ha az anyag T_j hőmérsékletű, akkor az előző hőmérsékletre való lehűtéshez (állandó nyomáson) $\approx C(T_j) \cdot \Delta T_j$ hőt kell elvonnunk, ahol $C(T_j)$ az állandó nyomáson mért mólhő a T_j hőmérsékleten. Ha reverzibilis körfolyamatot használunk a hűtéshez, akkor a T hőmérsékletű környezetbe Q_j hőmennyiség kerül, ahol

$$\frac{Q_j}{T} = \frac{C(T_j) \cdot \Delta T_j}{T_j},$$

azaz

$$Q_j = \frac{T}{T_j} \cdot C(T_j) \cdot \Delta T_j,$$

és

$$L_j = Q_j - C(T_j) \cdot \Delta T_j$$

munkát kell végeznünk; az egyenlőség mindenütt közelítő. Adjuk össze a hőmennyiségekre kapott kifejezéseket. Az kapjuk, hogy az összeg

$$Q(T) = T \cdot \left(\frac{C(T_1) \cdot \Delta T_1}{T_1} + \frac{C(T_2) \cdot \Delta T_2}{T_2} + \dots \right).$$

A zárójelben álló kifejezést az A anyag *moláris entrópiájának* vagy röviden *entrópiájának* nevezzük. Ha valamilyen T_j hőmérsékleten halmazállapot változás (vagy kristályszerkezet

változás, stb.) van, akkor ott az összegben $C(T_j) \cdot \Delta T_j$ helyére az egy móltra eső átváltozási hőt írjuk a számlálóba. Jelöljük az A anyag entrópiáját $S(T)$ -vel. (Ne keverjük össze a reakció entrópiájával. Éppen a kettő közötti kapcsolat érdekel bennünket.) A harmadik főtétel azt is kimondja, hogy ezt tiszta, kémiaileg egységes anyagoknál választhatjuk úgy, hogy az abszolút nulla fokon nulla legyen. Éppen ezt tettük: ha $T = 0$, akkor semmit sem adunk össze, az összeg nulla. Ha az L_j -kre kapott kifejezéseket is összeadogatjuk, akkor azt kapjuk, hogy

$$L(T) = Q(T) - \left(C(T_1) \cdot \Delta T_1 + C(T_2) \cdot \Delta T_2 + \dots \right).$$

A zárójelben álló kifejezés nem más, mint $H(T) - H(0)$, így azt kaptuk, hogy $L(T) = T \cdot S(T) - H(T) + H(0)$.

Most térjünk vissza a reakcióentalpia vizsgálatára. Mivel csak a T és a 0 hőmérsékletre lesz szükségünk, a továbbiakban az i -edik anyag entrópiáját, entalpiáját illetve a vele kapcsolatos hűtési munkát jelölje S_i , H_i illetve L_i . Először a kiindulási anyagokat (reverzibilisen) hűtsük le az abszolút nulla fokra, hajtsuk végre a reakciót, majd (reverzibilisen) melegítsük fel. Mivel a reakcióegyenletben a kiindulási anyagok mólszáma negatív, a rendszer szempontjából a befektetett munka az A_i anyagnál $-n_i \cdot L_i$. Ugyanez a helyzet a keletkezett anyagoknál, mivel itt a mólszám ugyan pozitív, de felmelegítésről van szó. Így

$$\begin{aligned} G(T) &= G(0) - (n_1 \cdot L_1 + \dots + n_k \cdot L_k) \\ &= G(0) - T \cdot (n_1 \cdot S_1(T) + \dots + n_k \cdot S_k(T)) + (n_1 \cdot H_1(T) + \dots + n_k \cdot H_k(T)) \\ &\quad - (n_1 \cdot H_1(0) + \dots + n_k \cdot H_k(0)). \end{aligned}$$

Az utolsó zárójelben álló kifejezés nem más, mint a reakcióentalpia az abszolút nulla fokon. Ez a harmadik főtétel szerint megegyezik $G(0)$ -lal, így ez a két tag kiesik. Az utolsó előtti zárójelben szereplő tag $H(T)$, a reakcióentalpia. Így azt kaptuk, hogy

$$G(T) = -T \cdot (n_1 \cdot S_1(T) + \dots + n_k \cdot S_k(T)) + H(T).$$

Az S reakcióentrópia definíciója szerint azt kapjuk, hogy

$$S(T) = n_1 \cdot S_1(T) + \dots + n_k \cdot S_k(T).$$

Maradt egy probléma $S_i(T)$ kiszámításával kapcsolatban. Vegyük észre, hogy az összeg akármilyen nagy lehetne, ha T_1 csökkenésével $C_i(T_1)$ nem csökkenne elég gyorsan. Valójában kis hőmérsékletekre $C_i(T_1)$ nagyjából T_1^3 -nel arányos, tehát nagyon kicsi. E miatt az abszolút nulla fokot nem tudjuk elérni, mert a közelében a fajhő nagyon kicsi, ezért igen kis beáramló hőmennyiség is jelentősen megemeli a hőmérsékletet, de már 10^{-7} K-nél jobban sikerült megközelíteni. Nem kérdőjelezi meg ez az egész gondolatmenetünket? Nem, mert elég csak megközelíteni az abszolút nulla fokot: ha T_1 elég kicsi, akkor $G(T_1)$ és $H(T_1)$ különbsége már nagyon kicsi.

A moláris entrópiákat tehát fajhőmérések alapján ki lehet számolni. A fajhőadatok és átalakulási hők ismeretében minden A_i anyagra az $S_i(T)$ moláris entrópiák és $H_i(T)$ moláris képződéshők kiszámíthatók. Hogy ne kelljen a nagyon kis hőmérsékletekhez tartozó

fajhőkkel bajlódni, célszerű a számolást a táblázatban rendszerint megtalálható $T = T^0$ (és $p = p^0$) normál értékekhez tartozó $S_i^0 = S_i(T^0)$ és $H_i^0 = H_i(T^0)$ normál entrópiáktól illetve normál képződéshőktől kezdeni. Az $S_i(T)$ és $H_i(T)$ értékekből adódik a reakció

$$S(T) = n_1 \cdot S_1(T) + n_2 \cdot S_2(T) + \dots + n_k \cdot S_k(T)$$

entrópiája és

$$H(T) = n_1 \cdot H_1(T) + n_2 \cdot H_2(T) + \dots + n_k \cdot H_k(T)$$

entalpiája, így a $G(T)$ szabad entalpia is. **

2.11.11. A Gibbs–Helmholz-egyenlet. ** Hogyan változik a reakció szabadentalpiája a hőmérséklettel? Az előző pont jelöléseit fogjuk használni. Megmutatjuk, hogy

$$\frac{\Delta G(T)}{\Delta T} \rightarrow -S(T), \quad \text{ha } \Delta T \rightarrow 0,$$

ahol $\Delta G(T) = G(T + \Delta T) - G(T)$; ez a *Gibbs–Helmholz-egyenlet*.

Mivel $G(T) = H(T) - TS(T)$, nyilván

$$\begin{aligned} \Delta G(T) &= G(T + \Delta T) - G(T) \\ &= H(T + \Delta T) - (T + \Delta T) \cdot S(T + \Delta T) - (H(T) - T \cdot S(T)) \\ &= \Delta H - ((T + \Delta T) \cdot S(T + \Delta T) - T \cdot S(T)). \end{aligned}$$

Vizsgáljuk először az utolsó, zárójelben álló különbséget. A $(T + \Delta T) \cdot S(T)$ mennyiséget hozzá is adva, meg le is vonva ez

$$(T + \Delta T) \cdot S(T + \Delta T) - (T + \Delta T) \cdot S(T) + (T + \Delta T) \cdot S(T) - T \cdot S(T).$$

Itt a második különbség nyilván $\Delta T \cdot S(T)$. Az első különbség $(T + \Delta T) \cdot \Delta S(T)$. Ha nincs halmazállapot változás (ezt feltesszük), akkor ΔS kicsi, hiszen ΔT , ΔG és ΔH kicsik. A $(T + \Delta T) \cdot \Delta S$ helyébe nyugodtan $T \cdot \Delta S$ -et írhatunk, hiszen a kettő különbsége $\Delta T \cdot \Delta S$ nagyon-nagyon kicsi: két kicsi mennyiség szorzata, így még azokhoz képest is elhanyagolható. Így nagyon jó közelítéssel

$$\Delta G(T) = \Delta H(T) - T \cdot \Delta S(T) - S(T) \cdot \Delta T.$$

A $\Delta S(T)$ mennyiség az $n_i \cdot \Delta S_i(T)$ mennyiségek összege. Viszont az $S_i(T)$ definíciója szerint $\Delta S_i(T) = S_i(T + \Delta T) - S_i(T) = C_i(T) \cdot \Delta T/T$, így $T \cdot \Delta S_i(T) = C_i(T) \cdot \Delta T$. Ez viszont nem más, mint $\Delta H_i(T)$, így $\Delta H(T) = T \cdot \Delta S(T)$, tehát ez a két tag kiejti egymást. Osztva ΔT -vel, kapjuk a bizonyítandó állítást.

A Gibbs–Helmholz-egyenlet megmagyarázza például, hogy az Ellingham-diagrammon, ahol $G(T)$ -t T függvényeként ábrázoljuk, miért változik meg a fémek olvadáspontjánál és főleg a forráspontjánál a görbe meredeksége. Ez a változás jól megfigyelhető például a MgO-hoz tartozó görbén. Ha nem következik be halmazállapot változás, akkor a fém és az oxidjának entrópia is csak lassan változik, és a reakcióentrópiában ráadásul a különbségük számít. (Azért lassan csak változik a reakcióentrópia másutt is, és az Ellingham-diagram egyenesei nem teljesen egyenesek.) Amikor a fém (vagy az oxid) megolvad, az entrópiája

hirtelen megváltozik, így a reakcióentrópia is, tehát a görbe meredeksége hirtelen megváltozik. Ugyanez a helyzet a forráspontnál. Figyeljük meg az PbO-hoz tartozó görbe irányváltásait a fém és az oxid olvadás- és forráspontjánál! **

2.11.12. Az entrópia, mint a rendezetlenség mértéke. Az entrópia valamilyen értelemben a „rendezetlenség mértéke”. Például két gáz összekeverésénél hőfelvétel vagy leadás nincs, mégis, a szabad entalpia csökken, tehát az entrópia nő. ** A van't Hoff-doboz segítségével azt is ki tudjuk számítani, hogy mennyit. Nézzünk egy számpéldát. Készítsünk „műlevegőt”, ami 0,21 mól oxigént és 0,79 mól nitrogént tartalmaz. Normál hőmérsékleten és nyomáson használjuk a van't Hoff-dobozt! Egy dugattyús hengerben van a „levegő”, a másikon keresztül az oxigént, a harmadikon keresztül a nitrogént vonjuk ki, persze 0,21 bar illetve 0,79 bar nyomáson, utána pedig mindkettőt 1 bar nyomásra sűrítjük. Az általunk végzett munka, mint már tudjuk,

$$-R \cdot T \cdot (0,79 \cdot \ln 0,79 + 0,21 \cdot \ln 0,21) \text{ mol},$$

tehát az entrópia-változás, amit okoztunk,

$$R \cdot (0,79 \cdot \ln 0,79 + 0,21 \cdot \ln 0,21) \approx -4,2733 \text{ J/K},$$

azaz az entrópia növekedés a keveréskor 4,2733 J/K volt. Ez 1,274 kJ/mol szabadentalpia csökkenésnek felel meg, ami nem sok a kémiai reakciók több száz kJ/mol entalpiájához képest. **

2.11.13. Ulich módszere. ** Bár elvileg megoldottuk azt a feladatot, hogy egy reakció szabadentalpiáját pusztán hőtani adatokból kiszámoljuk, a számolás elég bonyolult. Jó lenne valami egyszerűbb módszer, még ha közelítő is. Legyen

$$C(T) = n_1 \cdot C_1(T) + n_2 \cdot C_2(T) + \dots + n_k \cdot C_k(T).$$

Megmutatható, hogy ha $C(T)$ nem függ T -től, azaz egy C konstans, akkor akármilyen T -re és T_0 -ra

$$G(T) = H(T_0) - T \cdot S(T_0) - C \cdot T \cdot (\ln(T/T_0) + T_0/T - 1).$$

Más esetekben ezt a képletet fogjuk közelítésre használni, de C -t valamiféle átlaggal helyettesítjük. Legyen $C_{300} = C(300 \text{ K})$, $C_{450} = C(450 \text{ K})$, stb. és legyen $C_{300,600}$, a 300 K és 600 K közötti $C(T)$ értékek átlagának közelítése, stb., például

$$C_{300,600} = \frac{C_{300} + C_{450} + C_{600}}{3},$$

$$C_{600,1200} = \frac{C_{600} + C_{900} + C_{1200}}{3},$$

$$C_{1200,2400} = \frac{C_{1200} + C_{1500} + C_{1800} + C_{2100} + C_{2400}}{5}.$$

Végül legyen

$$C_{300,1200} = \frac{C_{300,600} + C_{600,1200}}{2}$$

és

$$C_{300,2400} = \frac{C_{300,600} + C_{600,1200} + C_{1200,2400}}{3}.$$

A közelítéshez 450 K-ig C helyére C_{300} -at, 450 K-tól 550 K-ig $(C_{300} + C_{300,600})/2$ -t, 550 K-tól 1100 K-ig $C_{300,600}$ -at, 1100 K-tól 1500 K-ig $(C_{300,600} + C_{300,1200})/2$ -t, 1500 K-tól 2600 K-ig $C_{300,1200}$ -at, 2600 K-tól 3400 K-ig $(C_{300,1200} + C_{300,2400})/2$ -t, és 3400 K-tól $C_{300,2400}$ -at helyettesítünk. Az átalakulási hőket is figyelembe kell venni. Ha az A_i anyag a $T_0 < T_i < T$ hőmérsékleten átalakul, az átalakulási hő Q_i , akkor $H(T_0)$ -hoz $n_i \cdot Q_i$ -t, $S(T_0)$ -hoz pedig $n_i \cdot Q_i/T_i$ -t hozzáadunk. Persze, rendszerint $T_0 = T^0$ -at választunk.

Nézzük, mennyire pontos ez a közelítés a vízgázreakcióra! Az $S_i(T^0)$ moláris entrópia értékét táblázatból is vehetjük, de kiszámolhatjuk a $(G_i(T^0) - H_i(0))/T$ és $H_i(T^0) - H_i(0)$ értékekből is. A vízgázreakció entalpiája illetve entrópiája T^0 -nál -41160 J illetve $-749/298,15 - 39,4 = -41,9$ J/K. Itt a vizet gázként vettük figyelembe. Ha folyadékként vesszük figyelembe, akkor a reakció entalpiája csökken, entrópiája nő, és a fajhő is megváltozik 100°C -ig, valamint 100°C felett az entrópia és entalpia értékeket helyesbíteniünk kell: a végeredmény ugyanaz. Így egyszerűbb számolni. A fajhőértékek néhány iparilag nagyon fontos anyagra cal/mol-ban:

T	300 K	450 K	600 K	900 K	1200 K	1500 K	1800 K	2400 K
C(s)	2,09	3,28	4,05	4,89	5,34	5,68	5,9	
CH ₄ (g)	8,55	10,42	12,54	16,22	18,89	20,74	21,97	
Cl ₂ (g)	8,7	8,50	8,66	8,81	8,87	8,91	8,92	
CO(g)	6,96	7,05	7,28	7,79	8,17	8,42	8,59	8,79
CO ₂ (g)	8,91	10,32	11,32	12,69	13,50	14,00	14,13	
H ₂ (g)	6,90	6,99	7,01	7,14	7,41	7,72	8,01	8,47
H ₂ O(g)	8,00	8,26	8,64	9,50	10,38	11,15	11,76	12,59
HCl(g)	6,96	7,00	7,07	7,41	7,78	8,06	8,28	
N ₂ (g)	6,96	7,02	7,20	7,68	8,07	8,33	8,52	8,74
NH ₃ (g)	8,50	9,67	10,66	12,71	14,5			
O ₂ (g)	7,2	7,31	7,68	8,22	8,53	8,74	8,92	9,26

Összegezve a reakcióra:

T	300 K	450 K	600 K	900 K	1200 K	1500 K	1800 K	2400 K
reakció	0,85	2,00	2,41	2,99	2,36	2,15	1,79	

Innen $C_{300,600} = 1,75$, $C_{600,1200} = 2,50$, $C_{300,1200} = 2,13$. Átszámolva J-ra és behelyettesítve az egyenletbe

T	600 K	800 K	1000 K	1200 K	1400 K	1750 K	2000 K
ln K szám.	3,31	1,47	0,36	-0,22	-0,68	-1,20	-1,44
ln K mért	3,29	1,40	0,33	-0,34	-0,79	-1,29	-1,52
x	0,84	0,67	0,54	0,46	0,40	0,34	0,32

2.11.14. A tömeghatás törvénye és a van't Hoff-egyenlet. Foglaljuk össze eredményeinket azoknak is, akik nem követték a fenti nem egyszerű gondolatmeneteket. Ha van egy kémiai reakciónk, írjuk a reakciót

$$0 = n_1 \cdot A_1 + n_2 \cdot A_2 + \dots + n_k \cdot A_k$$

alakban, azaz mindent a jobb oldalra rendezve. Az A_i anyagból, ha n_i mól keletkezik, akkor $n_i \cdot A_i$ szerepel a jobb oldalon, a reakcióegyenlet jobb oldalán. A kiindulási anyagokra vonatkozó tagokat viszont átvittük a bal oldalról a jobb oldalra, így ha A_i egy kiindulási anyag, akkor a jobb oldalon a megfelelő n_i negatív. Ha akár gázreakciónál, akár oldatreakciónál egyensúly áll be, és c_i jelöli az A_i anyag M-ben mért koncentrációját, akkor

$$c_1^{n_1} \cdot c_2^{n_2} \cdots c_k^{n_k} = K_c,$$

egy állandó, amely nem függ a nyomástól, ha az nem túl nagy, de függ a hőmérséklettől. A K_c konstansnál a c betű azt jelenti, hogy a koncentrációkra vonatkozik. A keletkező anyagok koncentrációjának kitevője pozitív, azok a számlálóba kerülnek, a kiindulási anyagok koncentrációjának kitevője viszont negatív, ami annak felel meg, hogy ezek a nevezőbe kerülnek. Ez a *tömeghatás törvénye*, a kémia egyik alaptörvénye. Kifejezhető a móltörttekkel is: ha x_i az A_i anyag móltörtje (azaz A_i móljainak száma osztva az összes mólok számával), akkor

$$x_1^{n_1} \cdot x_2^{n_2} \cdots x_k^{n_k} = K_x$$

állandó, ez azonban gázreakciónál függ a nyomástól is. Végül gázreakciónál egy harmadik alak: a parciális nyomásokra

$$p_1^{n_1} \cdot p_2^{n_2} \cdots p_k^{n_k} = K_p,$$

ahol a K_p állandó nem túl nagy nyomásokra nem függ a nyomástól.

Az egyensúlyi állandó kiszámítható a reakció szabadentalpiájából, ami viszont a szereplő anyagok keletkezési szabadentalpiájából számítható:

$$G(T, p) = n_1 \cdot G_1(T, p) + n_2 \cdot G_2(T, p) + \cdots + n_k \cdot G_k(T, p).$$

A keletkezési szabadentalpiákat megmérték és összegyűjtötték.

Legyen n az (előjeles) n_i -k összege, a mólszámváltozás. Gázreakciókra levezettük, hogy

$$G(T, p) = -R \cdot T \ln(K_c(T) \cdot V^n),$$

ahol $V = R \cdot T/p$, az egy móltra jutó térfogat. Oldatoknál a vegyészek egy kis trükkkel élnek. A keletkezési szabadentalpiákat vizes oldatokra is táblázatba gyűjtötték. (Ezekhez oda van írva, hogy (aq), ami a vizet jelentő aqua latin szó rövidítése. Némely könyv odairja, hogy szilárd, folyékony vagy gáznemű anyagról van szó, a latin rövidítéssel: (s), (l) illetve (g).) A trükk az, hogy a kellemetlen egy móltra eső térfogatot, (ami vizes oldatoknál úgymint alig függ a nyomástól és a hőmérséklettől, mivel a folyadékok hőtágulása és összenyomhatósága kicsi), beleolvasztották a keletkezési szabadentalpiákba. Így a képlet egyszerűbb lesz:

$$G(T, p) = -R \cdot T \ln K_c(T),$$

de nem szabad elfelejtenünk, hogy $K_c(T)$ a M=mol/l-ben vett koncentrációk szorzata. Mit mond nekünk ez a képlet? Ha a szabadentalpia nagy pozitív érték, $K_c(T)$ -nek nagyon kicsinek kell lenni, a reakció alig megy végbe, esetleg nem is vesszük észre. Ha a szabadentalpia nagy negatív érték, a reakció gyakorlatilag teljesen végbemegy.

Kérdés még, hogy az egyensúlyi állandó hogy függ a hőmérséklettől? Az teljesül, hogy

$$\frac{\Delta K}{\Delta T} \rightarrow \frac{K(T)}{T} \cdot \frac{H(T)}{\mathbf{R} \cdot T}, \quad \text{ha } \Delta T \rightarrow 0.$$

Ez a *van't Hoff-egyenlet*. Az egyenlet lényegében megegyezik a gőznyomásra kapott Clapeyron-egyenlettel, és a Le Châtelier-elv mennyiségi kifejezése a hőmérsékletváltozásra: ha a reakció endoterm, a $H(T)$ reakcióentalpia pozitív, akkor a hőmérséklet növelése az egyensúlyt jobbra tolja el, csökkentve a hőmérséklet növekedését, ha exoterm, akkor viszont balra, így csökkentve a hőmérséklet növekedését. Ez az egyenlet érvényes gázreakciókra is $K = K_p$ -re és $K = K_x$ -re és folyadékreakciókra is $K = K_c$ -re. A differenciál- és integrálszámítás ismeretében megmutatható, hogy a van't Hoff-egyenlet azt jelenti, hogy ha H nem függ T -től, akkor $\ln K$ -t ábrázolva $1/T$ függvényeként, egyenest kapunk, aminek meredeksége $-H/\mathbf{R}$, ha függ, akkor pedig olyan görbét, aminél az érintő meredeksége az $1/T$ pontban $-H(T)/\mathbf{R}$.

** A gázegyensúlyok vizsgálatánál kapott összefüggéseket fogjuk használni. A nyomást most is rögzítjük. Először K_x -szel foglalkozunk. Bár K_x függ a nyomástól, az most rögzített, így a tőle való függést nem írjuk ki. A $G(T) = -\mathbf{R} \cdot T \cdot \ln K_x(T)$ összefüggésből $\mathbf{R} \cdot \ln K_x(T) = -G(T)/T$. Először képezzük a jobb oldali kifejezés differenciáját osztva ΔT -vel:

$$\begin{aligned} \Delta \left(-\frac{G(T)}{T} \right) / \Delta T &= \frac{G(T)}{T \cdot \Delta T} - \frac{G(T + \Delta T)}{(T + \Delta T) \cdot \Delta T} \\ &= \frac{(T + \Delta T) \cdot (G(T) - T \cdot G(T + \Delta T)) / \Delta T}{T \cdot (T + \Delta T)} \\ &= \frac{-T \cdot (\Delta G(T) / \Delta T) + G(T)}{T \cdot (T + \Delta T)} \\ &\rightarrow \frac{T \cdot S(T) + G(T)}{T^2} = \frac{H(T)}{T^2}. \end{aligned}$$

Most képezzük $\ln K_x(T)$ differenciáját:

$$\begin{aligned} \Delta \ln K_x(T) &= \ln K_x(T + \Delta T) - \ln K_x(T) \\ &= \ln \frac{K_x(T + \Delta T)}{K_x(T)} = \ln \left(1 + \frac{\Delta K_x(T)}{K_x(T)} \right) = \frac{\Delta K_x(T)}{K_x(T)}, \end{aligned}$$

az utolsó egyenlőség azért áll fenn jó közelítéssel, mert $\Delta K_x(T)/K_x(T)$ kicsi, ha ΔT kicsi. Osztvá ΔT -vel, végül is azt kapjuk, hogy

$$\frac{\Delta K_x(T)}{\Delta T} \rightarrow \frac{K_x(T)}{T} \cdot \frac{H(T)}{\mathbf{R} \cdot T}, \quad \text{ha } \Delta T \rightarrow 0.$$

Mivel $K_p(T) = K_x(T) \cdot p^n$,

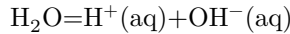
$$\frac{\Delta K_p(T)}{K_p(T)} = \frac{\Delta K_x(T)}{K_x(T)},$$

amiből azt kapjuk, hogy a van't Hoff-egyenlet K_p -re is teljesül. Végül oldatokra a van't Hoff-egyenletet K_c -re ugyanazzal a gondolatmenettel kaphatjuk meg, mint amivel gázokra

megkaptuk K_x -re. (Gázoknál K_c -re nem teljesül, mivel az egy móltra eső V térfogat erősen függ T -től.)

Még egy nehézséget kell megemlítenünk. Ionoldatokra nem lehet közvetlenül megmérni a keletkezési szabadentalpia értékét. Ha például a H^+ ionra megpróbálnánk, iszonyú sok munkát kellene befektetnünk, mire bármilyen mérhető H^+ -koncentrációt elérnénk, mert az elektromosan feltöltött oldat az újabb ionokat nagyon taszítaná. Pozitív ionokkal együtt mindig ugyanannyi töltésű negatív iont is kell bevinnünk az oldatba. Ezt a nehézséget úgy hidalták át, hogy a H^+ ionok oldatának keletkezési szabadentalpiáját önkényesen nullának választották. **

Nézzünk egy példát. Határozzuk meg a szabadentalpiákból a tiszta vízben a H^+ és OH^- ionok koncentrációját $18^\circ C$ -on, ahol $0,78 \cdot 10^{-7}$ M-nek mérték. A



reakció szabadentalpiája $25^\circ C$ -on (táblázatból) $0 - 157,24 + 237,13 = 79,89$ kJ, ahonnan $\ln K_c = -32,227$, azaz $K_c = 1,009 \cdot 10^{-14}$ M². A $H^\theta(T^\theta)$ reakcióentalpia (táblázatból) $0 - 229,99 + 285,83 = 55,84$ kJ. Az egyik lehetőség, hogy a van't Hoff-egyenlettel számolunk tovább, mondjuk 1 K-enként változtatva a hőmérsékletet. A másik, hogy az $\ln K_c$ -t az $1/T$ függvényeként ábrázoló görbét egyenessel közelítjük, aminek meredeksége $-H^\theta(T^\theta)/R$. Innen

$$\frac{\ln K_c(T) - \ln K_c(T^\theta)}{1/T - 1/T^\theta} \approx \frac{-H^\theta(T^\theta)}{R},$$

azaz

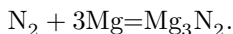
$$\ln K_c(T) = \ln K_c(T^\theta) - \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T^\theta} \right) \cdot \frac{H^\theta(T^\theta)}{R}.$$

Behelyettesítve $K_c(T) = 5,872 \cdot 10^{-15}$ M². Mivel ez a hidrogén és hidroxil ionok (egyenlő) koncentrációinak szorzata, az $0,7662 \cdot 10^{-7}$ M, jó egyezésben a méréssel.

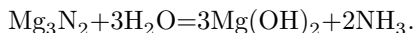
2.12 Egy szagos gáz

2.12.1 Kísérlet. A levegő nagy része, 78% -a nitrogén. A sűrűsége alapján móltömege ≈ 28 g. A nitrogén vegyjele N, és három vagy öt vegyértékű lehet. A levegőben kétatomos gázként, N₂ molekulákként fordul elő (lásd az 1.2.6 ábrát). A két atomot hármaskötés kapcsolja össze nagyon erősen. Ezt a kötést igen nehéz felbontani, de a legaktívabb fémek, például a Li és a Mg, esetleg az Al képesek erre. Nekünk legkényelmesebb lesz magnéziumot használni. Egy 4–5 cm alsó átmérőjű vas vagy rozsdamentes acél tégelybe tegyünk 5–10 g magnéziumot, például egy ceruzahegvezt. Szabadban, tűzbiztos helyen tegyük megdöntve egy téglára vagy cserépre, és felülről fúvólánggal izzítsuk fel. Izzítsuk egy 1–2 percig: megolvad, és ha elveszük a lángot, rendkívül fényes, vakító lánggal ég. Ha elégett és már nem izzik, de még forró, cseppentsünk rá pár csepp vizet, és szagoljuk meg óvatosan. A megszagolás MINDIG úgy történik, hogy magunk felé legyezzük a levegőt. Ha nem érzünk semmit, akkor bátrabban is megszagolhatjuk a dolgot, de soha ne szívjuk be a tüdönkbe a gázt vagy gőzt, csak az orrunkba egy keveset. Orrfacsaró állászatot érzünk. A magnézium ugyanis az oxigénnel is, a nitrogénnel is reagál, de az oxigénnel könnyebben. Ha van bőven levegő, akkor minden magnézium az oxigénnel

reagál, így viszont a tégely aljában lévő magnézium egy része reagál az oxigénnel, és a többinek már csak nitrogén jut. A fehér magnézium-oxid mellett világos sárgászöld színű *magnézium-nitridet* is láthatunk, és a hamu részben szürke. A nitrogénnel a reakció a következő volt:



Amikor megnedvesítjük a nitridet KEVÉS vízzel, elbomlik:



Az orrfacsaró istállószag az ammónia gáz, NH_3 szaga. Megmérve a sűrűségét, azt találták, hogy a móltömege 17 g/mol. Ez is alátámasztja a megadott összetételt. □

2.12.2 Kísérlet. A maradékra öntsünk annyi vizet, hogy teljesen átnedvesedjen, majd hagyjuk megszáradni, és később vizsgáljuk meg. Kis részét megnedvesítve, indikátorral lúgosnak bizonyul. A magnézium is alkáli földfém, és vízzel lúgot képez: $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Mg}(\text{OH})_2$. A magnézium-hidroxid ugyan nagyon rosszul oldódik vízben, de annyi feloldódik, hogy fenoltaleinnel kimutathatóan lúgossá tegye. A többi maradékot öntsük le jó erős ecettel. Pezsgéssel oldódik. A képződő gáz szén-dioxid, a levegő szén-dioxidjával képződött magnézium-karbonátból, MgCO_3 , keletkezik. A reakció megfelel az oltott mész hasonló reakciójának. Ha az ecet feleslegben van, ha kell, felfőzve az oldatot, fekete szén marad vissza. Ez úgy keletkezett, hogy a gázegő lángjában képződő szén-dioxidot a Mg redukálta: $2\text{Mg} + \text{CO}_2 = 2\text{MgO} + \text{C}$. □

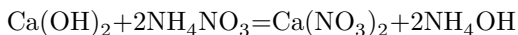
2.12.3 Kísérlet. Egy kémcsőbe oldjunk fel ammónsalétromot vízben, és tegyünk bele egy kevés oltott meszet. Az oltott mész rosszul oldódik vízben, most mégis egy-kettőre eltűnik, és az ammónia orrfacsaró szagát érezzük. Kémiai reakció történt, az oltott mész felszabadította az ammónia gázt, és maga lépett a helyére. Buborékolást azonban nem látunk: az ammónia gáz nagyon jól oldódik vízben, 20 °C-on 1 l vízben 700 l ammónia bír feloldódni. Az ammónia mérgező! Szerencsére a szaga olyan erős, hogy feltétlenül észrevesszük. Oltott mészből 0,5 g nagyjából 250 ml (175 mg) ammóniát fejleszt. Ha ennyi ammónia van 1 m³ levegőben, az még 1/2–1 óráig nem ártalmas, de ennek a tízszerese már 1/2 óra alatt életveszélyes! Munkahelyen 50 ‰ ‰ a megengedett maximális koncentráció. Ennyi biztosan, de akár a tizedét is észrevesszük. □

2.12.4 Kísérlet. Csináljuk meg az előző kísérletet másként! NYITOTT ABLAKNÁL DOLGOZZUNK! Tegyünk egy kémcsőbe 2 g oltott meszet és kétszer annyi tömegű ammónsalétromot. Öntsünk rá pár csepp vizet. Dugjuk be egyfuratú dugóval, amin egy rövid üvegcső van átdugva. Kicsit melegítve, vagy már anélkül is érezzük az üvegcsővön kiáramló ammónia szagát. A gázt vezessük lángba: nem gyullad meg, de zöldes-sárga láng keletkezik (oxigénben ég). Folytassuk a következő kísérlettel. □

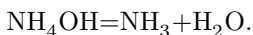
2.12.5 Kísérlet. Tartsunk az üvegcső nyílása elé megnedvesített indikátorpapírt: lúgot jelez. Mivel a gáz könnyebb, mint a levegő, tartsunk az üvegcső fölé lefelé fordított szájú kémcsövet, és a bedugott kémcsövet kicsit melegítsük. Ha már úgy gondoljuk, hogy a gázfelfogó kémcső megtelt a gázzal, mártsuk szájával lefelé vizes tálba: a víz elég gyorsan felemelkedik a kémcsőben, különösen, ha egy kicsit rázogatójuk: az ammónia mohón oldódik vízben, de az oldata könnyebb, mint a víz, ezért kell rázogatóni. (A gyors oldódást egyébként a következő kísérlet nagyon látványosan mutatja; érdemes azt is előkészíteni és

ezzel együtt elvégezni. A 2 g oltott mész által fejlesztett 1 l ammónia arra is elég lesz.) Ha a víz már nem emelkedik tovább, fogjuk be a kémcsövet az ujjunkkal, és vegyük ki a vízből. Indikátorral megvizsgálva az oldatot, látjuk, hogy lúgos. Forraljuk rövid ideig. Újra megvizsgálva már nem lúgos: az ammónia kiforralható a vízből.

Ami történt, a következő egyenletekkel szokás leírni:



és



Úgy foghatjuk fel a dolgot, hogy az oltott mész, ami elég erős lúg, az NH_4OH összetételű ammónium-hidroxidot, ami gyengébb lúg, kiszorítja a vegyületéből, és az aztán elbomlik ammóniára és vízre. A maradék Ca^{2+} és NO_3^- ionok úgynevezett *mészsalétromot* adnak. A vizes indikátorpapíron az ammónia újra egyesül a vízzel ammónium-hidroxiddá, és ez adja a lúgos kémhatást. A valóságban kicsit másként történnek a dolgok, ammónium-hidroxid molekulákat nem sikerült kimutatni. A vízben oldódó ammónia részben egyesül a vízben jelen lévő hidrogén ionokkal ammónium, NH_4^+ kationokká, és ott maradnak az OH^- hidroxil ionok, ez adja a lúgos kémhatást. □

2.12.6 Kísérlet. Az ammónia mohó oldódását vízben látványosan mutathatjuk be, ha egy gömblombikba jól záró egyfuratú dugót teszünk, abba üvegcsvét, aminek a belső végét vékonyra kihúzzuk. A gömblombikot a gázfejlesztő kémcső felett, szájával lefelé fordítva megtöltjük ammóniagázzal, bedugjuk, és egy drótból készült állványra állítjuk egy vizes tálba. Az üvegcsőben lassan emelkedni kezd a víz. Ha túl lassan emelkedik, melegítjük meg a kezünkkel a gömblombikot. Lehűléskor a víz felszívódik az üvegcsőben. Amint az első csepp bejut a lombikba, nagyon sok gázt elnyel, és a víz szökőkútként spriccel be a lombikba. Ezt még látványosabbá tehetjük, ha a tál vizébe pár csepp fenoltaleint teszünk: ekkor a tálban a víz színtelen, a szökőkút piros. A tálba vöröskáposzta indikátort is tehetünk, és ha kell, a vizet pár csepp ecettel megsavanyítjuk. Ekkor a tálban a víz vörös, a szökőkút kék. □

2.12.7 Kísérlet. Bármilyen más ammóniavegyületből is fejleszthetünk ammóniát oltott mésszel, például szalalkáliából vagy szalmiáksóból. Ammónia tartalmú nagyon sok kevert műtrágya, cserepes növények tápsó oldata, stb. Lúgnak is vehetünk más erős lúgot, például nátronlúgot vagy kállilúgot is. Keverjük össze a vizsgálandó anyagot egy óraüvegen a lúggal és szagoljuk meg: ha van az anyagban ammónia, érezni fogjuk a szagát. Nem kell feltétlenül a szaglásunkra hagyatkozni: borítsuk le az anyagot az óraüvegen egy tölcsérkével, aminek a szárába egy kis vattapamatot gyömöszöltünk. A tölcsérke végére tegyünk egy nedves indikátorpapírt. Melegítsük az óraüveget gőzfürdőn, például egy főzőpohárban lévő víz felett. Ha fejlődik ammónia, a papír lúgot jelez. A vattapamat azért kell, hogy az esetleg felfröcskölő lúgcseppeket visszatartsa. Ha oldatban akarunk ammóniát kimutatni, az oldatot egy főzőpohárban meglúgosítjuk, és a poharat lefedjük egy olyan óraüveggel, amelynek alsó és felső oldalára is keresztben egy megnedvesített indikátorpapír csíkot tapasztottunk. A melegítéskor fellépő színkülönbséget könnyű észrevenni. Ha az alsó papír pettyes lesz, azt a felfröcskölő lúg okozza. □

2.12.8 Kísérlet. Az ammónia vizes oldatát *szalmiákszesznek* nevezik. A név onnan ered, hogy hozzá az ammóniát *szalmiáksóból* állították elő, amivel majd később foglalkozunk.

Szalmiákszeszből is állíthatunk elő ammóniát: egyszerűen melegíteni kell. Ha forrásig melegítjük, minden ammónia eltávozik. Legjobb persze minél töményebb szalmiákszeszt használni.

Mivel a szalmiákszesz fontos vegyszer, legjobb, ha veszünk. A legtöményebb, amit kapni lehet, 25 % ammóniát tartalmaz. Legjobb, ha ilyet veszünk. Készítsünk belőle 2 M-os (2,8%-os) oldatot. Legjobb PE vagy PP palackban eltartani, mert az üveget lassanként megmarja. Háztartási boltban is kapni 5%-os szalmiákszeszt. Ezt is fehéíthetjük desztillált vízzel, de akár eredeti állapotában is jó lesz.

Ha nem jutunk szalmiákszeszhez, magunk is készíthetünk. Desztillált vizet forraljunk ki, hogy a szén-dioxid teljesen eltávozzék. Mintegy 0,4 kg kiforralt desztillált víz egy részéből készítsünk jégkockát, a többit is hűtsük le hűtőszekrényben, és tegyük egy PE vagy PP tálba. Készítsünk elő 1/2 kg oltott meszet, egy másik tálba pedig 0,8 kg ammonsalétromot. Péti só is jó, ebből annyit vegyünk, amennyi megfelel 0,8 kg ammonsalétromnak. Magát az előállítást FELTÉTLENÜL SZABADBAN végezzük! Az ammóniát egy lombikban vagy palackban fejlesztjük, az elnyeletést pedig elnyeletőharanggal végezzük.

Egyszerűbb az *izoterm desztilláció*. Az izoterm szó „állandó hőmérsékleten valót” jelent. „Gázkamrának” az exszikkátorunkat fogjuk használni. Felülre jön a kiforralt és jól lehűtött víz, alulra pedig a gyorsan elkevert ammonsalétrom és oltott mész. Vigyázzunk, hogy ne szívjuk be az ammóniát! Öntsünk a keverékre egy kevés vizet, majd fedjük le az egészet. Hagyjuk nyugodtan állni pár napig. Az ammónia melegítés nélkül is elpárolog az oldatból. A fejlődő ammóniát elnyeli a jeges víz. Nagyjából 25 %-os NH_3 -oldat keletkezik. A visszamaradó folyadék mészsalétrom oldata. Szabadban forraljuk fel, hogy minden ammónia eltávozzon. Ha nem erősen lúgos, akkor adjunk hozzá még oltott meszet, és újra forraljuk, amíg nincs ammóniaszaga. Hígítsuk fel duplájára, hagyjuk leülepedni, és a tisztáját öntsük le vagy szűrjük. Hosszabban fűjjünk bele. A maradék oltott mész karbonáttá, részben hidrogénkarbonáttá alakul. Forraljuk fel újra, hogy a hidrogénkarbonát elbomoljon. A tiszta mészsalétromot vízfürdön bepárolva 78 %-ig töményíthetjük. (Nagyon jól oldódik vízben.) Hígítsuk fel 66 %-osra. Ez 40 °C-on telített oldat. Amennyire csak lehet lehűtve kristályosíthatjuk. Az eutektikus hőmérséklet -28 °C, itt az oldat 42,7 %-os. Tetrahidrátá válik ki. Átkristályosítani 0,4 ml/g vízből lehetséges.

Az izoterm desztillációhoz „gázkamrának” egy — vagy ha vékony, több egymásba húzott — lehetőleg átlátszó szemetes zsákot, légmentesen záró PE zsákot is használhatunk. Így nagyobb mennyiségű szalmiákszeszt is készíthetünk. Tegyük be legfelülre a jeges vizet, benne egy üvegbottal vagy műanyag pálcával. Az ammonsalétromos tálba is tegyünk egy keverőpalcát, öntsünk bele egy kevés vizet, tegyük be a zsákba, és tegyük a közelébe az oltott meszes tálát is. Nagyjából nyomkodjuk ki a levegőt a zsákból. Kössük be szorosán a zsák száját, és próbáljuk ki, hogy nem ereszt, és hogy a zsákon keresztül tudjuk használni a keverőket. A zsákon keresztül fogva a tálát öntsünk egy adag oltott meszet az ammonsalétromhoz. A fejlődő ammónia elnyelődik a jeges vízben. Időnként keverjük meg a keletkező szalmiákszeszt — főleg, ha felfúvódik a zsák —, mert a töményebb oldat könnyebb, és felül marad, ha nem keverjük. Adagoljuk fokozatosan az oltott meszet az ammonsalétromhoz, mindig megkeverve. Ha már apránként mindet beadagoltuk, hagyjuk az egész berendezést állni mondjuk egy napig. Ha kilyukadna a zsák, hagyjuk ott az egészet egy napra. Utána kibonthatjuk, de óvatosan, ne szívjuk be az ammóniát. □

2.12.9 Kísérlet. Ha már van szalmiákszeszünk, felhasználhatjuk egy tréfás kísérletre. Adjunk egy pár ml-hez egy kevés fenolftalein oldatot. Az így kapott „piros tintával”

bátran aláírhatunk bármit: amikor a tinta megszárad, az ammónia elpárolog és az aláírás eltűnik. □

2.12.10 Kísérlet. Van egy ammóniavegyület, ami élelmiszerboltban is kapható: a szalalkáli vagy szarvasagancs-só. A furcsa név onnan származik, hogy régen szarvasagancsok száraz lepárlásával állították elő. Ez főleg *ammónium-hidrogén-karbonátból*, NH_4HCO_3 áll, de van benne *ammónium-karbonát*, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ is és némi *ammónium-karbamát*, $\text{NH}_4\text{COONH}_2$ is. Az utóbbi vegyület úgy áll elő, hogy az ammónium-karbonát egy molekula vizet veszít. Ez a folyamat megfordítható, de lassan játszódik le. A szalalkálit sütőpornak használják: melegítve maradéktalanul elbomlik ammóniára, vízre és szén-dioxidra, már $60\text{ }^\circ\text{C}$ -tól. A keletkező gázok felfújják a tésztát.

Ha magunk akarunk szalalkálit előállítani, eljárhatunk úgy, hogy ammónia oldatba szén-dioxidot vezetünk, amit például márványból vagy mészkőből ecettel állítunk elő. Nem árt vízen átvezetni, hogy tisztább legyen. Az elnyeletést elnyeletóharanggal végezzük. Jobb lassan fejlődő szén-dioxidot használni, mert a szén-dioxid reakciója elég lassú. Ha az ammóniaoldat elég tömény, ki is válik az ammónium-hidrogén-karbonát, mert csak körülbelül ötszörös mennyiségű vízben oldódik.

A következő kísérletben egy másik módszert is leírunk. □

2.12.11 Kísérlet. Ha a szalalkálit két óra hosszáig tömény szalmiákszesszel leöntve tartunk néha megkeverve, idegen szóval szalmiákszesszel *digerálunk*, akkor átalakul ammónium-karbonáttá. Ez sokkal jobban oldódik vízben, kb. kétszeres súlyú vízben feloldódik. Hívják *repülőősnak* is, mivel melegítve ez is elbomlik, sőt, már levegőn kitergetve is ammóniát veszít, és szalalkálivá alakul. Erősen ammóniaszagú.

Ha nagyobb mennyiségű ammónium-karbonátot akarunk előállítani, SZABADBAN lombikba (vagy akár egy üvegbe) tegyünk ammonsalétromot, oldjuk fel ugyanannyi vízben, és adjunk hozzá minden 160 g ammonsalétromra számítva 106 g vízmentes szódatát. A lombikot bedugva egy egyfuratú dugóval, amin rövid üvegcső vezet át, egy műanyag csővel vezessük a keletkező gázokat elnyeletóharangba. Nem árt cseppfogót használni. A harang merüljön egy PE vagy PP edénybe, amelybe másfélszer annyi jeges desztillált vizet tettünk, mint amennyi ammonsalétromot használunk. Ezt a szedőedényt hűtsük olvadó jéggel. Már az összeállításnál érezzük az ammónia szagát: az ammonsalétromból származó NH_4^+ és a szódából származó CO_3^{2-} ionok ammónium-karbonátot adnak, amely könnyen veszít ammóniát. Melegítsük a lombikot lassan vízfürdőben. Az ammónium-karbonát elbomlik, a keletkező ammónia és szén-dioxid átmennek a szedőedénybe, és ott a hideg vízzel ammónium-karbonátot adnak. A keletkező söt nemigen tudjuk kikristályosítani: ha újságpapírral letakarva SZABADBAN hagyjuk beszáradni, ammóniát veszít, és szalalkáli válik ki. Inkább oldatként tudjuk tárolni, jól záró PE vagy PP palackban.

Foglalkozunk most a lombikban maradt oldattal: ebben Na^+ és NO_3^- ionok maradtak, amelyek együtt NaNO_3 összetételű *nátronsalétromot* adnak. SZABADBAN forraljuk az oldatot, amíg már nincs ammóniaszaga. Vizsgáljuk meg, hogy lúgos-e? Ha nem, még maradt benne ammonsalétrom: adjunk hozzá némi szódatát és újra forraljuk. Ha már lúgos, akkor fújjunk bele hosszabb ideig levegőt, és ha kell, szűrjük le. Kristályosítsuk ki: kristálykiválásig bepároljuk és $0\text{ }^\circ\text{C}$ -ra hűtjük. Átkristályosítani $0,6\text{ ml/g}$ forró vízből $0\text{ }^\circ\text{C}$ -ra hűtve lehet. Ha csak a nátronsalétrom előállítása a cél, szabadban összekeverjük a szódatát az ammonsalétrommal, és felforraljuk. □

2.12.12 Kísérlet. Az ammónium-karbonát fontos vegyszer, 1 M koncentrációjú olda-

tot tartunk belőle. Ez az oldat legegyszerűbben úgy készülhet, hogy 1,7 g ammóniát tartalmazó oldatban feloldunk 8 g szarvasagancs-sót, és vízzel 100 g-ra egészítjük ki. □

2.12.13 Kísérlet. Ha valamilyen sav ammóniumsóját akarjuk előállítani a savból, könnyű dolgunk van. A felhígított savba szalmiákszeszt adagolunk, vagy a szalmiákszeszbe adagoljuk apránként a savat. A végén a keverék lúgos legyen. Fújjunk bele egy darabig levegőt. (Hogy ez miért jó, később magyarázzuk meg.) Ha kell, szűrjük meg, ha zavaros, szénrel derítsük, és kristályosítjuk ki a sót. Ha kell, kristályosítsuk át. Példaként az ammónium-oxalát készítését írjuk le. Vigyázat, az oxálsav és sói MÉRGEZŐEK, óvatosan bánjunk velük, nehogy a szervezetünkbe jussanak! Az ammónium-oxalát 1 g-ja hidegen 20 ml, melegen 50 °C-on 10 ml vízben oldódik. Ennél jobban ne melegítsük fel. Számítsuk ki, hogy adott mennyiségű oxálsavhoz mennyi szalmiákszesz kell. A számítás a következő: 1 mol oxálsavhoz 2 mol NH₃ kell. A szilárd oxálsav dihidrát, (COOH)₂ · 2H₂O, amiből 1 mol = 126 g, tehát 1 g = 1/126 mol. Ehhez 2/126 = 1/63 mol NH₃ kell. Mivel ammóniából 1 mol = 17 g, 17/63 ≈ 0,27 g NH₃ kell. Ha 5%-os oldatunk van, akkor 20-szor ennyi oldat, 5,4 g kell. Ha mondjuk 20 g kristályos oxálsavból indulunk ki, akkor 108 g oldat kell, de valamivel többet vegyünk. Keletkezik 20/126 mol (COONH₄)₂, ami 20 · 124/126 ≈ 20 g, az oldathoz tehát annyi vizet adunk, hogy 220 g legyen. 50 °C-on szűrjük, ha kell, derítjük, és kristályosítjuk. □

2.12.14 Kísérlet. Nem egyszerű, de megpróbálkozhatunk az ammónia hőbontásával is. Egy nagyobb átmérőjű üvegcső egyik végét húzzuk ki hosszabban, de ne túl vékonyra. Két szigetelt drótot dugunk át a kihúzott végen. Amikor a másik végén kibukkannak, egy acélgyapotból ceruzára tekert acélspirált szerelünk a két drótvég közé. A szigetelést le kell szedni egy darabon, és az egyik vastag dróton üvekapillárisal helyettesíteni. Ezután a spirált visszahúzzuk az üvegcsőbe, amibe ammóniát vezetünk. A cső kihúzott végét picit merítsük vízbe. Ha már nem látunk buborékokat, azaz az ammónia tiszta, árammal izzítsuk fel a vékony vasdrótot. NEM ELŐBB, MERT A LEVEGŐVEL KEVERT HIDROGÉN FELROBBAN! Újra buborékok jelennek meg: az ammónia elbomlik hidrogénre és nitrogénre. A gázkeveréket fel is foghatjuk víz felett. Ugyanúgy megújíthatjuk, mint a hidrogént. Pontosabb kísérletek mutatnák, hogy csak 3/4-e ég el. A többi nitrogén. □

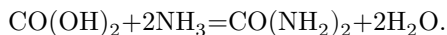
Fontos, hogy ez a reakció egyensúlyra vezet: az ammónia egy része megmarad. Annál több marad meg, minél alacsonyabb a hőmérséklet, és megfordítva, hidrogénből és nitrogénből annál több ammónia keletkezik, minél alacsonyabb a hőmérséklet. Ez a Le Châtelier-elvből következik, mert az egyesülés exoterm. Igen ám, de ha alacsony a hőmérséklet, az átalakulás mérhetetlenül lassú. A vas katalizálja az átalakulást. Az iparban így gyártják az ammóniát. Hogy minél több ammónia keletkezzen, igen nagy nyomást és mérsékelt hőmérsékletet használnak: 450–500 °C-on és 200 bar nyomáson már gyorsan kb. 20% ammónia keletkezik. (A nyomás azért kedvez a folyamatnak, mert az egyesülés térfogatcsökkenéssel jár.) A gázkeveréket lehűtik: az ammónia cseppfolyósodik. Ezt elválasztják, és a maradék gázkeveréket újra visszavezetik a katalizátorra. Ez a *Haber-Bosch-szintézis*. A szükséges hidrogént például földgázból nyerik:



Ha a szükséges oxigén egy része helyett levegőt használnak, mindjárt nitrogén-hidrogén keveréket kapnak.

2.12.15 Kísérlet. Sok szerves anyag is tartalmaz ammóniát, pontosabban valamilyen vegyületét. Kémcsőben kevés túró, darált húst, tojásfehérjét, aprított bőrt, körmöt vagy lisztet keverjünk össze vagy tízszer annyi nátronnámmal és hevítsük. Ammóniaszag érezhető. Ezek az anyagok *fehérjéket* tartalmaznak. A fehérjék *aminosavakból* állnak. Az *aminok* olyan szerves vegyületek, amelyekben az ammónia egyik hidrogénjét egy szerves csoport helyettesíti; az aminosavaknál ez egy szerves sav, aminek egyik szénatomjához kapcsolódik az $-NH_2$ csoport. Pontosabban, ezek *primer aminok*. A *szekunder aminok*nál két, a *tercier aminok*nál pedig három hidrogénjét helyettesíti az ammóniának más csoport. A fehérjék hosszú, összekapcsolódott aminosav láncok: az egyik aminosav $-COOH$ sav csoportjából és a másik $-NH_2$ amin csoportjából kilép egy molekula víz, és egy $-CO-NH-$ kötés jön létre a kettő között. A kísérletben a nátronnámmész szétroncsolja a fehérjéket, és felszabadul az ammónia. A fehérjék nélkülözhetetlenek az élethez, és a C, H és O mellett a N a legfontosabb elem a szerves kémiában. Mivel csak kevés növény képes a nitrogént a levegőből megkötni (a gyökerén élő baktériumok segítségével), mi juttatjuk — legtöbbször ammónsalétromként — a földre a bőséges termés érdekében. □

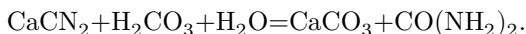
2.12.16 Kísérlet. Keverjünk össze kevés karbamidot szójaliszttal. A szójaliszttben lévő szerves katalizátor — ureáz enzim — lebontja a karbamidot (latin neve urea), és ammóniaszag érezhető. A karbamid is ammóniavegyület: $CO(NH_2)_2$, a szénsav diamidja; keletkezik szénsavból és ammóniából két molekula víz kilépésével:



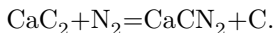
A karbamidot így is állítják elő, szén-dioxid és ammónia keverékének nagy nyomáson való hevítésével. (Ekkor csak egy víz lép ki.) Műtrágyának használják. Az ureáz enzim ezt a folyamatot katalizálja, de a folyamat kis nyomáson ellenkező irányba játszódik le. A felszabaduló ammóniát a növények felhasználják fehérjék felépítéséhez.

A karbamid fontos szerepet játszott a kémia történetében. Már régen ismerték, a vízleletben fordul elő, onnan nyerték ki. A szervezetünk által lebontott fehérjék nitrogénje karbamid formájában választódik ki. Besorolták a szerves vegyületek közé, amelyeket növényi illetve állati anyagokból nyertek ki, de nem tudták őket egyszerűbb vegyületekből illetve elemekből előállítani. Sokan úgy gondolták, hogy ezt nem is lehet, az előállításához különleges „életerőre” van szükség, ami csak az élőlényekben van meg. Ezt az elméletet a XIX. század elején Wöhler német vegyész döntötte meg, amikor először az oxálsavat (magyarul sóskasavnak is hívják, mert a sóskából nyerték ki), majd a karbamidot állította elő szervesetlen anyagokból. Karbamidelőállításí módszere elvében hasonlított a fent leírt eljárásához.

A fentiek alapján az is érthető, hogy miért van az ammóniának „istállósza”. Az istállóban bomló karbamidból felszabaduló ammónia adja a szagot. Az istállótrágyával való trágyázásnál visszajuttatják az értékes, vegyületben kötött nitrogént és más anyagokat a szántóföldre. Amíg be nem vezették a Haber–Bosch-szintézist, a karbamid helyett úgynevezett mésznitrogént, $CaCN_2$ használtak műtrágyázásra (részben ma is használják). Ez szénsavval bomlik:



A mésznitrogént kalcium-karbid és nitrogén 1000 °C körül végrehajtott reakciójával állítják elő:



A vegyületben kötött nitrogént tartalmazó anyagok előállítását a „nitrogén fixálásának” hívják. □

2.12.17 Kísérlet. Az ammónia közönséges nyomáson -33 °C -on cseppfolyósodik. Egyelőre ilyen hideget nem tudunk előállítani, de egy trükkkel majd segítünk magunkon. Jó ha tudjuk, hogy a legtöbb hűtőszekrényben ammónia van. A gázt egy kompresszorral néhány bar nyomásra összenyomják, és a felforrósodott gázt a hűtőszekrény hátulján lévő csőkiágóba vezetik. Itt lehűl és cseppfolyósodik. A folyadékot egy szűk lyukon át a hűtőszekrény belsejében lévő bővebb csőbe vezetik. Itt a nyomás jóval kisebb, mivel innen szívja a kompresszor a gázt. A cseppfolyós ammónia elpárolog, lehűtve a hűtőszekrény jól hőszigetelt belsejét.

A cseppfolyós ammónia — mivel a molekulája poláris — jól old egyes sókat, különösen ammóniumsókat. Például ammonsalétromból 100 g ammónia 360 g-ot old fel! Az ilyen oldatok forráspontja persze magasabb, mint a tiszta ammóniáé. Ezt fogjuk felhasználni. Egy vékony falú lombikba tegyünk száraz ammonsalétromot, hűtsük le só-jég-keverékben amennyire csak tudjuk, és vezessünk bele száraz ammóniagázt. A só lassan feloldódik a cseppfolyósodó ammóniában. Ez az úgynevezett *Divers-folyadék*. Hűtve vagy termoszban eláll egy darabig. Felhasználhatjuk a következő kísérlethez.

Mivel száraz ammóniagázra van szükségünk, akárhogy is állítottuk elő, meg kell szárítani. Mivel a legtöbb szárítóanyaggal reakcióba lép, legjobb erre a célra égetett meszet, nátronmeszet, esetleg szilárd nátronlúgot vagy káliklúgot használni. Használhatunk szilikagélt is, bár megköt némi ammóniát. □

2.12.18 Kísérlet. A cseppfolyó ammónia érdekes tulajdonsága, hogy egyes fémeket, elsősorban az alkálifémeket fémes kék színnel felold. Lítiumot fogunk feloldani. Persze, nem tehetjük bele a *Divers-folyadékba*, mert az ammonsalétróm magas oxigéntartalmú anyag, a keverék **FELROBBANNA**. Tegyünk **SZABADBAN** a *Divers-folyadék* lombikjának szájába egy teljesen száraz borászati kotyogót, és ebbe tegyük az elemből, ahogy már leírtuk, óvatosan kiszerezelt lítiumot. Ahol a lítium van, ott hűtsük a kotyogót kívülről só-jég-keverékkel: egy alkalmas méretű műanyag palack levágott alját ügyeskedjük a kotyogó köré. A *Divers-folyadék*ből fejlődő, száraz ammónia lassan feloldja a lítiumot, az oldat gyönyörű kék, ahogy a 2.12.1 fényképen látható. Szabad elektronokat tartalmaz, ez adja a szép kék színét: a lítium lead egy elektront, Li^+ ionok képződnek, az elektront pedig körülveszik az ammónia molekulái. Vízben ilyesmi nem lehetséges, mert a vízmolekulák az elektronokkal OH^- ionokat és H_2 gáz adnak. A lítium oldat nehogy a *Divers-folyadékba* jusson: szedjük szét a berendezést, az ammóniát hagyjuk elpárologni, a Li-ot pedig vízzel bontsuk el! □

2.13 Ismerkedés a sósavval

2.13.1 Kísérlet. Eddig elég gyenge savakkal találkoztunk. A háztartási boltban vásárolhatunk *sósavat*. Ez már erős sav. Óvatosan szagoljuk meg: szúrós szagáról fel is ismerhetjük. Sok sósavgázt ne szívjunk be, mert **MÉRGEZŐ!** Ha bőrünkre kerülne, mossuk le bő vízzel, mert megmarja a bőrt (és a legtöbb fémét is). Ezután öblítsük le a helyet híg, 1–2%-os szódaikarbóna oldattal, végül újra bő vízzel. Tartsunk a vegyszereink között ilyen híg szódaikarbóna oldatot, mint ahogy ilyen híg ecetet is, a lúgok nyomainak

MÉG NINCS KÉSZ

2.12.1 fénykép: lítium oldása ammóniában.

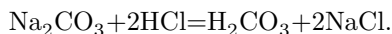
semlegesítéséhez! Egyelőre ne is kísérletezzünk tömény sósavval. Rendszerint rá van írva a palackra, hogy hány százalékos, általában 20, 25 vagy 30%-ost árulnak. Vegyük a legtöményebbet, amit kapunk. (Maga a tiszta sósav tulajdonképpen gáz, de nagyon jól oldódik vízben. A gáz sűrűsége alapján a móltömege $\approx 36,5$ g/mol.) Ha nincs ráírva, mérjük meg a sűrűségét, és táblázatból keressük ki, hogy hány százalékos. Hígítsuk fel 2 M-osra (7,3%-os.) A tömény savak hígításánál rendszerint nagy hő szabadul fel. Ezért úgy járunk el, hogy kimérjük a szükséges vízmennyiséget, és apránként adagoljuk hozzá a savat, SOHASEM FORDÍTVA, mert a tömény savba kerülő víz felforrhat, és szétfrocskölheti a tömény savat. Ha nem túl forró a folyadék, hozzáadhatunk még egy kis savat apránként. Ez a hígított sav egyelőre mindenre jó lesz, a vegyszerek is főleg ilyet használnak. \square

2.13.2 Kísérlet. Kezdjük mindjárt azzal, hogy megállapítjuk a sósav összetételét elektrolízissel, mint a víznél tettük. A kísérletet nagyon kicsiben végezzük. Egy kis pohárkába öntsünk egy kevés desztillált vizet, és tegyünk bele 1–2 csepp hígított sósavat. Az elektródokkal lesz egy kis gondunk: grafit elektródokra lesz szükségünk, mert a fémeket a sósav megtámadja. Grafit ceruzába való hegyet is vásárolhatunk, de vastagabb grafit rudacskához juthatunk, ha egy ceruzából, lehetőleg vastag ácsceruzából kibányásszuk. Ez úgy történik, hogy a ceruzát beáztatjuk vízbe. A két fele enyvvvel van összeragasztva, vízben szétázik. A grafit rúdból pár cm-es darabot befogunk egy villanszerelésnél használt úgynevezett sorozatkapocsba, közismert nevén „csokoládéba”. Villanydrótok összekötésére szolgál, két végén két csavarral lehet beleszorítani a villanydrótot. Mi csak az egyik

végébe teszünk villanydrótot, a másik végébe a grafit rúd jön, amit esetleg kilapított forrasztóórnba csomagolunk, hogy a csavar szorításától szét ne törjön. Mindjárt két ilyen elektródot is készítünk. Ha kipróbáltuk őket, a grafitrúd tövénél ki is önthetjük melegragasztóval, esetleg paraffinnal. Egyelőre az is jó, ha a dróttal együtt egy műanyag csipeszbe fogjuk be a grafit rudat.

A kísérlet maga abban áll, hogy a két grafit elektródot két rézdróttal egy 9 V-os elem két sarkához kötjük, és a sósavas vízbe merítjük. Persze, ne érjenek össze. A katódon hidrogén fejlődik. Az anódon nem nagyon látunk pezsgést, pedig egy zöldessárga, NAGYON MÉRGEZŐ gáz, *klór* fejlődik, ami azonban elég jól oldódik vízben. Ha azonban 10–20 másodperc után NAGYON ÓVATOSAN megszagoljuk az anódot, valamilyen erős, a hypo szagához hasonló szagot érzünk. A klór neve a *cloros* (színes) görög szóból ered, vegyjele Cl. A Cl₂ gáz móltömege a sűrűsége alapján ≈ 71 . Ennek alapján a sósavgáz képlete HCl. Pontosabb mérések szerint a klór atomtömege 35,45279 g, olvadáspontja $-101,0\text{ }^\circ\text{C}$, forráspontja $-34,0\text{ }^\circ\text{C}$. Később majd részletesebben foglalkozunk a klórral. \square

2.13.3 Kísérlet. Öntsünk egy kémcsőbe szódaoldatunkból egy ujjnyit és öntsünk hozzá pár csepp hígított sósavat! Természetesen pezseg, a sósav mint erős sav kiszorítja a szén-savat sójából. Forraljuk fel az oldatot, hogy a szén-dioxid eltávozzék, és apránként adjunk hozzá sósavat. Ha már nem pezseg, meleg helyen kristályosítsuk ki. A kristályokban ráismerhetünk a konyhasó kristályaira. Megkóstolni azért ne kóstoljuk meg, mert a sósav feleslegben van, bár a híg sósav nem olyan veszélyes: a gyomrunkban hígított sósavunknál 20-szor hígabb sósav van, ez kell az emésztéshez. Lehetnek azonban szennyezések is a szódában is, és a sósavban is. A lejátszódó reakció:

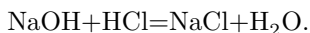


A konyhasó tehát a nátrium sósavas sója. A sósav sóit *kloridok*nak nevezzük, a konyhasó tehát nátrium-klorid. Talán meglepő, hogy két ilyen veszélyes anyag, mint a nátrium és a klór vegyülete az ártalmatlan konyhasó.

Teljesen hasonló a szóda bikarbóna és a sósav reakciója, csak kevesebb sósav kell. A reakcióegyenletet mindenki maga is felírhatja. \square

2.13.4 Kísérlet. A hamuzsíróból és sósavból hasonlóan kálisó és szénsav képződik, és a szénsav elbomlik szén-dioxidra és vízre. A kálisó tehát kálium-klorid. \square

2.13.5 Kísérlet. Ha nátronlúgunkhoz adunk sósavat, persze, nem sokat látunk: ha a lúgban nem maradt szóda, akkor nem pezseg. Adjunk a lúghoz indikátort, hogy lássuk a reakció végét! Hogy valami mégis történt, az észrevehetjük abból, hogy az oldat felmelegszik. A reakció:



Érdekes a reakciót más savval és lúggal is kipróbálni. Vegyünk egy erős savat, a sósavat, egy gyenge savat, az ecetsavat, egy erős lúgot, nátronlúgot, és egy gyenge lúgot, ammóniát. Hígított sósavunk 7,3%-os. Miért pont ennyi? A laboratóriumban híg sósavként olyan oldatot szokás használni, amely kg-onként (vagy ami majdnem ugyanaz, mert híg az oldat, literenként) 2 mol sósavat tartalmaz; ez pont ilyen oldat. Készítsünk ecetből is ilyen oldatot: az ecet móltömege 60 g, tehát 12%-os oldat kell. Nátronlúgból vegyünk elő erősebb nátronlúgunkat, ami nagyjából 8%-os, tehát 2 M \approx 2 mol/kg töménységű. A

3,4 %-os ammónia is ilyen töménységű. Vegyük elő kaloriméterünket! Mérjük bele 50 g szobahőmérsékletű lúgot, mérjük meg a hőfokát, majd adjunk hozzá 50 g szobahőmérsékletű savat, és — ahogy a szóda oldáshőjének meghatározásakor csináltuk — mérjük meg a hőmérsékletemelkedést. A jelen lévő víz nagyjából 100 g (pontosan is kiszámolhatjuk, mennyi), megkapjuk, hogy 0,1 mól só keletkezésekor mennyi hő fejlődik. Ez a *közömbösítési hő*. Talán meglepő, de a fejlődő hőmennyiség majdnem ugyanannyi mind a négy esetben. Miért van ez? A reakció lényege mindig a $H^+ + OH^- = H_2O$ reakció, ezért a keletkező hő szinte ugyanannyi. De hiszen a gyenge sav illetve a gyenge lúg nincs is teljesen ionokra bomolva! Valóban, ez a felbomlás igényel valamennyi energiát, de az jelentéktelen a H^+ és OH^- ionok egyesülésekor felszabaduló energiához képest, hacsak nem nagyon–nagyon gyenge a sav vagy lúg.

A sósav és a nátronlúg összeöntésekor konyhasó keletkezik. Aki nem hiszi, szárítsa be az oldatot, és nézze meg a kristályokat. A nátronlúgból és az ecetsavból nátrium-acetát keletkezik, ami már van nekünk, kidobhatjuk. Az ammóniából és az ecetsavból pár gramm *ammónium-acetát* keletkezik. Lúgosítsuk meg az oldatot ammóniával, fújjunk bele hosszabban, ha zavaros, szűrjük meg, esetleg derítsük, szárítsuk be és tegyük el. Persze, többet is készíthetünk. Az oldatot ne melegítsük fel nagyon, mert 60 °C felett bomlani kezd, hanem letakart edényben langyos helyen hagyjuk bepárolódni, és a kristályokat szűrjük le. Ecet- és ammóniaszagú. Végül beszáríthatjuk az ammóniából és sósavból keletkezett ammónium-klorid, köznapin néven *szalmiáksó* oldatát is. Persze, vásárolhatunk is, és később majd jóval többet is készítünk, de a következő kísérlethez ez a pár gramm is elég lesz. □

2.13.6 Kísérlet. Egy száraz kémcsőbe tegyünk 1–2 g száraz szalmiáksót, a kémcső szá-jába pedig megnedvesített indikátorpapírt. Vízszíntesen tartva majdnem az egész kémcsövet melegítsük enyhén, majd erősebben, de azért az indikátor papír ne száradjon ki. A szalmiáksó „szublimál”, az indikátor papír pedig előbb lúgot, majd savat jelez. A jelenség lényege, hogy a szalmiáksó elbomlik: $NH_4Cl = NH_3 + HCl$. A kémcső hidegebb részein a reakció fordítva játszódik le, újra szalmiáksó keletkezik. Nem valódi szublimációról van tehát szó. Az ammónia molekulák könnyebbek, ezért gyorsabban diffundálnak, a papír ezért jelez kezdetben lúgot. Amikor az ammónia egy része már eltávozott, és a sósavgáz is eléri a papírt, az savat jelez. A szalmiáksót ezen tulajdonsága miatt „forrasztókőnek” használják. A kockába préselt szalmiáksóval forró fémfelületeket lehet megtisztítani: a keletkező sósav oldja a fém felületén lévő fémoxidokat. □

2.13.7 Kísérlet. Az előző kísérletben szereplő reakciót fordítva is használjuk. Mártunk egy üvegbotot tömény sósavba. (Ne az üvegbe, hanem öntsünk ki egy kicsit egy pohárkába vagy egy óraüvegre, és ebbe.) Tartsuk az üvegbotot egy másik pohárkába öntött tömény ammónia fölél! Fehér „füstöt” látunk, ami az ammóniából és sósavból keletkező finom szalmiáksó por. Persze, ha az ammóniaoldatba mártjuk az üvegbotot, és a sósavgőzbe tartjuk, ugyanez történik. Egyszerűen egymás mellé is tehetjük a két pohárkát. Egy kicsit „mennységivé” is tehetjük a kísérletet: egy hosszabb és vastagabb üvegcső egyik végébe tegyünk csipesszel ammóniaoldatba, a másik végébe sósavba mártott kis vattapamatot. Rövid idő múlva a cső közepe táján, de az ammóniától távolabb fehér anyag csapódik ki: szalmiáksó. Azért van az ammóniától távolabb, mivel annak molekulái fele akkora tömegűek, ezért nagyjából $\sqrt{2} \approx 1,4$ -szer gyorsabban diffundálnak. □

TISZTA vegyszereknél a maradékot SOHA ne öntsük vissza az üvegbe, mert az egész

üveg vegyszert elszennyezhetjük. Ugyanezért ne tartsuk az üvegbotot a vegyszeres üveg fölé, és a tiszta vegyszerek üvegeit ne hagyjuk hosszabb ideig nyitva, mert a laboratóriumban lévő gőzök elszennyezhetik. Például az ammónia oldat szén-dioxidot nyelhet el, és ammónium-karbonáttal szennyeződik vagy a sósav ammóniát nyelhet el, stb. Mivel a tömény ammónia oldat meg a tömény sósav oldat gőzét gyakran használjuk lúgosításra, illetve savasításra, tartsunk belőlük külön egy-egy kis üveggel. E fölé már bátran tarthatunk akármit, a gőz tiszta marad akkor is, ha az oldat szennyeződik, vagy nem is volt tiszta. Más anyagokkal is így járunk el, aminek a gőzét használjuk. Egyéként ha valamely reakcióhoz egy-két csepp nagyon tiszta anyagra, például sósavra, ammónia oldatra, vagy akár kétszer desztillált vízre van szükségünk, így elkészíthetjük: a melegített oldat fölé üvegbotot, esetleg vízcseppel — nagyon nagy tisztasági igény esetén kvarcüveg rudat — tartunk, és arra desztillálunk egy cseppet az anyagból. □

2.13.8 Kísérlet. Savak és lúgok semlegesítik egymást. Ha pontosan ismert koncentrációjú savat használunk, pontosan meg tudjuk állapítani egy lúg töménységét, és fordítva. Talán van olyan szemfüles olvasó, aki észrevette, hogy szódából 10,6%-os oldatot készítünk, azaz nagyjából 1 M koncentrációjút. Azért, mert a szóda két vegyértékkel reagál, és így kell ugyanannyi oldat a 2 M töménységű sósav semlegesítéséhez. Más két vegyértékkel reagáló anyagból is 1 M koncentrációjút szokás hasonló okból használni. A pontos mérésekhez kell egy 0,01 g pontossággal mérő mérleg, de még jobb egy 0,001 g pontosságú. Készítsünk tiszta, száraz szódát gyógyszerári szódabikarbónából, úgy ahogy a szódás kísérleteknél leírtuk. Ebből készítsünk nagyjából 0,5 kg oldatot, aminek koncentrációja pontosan 5,299‰. (A szóda pontos móltömege 105,98 g/mol. A pontos móltömegeket az atomtömegek összeadásával számolhatjuk ki.) Jól záró PP vagy PE edényben akármeddig eláll. Készítsünk sósavból vagy 1/2 kg, amennyire lehet pontosan 3,65‰ koncentrációjú oldatot. Ennek koncentrációja nagyjából 0,1 mol/kg, de nem pontosan. Hogy pontosan mennyi, azt meg kell mérnünk. Ha van univerzál indikátorpapírunk, akkor ez aránylag egyszerű. Ha nincs, akkor olvassuk el a következő kísérletet, ott írjuk le, hogyan járhatunk el.

Mérjük ki egy kis lombikba vagy főzőpohárba 5–10 g 0,05 mol/kg-os szódaoldatot, de pontosan, lehetőleg mg pontossággal mérjük meg, hogy mennyit. Egy műanyag szemcseppentő edénykét töltsünk meg a sósavoldattal, és mérjük meg ezt is mg pontossággal! Dobjunk a szódaoldatba egy darabka univerzál indikátorpapírt. Csepegtessünk a szódaoldathoz sósavat, üvegbottal kevergetve. Amikor a pH 4–5, vagy az alá megy, kész a semlegesítés. Sajnos, gondot okoz a szénsav: az oldat savasabb, mint ha a szénsav eltávozna. Ezért forraljuk fel az oldatot. Rendszerint visszalúgosodik. Adjunk még hozzá sósavat, amíg megkapjuk a kívánt szint, 4–5 pH között. A lombikot fehér papírra állítva hasonlítsuk a szint a színskálához, és ne a színerősségre, hanem az árnyalatra figyeljünk. Az utolsó cseppeket esetleg tört cseppenként kell bevinnünk: értessük a szemcseppentős üveget a lombik szájához és kevés vízzel mossuk az oldatba a tört cseppet. Ha készen vagyunk, mérjük meg mg pontossággal, hogy mennyi sósav fogyott. Ha a sósav pontosan 0,1 mol/kg koncentrációjú lenne, akkor ugyanannyi mg fogyott volna, amennyi a szódaoldat. Ezt a mennyiséget osszuk el a fogyott mg-ok számával: ez az oldat *faktora* (magyarul tényezőt jelent). A pontos koncentráció helyett a vegyészek ezt használják. Ha valamilyen mérésnél valahány mg sósav fogy, akkor a faktoralal ezt szorozva, megkapjuk, hogy pontosan 0,1 mol/kg koncentrációjú sósavból mennyi fogyott volna. A sósav palackjára írjuk rá, hogy 0,1 mol/kg, és hogy mennyi az oldat faktora. Nekem a sósav faktora 1,0123 volt,

így azt írtam az üvegre, hogy $f = 1,0123$. Az így készült sósav mérőoldat gyakorlatilag korlátlan ideig eláll.

Ha esetleg valaki bizonytalannak érzi a színösszehasonlítást, akkor is számítsa így ki a faktort, majd csináljon egy új mérést. Kimérve a szódaoldatot, és osztva a faktoral, megkapjuk, hogy mennyi lesz a fogyás. Ennek a 98–99 %-át hozzáadjuk a szódához, kiforraljuk a szénsavat, majd az üvegbotot hozzáértetve egy pici indikátorpapírhoz, ellenőrizzük a pH-t. Cseppenként adagoljuk a sósavat, és ellenőrizzük a pH-t! Persze, ez okoz némi pontatlanságot, hiszen pár cseppet kivettünk az oldatból, de akkor már nagyon kevés volt benne a szóda, így nagyon keveset vettünk ki. Egyébként a pontos eredmény érdekében 5 mérést szokás csinálni, a két szélső eredményt eldobjuk, a maradék háromnak pedig az átlagát vesszük.

Előfordulhat, hogy a szódaoldatot nem sikerül pontosan 0,05000 mol/kg koncentrációjúra készíteni. Ekkor számítsuk ki annak is a faktorát (ha töményebb, akkor 1-nél nagyobb, ha hígabb, akkor 1-nél kisebb) és írjuk rá. A felhasznált szódaoldat tömegét mindig szorozzuk a faktoral! □

2.13.9 Kísérlet. Ha nincs univerzál indikátorunk, akkor akár káposztaindikátorral is dolgozhatunk. Ehhez azonban szükségünk lesz egy ismert pH-jú összehasonlító puffer oldatra. Készítsünk 0,200 M koncentrációjú ecetsav és 0,200 M koncentrációjú nátrium-acetát oldatot. Az alábbi táblázat megadja, hogy adott pH-hoz mennyi ml ecetsav oldatot kell venni, és a nátrium-acetát oldattal 20 ml-re kiegészíteni:

pH	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6
ecet	18,5	17,6	16,4	14,7	12,6	10,2	8,0	5,9	4,2	2,9	1,9

Más pH-jú pufferoldatra is szükségünk lehet. Az ammónia-szalmiáksó puffernél a megadott mennyiségű 0,200 M koncentrációjú szalmiáksó oldatot egészítjük ki 0,200 M koncentrációjú ammónia oldattal 20 ml-re:

pH	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8	9,0	9,25	9,4	9,6	9,8	10,0
NH ₄ Cl	18,9	18,3	17,5	16,3	14,8	12,8	10,0	8,3	6,2	4,4	3,0

A szóda-sósav puffernél gyógyszer-tári szódabikarbónából készített 0,100 M koncentrációjú szódaoldatot 50 ml-éhez adjuk a megadott mennyiségű 0,100 M koncentrációjú sósavat:

pH	10,17	10,32	10,51	10,86	11,24
HCl	20	15	10	5	0

Végül a semleges tartomány közelében 1/15 M koncentrációjú primer kálium-foszfát és ugyanilyen koncentrációjú szekunder nátrium-foszfát keverésével készülhet a puffer: ezeket az anyagokat még nem ismerjük, később találkozunk velük. Megadjuk, hogy 10 ml keverékhez mennyi primer foszfát kell:

pH	5,91	6,24	6,47	6,64	6,81	6,98	7,17	7,38	7,73	8,04
primer	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5

Az előző kísérlethez például 4,6 pH-jú t acetát puffert állítunk elő, ebbe teszünk pár csepp káposztaindikátort. A mérésnél a végén ugyanannyi térfogatban, ugyanolyan edényben ugyanannyi indikátor legyen. □

2.13.10 Kísérlet. A leírt eljárást a vegyészek *titrálás*nak nevezik, pontosabban *súlyszertinti titrálás*nak. Inkább térfogat szerinti titrálást szoktak használni. Ehhez egy *büretta* nevű eszközre lenne szükségünk, ami egy ml-ekre beosztott cső, alul egy csappal, és nem

valami olcsó. Tudnánk ugyan helyettesíteni egy egyenes csővel, amire beosztott papírszalagot ragasztunk, aljára egy rövid műanyag csövet húzunk, amibe egy kissé beleszoruló üvegolyót teszünk. A műanyag cső másik végébe egy hegyesre kihúzott üvegcső jön. Ha kicsit összenyomjuk a golyónál a csövet, lassan csepeg az oldat. Ha gyakran kell térfogat szerint pontosan kimérnünk oldatokat, készítsünk is magunknak egy ilyen bürettát. Számunkra egyszerűbb azonban a súly szerinti titrálás, mert a mai elektronikus mérlegekkel nagyon gyors és kényelmes a mérés, és mérlegre amúgy is szükségünk van. Persze térfogat szerinti mérésnél inkább $M = \text{mol/l}$ -ben megadott koncentrációjú oldatokat használunk. Híg vizes oldatoknál nincs nagy különbség, mert a sűrűség közelítőleg 1 kg/l . Az molaritásban (M) mért koncentráció némileg változik a hőmérséklettel, de ennek vizes oldatoknál nincs jelentősége. Ezért a reagensoldatok töménységét általában molaritásban adjuk meg. Tömény oldatoknál azonban a különbség lényeges. Például a tömény sósav $\approx 12 M$ és sűrűsége $\approx 1,18 \text{ kg/l}$. Kétszer akkora térfogatra hígítva $6 M$ a töménység. (Változhat kicsit a térfogat, de ez ritkán jelentős.) Ezért kényelmes M -ben megadni a töménységet, és térfogatoméréssel végezni a hígítást. Kétszer akkora tömegre hígítva az M -ben mért koncentráció nem ilyen egyszerűen változik: ilyenkor figyelembe kell vennünk a sűrűséget. Tömeg szerinti hígításoknál a $\%$ a kényelmes mértékegység. Szintén vegyük figyelembe a sűrűséget pontos koncentrációk átszámításánál, és ilyen oldatoknál pontosan adjuk meg az egységet. Az oldatok sűrűsége a könyv végén táblázatban található. \square

Régebben gyakran használták a koncentráció jelzésére a molaritás helyett a *normalitást*, jele N . Ez a molaritás szorozva a reagáló anyag vegyértékével. Azonban ugyanaz az anyag nem mindig ugyanannyi vegyértékkel reagál. Például egy $1 M$ koncentrációjú NaHCO_3 oldatot használhatunk lúgként, ilyenkor a Na^+ ion (pontosabban a hidrolízisnél keletkező NaOH) reagál, HCO_3^- -reagensként, de CO_3^{2-} -reagensként is. Az első két esetben az oldat $1 N$, de a harmadik esetben $2 N$ koncentrációjú. Ezért ez az egység ma már nem szabványos.

2.13.11 Kísérlet. Savak töménységének meghatározásához pontosan ismert töménységű lúgoldatra van szükségünk. A tisztábbik, $1 M$ töménységű lúgoldatunkat hígítsuk fel tízszeresére. Ezt kell faktoroznunk. Úgy járhatunk el, mint a sósav faktorozásánál, de most a szódaoldat helyett a lúgból mérünk ki $5\text{--}10 \text{ g}$ -ot mg pontossággal. Először tegyünk a lúgba $1\text{--}2$ csepp fenolftalein oldatot, és adagoljuk a sósavat, amíg halvány rózsaszínű nem lesz. A fogyott sósav tömegét szorozva a faktorával, megkapjuk, hogy mennyi pontosan $0,1 \text{ mol/kg}$ koncentrációjú lúggal ekvivalens a lúgoldatunk. Ezt osztva a lúgoldat tömegével, megvan a lúgoldat faktora. Ha most például univerzál indikátorpapírt dobunk az oldatba, és tovább titráljuk, mint a szódaoldatot, azt látjuk, hogy még jó pár csepp sósav fogy, és így egy másik faktort kapunk. Ez azért van, mert a nátronlúg tartalmaz némi szódát. A fenolftalein akkor lesz rózsaszínű, amikor a szóda átalakul szódabikarbónává, a másik faktor pedig arra vonatkozik, amikor a szódabikarbóna is elfogyott. Kiszámíthatnánk pontosan oldatunk lúgtartalmát, de erre nincs szükség, csak írjuk fel mind a két faktort. Sajnos, a lúgoldat a bele jutó szén-dioxidtól lassan elkarbonátosodik (szódává alakul), így különösen a fenolftaleinnel mért faktora változik, időnként újra kell faktorozni. \square

2.13.12 Kísérlet. Ha erős savat akarunk titrálni, például sósavat, készítsünk belőle pontos beméréssel és hígítással nagyjából olyan oldatot, amely ugyanannyi tömegű nátronlúggal reagál. Titráljunk nátronlúggal $4\text{--}5 \text{ pH}$ -ig, és számoljunk a nátronlúgnak az

ilyen pH-nál megállapított faktorával. Még szódaoldattal is megy a titrálás. Ha gyenge savat, például ecetsavat mérünk, hasonlóan járunk el, de a nátronlúg fenolftaleinre megállapított faktorát használjuk, vagy még jobb, ha kiszámoljuk, hogy a keletkező só oldata milyen pH-jú, és addig a pH-ig titrálunk. Ha gyenge lúgot, például ammóniát titrálunk, kiszámoljuk, hogy a keletkező sóoldat milyen pH-jú, és sósavval addig a pH-ig titrálunk. A vegyészek egyszerűen olyan indikátort választanak, amely annál a pH-nál változtatja színét. Sajnos, az indikátorok általában drágák, és nem is jutunk hozzá a legfontosabbakhoz, de így univerzál indikátorpapírral, sőt, még káposztaindikátorral is boldogulhatunk. Az előző pontban leírtak szerint nátronlúgunk lúg- és szódatartalmát is meghatározhatjuk. □

Fenolftalein szín	pH
teljesen színtelen	7,8
összehasonlítóval látható rózsaszín	8,0
halvány rózsaszín	8,2
rózsaszín	8,4
erős rózsaszín	8,6
nagyon erős rózsaszín	8,8
vörös	9,0

2.13.1 táblázat: fenolftalein színe.

2.13.13 Kísérlet. * Ha nem is jutunk hozzá sokféle indikátorhoz, amihez hozzájutunk, azzal is ügyeskedhetünk. Például a fenolftalein színét különböző pH-nál a 2.13.1 táblázatban adtuk meg. Ennek alapján is mérhetünk pH-t 8–9 között.

Egy másik trükközés, hogy az oldatba kevesebb indikátort teszünk, így egy pufferre van csak szükség. Fenolftaleinre a szükséges mennyiséget a 2.13.2 táblázat tartalmazza. Más egyszínű indikátorokra magunk is kiszámolhatjuk a szükséges mennyiséget. A fenolftaleinre azért adtuk meg táblázatban, mert tömény lúgban újra színtelen lesz, így nem viselkedik ideálisan. Kétszínű indikátoroknál úgy járhatunk el, hogy egy téglalap keresztmetszetű dobozba átlósan beleragasztunk egy műanyag lapot. A két ék alakú részbe ugyanabból az indikátorból ugyanannyi jön, de az egyik részben meglúgosítjuk, a másikban megsavanyítjuk. A színösszehasonlítás megadja, hogy az indikátor hányad része van savas és hányad része van lúgos „állapotban”.

Egyébként elektronikus pH-mérők is kaphatók. Ezek egy hidrogén elektródként viselkedő elektród, rendszerint üvegelektrod feszültségét mérik, abból adódik a pH. Hogy a hidrogén elektród mi és feszültsége hogyan függ a pH-tól, arra majd visszatérünk. Egy ilyen berendezés persze bármilyen indikátort helyettesít. * □

2.13.14 Kísérlet. Használjuk fel új tudományunkat a levegő CO₂-tartalmának mérésére. Egy nagyobb, kb. 5 literes száraz üvegbe dugjunk egy műanyag csövet, amit egy porszívóhoz csatlakoztatunk, és szívassuk át rajta egy-két percig a helyiség levegőjét, amit vizsgálni akarunk. Ne menjünk túl közel! Öntsünk bele kb. 50 g (de pontosan lemért tömegű) mézsvíz és borítsuk le egy kis műanyag pohárral, amit szigetelőszalaggal a szájához ragasztunk. Tíz-húsz percig rázogassuk, majd fordítsuk fel és tegyük egy fazék szájába, hogy a mézsvíz a pohárba gyűljön. Másnapra a mézsvíz leülepszik. Öntsünk

Fenolftalein %	Színes rész	pH
100	0,010	8,45
71	0,014	8,50
33	0,030	8,60
21	0,047	8,70
14,5	0,069	8,80
11,0	0,090	8,90
8,30	0,120	9,00
6,25	0,160	9,10
4,75	0,210	9,20
3,70	0,270	9,30
2,95	0,340	9,40
2,50	0,400	9,50
2,22	0,450	9,60
2,00	0,500	9,70
1,82	0,550	9,80
1,67	0,600	9,90
1,54	0,650	10,00
1,43	0,700	10,10
1,33	0,750	10,20
1,25	0,800	10,30
1,18	0,845	10,40
1,145	0,873	10,50

2.13.2 táblázat: fenolftalein hígítása.

ki belőle kb. 25 g-ot, pontosan lemérve, és titráljuk meg sósavval, fenolftalein indikátor jelenlétében. Az eredeti mészvízből is titráljunk meg nagyjából ugyanennyit, mindjárt a palack megtöltése után. A mészvíz nagyjából 0,02 mol/kg koncentrációjú és az oltott mész egy molekulája két OH^- iont tartalmaz. Ennek alapján számoljuk ki a faktorát. A palackban lévő mészvíz faktorának csökkenése megadja, hogy hány mól használdott el a levegő szén-dioxidjának megkötésére. Ennyi mól szén-dioxid volt a palackban. Ha megmérjük a palack és a pohárka együttes térfogatát (a beléjük férő víz súlyát mérve), a hőmérséklet és a nyomás ismeretében kiszámolhatjuk a levegő CO_2 tartalmát térfogatszázalékban. \square

Felmerülhet a kérdés, hogy használhatunk-e lúgdatnak mészvizet, hiszen az biztosan szénsavmentes? Igen, szoktak is, bár van néhány hátránya. Természetesen le kell önteniünk a mésziszapról, hiszen egyébként állandóan változik a hőmérséklettel a faktora. Egy kicsit túl híg, és több anyaggal csapadékot ad. Végül a bele jutó szén-dioxidtól egy része kicsapódik, így állandóan csökken a faktora, tehát sűrűn kell faktorozni.

2.13.15 Kísérlet. Mi történik, ha a sósav vízben oldhatatlan hidroxiddal kerül szembe? Tudjuk, hogy a magnézium-oxid vízzel lassan nagyon rosszul oldódó magnézium-hidroxidot ad. Magnézium-oxidot gyógyszerárban kaphatunk égetett magnézia néven. Egy csipetnyihez kémcsőben adjunk egy kis hígított sósavat: gyorsan feloldódik. A reakció: $\text{MgO} + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$, tehát magnézium-klorid keletkezik és víz. Pontosán ezért használják a gyomorban esetleg feleslegben keletkező sósav megkötésére. Erre alkalmasabb, mint a szóda-bikarbóna, mert nem keletkezik nagy mennyiségű szén-dioxid. Ha

sav kerül valakinek a gyomrába, akkor is vízzel elkevert égetett magnéziát szoktak adni, hogy semlegesítse a savat. A feleslege sem ártalmas.

A magnézium-kloridot nehéz kikristályosítani, mert nagyon jól oldódik vízben. A következő kísérletben többet készítünk, de mindjárt fel is használjuk. Ha szükségünk van rá, készíthetünk magunknak: addig szórunk sósavba égetett magnéziát vagy magnézium-karbonátot, amíg egy kevés már oldatlanul marad, hosszabban levegőt vezetünk bele, felforraljuk, majd megszűrjük. Mérsékelt hőmérsékleten betöményítjük, majd langyos helyen vagy exszikkátorban hagyjuk kristályosodni. Hexahidrát válik ki. Tisztítása 0,3 ml/g forró vízből hűtéssel kristályosítva történhet. 0,5 M koncentrációjú oldata használatos, készítsünk 100 ml-t. □

2.13.16 Kísérlet. A magnézium-klorid vízzel és égetett magnéziával bázisos sót ad, magnézium-hidroxikloridot, amiben a magnézium-hidroxidnak csak az egyik OH csoportját helyettesíti Cl:



Minél töményebb sósavba adagoljunk égetett magnéziát. Ha már nem oldódik több, keverjük hozzá még annyit, hogy sűrű pép keletkezzen. Ez a *Sorel-cement*. Pár óra alatt a bázisos klorid lassú keletkezése miatt megkeményedik. Padlókiegyenlítőnek használják. Mivel nagyon jó tűzálló anyag, mi vékony *magnéziapálcákat* fogunk belőle készíteni. A gyárilag kaphatók átmérője 1,7 mm, hossza 17 cm, próbáljunk ilyet készíteni. Töltsük egy kisebb, megfelelő nyílású fecskendőbe vagy egy levágott csúcsú műanyag fólia tölcserbe, és nyomjuk át a lyukon pálcákat formázva. Ezeket hagyjuk megkötni és jól kiszáradni. Tegyük el őket. Lángfestés vizsgálatára is jók, de majd másra fogjuk használni őket. □

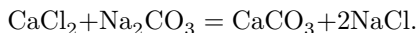
2.13.17 Kísérlet. Sejthetjük, hogy ha az ecet oldja a mészkövet, akkor a sósav is. Éppen erre használják a háztartásban: a vízkő főleg kalcium-, esetleg magnézium-karbonátból áll. A sósav ezt feloldja. (Vigyázni kell azonban, mert a legtöbb fém is megtámadja. A porcelánt, üveget, és a legtöbb műanyagot azonban nem.) Egy darabka tojáshéjjal mindjárt ki is próbálhatjuk: ha kémcsőben hígított sósavat öntünk rá, nagy pezsgéssel szén-dioxid fejlődik, és a mészkő kioldódik a tojáshéjból. Laboratóriumban legtöbbször ezt a reakciót használják fel szén-dioxid fejlesztésére. A gázfejlesztő berendezésünkbe, amit a hidrogénfejlesztésre is használtunk, tegyünk nagyjábólogyoró nagyságú márvány darabkákat. Hígított, vagy legfeljebb 15–20%-os sósav hatására élénken fejlődik a szén-dioxid. Legjobb, ha a dugó másik nyílásába egy borászati kotyogót teszünk, benne kevés vízzel. Ez visszatartja az oldatcseppeket, amiket a szén-dioxid magával ragad. □

2.13.18 Kísérlet. A márványból sósavval kapott oldat nyilván kalcium-klorid, CaCl_2 oldata. Kristályosítsuk ki: akkor öntsük ki, amikor még nem minden márvány oldódott fel, de már nem fejlődik széndioxid, és adjunk hozzá mésztejet, amíg lúgos nem lesz. Ülepítsük, és a tiszta oldatba vezessünk sokáig levegőt vagy fűjjünk hosszabban bele. A kalcium-hidroxid részben kiválik, részben kalcium-hidrogén-karbonáttá alakul. Felforralva az oldatot, ez is elbomlik. A tiszta, szűrt oldatot párologtassuk be szirupsűrűségűre. Lehülve hexahidrát kristályosodik ki.

A kalcium-kloridot három célra is felhasználhatjuk. Hidegen telített oldatának forráspontja 130 °C, forrón telített oldatáé 180 °C, így kitűnő folyadékfürdő. Ha a hexahidrátot 2/3 annyi jéggel elkeverjük, kitűnő hűtőkeveréket kapunk: az eutektikus pont -55 °C! Ezt

persze legfeljebb akkor közelíthetjük meg, ha termosztiban végezzük a keverést, de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá könnyen lemehetünk. Ezért árulják a kalcium-kloridot jégmentesítő anyagként. A másik alkalmazása szárítóanyagként történik: már a hexahidrát és a tömény oldat keveréke is 29% relatív nedvességtartalmú levegővel van egyensúlyban, tehát a hexahidrát is nedvszívó. A hexahidrát és a dihidrát keveréke 22%, a dihidrát és a monohidrát keveréke 5%, a monohidrát és a vízmentes anyag keveréke pedig 1,5% relatív nedvességtartalmú levegővel van egyensúlyban. Ammónia szárítására nem alkalmas, mert megkötí, mint a kristályvizet. Vízmentes anyagot úgy készíthetünk, hogy sütőben jól kiszárítjuk ($200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on dihidrát, még jobban melegítve lassan vízmentes anyag képződik), de árulják is, páramegkötésre. Olcsó anyag, de persze nem valami tiszta, amit árulnak. A jégmentesítésre árulnak lehet, hogy csak kétharmada kalcium-klorid, a páramegkötésre árult sem tiszta. Legtisztább az élelmiszeripari célra árult anyag, ilyen vegyünk. Ahogy fent leírtuk, úgy tisztíthatjuk. További tisztítása a hexahidrát alkoholból való átkristályosításával történhet. Lehet a fent leírt módon márványból sósavval készíteni tiszta sót, különösen, ha kell a szén-dioxid. □

2.13.19 Kísérlet. Vissza tudjuk-e kapni a kalcium-karbonátot a kalcium-kloridból? Természetesen. A fent leírt módon megtisztított kalcium-klorid oldatba csepegtessünk szódaoldatot. (A szódaoldatba előzőleg vezessünk levegőt, és ha zavaros lesz, szűrjük meg.) Fehér csapadék válik ki, kalcium-karbonát. Az eljárás a *lecsapás*. A kémiai folyamat nyilván



Lényege, hogy a klorid és a karbonát ion helyet cserélt, és az oldhatatlan szénsavas mész kiválik az oldatból. Ha kicsit leülepedett az oldat, csepegtessünk még a tisztájához szódaoldatot! Ha még válik ki szénsavas mész, adagoljunk további szódaoldatot, ha nem, az átalakulás befejeződött. Többszöri dekantálással mossuk ki desztillált vízzel. A mosást addig kell folytatni, amíg a mosóvíz üveglemezen vagy óraüvegen beszárítva nem ad maradékot. A kapott tiszta, lecsapott kalcium-karbonátot sütőben megszáritva tegyük el. Egyébként ha a lecsapást $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on végezzük, a csapadék finom szemcsés rombos *kalcit*, ha viszont $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, akkor kristálytani nevén *aragonit*, más kristályszerkezettel. Ez utóbbi kicsit nehezebben reagál. Inkább $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on végezzük a lecsapást. □

2.13.20 Kísérlet. A kalcium-kloriddal kipróbálhatjuk a kalciumsók lángfestését. Vasdróton lángba tartva téglavörös lángfestés látunk, amit persze a nátrium lángfestése könnyen elfed. Ha nem oldható kalciumvegyületet (például mézskő, dolomit) vizsgálunk, cseppentsük meg sósavval, és úgy tartsuk a lángba. A gipsz elég rosszul oldódik, még sósavban is. Tartsuk a vasdrótot a redukáló lángba! Ettől átalakul egy sósavban oldható anyaggá. Most cseppentsük meg sósavval. □

2.13.21 Kísérlet. Néha a maradék *savak és lúgok megsemmisítésére* van szükségünk. A maradék savakat vízbe öntve hígítsuk, lúggal (szóda is jó) lúgosítsuk meg, és úgy öntsük a lefolyóba. A hígított savat oltott mésszel is meglúgosíthatjuk, de ekkor inkább a földre öntsük ki, vagy hagyjuk beszáradni, és úgy dobjuk ki. Meszes (mészköves) talajra kiöntve a hígított savat, semlegesítődik. Ez mindenféle savra vonatkozik, de a KÜLÖNBÖZŐ SAVAKAT NE KEVERJÜNK ÖSSZE, MERT VESZEDELMESEN KEVERÉKEK KELETKEZNEK! Véletlenül kiömlött savat legjobb mézskőporral, esetleg oltott mész porával semlegesíteni. A lúgot egyszerezően a lefolyóba önthetjük, hiszen lefolyótisztítónak is lúgot használnak. A földre kiöntve is a levegő szén-dioxidja lassan semlegesíti a kiöntött lúgot. □

2.13.22 Kísérlet. Ha vegytiszta vagy legtöményebb sósavra van szükségünk, legegyszerűbb, ha veszünk 1 l-t, elég olcsó. Ez 37 %-os oldat. Füstölgő sósavnak is hívják, mert levegőn „füstölög”: a belőle felszálló sósavgáz a levegőben lévő vízgőzzel sósavcseppekből álló ködöt képez. Azért ebben a kísérletben mégis leírjuk, hogyan készíthetünk magunk vegytiszta sósavat, a következőben pedig, hogyan készíthetünk magunk vegytiszta tömény sósavat. (Egyébként manapság a legtöbb célra a háztartási sósav is elég tiszta.) Először azonban meg kell ismerkednünk a sósavoldat tulajdonságaival.

A sósavgáz majdnem olyan mohón oldódik a vízben, mint az ammónia, de erősebben reagál vele: ionokra bomlik. Ezért a sósavoldat forralásakor nem távozik el a sósav, hanem kb. 20 %-os sósavoldat keletkezik: hígabb sósav forralásakor főleg víz távozik, töményebb forralásakor pedig főleg sósavgáz. A 20 %-os oldat tehát azeotropos elegy, de más, mint a víz és alkohol elegye: ennek a legmagasabb a forráspontja, a hígabb vagy töményebb oldat forráspontja alacsonyabb.

Vegytiszta tömény sósavat úgy készíthetünk, hogy bolti sósavunkat 20 %-osra hígítjuk, két grafit elektródot dugva bele, egy pár percig elektrolizáljuk az anóddal kevergetve, amíg klór szagú nem lesz, majd frakcionáló lombikból ledestilláljuk. A frakcionáló lombik szájába egy elég jól beleillő üveg dugót teszünk. A desztillátum elejét kémcsőben fogjuk fel, és minden 5 ml-t klórra vizsgálunk: egy csepp káposztaindikátort adva hozzá, a színe 5 percen belül nem tűnhet el. A klór szerepe az, hogy kiűzi a sósavból annak egyes szennyezőseit. A oldat 90–95 %-át desztilláljuk át.

Talán mondanunk sem kell, de az egész műveletet SZABADBAN kell végeznünk, mert a sósavgáz MÉRGEZŐ. 1,5–2 g/m³ fél-egy órán keresztül életveszélyes, ennek a tizede már nem okoz tüneteket, a százada pedig már 6 óra alatt sem, de még a tízezred részét is észre vesszük szűrős szagáról. □

2.13.23 Kísérlet. Ha sósavgázra van szükségünk, akkor tömény, például 30 %-os sósav melegítésével juthatunk hozzá. Arra számíthatunk, hogy a teljes oldat tömegének kb. 5 %-a távozik sósavgázként. Ezt elnyeletőharanggal vízben elnyelve tiszta tömény sósavat kaphatunk. Egy másik lehetőség, hogy tiszta, lehetőleg tömény — de esetleg akár csak 20 %-os — sósavból megkötjük a vizet. Ez például úgy történhet, hogy vízmentes kalcium-kloridra csepegtetjük a sósavat, és melegítjük a gázfejlesztő lombikot. A gázt „kotyogóban” lévő kevés tömény sósavval mossuk és cseppfogón vezetjük át. A *cseppfogó* lehet egy vastagabb üvegcső, aminek egyik végén lévő dugóban van egy vékonyabb üvegcső, ami majdnem a vastag cső végéig ér, és a másik végén egy ugyanilyen. Az egyik vékony csővön lép be a gáz, a másikon pedig ki. A lényeg, hogy a gáz útja megtörjön: a folyadékcseppek egyenesen repülnek tovább, és lecsapódnak a vastagabb cső végén. Készen is kapható üvegből. □

2.13.24 Kísérlet. Az előző kísérletben sósavból vontuk el a vizet, de kevésbé jól oldódó só oldatából a sósav vonja el a vizet. Öntsünk tömény konyhasó oldathoz tömény sósavat: konyhasó válik ki. Sósavgáz bevezetésére majdnem az összes konyhasó kiválna. □

2.13.25 Kísérlet. Sok példát láttunk már, amiben a sósav valamit felold, persze legtöbbször kémiai változás közben. Nézzünk egy olyan példát, amikor valami oldhatatlant csinál. Friss, nem tartós, nem pasztörizált tejet hagyjunk hűtőben 1–2 napig állni. A tetejére feljön a tejszír, ezt szedjük le. Ez a tejszín. Ebből készül a vaj. (Néha a háziasszonynak akkor is sikerül vajot csinálnia, amikor nem akarja: ha a tejszín már kissé savanyú, erős keverésre kiválik belőle a tiszta tejszír, ez a vaj.) A lefölezött „sovány” tejhez adjunk kevés

sósavat: megalvad, aludt tej lesz, kiválik belőle a tejfehérje, a *kazein*. Ez a túró. Persze, nem sósavval szoktak túrót csinálni. Ha hagyjuk a tejet megsavanyodni, az azt jelenti, hogy tejsav baktériumok hatására a tejcukorból tejsav lesz. Ez a gyenge sav is kicsapja a kazeint. □

2.13.26 Kísérlet. Az előző kísérletben készített túrót szűrjük le, szűrőpapír között nyomkodva szárítsuk ki, amennyire lehet, és öntsük le üvegben szalmiákszesszel. Lezárva az üveget, időnként rázzuk fel. Pár nap alatt a túró feloldódik. Az oldatot vízzel felhígítva annyira, hogy jól kenhető legyen, színtelen *kazeinlakkot* kapunk. Más lúgokkal is elfolyósítható a kazein: oltott mésszel keverve *hidegenyvet* kapunk, amit fa ragasztására használtak. Ma már jobb ragasztók vannak. □

2.13.27 Kísérlet. Egy másik kísérlet, amiben nehezen oldható anyag képződik: Melegen telített bórax oldathoz adjunk sósavat 3,5–4-es pH-ig. Az alábbi reakció játszódik le:



A keletkező *bórsav*, H_3BO_3 kihűléskor kiválik az oldatból: 100 g vízben 20 °C-on 4,9, 100 °C-on 39,7 g oldódik. Mossuk a kristályokat hideg vízzel, majd forró vízből kristályosítsuk át, hogy a konyhasótól megszabaduljunk! A bórax tulajdonképpen ennek a nagyon gyenge savnak egy furcsa savanyú sója: négy bórsav tizenkét hidrogénjéből csak kettőt helyettesít nátrium, a többi tíz öt oxigénnel víz alakjában kilép. Egyébként gyógyszerárban is kaphatunk bórsav oldatot. □

2.13.28 Kísérlet. Szükség esetén bórsavból is készíthetünk bóraxot. Melegítsünk szóda oldatot 95–100 °C-ig, majd apránként adagoljunk bele bórsavat. A mennyiségeket úgy válasszuk meg, hogy az oldatban végül 14–16% bórax és 0,5–1% szóda maradjon. 30 perces hevítés után forrón szűrünk, és 15–20 °C-on kristályosítunk. Dekahidrát válik ki. A dekahidrátot tisztítani 3,3 ml/g vízből átkristályosítva lehet, 55 °C alatt válik ki. □

2.13.29 Kísérlet. Keverjünk össze 1 g bórsavat 1 g konyhasóval, porítsuk és keverjük el porcelán mozsárban. A porkeveréket szórjuk porcelán cserépre és melegítsük Bunsen-égővel addig, amíg gőzök nem kezdenek felszállni. Észrevehetjük a sósav szúrós szagát. Nedves indikátorpapír savat jelez, ammóniaoldatos üvegbot pedig sósavat. A kísérlet azt mutatja, hogy a reakció, amivel a bórsavat előállítottuk, megfordítható, hiába jóval gyengébb sav a bórsav, mint a sósav. Magas hőmérsékleten a bórsav tűzállósága érvényesül, a sósav gáz alakjában távozik. □

2.13.30 Kísérlet. Végezzünk néhány kísérletet bórsavval. Melegítsünk egy porcelán cserépen gázlángban egy kevés bórsavat úgy, hogy érje a gázláng. A bórsav zöldre festi a lángot. Ha túl erős a sárga lángfestés, akkor még sok a NaCl szennyezés: kristályosítsuk át. (Tiszta bórsav előállításához többszöri átkristályosítás kell.) A zöld lángfestés megszűnik, ha a bórsav teljesen bór-trioxiddá alakult, mert a bórsav némileg párolog a vízzel, a bór-trioxid már nem. A vízvesztés két lépcsőben következik be:



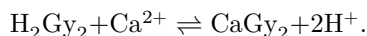
előbb metabórsav keletkezik, majd bór-trioxid. □

2.13.31 Kísérlet. Az előző kísérletben előállított bór-trioxidot dörzsöljük el langyosan mozsárban. Egy részét mérjük le, keverjük el kétszer annyi magnéziummal, majd óvatosan

(HEVES REAKCIÓ!) izzítsuk fűvólágon. A terméket öntsük le hígított sósavval. Sötétbarna anyag marad, ami (nem valami tiszta) elemi bór. Szűrjük le, szárítsuk meg, majd izzítsuk. 700 °C-on bór-trioxidáé ég el, a felületén kevés BN, bór-nitrid is keletkezik. (Ha bór-nitrid előállítás a cél, akkor a bór-trioxidot fedett tégyben kétszerannyi karbamiddal izzítsuk.) □

2.13.32 Kísérlet. A bór-trioxid másik részét szórjuk vízbe: hőfejlés közben egyesül vele bórsavvá. □

2.13.33. Ioncsere. Nem tartozik szorosan a sósavhoz, de itt említjük meg az *ioncserélő*ket. Ezek általában műgyanták (műanyagból készült gyanták), de vannak ioncserélő ásványok, sőt, a talajok is ioncserélő tulajdonságúak. A *kationcserélők* közepes erősségű szilárd savak, nagyon porózusak és sok savcsoport van bennük. Szimbólikusan úgy írhatunk fel egy kationcserélőt, hogy $H_n Gy_n$, ahol a H-k a savcsoportok, a Gy pedig a szilárd gyantavázat jelzi. Ha egy ilyen kationcserélőt például kemény vízzel hozunk össze, akkor kiszorítja a szénsavat a sójából:



A tömeghatás törvénye szerint a reakció egyensúlyra vezet, csak bizonyos $[H^+]^2/[Ca^{2+}]$ arányig játszódik le, ami attól függ, milyen erős sav a gyanta. Ha most a mésszel telített gyantát például tömény sósavval átöblítjük, az kiszorítja a gyantát a sójából, és elviszi a meszet, azaz a reakció ellenkező irányba játszódik le, visszaállítottuk, idegen szóval regeneráltuk az eredeti állapotot. Végeredményben mésszmentes, lágy vizet kaptunk, némi sósavat felhasználva.

Vannak *anioncserélő* műgyanták is: ezek szimbólikusan $Gy_n(OH)_n$ képlettel írhatók fel. Egy ilyen anioncserélő az anionokat OH^- ionokra cseréli. (Az anioncserélő erős lúggal, például nátronlúggal regenerálható.) Mindkét gyantán átvezetve a vizet, végül *ioncserélt* vizet kapunk, ami lényegében desztillált víz, bár kevés idegen kation és anion marad benne (no meg a szerves szennyezések). Megismételve az egészet, még tisztább lesz a víz. Ha a két gyantát összekeverjük, akkor egy lépésben tiszta vizet kaphatunk, bár ilyenkor gondot jelent a regenerálás: a két gyantát ehhez szét kell válogatni, például sűrűség vagy szemcseméret alapján.

Sokszor elég a kalcium és magnézium ionokat például nátrium ionokra kicserélni, például mosogatógépben. Ez lehetséges, mert a kationcserélő gyanta erősebben köti meg a kétvegyértékű ionokat, mint az egyvegyértékűeket, és még erősebben a háromvegyértékűeket. A regenerálás tömény konyhasó oldattal történik. □

2.14 A klór

2.14.1 Kísérlet. Már találkoztunk a klórral, mikor elektrolízissel megállapítottuk a sósav összetételét. A szagát is megismertük. NAGYON ÓVATOSAN kell vele kísérleteznünk, mert NAGYON ERŐS MÉREG. Néhány mérges gázra meg lehet adni egy „halálösségi szorzatot”, ez klórra 7,5 mg·perc/l. Ez bizony azt jelenti, hogy 2,5 mg/l klórt tartalmazó levegő 3 perc alatt halálos! Még ennél ötször kevesebb klórt tartalmazó levegő fél-egy órán át való belélegzése is életveszélyes, és csak ennél is ötször kevesebb klór nem árt fél-egy órán belül. Munkahelyen ennél is csak tízszer kevesebb klór lehet a levegőben.

Szerencsére még ennek a huszadrészét is észrevevesszük a szagáról. Klór ellen elsősegély lehet alkohol gőzének vagy porlasztott híg szódadikarbóna-oldatnak a belélegzése. A klór halálosságai szorzata tizedrésze a szén-monoxidénak, és csak kettő-nyolcszor annyi, mint a cianhidrogéné. Ezért a klórt a kísérletek alatt kémcsőbe bezárva tartjuk majd. Mindenestre még kis mennyiséggel is huzatos helyen dolgozzunk, nagyobb mennyiséggel pedig CSAK SZABADBAN.

A klór híg sósav elektrolízisével fogjuk előállítani. Mivel vízben elég jól oldódik, telített konyhasó oldathoz adunk kevés hígított sósavat, és ezt elektrolizáljuk. A telített konyhasó oldat szobahőmérsékleten mintegy 0,36 l klórt old fel literenként. Egy minél keskenyebb PE vagy PP palack tetejéből készül az elektrolizáló edény. A dugó helyére kerül a sóavnál már leírt grafit elektród, de most két grafitrúdból és egy kettős sorozatkapocsból. Ezt PE vagy PP melegragasztóval be is ragaszjuk a palack nyakába. Az egészet egy befőttes üvegbe állítjuk. Telített sóoldatot hígított sósavval megsavanyítunk, ez az elektrolit. Két kémcsövet töltünk meg vele színtiltig, és ujjunkkal befogva borítsuk egyet-egyet az elektródákra. (UTÁNA KÉZMOSÁS!) Az áramot — például 9 V-os akkumulátorból — megindítva az anódon zöldessárga gáz fejlődik, a klór. A katódon hidrogén fejlődik. Tulajdonképpen ugyanannyi klór fejlődik, mint hidrogén, de egy része oldódik a vízben. Ha már megfigyeltük a gázfejlődést, térjünk át a következő kísérletre. □

2.14.2 Kísérlet. Mepróbáljuk a klór egyesítését a hidrogénnel sósavvá. A két gáz keveréke elég veszedelmes elegy, a *klórdurranógáz*. Könnyen felrobbanhat napfény hatására. Ezért egy PET palackból készítsünk védőernyőt, hogy ha esetleg a robbanás szétveti a kémcsöveket, ne sérüljünk meg. A PET palack tetejét vágjuk le, az oldalának negyed-harmadát vágjuk ki, és borítsuk az elektrolizálóra. Napfénytől, erős fénytől védett helyen, ha az egyik kémcső már majdnem félig van klórral, cseréljük meg az elektródokat, és elektrolizáljunk tovább. Ha a kémcső majdnem megtelt, vigyük napfényre. A napfény a kivágott részen süssön a kémcsövekre! A gázkeverék elkezd fogyni, mert a keletkező sósav oldódik a vízben. A keverék esetleg fel is robbanhat, erre számítsunk. A reakció elsősorban kék, ibolya és ultraibolya fény hatására játszódik le. A fény részecskéi indítják be. A fényrészecskét, *font* $h \cdot \nu$ -vel fogjuk jelölni; hogy miért, az majd később derül ki. Az kezdő reakció a következő: $\text{Cl}_2 + h \cdot \nu = 2\text{Cl}$, azaz a fényrészecske hatására a klórmolekula két klóratomra esik szét. Ezután a következő reakciók játszódhatnak le: $\text{Cl} + \text{H}_2 = \text{HCl} + \text{H}$, $\text{H} + \text{Cl}_2 = \text{HCl} + \text{Cl}$, mindaddig, amíg a klór vagy a hidrogén el nem fogy, vagy egy H és egy Cl atom nem találkozik. (Esetleges szennyezések is megállíthatják a reakcióláncot.) Tehát ez egy *láncreakció*, egy foton nagyon sok hidrogén és klór molekula átalakulását teszi lehetővé. Ez magyarázza a robbanást. Egyébként a durranógáz robbanása is láncreakció, de az még el is ágazhat, és nem fény indítja be. □

2.14.3 Kísérlet. Az előző elrendezést, a védőernyő nélkül használhatjuk klór és réz reakciójának vizsgálatára. Abba a kémcsőbe, amiben a klór fogjuk fel, gyömöszöljünk egy gombolyag finom rézdrótot, mielőtt megtöltjük az oldattal. A fejlődő klór nemigen reagál a rézzel, de ha a kémcső már majdnem megtelt, melegítsük kicsit kívülről a rezet. Barna vegyület képződik, réz(II)-klorid, ami a vízben kékes-zöldes színnel oldódik. A nevében a római II azt jelzi, hogy a réz benne két vegyértékű, azaz a képlete CuCl_2 . Van ugyanis réz(I)-klorid, CuCl is. □

2.14.4 Kísérlet. Teljesen hasonlóan vizsgálhatjuk a klór és vas reakcióját. Sötétbarna vas(III)-klorid képződik, ami sárga színnel oldódik a vízben. □

A fémek klórral való egyesüléséhez egy, az Ellingham-diagramhoz nagyon hasonló diagram tartozik. Nincs nagyon lényeges különbség, de ezen a diagramon alacsony hőmérsékleten a kálium és a nátrium a legerősebben reagáló anyag (magasabb hőmérsékleten a kalcium). Ezért egy darabig a fémek előállításánál a kálium és a nátrium volt a vegyészek „csodafegyvere”. Oxidjaikból (hidroxidjaikból vagy karbonátjaikból) izzó szénrel való redukcióval is előállíthatók, viszont más fémek klórvegyületeiből elvonják a klórt. Némileg hasonló a helyzet a fluorvegyületeknél is (a fluort lásd később). Más elemekkel való egyesülésre, például hidridek, nitridek, karbidok, szulfidok, stb. képződésére is megadhatók az Ellingham-diagramhoz hasonló diagramok.

2.14.5 Kísérlet. A fémek klórral való egyesítéséhez nincs is szükség arra, hogy előre előállítsuk a klórt. Egy \cup (vagy \vee) alakú üvegcsőbe gyömösöljünk egy kis vattát, és töltsük meg hígított sósavval. Az egyik szárba tegyünk abból a fémből álló elektródot, aminek a klórvegyületét elő akarjuk állítani. Ez lesz az anód. Az itt fejlődő klór atomos, így hidegen is egyesül az illető fémmel. A katód is lehet ebből a fémből, de másból is, például lehet grafit. A vattának csak az a szerepe, hogy a két szárban lévő folyadék ne könnyen keveredjen, nélküle is működne a dolog, csak nem olyan jól. Az ilyen, keveredést gátló „falakat” *diafragmának* nevezzük. Talán Faraday használt először diafragmát, homokból. Próbáljuk ki a kísérletet réz- vagy vaselektroddal. Jól látható, hogy a réz kék színnel oldódik. Mikor a kék szín eléri a vattát, az elkészült réz(II)-kloridot kiönthetjük az egyik szárból. Természetesen még tartalmaz sósavat is. Hogy mennyi réz(II)-klorid van benne, kiszámíthatjuk, ha mérjük az áramerősséget és az időt. Felhasználjuk a következő kísérlethez. \square

2.14.6 Kísérlet. Ha a kapott réz(II)-kloridot grafit elektródok között elektrolizáljuk, az anódon klór válik ki, a katód viszont rézzel vonódik be. Ha az anód réz, akkor egyesül a klórral, és oldatba megy. Ha megfordítjuk az áram irányát, a réz leoldódik a grafitról. A réz-klorid oldatot tegyük el egy későbbi kísérlethez. \square

2.14.7 Kísérlet. A klórt nem csak sósav, hanem más, klórt tartalmazó sók, kloridok elektrolízisével is előállíthatunk. Az iparban konyhasó oldatot használnak. Könnyen kipróbálhatjuk a dolgot, ha a klórfejlesztőnkbe egy kevés, akár híg konyhasó oldatot öntünk és elektrolizáljuk. Adjunk hozzá káposztaindikátort is! A katódnál zöldes színnel lúgot jelez, az anódnál viszont savat és lassan elszíntelenedik. Az elszíntelenedés a klór hatása: erős színtelenítő és fertőtlenítő hatású, sok szerves anyagot elroncsol. A lúgos kémhatás magyarázata az, hogy a Na^+ ionok a katódhoz vándorolnak, de nem tudnak kiválni, mert a sokkal kisebb mennyiségben jelen lévő H^+ ionok hamarabb kiválnak. Így a katód közelében Na^+ és OH^- ionok maradnak, azaz nátrium-hidroxid képződik. Az iparban ezen az elven gyártanak konyhasóból elektrolízissel klórt és nátronlúgot. \square

2.14.8 Kísérlet. Az előző kísérlet egy másik, nem olyan jó változata fenolftaleines konyhasó oldatot használ: az oldat a katódnál megpirosodik és a pirosság terjed. \square

2.14.9 Kísérlet. Egy látványos változata az előző kísérletnek, hogy egy szűrőpapírt fenolftaleines sós vízbe áztatunk, vas lemezre borítjuk, amit katódnak kapcsolunk, és egy anódnak kapcsolt tompa hegyű szeggel pirosan írunk rá. \square

2.14.10 Kísérlet. A klór színtelenítő hatását esetleg úgy is kimutathatjuk, hogy színes papírt itatunk át konyhasó oldattal, műanyag lapra tesszük, és két grafit elektródot nyomunk rá. Ha megfelelő a festék, az anódnál a papír elszíntelenedik. \square

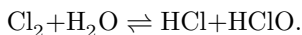
2.14.11 Kísérlet. A legegyszerűbb ipari klórelőállító eljárás a „harangeljárás”. Kipróbálhatjuk, ha konyhasó oldatba egy kis tölcserű teszünk (ez lesz a „harang”), három műanyag darabkára állítva. Az anód grafit, ez jön a tölcserke nyílásába. A katód vasdrót, ez jön a tölcser köré. Kísérletünkben tegyünk még káposztaindikátort is az oldatba. Rövid idő után ugyanazt tapasztaljuk, mint egy előző kísérletben. Az iparban persze hosszú ideig elektrolizálnak, a nagyobb sűrűségű nátronlúg oldat van a harang alján és körülötte, a kisebb sűrűségű konyhasó oldat a harang belsejében felül. Mivel az OH^- ionok is vándorolnak az anód felé, a felbomlónál jóval több konyhasó oldatot adagolnak, hogy a vándorlást visszaszorítsák, mert egyébként O_2 is fejlődik a katódon. Az így kapott nátronlúg tehát konyhasót fog tartalmazni. Ez nem olyan nagy baj, mert a lúg bepárlásakor a só kiválik, és újra felhasználható. \square

2.14.12 Kísérlet. A konyhasó elektrolízisére ma leggyakrabban használt eljárás diafragmát használ. Ezt is kipróbálhatjuk: a sóoldatban úszik egy fél tojáshéj, ez a diafragma, és belül is sóoldat van. Belülre jön a grafit anód, kívülre a vas katód. Káposztaindikátorral mutatjuk ki a lúgot és a klórt: a katódnál az oldat megzöldül, az anódnál előbb megpirosodik, majd lassan elszíntelenedik. Az iparban használt diafragmákat kezdetben úgy készítették, hogy nedves cementet valamivel kevesebb mennyiségű finomra őrölt konyhasóval keverték. Amikor megkötött a cement, vízzel kioldották a konyhasót. Akár ki is próbálhatjuk a diafragma-készítést. Egyébként a diafragmás eljárással sem lehet teljesen sómentes lúgoldatot készíteni: a hidroxil ionok átjutását a diafragmán csak úgy lehet megakadályozni, ha sóoldat áramlik az anódtól a katód felé. \square

Van egy tökéletesebb eljárás, ami tömény, tiszta lúgoldatot ad. Ma már nem nagyon használják, mert a mérgező higannyal dolgozik; a diafragmás eljárás egy tökéletesítése kiszorította. A katód higany tócsa. A hidrogén a higanyon nagyon nehezen válik le, ezért nátrium válik ki és oldódik a higanyban. Ezt az amalgámot tiszta vízzel bontják meg. Tömény lúg és hidrogén keletkezik: $2\text{Na}+2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2+2\text{NaOH}$.

2.14.13 Kísérlet. Már említettük, hogy a klór oldódik vízben, mégpedig normál körülmények között 6,413 g egy liter vízben. A *klóros vizet* elég gyakran használják a laboratóriumban, általában 4 g/l töménységben. Klór vízbe való vezetésével szokták előállítani. Mi megelégszünk fele ekkora töménységűvel is, és elektrolízissel fogjuk előállítani. Készítsünk 3‰ töménységű sósavat, és öntsük a sósavelektrolizáló berendezésünkbe. Elektrolizáljuk, minden dl-re 300 mAó töltést számítva. Legjobb, ha mérjük az áramot és az időt. Az anód a két grafitelektród vagy az egyik közülük. A katód is grafit, de azt felülről lógatjuk az edénybe, hogy a hidrogén felül fejlődjön, és lehetőleg ne vigye ki az alul fejlődő klórt az oldatból. Célszerű az egészet lefedni, és persze SZABADBAN VAGY JÓL SZELLŐZŐ HELYEN dolgozzunk.

Az elkészült klóros vizünkhöz adjunk kevés káposzta indikátort: lassan elszíntelenedik. Ha lúgoldatot adunk hozzá, megszűnik a klórszag, és egy hasonló, a hypora emlékeztető szag jelenik meg. Sósavra visszajön a klórszag. A magyarázat, hogy a klór nem csak oldódik a vízben, hanem reagál is vele:



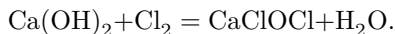
A keletkező egyik sav a sósav. A másik egy gyenge sav, a *hipoklórossav*. Szerkezeti képlete H-O-Cl. Lúg hatására a reakció (ami amúgy is majdnem teljesen lejátszódik) teljesen a

savak képződése felé tolódik el, azok pedig reagálnak a lúggal:



A *nátrium-hipoklorit*, NaClO köznapi nevén a *hypo*. (Általában konyhasót és nátronlúgot is tartalmaz.) Ez is fehérít, arra is használjuk. Sósav hatására a hipoklórossav felszabadul, reagál a sósavval, és újra klór keletkezik.

A klórt nem csak nátronlúggal vagy káلیلúggal lehet reagáltatni, hanem az olcsóbb oltott mésszel is, és ekkor a Kitaibel Pál által felfedezett *klórmész* keletkezik:



Az egyenlet úgy mutatja, mintha az oltott mész egyik OH csoportját ClO, a másikat Cl helyettesítené. Nagyjából ennek felel meg a klórmész összetétele, de valójában több vegyület bonyolult keveréke.

A hypo és a klórmész tehát mintegy „klór konzerv”. Úgy tűnik, könnyen kaphatunk belőlük savval klórt. Ez valóban így is van, ezért SOHA NE ÖNTSÜNK SAVAT egyikhez sem. Direkt klórfejlesztésre sem célszerű őket használni, mert állás közben lassan átalakulnak (hogy hogyan, azzal később foglalkozunk) és a keletkezett vegyületek már csak sok sósavval adnak simán klórt, kevéssel ROBBANÉKONY VEGYÜLETEK KELETKEZNEK. A klórfejlesztésre még visszatérünk, de inkább elégedjünk meg az elektrolízissel kapott klóros vízzel. Sajnos, ez nem sokáig áll el, mert a hipoklórossav bomlik: $\text{HClO} = \text{HCl} + \text{O}$. A fejlődő oxigén egy darabig félrevezette a vegyészeket: azt hitték, a klórban oxigén van, és a sósavban is. Csak Davy mondta ki, hogy a klór elem, és a sósavban nincs oxigén. □

2.14.14 Kísérlet. Hypo-t magunk is előállíthatunk elektrolízissel. Sósav elektrolizáló berendezésünkbe öntsünk kevés konyhasó oldatot, kapcsoljuk be az áramot, és kevergessük az oldatot. Az anódon keletkező klórt a katódon keletkező nátronlúg elnyeli. Pár perces elektrolízis után az oldat kis részletéhez adjunk kevés káposzta indikátort! Lúgot jelez, majd elszíntelenedik. A lúgos kémhatás onnan ered, hogy a hipoklórossav gyenge sav, sói a hidrolízis miatt lúgos kémhatásúak. Más festékekkel is kipróbálhatjuk a színtelenítő hatást, amely erősebb lesz, ha ecettel megsavanyítjuk az oldatot. □

2.14.15 Kísérlet. Ha erős fehérítést akarunk, például tintaírást akarunk papírról eltüntetni, kevés klórmész keverjünk össze erős ecettel, és fapálcikával kenjük az írásra! Mivel a klórmész idővel a papírt is elroncsolná, jobb a nyomait kémiailag megsemmisíteni. Erre például a „borkén” néven kapható kálium-diszulfid (később foglalkozunk vele) használható. Kaparjuk le a klórmész nagyját, majd a helyre hintsünk borként. Mivel ez meg savat képez, szódával vagy szódadibikarbónával semlegesítsük a savat. □

2.14.16 Kísérlet. ** Adjunk kémcsőben pár szemcse barnakőhöz pár csepp tömény sósavat. A barnakővel részletesen majd később foglalkozunk, kémiailag MnO_2 , mangándioxid. Az oldat sötétvörös vagy barna lesz. Melegítve elbomlik, klór fejlődik, amit színről és szagáról könnyen felismerhetünk. A színt a keletkező mangán(IV)-kloridnak és az abból bomlással keletkező mangán(III)-kloridnak tulajdonítják. A végül megmaradó mangán(II)-klorid oldat rózsaszínű. Ezt a reakciót szokták *klórfejlesztésre* felhasználni: barnakőre tömény sósavat csepegtetnek (a számított mennyiség majdnem kétszeresét) és melegítik. A reakció jól szabályozható a melegítéssel. Ha fontos, hogy a klór tiszta legyen

vagy a klórfejlesztés maradékából akarunk mangán(II)-kloridot előállítani, akkor nem árt a barnakövet megtisztítani, mert a bányászott barnakő rendszerint karbonátokat (főleg bárium-karbonátot) tartalmaz, és a szén-dioxid szennyezi a klórt. A tisztítás hígított ecetsavval történhet. Nagyobb mennyiségű klór előállításánál FELTÉTLENÜL SZABADBAN KELL DOLGOZNI! **

2.15 Ionok

A kémiában fontos szerepet játszanak az ionok. Különösen így van ez a fizikai kémiában, annak is leginkább az *elektrokémia* nevű ágában, amely a kémia és az elektromosság kapcsolatával foglalkozik.

2.15.1 Kísérlet. Az elektrokémia, pontosabban az elektrolízis legalapvetőbb törvényeit Faraday fedezte fel: egyrészt a keletkező anyagok mennyisége arányos az áthaladó töltéssel, másrészt a keletkező anyagok kémiailag egyenértékűek, azaz pont olyan arányban keletkeznek, amilyen arányban képesek egymással reagálni. A magyarázat persze az, hogy maga az elektromosság is atomos, atomjai az elektronok. Egy elektron egy H^+ ionnal reagálva egy H atomot ad. Egy elektron (negatív) töltését is meghatározhatjuk: a Faraday-számot osztjuk az Avogadro-számmal. Kísérletként készítsünk egy pohárban egy vízbontó készüléket két vas elektróddal és két kémcsővel. Elektrolitnak híg nátronlúgot használjunk, ez jobban vezet, mint a mésvíz. Ne nyúljunk bele kézzel, húzzunk egy gumikesztyűt! Kössük sorba klórelőállító berendezésünkkel, és az előtétellenállással engedjük át rajta áramot. Mindkét készülékben ugyanannyi hidrogén fejlődik, hiszen ugyanannyi töltés halad át rajtuk. Az oxigén térfogata feleannyi, hiszen két vegyértékű, így tehát a hidrogénnel ekvivalens mennyiség fejlődött. A klór térfogata ugyanannyi, mint a hidrogéné, bár valamennyi feloldódik a sósavas sóoldatban.

Még meglepőbb a következő kísérlet: a klórfejlesztő elektrolitját cseréljük ki 5%-os ammóniaoldatra, amelyben majdnem telítésig konyhasót oldottunk. Sorba kapcsolva a vízelektrolizálóval és elektrolizálva, a katódon ugyanannyi hidrogén fejlődik, mint a vízelektrolizálóban. Az anódon viszont most egy színtelen gáz fejlődik, 1/3 annyi térfogatú, mint a hidrogén. Ha a gázba égő gyújtópálcát mártunk, elalszik. A gáz nitrogén, N_2 . Mi történt itt? Az ammónia bomlott fel? De hiszen az ammónia nem bomlik ionokra! Valóban az ammónia bomlott fel, de közvetett úton. Hat molekula sósavból három molekula H_2 és három molekula Cl_2 keletkezik. Ez reagál két molekula ammóniával: $2NH_3 + 3Cl_2 = N_2 + 6HCl$; tehát újra keletkezik a hat sósav, és lényegében az ammónia bomlott fel!

Még látványosabb a kísérlet, ha mindhárom elektrolizálót sorba kapcsoljuk, de persze úgy több munkával jár a kísérlet. Mielőtt belekezdenénk, olvassuk el a következőt kísérletet is. □

2.15.2 Kísérlet. Lehet, hogy valakinek az a gondolata támad, hogy a sós ammónia oldat helyett szalmiáksó oldatot használ. EZT NE TEGYÜK! Egy veszélyes anyag, nitrogén-triklorid keletkezik. Látszólag minden ok nélkül felrobbanhat! Felfedezője egy ilyen robbanásban elvesztette fél szemét és három ujját. Nagyon kis mennyiségben így hozhatjuk létre, mindjárt el is robbantva: Készítsünk 28 °C-os telített szalmiáksó oldatot egy pohárkába. Ez az elektrolit. A katód vasdrót. Az anód grafitrúd, ami egy félbevágott kémcsőben lévő oldatba merül, aminek a peremére celofán hárttyát kötöttünk. Az elektrolízis megindítása előtt a kémcsőben lévő szalmiáksó oldat tetejére cseppentsünk pár csepp

terpentint! Az elektrolizáló 20–25 V feszültséget egy számítógép tápegységből kaphatjuk. Az anódon fejlődő klór részben nitrogént ad, mint az előző kísérletben, részben pedig az $\text{NH}_3 + 3\text{Cl}_2 = \text{NCl}_3 + 3\text{HCl}$ egyenlet szerint nitrogén-trikloridot. Ez olajos cseppeknek kinéző folyadék, amit a nitrogén buborékok felemelnek a terpentinhez, és azzal reagálva elpuffan. Semmiképpen se engedjünk olajos cseppeket felgyűlni a kémcsőben! Elektrolízis közben ütögessük az anódot. Ha nem tudjuk elvégezni a kísérletet, akkor is szíveljük meg a tanulságait: ne elektrolizáljunk szalmiáksó oldatot! □

2.15.3 Kísérlet. Mutassuk ki az ionok vándorlását, sőt, mérjük meg a *vándorlási sebességüket!* Egy U alakú üvegsőre lesz szükségünk, amit magunk készítünk el. Készítsünk 5%-os zselatin vagy agar-agar oldatot. Az anyagot beáztatjuk a vízbe, majd ha már megduzzadt, óvatosan felmelegítjük. Olyan oldat keletkezik, ami lehűlve megdermed. Tegyük bele kevés kálium-kloridot (ha nincs, nátrium-kloridot), és egy csepp fenoltaleint. Forrón öntsük bele az U-csőbe, majd éppen mielőtt megdermed, az egyik oldali szárba cseppentünk egy csepp sósavat, a másik oldali szárba egy csepp kálilúgot (ha nincs, nátronlúgot), és mindkettőt keverjük el abban a szárban. A lúgos szárnak vörösnek kell lennie majdnem az aljáig. Ezután hagyjuk az anyagot megdermedni. Mindkét szárba egy-egy dugó vagy dugószelet jön, amin grafit elektród megy át. Ezeket előre készítjük el. A piros szárba öntsük sósavas rézkloridot, a másikba kálilúgot vagy nátronlúgot, dugjuk be a dugóval és egy 9 V-os elem segítségével haladéktalanul indítsuk be az áramot. A sósavas rézkloridba jön az anód, a lúgba a katód. Mérjük az időt és figyeljük a folyamatot! A sósavas rézkloridból H^+ és Cu^{2+} ionok vándorolnak a piros szárba. A H^+ ionok semlegesítik a kevés lúgot, így a zselatin szintelen lesz. A réz ionok jóval lassabban vándorolnak, kék színük látható. A másik szárban OH^- ionok (is) vándorolnak az anód felé. Ezek semlegesítik a H^+ ionokat, és meglúgosítják a zselatint, a szár egy darabon piros lesz. Ha már jól előrehaladt a folyamat, mérjük meg, hogy mennyit vándoroltak a H^+ , OH^- és Cu^{2+} ionok, és számítsuk ki a vándorlási sebességüket! Természetesen a vándorlás gyorsabb lesz, ha nagyobb feszültséget alkalmazunk, és lassabb, ha az hosszabb úton hat, tehát a méterenkénti feszültségkülönbséggel arányos. Ezzel tehát osztanunk kell, ha összehasonlítható adatokat akarunk.

Mérésünk elég pontatlan, de első tájékozódásnak jó. A pontatlanság egyik forrása, hogy nem mértük a hőmérsékletet. A hőmérséklet növekedésével csökken a víz viszkozitása, így fokenként átlag 2 %-kal nő az ionok sebessége. A másik, hogy zselatinban mértünk. A harmadik, hogy minél töményebb az oldat, annál jobban akadályozzák az ionok egymás mozgását: nagyon híg oldatban kellene mérni. A negyedik, hogy a semlegesítésre elhasznált ionokat nem számoltuk. Az ötödik, hogy a diffúzió miatt akkor is van némi keveredés, ha nincs is áram. Szerencsére diffúzióval kétszer akkora távolságra négyszer annyi idő alatt jut el az anyag, így ez utóbbi nem olyan vészes, ha hosszabb ideig mérünk.

Más, jobb módszerekkel mért ionvándorlási sebességek (nm/s)/(V/m)-ben normál hőmérsékleten:

Ion	H^+	Li^+	Na^+	K^+	NH_4^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Sr^{2+}	Ba^{2+}	Al^{3+}	La^{3+}
Sebesség	362,4	40,01	51,92	76,18	75,97	54,99	61,67	61,67	66,02	65,29	72,23

Ion	Ag^+	Cd^{2+}	Co^{2+}	Cr^{3+}	Cu^{2+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Mn^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}
Sebesség	64,15	55,96	55,96	69,44	58,04	55,45	70,47	55,45	55,97	72,55	55,44

Ion	OH ⁻	Br ⁻	BrO ₃ ⁻	CN ⁻	Ec ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	ClO ₃ ⁻	ClO ₄ ⁻	CrO ₄ ²⁻
Sebesség	207,3	81,26	58,04	80,84	42,49	74,62	46,12	79,10	66,33	70,48	88,10

Ion	F ⁻	I ⁻	MnO ₄ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	HS ⁻	SCN ⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	S ₂ O ₃ ²⁻	S ₂ O ₈ ²⁻
Sebesség	57,42	79,70	65,09	74,62	74,02	67,37	68,92	74,62	82,71	88,10	89,13

2.15.4 Kísérlet. Most, hogy ismerjük az ionok vándorlási sebességét, oldatok fajlagos ellenállásának mérésével következtetéseket vonhatunk le, hogy az egyes anyagok különböző hígításban mennyire bomlanak ionokra. A fizikai kémiában a fajlagos ellenállás helyett annak reciprokát, a *fajlagos vezetőképességet* szokás használni. Berendezésünk nagyon egyszerű lesz: egy hajlékony műanyag cső, amire akasztókat ragasztunk, hogy horogra felakaszthassuk. Átmérője 5–10 mm, hossza 50–100 cm legyen. Mivel az átmérőt nehéz pontosan megmérni, felakasztva töltjük meg vízzel, és mérjük meg a víz tömegét, ebből számítsuk ki a keresztmetszetet! Az áramhozávezetés az előző kísérletben használt két dugón átszúrt grafitrúd lesz. Az áramforrás néhány (legalább három) sorbakapcsolt 9 vagy 12 V-os elem: minél nagyobb feszültséget igyekszünk használni, mert a bontási feszültséget csak becsülni tudjuk, ≈ 2 V. Elsőként mérjük meg kiforralt desztillált vizünk vezetőképességét: ráadjuk a feszültséget a berendezésre és mérjük az áramot, ebből számoljuk az ellenállást. Nyilván csak ennél többször nagyobb vezetőképességeket tudunk mérni. Ha például ennél 20-szor nagyobb vezetőképességet mérünk, akkor 5 % körüli hibát okoz a víz vezetőképessége.

Két savat, sósavat és ecetsavat, két lúgot, nátronlúgot és ammónia oldatot, és négy sót, nátrium-kloridot, nátrium-acetátot, ammónium-kloridot és ammónium-acetátot akarunk mérni, 0,1 M és ennél kisebb koncentrációkban. A kisebb koncentrációkat úgy állítjuk elő, hogy a már megmért vezetőképességű töményebb oldatból egy edénnyel (kémcsővel, stb.) kimérünk valamennyit és ugyanannyi kiforralt desztillált vizet adunk hozzá. Az oldattal kétszer-háromszor átöblítjük a csövet, majd megtöltjük és mérünk. Az eredeti oldatokat legegyszerűbb tiszta anyagok oldásával elkészíteni. Úgy is eljárhatunk, hogy a savakból és lúgokból 0,2 M koncentrációjú oldatokat készítünk, és a sókhoz ugyanannyi savat és lúgot keverünk össze. Mivel a koncentrációk lehet, hogy nem teljesen pontosak, a konyhasó oldatot felforraltjuk a szénsavmentesítéshez, és a pH-ját 5-re állítjuk be. Ugyanannyire állítjuk be az ammónium-klorid pH-ját is, ennyi a tiszta anyag oldatának pH-ja. A nátrium-acetát pH-ját 9-re kell beállítani, az ammónium-acetátét pedig 7-re.

Végezzük el a mérést és írjuk fel gondosan az eredményeket. Az áramot ne hagyjuk sokáig bekapcsolva, a szalmiáksó elektrolízise veszélyes! Ha azt vesszük észre, hogy a mérés alatt az áramerősség csökken, akkor túl nagy a feszültség, és az elemek nem bírják ezt a nagy áramot tartósan leadni. Ez különösen a sósavnál fordulhat elő (legjobb ezzel kezdeni), mert az vezet a legjobban. Ha ez a helyzet, csökkentsük a feszültséget!

Az első, amit észrevehetünk, hogy a sóknál és az erős savnál és erős lúgnál minden duplájára hígítással nagyjából felére csökkent az áramerősség. A magyarázat egyszerű: ezek úgynevezett *erős elektrolitok*, teljesen ionokra bomlanak, és a hígítás után fele annyi ion van az oldatban. Pontosabb összehasonlításához célszerű a fajlagos vezetőképességet elosztani a koncentrációval. (A koncentrációt rendszerint mol/l-ben mérjük.) Amit kapunk az a *moláris vezetőképesség*. Ez erős elektrolitok híg oldatainál nem nagyon változik. Változásának törvényét tapasztalati úton Kohlraus vette észre: a hígítással nő, nagyjából arányosan a koncentráció négyzetgyökével. Töményebb oldatoknál azért kisebb, mert az

ionok akadályozzák egymás mozgását. Ábrázolva a koncentráció négyzetgyökének függvényében, meghatározhatjuk hogy mihez közeledik, ha a koncentrációt nullához közelítjük. Ez az érték megegyezik az ionok mozgási sebességéből számítottal.

Az ammóniaoldatnál és az ecetsavnál is kiszámolhatjuk a moláris vezetőképességet, de az még közelítőleg sem konstans, hanem nő a hígítással. A magyarázat, hogy ezek úgynevezett *gyenge elektrolitok*. Csak nagyon-nagyon híg oldatban disszociálnak ionokra teljesen. Méréseinkből kiszámolhatjuk a disszociációs állandót. Például, ahogy a víznél tettük, gondoljunk el egy 1 m^2 keresztmetszetű, 1 m -nél valamivel hosszabb téglatestet, amelynek a két végén van az anód és a katód. Tegyük fel, hogy 1 m hosszú a feszültségű 1 V . Mivel a hidrogén ionok egy másodperc alatt $362,3 \text{ nm}$ -t mozdulnak el, és ha $x \text{ M}$ a koncentrációjuk, akkor $1000x \text{ mol}$ van egy m^3 -ben, másodpercenként $0,0000003633x \cdot F$ töltést szállítanak. Hasonlóan, az acetát ionok $0,0000004249x \cdot F$ töltést szállítanak. Ez összesen $0,0392 \cdot x$ ampernak felel meg, azaz a fajlagos ellenállás $25,5/x \Omega\text{-m}$. \square

2.15.5 Kísérlet. Egy kísérletben megvizsgáljuk, hogy merre is kószál az áram, ha nem egy „hengyszerű”, de nem feltétlenül kör keresztmetszetű test két végén vezetjük be (egyébként feltételeztük, hogy párhuzamos vonalak mentén halad). Egy szűrőpapírt nedvesítsünk meg egyenletesen káposztaindikátorral, amiben kevés só oldottunk, fektessük egy vízszintes műanyag lapra, és hintsünk rá $20\text{--}30$ szem szilárd savat, például borkósavat vagy citromsavat. A papír két pontjára szorítsunk egy-egy grafit elektródát, amelyek közé több sorbakapcsolt 9 vagy 12 V -os telepet kapcsoltunk. A savrészecskékből piros vonalak vagy inkább pacnik indulnak ki a katód felé, mutatva a H^+ ionok vándorlásának irányát. Ezek az „áramvonalak” nem egyenesen a katód felé haladnak, hanem úgy viselkednek, mintha taszítanák egymást. \square

2.15.6 Kísérlet. Kellemetlen az oldatok ellenállásának mérésénél az ismeretlen bontási feszültség. Tulajdonképpen már tudjuk is, hogyan küszöbölhetjük ki: váltakozó áramot kell használni. Ekkor az ionok csak összegyűlnek az elektródnál, de mielőtt kiválnának, megfordul az áram iránya. Szükségünk lesz egy váltóáramú áramforrásra. Ez lehet például valamilyen elektronikus zenei játék kimenete: ezt kötjük a feszültségosztó drótjának két végére, esetleg erősítőn keresztül. Használjunk minél magasabb frekvenciát (hangot). A kívánt feszültséget a feszültségosztóról szedjük le. Nem kell nagy feszültség, már néhány tized volt is elég. Az edény valamilyen műanyag edényke lehet, az elektródok pedig egy kiegészített izzólámpa árambevezetői. A volfram szálat és az azt tartó molibdén szálatat tördeljük ki. Ha nagyon ügyesek vagyunk, a lámpabúra tetejéből is levághatunk, akkor az edény is megvan. A búra alját töltjük ki melegragasztóval: egy kis üvegcső vezet ki belőle, ennek a nyílását el kell tölteni. Ha műanyag edényt használunk, akkor a melegragasztóval ragasztjuk bele az izzólámpát, amiről letörtük a búrát. Kis készülékünk egy *vezetőképességi edény*, bár nem ideális. A laborokban nagy felületű platina lemezeket szoktak használni elektródoknak. Sőt, platinázott platina lemezeket: a platina lemezeket finoman szemcsés, rücskös felületű fekete platinaréteggel, úgynevezett *platinakorommal* szokták bevonni, aminek vagy huszonötször akkora a felülete, mint a sima platináé. Ökol-szabály, hogy 1% pontosságú ellenállásméréshez legalább 250 -szer akkórának kell lenni az ellenállásnak Ω -ban, mint amennyi egy elektród felülete cm^2 -ben, tízszer pontosabbhoz pedig még tízszer akkórának. Így csak nagy fajlagos ellenállásokat, azaz kis fajlagos vezetőképességeket fogunk tudni mérni.

Készülékünk kész, de hogyan mérjük vele? A mért áramerősségből kiszámíthatjuk

ugyan az ellenállást, de hogy kapjuk meg belőle a fajlagos ellenállást? Az előző kísérletből tudjuk, hogy az áram nem egyenes vonalban halad. Az mindenesetre igaz, hogy a ρ fajlagos ellenállás arányos a mért R ellenállással: $\rho = K \cdot R$, ahol K valamilyen, az edényünk alakjától, az elektródok elhelyezkedésétől függő konstans. Legegyszerűbb lesz egy ismert fajlagos ellenállású oldattal megtölteni az edényt, és megmérni az ellenállást. Ebből kiszámíthatjuk K -t. Ilyen a gipszes víz: ennek fajlagos ellenállása $20,5^\circ\text{C}$ -on $4,96\ \Omega\text{m}$, és minden $^\circ\text{C}$ hőmérséklet növekedéssel 2% -ot csökken. Még egy megjegyzés: az árammértésen is esik feszültség, ezért nem árt két műszerrel egyszerre mérni a vezetőképességi cellán átmenő áram erősségét és a rajta eső feszültséget. Ha ez nem áll módunkban, válasszunk nagyobb, néhány voltos feszültséget.

A készüléket felhasználhatjuk például desztillált víz fajlagos ellenállásának meghatározására. Jó desztillált víz fajlagos ellenállása $100\text{--}250\ \text{k}\Omega\text{m}$. Ha a vizet üvegekészülékből mégegyszer ledesztilláljuk, és a desztillátumnak a középső harmadát fogjuk fel, akkor $1\text{--}2\ \text{M}\Omega\text{m}$ fajlagos ellenállású *kétszer desztillált vizet* kapunk. Ennek a fajlagos ellenállása még mindig sokkal kisebb, mint a teljesen tiszta víz $\approx 25\ \text{M}\Omega\text{m}$ fajlagos ellenállása. \square

2.15.7 Kísérlet. Vezetőképességi cellánkat felhasználhatjuk arra, hogy valamilyen ionok között lejátszódó folyamatot a vezetőképesség mérésével kövessünk. Ilyen lehet például egy sav-bázis reakció egy titrálás során, de egy csapadékképződéssel járó reakció is. Példaként vizsgáljuk meg mégegyszer a mészvíz és a szóдавíz reakcióját. Öntsünk félig mészvizet a vezetőképességi cellába: aránylag nagy áramot mérhetünk. Adjunk hozzá szóдавizet: bár az oldat mennyisége nőtt, az áram csökken, mert a mozgékony hidroxil ionok eltűnnek az oldatból. Az áram változásával követhetjük a szén-dioxid és a víz reakciójának lassúsága miatt lassan lejátszódó reakciót. \square

2.15.8 Kísérlet. Mérjük meg a sósav bomlásfeszültségét! Kezdjük $2\ \text{M}$ koncentrációjú hígított sósavunkkal. Egy kis üvegbe keressünk egy beleillő parafadugót, amelyen két grafitelektródot dugunk át. Az üvegbe tegyünk sósavat, az elektródok közé kapcsoljuk a feszültségmérőt, és a feszültségosztóról adjunk $1\ \text{V}$ -os feszültséget az elektródokra. Figyeljük nagyítóval pár percig, hogy van-e gázfejlődés? Ha nincs, emeljük meg a feszültséget mondjuk $1,1\ \text{V}$ -ra, stb. Ha már van gázfejlődés, emeljük ki az elektródokat, öblítsük le, töröljük meg szűrőpapírral, és menjünk vissza oda, ahol még nem volt gázfejlődés, és kisebb lépésekben haladjunk felfelé. Ha elég pontosan megállapítottuk a bontási feszültséget, akkor hígítsunk fel valamennyi sósavat kiforralt desztillált vízzel négyszeresre, és ezzel a hígabb savval ismételjük meg a mérést, majd újra négyszeresre, stb.

Jobb lenne platina, sőt, platinázott platina elektródokat használni, de hát ahhoz nemigen jutunk hozzá. Nátronlúggal vagy káliumlúggal megismételve a kísérletet, platina elektródokkal $\approx 1,7\ \text{V}$ -ot kapunk eredményként, függetlenül a koncentrációtól. Ez a víz bontási feszültsége. Mindig ezt mérjük, ha a katódon hidrogén, az anódon oxigén fejlődik. Más kémiai folyamatoknál, például glaubersó vagy salétrom elektrolízisénel más bontási feszültséget kapunk. \square

2.15.9 Kísérlet. Ha az előző kísérletben túlléptük a bontási feszültséget, elektrolizáljunk egy darabig, majd kapcsoljuk le a feszültséget. A voltmérő ellenkező irányú feszültséget jelez! Megcserélve a voltmérő csatlakozóit, mérjük meg a feszültséget: csaknem akkora, mint a bontási feszültség és csak lassan csökken nullára. A jelenséget *polarizációnak* nevezzük. A magyarázat az, hogy a klór és a hidrogén gázelemet alkot: amennyi elektromos

munkát befektettünk a sósav szétbontásába, majdnem pontosan annyit kapunk vissza a gázelemből, annál pontosabban, minél kisebb árammal működtetjük, és minél kisebb árammal elektrolizáltunk. Legalábbis platinázott platina elektródoknál ez a helyzet. Azért csak majdnem, mert az ellenállásokon feszültségesés lép fel, az áram munkát végez, és az energia egy része hővé alakul. Persze, a gázelem folyamatos működtetéséhez klórt illetve hidrogént kellene az elektródokhoz vezetni. Még így is csak akkor működne jól, ha nagyon jó katalizátorból, például platinázott platinából lennének az elektródok, mert egyébként az elektródok és az elektrolit közötti áramátlépéskor is nagyobb a feszültség a minimálisan szükségesnél. Ez a feszültségkülönbség a *túlfeszültség*. A túlfeszültség miatt is jelentős munkavégzés van. A gázelem hidrogénnel és oxigénnel is működhet, de egyelőre nagyon drága, csak űrhajókban használják. □

2.15.10 Kísérlet. Sok problémát okoz elektrokémiai méréseknél a *diffúziós potenciál*. Egy kísérletben ezt vizsgáljuk meg. Hígított sósavunkat hígítsuk fel 100-szorosra, és ennek egy részében oldjunk fel 5–10% zselatint. A forró oldatot öntsük egy U-csőbe. Ha megdermedt, a cső egyik szárába öntsünk a szokásos hígított sósavból, a másikba pedig annak 100-szorosra hígított változatából. Mindkét szárba tegyünk grafit elektródot. A két elektród között kb. 50 mV feszültség mérhető. Mi okozza ezt? A töményebb sósavból a hígabb felé diffundáló hidrogén és klorid ionok közül a hidrogén ionok sokkal gyorsabban mozognak. A határretegben mintegy előre sietnek, elektromos terükkel maguk után húzva a lomhább klorid ionokat. Ezt a feszültségkülönbséget mérjük. □

2.15.11 Kísérlet. Sósavas rézklorid oldatunkat öntsük egy pohárkába. A pohárkába állítsunk egy félbevágott kémcsövet, aminek a peremére celofán hárttyát feszítettünk ki. A kémcső belsejébe is tegyünk egy keveset a rézklorid oldatból. Kívülre és belülre is tegyünk az oldatba egy frissen megtisztított réz elektródot. Megmérve a két elektród közötti feszültséget, az nulla. Most öntsünk a kémcsődarabba kiforralt desztillált vizet. Áram indul meg a hígabb oldat felé. A feszültségkülönbség a hígítással nő. Öntsünk a kémcsődarabba szalmiákszeszt: először kék csapadék képződik, amely mélykék színnel oldódik. A feszültségkülönbség még tovább nő, mintha nagyon lecsökkent volna a réz koncentrációja. Valóban ez történt, hogy hogyan, arra majd később visszatérünk. Amit most létrehoztunk, az *koncentrációs elem*. Működése nagy vonalakban a következő: Amikor a réz elektródot beletesszük a részös oldatba, két folyamat indul meg: a réz ionok kiválnak a réz elektródra, annak pozitív töltést adva, illetve a réz elektródról réz ionok lépnek az oldatba, elektronokat hagyva hátra. Ha például az első folyamat a gyorsabb, a réz elektród pozitív töltésű lesz. Ez persze lassítja az első folyamatot és gyorsítja a másodikat, míg végül a két folyamat egyforma gyors lesz. Az ekkor egységnyi felületen egyik és másik irányba átfolyó áram a *cseréáram-sűrűség*. Ez arányos a rézionok koncentrációjával, így a töményebb oldatba merülő elektródnak pozitívabbá kell válnia ahhoz, hogy a két irányba folyó áram egyforma erős legyen. Így jön létre a feszültségkülönbség az elektródok között. □

2.15.12 Kísérlet. Előző kísérletünk nem ad pontos értéket a koncentrációs elem feszültségére, mert a diffúziós potenciál, ami a celofán diafragmánál fellép, zavar. Hogyan lehetne ezt kiküszöbölni? A diffúziós potenciál akkor kicsi, ha az oldat tömény, és ha az ionjai közel egyenlő sebességgel mozognak. A klorid és a kálium ionok mozgássebessége közel egyenlő, ezért az oldatok közé olyan *sóhidat* vagy *áramkulcsot* iktatunk be, amely telített KCl oldatból készül. Ez minimálisra csökkenti a diffúziós potenciált. Teljesen így

sem küszöbölhetjük ki. ** Segíthet Bjerrum módszere: a telített oldatot fele olyan koncentrációra (g anyag/kg víz) hígítva, a diffúziós potenciál kétszer akkora lesz. Ezzel újra mérünk, és kiszámoljuk a diffúziós potenciált. Így nagyságrendben 1 mV-ra szoríthatjuk le a hibát. **

Készítsünk tehát áramkulcsot! Oldjunk fel hidegen telített KCl oldatban 3% agar-agar, és töltsünk meg vele egy U-csövet. Egyszerűbben összesodort szűrőpapírt tömény KCl oldatba áztatunk, és azt tesszük az U-csőbe, és ezzel kötjük össze a két pohárkában lévő oldatokat, vagy esetleg egy tömény KCl-oldatba áztatott szűrőpapírcsíkkal.

Ha kevés anyaggal dolgozunk, mint most is, öntsük az agar-agaros oldatot az U-cső aljába, várjuk meg, míg megdermed, az egyik szárba fölé jön a sósavas rézklorid a réz elektróddal, a másikba pedig a pontosan tízszeresére hígított réz-klorid oldat. Mindkettőbe friss rézelektrod merül. Mérjük meg a feszültségkülönbséget! Nekem 29 mV adódott. Hogy miért ennyi a koncentrációs elem feszültsége? Olvassuk el a következő gondolatkísérletet! □

2.15.13. Gondolatkísérlet. Vajon a sósav koncentrációja miért van hatással a bomlásfeszültségre? A kérdés nem látszik túl fontosnak, de majd kiderül, hogy az eredményből fontos következtetéseket tudunk levonni. Mint láttuk, a túlfeszültség elkerülésére platinázott platina elektródokat kellene használnunk, ezekkel egyszerűen megmérhetnénk a különböző töménységű sósavoldatok bomlásfeszültségét. Ezek hiányában marad egy gondolatkísérlet, de az eredmény még hasznosabb lesz. Tekintsük n mól sósav vizes oldatát. Mivel a sósav teljesen disszociál — legalábbis híg oldatban — az ionkoncentráció $2c$, és az ozmózisnyomás $p \cdot V = 2n \cdot R \cdot T$, vagy V -vel osztva $p = 2c \cdot R \cdot T$, mivel $n/V = c$, a koncentráció mol/l-ben. Induljunk ki n mól sósav c_1 koncentrációjú (mol/kg víz egységben értve) oldatából, ahol n elég nagy. Fordított ozmózzissal töményítsük a sósavoldatot c_2 koncentrációra. Az ionkoncentrációk $2c_1$, illetve $2c_2$. Az ozmózisnyomás közben p_1 -ről p_2 -re nő. A végzett munka $2n \cdot R \cdot T \cdot \ln(p_2/p_1)$. A fordított ozmózis és az ozmózis (majdnem pontosan) megfordíthatók, az oldat szabad entalpiája $\Delta G = n \cdot R \cdot T \cdot \ln(p_2/p_1)$ -vel nőtt. Az ozmózisnyomás — legalábbis kis koncentrációkra — arányos az ionkoncentrációval, így $p_2/p_1 = (2c_2)/(2c_1) = c_2/c_1$. Most vezessünk át gyenge áramot olyan hosszú ideig, amíg összesen 1 F töltés halad át. Ettől 1 mól HCl bomlik el. Legyen a c_1 koncentrációnál a bontásfeszültség U_1 , a c_2 koncentrációnál pedig U_2 . A befektetett munka az egyik esetben $U_1 \cdot F$, a másik esetben $U_2 \cdot F$, különbségük a $\Delta U = U_2 - U_1$ jelöléssel $U_2 \cdot F - U_1 \cdot F = \Delta U \cdot F$. Mivel az elektromos bontás is (lényegében) megfordítható, a töményebb oldatban kevesebb munka kell a bontáshoz, mert az oldat egy mólra eső szabad entalpiáját már megnöveltük $\Delta G/n$ -nel, így $\Delta U \cdot F = -\Delta G/n$. Behelyettesítve

$$\Delta U = -\frac{2 \cdot R \cdot T}{F} \cdot \ln \frac{c_2}{c_1}.$$

Ez a — negatív — bontási feszültség változás úgy áll elő, hogy a katód negatív $U_{k,1}$ feszültsége kicsit pozitívabb $U_{k,2}$ lesz, nő ΔU_k -val, az anód pozitív $U_{a,1}$ feszültsége pedig kicsit negatívabb $U_{a,2}$ lesz, azaz a negatív ΔU_a -val nő. Mivel az ozmózisnyomás felét a H^+ ionok, másik felét a Cl^- ionok okozzák, joggal feltételezhetjük, hogy a változások nagysága egyenlő, így (legalábbis híg oldatokban), $\Delta U_k = -\Delta U_a$, és mivel $-\Delta U = \Delta U_k - \Delta U_a$, azt kapjuk, hogy

$$\Delta U_k = -\Delta U_a = \frac{R \cdot T}{F} \cdot \ln \frac{c_2}{c_1}.$$

Nézzünk egy másik példát. Tekintsük a réz-klorid, CuCl_2 elektrolízisét. Ha koncentrációja c_1 -ről c_2 -re nő, akkor az ionkoncentráció $3c_1$ -ről $3c_2$ -re nő, tehát $\Delta G = 3n \cdot R \cdot T \cdot \ln(c_2/c_1)$. Mivel 1 mól felbontásához $2F$ töltés kell,

$$\Delta U = -\frac{3 \cdot R \cdot T}{2F} \ln \frac{c_2}{c_1}.$$

Mivel az ozmózisnyomás harmadát a Cu^{2+} ionok, kétharmadát pedig a Cl^- ionok okozzák, nincs okunk feltételezni, hogy a változások nagysága ne ezzel arányos lenne (ezt egyébként későbbi kísérletek igazolják), így (legalábbis híg oldatokban), $2\Delta U_k = -\Delta U_a$, és mivel $-\Delta U = \Delta U_k - \Delta U_a$, azt kapjuk, hogy

$$\Delta U_k = \frac{R \cdot T}{2F} \ln \frac{c_2}{c_1}$$

és

$$\Delta U_a = \frac{R \cdot T}{-F} \ln \frac{c_2}{c_1}.$$

Nem nehéz kitalálni az általános törvényszerűséget: ha $z\mathbf{e}$ töltésű ionok semlegesítődnek valamelyik elektródon, ahol $-\mathbf{e}$ az elektron töltése (negatív!), akkor annak a feszültség-változása

$$\Delta U_z = \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \ln \frac{c_2}{c_1},$$

ahol kationoknál z pozitív, anionoknál pedig z negatív. A bontási feszültség teljes változása a két feszültségváltozás különbsége. Egyébként ΔU_k megadja a rézelektrodos koncentrációs elem feszültségét.

És vajon hogy tudjuk U_1 értékét meghatározni? Ugyanez a gondolatmenet mutatja, hogy ha $z \cdot F$ töltés kell egy mól anyag elbontásához, akkor $z \cdot F \cdot U_1 = -\Delta G$, ahol ΔG az egy mól (vízben oldott, c_1 koncentrációjú) anyag képződési szabadentalpiája. Ezt az összefüggést fordítva, képződési szabadentalpia meghatározására szokták felhasználni, mert a bontási feszültséget könnyű mérni. A sósav mért bontási feszültségét platina elektródokkal a koncentráció függvényében az alábbi táblázat mutatja:

Koncentráció, M	2	1/2	1/6	1/16	1/32
Bontási fesz., V	1,26	1,34	1,41	1,60	1,70

2.15.14. Aktivitások. ** A fenti táblázat elég rossz egyezést mutat az elméleti megfontolásainkkal. Mi lehet ennek az oka? Az ionokat tartalmazó oldatban a pozitív és negatív töltésű ionok nem egymástól függetlenül helyezkednek el és mozognak, hanem a köztük ható, meglehetősen nagy elektromos erők miatt igyekeznek úgy elhelyezkedni, hogy egy pozitív töltésű ion közelében főleg negatív töltésű ionok, egy negatív töltésű ion közelében pedig főleg pozitív töltésű ionok legyenek, tehát valami megőrződik a „kristályrácsszerű” elhelyezkedésből, mégpedig annál inkább, minél töményebb az oldat. Ez azt eredményezi, hogy ha az oldat nem annyira híg, hogy az ionok átlagosan már nagyon távol vannak egymástól, akkor úgy tűnik, mintha az ionok kevésbé lennének „aktívak”. Ezt úgy lehet figyelembe venni, hogy az ion c (mol/kg oldószerben mért) koncentrációját szorozzuk egy f tényezővel, idegen szóval *faktorral*, és a c koncentráció helyére mindenütt

az $f \cdot c$ szorzatot írjuk, amit *aktivitás*nak nevezünk. Képzeldük el, hogy a fent levezetett képletünkben c_1 nagyon kicsi, így a hozzá tartozó faktor 1. A c_2 koncentráció helyére írjunk $f \cdot c$ -t. Mivel a képletben a koncentrációk logaritmusosa szerepel, $\lg(f \cdot c) = \lg f + \lg c$ miatt a katódnál és az anódnál fellépő feszültségváltozást a kationokra vonatkozó f_+ és az anionokra vonatkozó f_- faktor is befolyásolja. Ha a kationok töltése $z_+ \cdot e$, az anionoké pedig $z_- \cdot e$, ahol $-e$ az elektron töltése (negatív!), akkor a feszültség növekedése az f_+ és f_- faktorok miatt

$$\frac{R \cdot T}{z_+ \cdot F} \ln f_+ - \frac{R \cdot T}{z_- \cdot F} \ln f_- = R \cdot T \cdot \ln 10 \cdot \left(\frac{\lg f_+}{z_+} - \frac{\lg f_-}{z_-} \right).$$

Persze, ez az ügyeskedés semmit sem ér, ha nem tudjuk a faktorokat meghatározni. Szerencsére van egy elmélet, amely megadja a faktorokat:

$$-\ln f = \frac{A \cdot z^2 \sqrt{I}}{1 + B \cdot d \sqrt{I}}.$$

Ez a Debye-Hückel-egyenlet. Itt ze az ion töltése, $B = 3,3/(\text{nm} \cdot \sqrt{\text{mol/kg}})$, d az ion effektív átmérője, az A pedig vizes oldatokban normál hőmérsékleten $0,509/\sqrt{\text{mol/kg}}$. (Az A „konstans” nagyjából fordítva arányos T harmadik hatványának négyzetgyökével. Azért csak nagyjából, mert több más dologtól is függ, és ezek szintén függenek némileg a hőmérséklettől.) Az egyenletben I az ionerősség:

$$I = 0,5 \cdot (z_+^2 \cdot c_+ + z_-^2 \cdot c_-).$$

Az egyenlet akkor is érvényes, ha több kation és anion is van az oldatban: ekkor a megfelelő z^2 -et az illető ion koncentrációjával kell szorozni, és az összes ionra ezeket a szorzatokat összeadni. A 0,5 konstans szerepe csak az, hogy ha a kation és anion töltése is $\pm e$, akkor I megegyezzen a koncentrációval. A képlet használatához szükségünk van a d effektív ionátmérők táblázatára. Ezeket kísérletileg határozták meg:

Ion	d/nm
H ₃ O ⁺	0,9
Li ⁺ , C ₆ H ₅ COO ⁻	0,6
Na ⁺ , JO ₃ ⁻ , HSO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₂ AsO ₄ ⁻ , CH ₃ COO ⁻	0,4–0,45
OH ⁻ , F ⁻ , SCN ⁻ , HS ⁻ , ClO ₃ ⁻ , ClO ₄ ⁻ , BrO ₃ ⁻ , IO ₄ ⁻ , MnO ₄ ⁻	0,35
K ⁺ , Cl ⁻ , Br ⁻ , I ⁻ , CN ⁻ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , HCOO ⁻	0,3
Rb ⁺ , Cs ⁺ , Tl ⁺ , Ag ⁺ , NH ₄ ⁺	0,25
Mg ²⁺ , Be ²⁺	0,8
Ca ²⁺ , Cu ²⁺ , Zn ²⁺ , Sn ²⁺ , Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , Ni ²⁺ , Co ²⁺	0,6
Sr ²⁺ , Ba ²⁺ , Cd ²⁺ , Hg ²⁺ , S ²⁻	0,5
Pb ²⁺ , CO ₃ ²⁺ , SO ₃ ²⁺ , (COO) ₂ ²⁺	0,45
Hg ₂ ²⁺ , SO ₄ ²⁺ , S ₂ O ₃ ²⁺ , CrO ₄ ²⁺ , HPO ₄ ²⁺	0,4
Al ³⁺ , Fe ³⁺ , Cr ³⁺ , La ³⁺ , Ce ³⁺	0,9
PO ₄ ³⁻ , Fe(CN) ₆ ³⁻	0,4
Th ⁴⁺ , Zr ⁴⁺ , Ce ⁴⁺ , Sn ⁴⁺	1,1
Fe(CN) ₆ ⁴⁻	0,5

Válójában elektromos mérésekkel csak az

$$\frac{\lg f_+}{z_+} - \frac{\lg f_-}{z_-} = \left(\frac{1}{z_+} - \frac{1}{z_-} \right) \lg f_{\pm}$$

értéket, vagy az egyenlőség által megadott f_{\pm} mennyiséget tudjuk mérni. Az f_{\pm} az *átlagos aktivitási tényező*. A következő táblázatban összevetjük a mért átlagos aktivitási tényezőket a számítottal:

c mol/kg H ₂ O	HCl szám.	HCl mért	CuCl ₂ szám.	CuCl ₂ mért	kékgalic szám.	kékgalic mért
0,001	0,9657	0,9656	0,8973	0,89	0,7645	0,74
0,005	0,9296	0,9285	0,8012	-	0,5837	0,53
0,01	0,9062	0,9048	0,7445	0,72	0,4933	0,41
0,05	0,8303	0,8404	0,5888	0,58	0,2967	0,21
0,1	0,7892	0,7964	0,5200	0,52	0,2308	0,16
0,2	0,7451	0,7670	0,4559	0,47	0,1794	0,11
0,5	0,6856	0,7571	0,3836	0,42	0,1315	0,068
1,0	0,6427	0,8090	0,3397	0,43	0,1072	0,047
2,0	0,6037	1,01	0,3050	0,51	0,0903	-

Mint látjuk, az egyezés kb. 0,1 mol/kg koncentrációig tűrhető. Kb. 0,001 mol/kg koncentrációnál és az alatt még akkor is nagyon jó az egyezés, ha az ionátmérőt tartalmazó tagot elhagyjuk, és a $-\ln f \approx 1 - f$ közelítést alkalmazzuk. Ez megfelel annak, hogy az aktivitási tényező az ionerősség négyzetgyökének lineáris függvénye.

Ha elmozdulnak az ionok, akkor is igyekeznek magukkal vonszolni az ellentétes töltésű ionokat. Ez magyarázza az ionoldatok egységnyi koncentrációra eső vezetőképességének kis ionkoncentrációkra az ionkoncentráció négyzetgyökétől való közelítőleg lineáris függését, de az együttható kicsit más. Hasonló a helyzet az ozmózisnál, a forráspontemelkedésnél és a fagyáspontcsökkenésnél, megint kicsit más együtthatóval.

Tulajdonképpen a legtöbb helyen az ionkoncentrációk helyett az aktivitásokkal kellene számolnunk. Az egyszerűség kedvéért ezt nem tesszük, de ne feledjük, hogy néhány dolgot csak az aktivitásokkal lehet megmagyarázni. Például sokszor rosszul oldódó csapadékok sóoldatokban jobban oldódnak. A magyarázat az, hogy a sóoldat nagy ionerőssége lecsökkenti a csapadék ionjainak aktivitását, az oldhatósági szorzat viszont az aktivitások szorzata, így a csapadék ionjai koncentrációjának nőni kell. **

2.15.15. Gondolatkísérlet. ** Ha már benne vagyunk a gondolatkísérletekben, gondolkodjunk el azon is, hogyan változik meg a sósav bontási feszültsége, ha az elektrolízist p_1 nyomáson végezzük a p^0 nyomás helyett. Mint az előbb, $1 \mathbf{F}$ töltést felhasználva, $1/2$ mól H₂ és $1/2$ mól Cl₂ keletkezik. A gázokat kiterjesztve $\mathbf{R} \cdot T \cdot \ln(p_1/p^0)$ munkát kapunk, és mivel minden (majdnem) megfordítható, visszakapjuk az elektrolízisbe befektetett $\Delta U \cdot \mathbf{F}$ plusz munkát. Itt is feltehetjük, hogy $\Delta U_a = -\Delta U_k$, és mivel $\Delta U = \Delta U_a - \Delta U_k$, azt kapjuk, hogy

$$\Delta U_k = -\Delta U_a = \frac{1}{2} \frac{\mathbf{R} \cdot T}{\mathbf{F}} \ln \frac{p_1}{p^0} = \frac{\mathbf{R} \cdot T}{\mathbf{F}} \ln \sqrt{\frac{p_1}{p^0}}.$$

Tekintsük most a vízbontást. Itt 1 F töltést felhasználva, 1/2 mól H_2 és 1/4 mól O_2 keletkezik. Az oxigént kiterjesztve

$$\frac{R \cdot T}{4} \cdot \ln \frac{p_1}{p^\theta}$$

munkát kapunk, és mivel minden (majdnem) megfordítható, visszakapjuk az anódfeszültség növekedése miatt befektetett $\Delta U_a \cdot F$ plusz munkát. Így azt kapjuk, hogy

$$\Delta U_a = \frac{1}{4} \cdot \frac{R \cdot T}{F} \ln \frac{p_1}{p^\theta} = \frac{R \cdot T}{F} \ln \sqrt[4]{\frac{p_1}{p^\theta}}.$$

Általában ahány F töltés kell felhasználnunk a keletkező gáz 1 móljának előállításához, annyiadik gyököt kell vonnunk. ** \square

2.16 A sósav és a fémek

A fémek sósavban való oldódásával és klórral alkotott vegyületeikkel fogunk foglalkozni. Mielőtt ebbe belemennénk, foglalkozzunk egy igen fontos kérdéssel: hogyan állapíthatjuk meg, hogy egy fémnek mekkora a móltömege és hány vegyértékű?

2.16.1 Kísérlet. Ha egy kevés alumínium fóliát leöntünk hígított sósavval, gázfejlődést észlelünk. Érintsük meg egy csupasz rézdróttal a fóliát: a gázfejlődés élénkebb lesz, és a gáz főleg a rézdróton fejlődik. Persze, melegítésre is élénkebb lesz a gázfejlődés. Egy gyufától a kiáramló gáz elpuffan, esetleg meggyullad: hidrogén fejlődött. Ha egy külön kémcsőben kipróbáljuk, kiderül, hogy a réz nem is oldódik sósavban, még ha melegítjük se, miért fejlődik akkor rajta a hidrogén? A magyarázat, hogy az alumínium oldódik, de a hidrogén nehezen válik le az alumíniumon, ezzel már találkozunk. \square

2.16.2 Kísérlet. Emlékezzünk vissza arra a kísérletre, amely a szabad entalpia szerepére vezetett rá bennünket. Fogjunk két csipeszbe egy alumínium fóliát illetve egy rézlemez a hozzájuk vezető rézdróttal, és a két csipeszt befőttes gumival fogjuk össze. Mártsuk a lemezeket egy pohárkában lévő hígított sósavba. A két rézdrót között jelentős, 1 V nagyságrendű feszültség mérhető. Ha összeértetjük őket, gázfejlődés indul meg, de nem az Al fólián, hanem a rézlemezen. Az áram néhányszor 10 mA. Ugyanezt tapasztaltuk nátronlúgban, bár ott réz helyett vasat használtunk. A kísérlet működik vaslemezzel is, de rézzel sokkal meggyőzőbb, mert a vas maga is oldódik sósavban hidrogénfejlődéssel. A magyarázat az, hogy a hidrogén nehezen válik ki a tiszta alumíniumon, ezért az alumínium ionok oldódásakor hátramaradó elektronok átmennek a rézre, mert azon sokkal könnyebben válik ki a hidrogén. A kísérlet csak tiszta alumíniummal sikerül jól: az alumínium ötvözetekben lévő más fémek (gyakran réz) könnyebbé teszik a hidrogén leválását az alumíniumon. Amit csináltunk, az lényegében egy *Volta-elem*, azzal a különbséggel, hogy Volta sósav helyett kénsavat, alumínium helyett, amit akkor még nem is ismertek, cinket használt. A cinken és az ólmon is nehezen válik le a hidrogén, de különösen a higanyon. Általában az alacsony olvadáspontú (és ezért puha) fémeken nagy a hidrogén túlfeszültsége. \square

** Mint volt szó róla, ha rézelektrodot rézsó oldatba merítünk, azonnal megindul a rézionok kiválása a rézre és a rézatomok átlépése az oldatba elektronok hátrahagyásával. A réz

valamennyire feltöltődik, mire a két irányú áram egyensúlyba kerül. A beálló csereáram-sűrűség arányos a koncentrációval. Hasonló dolog történik bármilyen fémelektóddal, ha saját sójának oldatába merül, de a feszültség teljesen más. Ilyen esetekben a csereáram-sűrűség általában elég nagy. Ha a fémet az oldathoz képest negatívabbá tesszük, az ionok kiválása exponenciálisan gyorsul, az oldódásuk exponenciálisan lassul, gyakorlatilag nulla lesz. Már kis túlfeszültség hatására is megindul a fémkiválás. Ha a fémet az oldathoz képest pozitívabbá tesszük, a fém oldódása indul meg már kis túlfeszültség hatására is.

Tekintsünk most egy sav oldatba merülő higancseppet! Itt H^+ ionok adják át töltésüket a felületnek, és H_2 válik ki, illetve H_2 gáz ad le elektronokat a higanynak, és lép oldatba H^+ ionként. Ez azonban rendkívül nehezen lejártszódó folyamat (nagyon nagy energia kell hozzá) ezért a csereáram-sűrűség rendkívül kicsi. A higanyon csak nagy negatív túlfeszültség hatására erősödik fel annyira a semlegesítődés, hogy észrevehető hidrogénkiválás induljon meg. Nem minden fémen van ez így, például platinán nagy a csereáram-sűrűség, és így kicsi a hidrogén túlfeszültsége. Az alumíniumon is kicsi a hidrogén csereáram-sűrűsége, így nagy a túlfeszültsége. **

2.16.3 Kísérlet. Próbáljuk meg meghatározni az alumínium móltömegét! Mérjük meg egy Al fólia szélességét és tömegét: mérjük meg a tele tekercset, majd ha elfogy, az üres gurigát. Egy ugyanolyan (többféle vastagságút árulnak) tekercset tegyünk félre magunknak. A hossza rá van írva. Számítsuk ki egy négyzetcentiméter tömegét: nekem 2,7 mg adódott. Ennyi nagyjából 3,5 ml hidrogént fog fejleszteni sósavból. Egy kis műanyag palack tetejéből vágjunk le: kapunk egy kis tölcserkét. A tölcserkébe tegyünk bele egy megfelelő méretű, pontosan megmért területű fóliadarabot, amire teljesen tiszta, finom rézszálakat hajtogattunk, majd a szélesebb végét kötözzük be egy tülldarabbal! A réz csak arra kell, hogy gyorsabb legyen az oldódás. Tegyük a tölcserkét a szélesebb végével lefelé egy kis pohár vízbe, és állítsunk fölé egy vízzel töltött nagy kémcsövet, amiben elfér a fejlődő hidrogén. Ha kész az összeállítás, tegyük egy tálba és öntsünk tömény sósavat a vízhez. Várjuk meg, amíg az alumínium teljesen feloldódik: néhányszor 10 perc is lehet. Mérjük meg a hidrogén térfogatát és számoljuk ki, hány mol. Nekem a fóliacsík a közepén és az egyik végén 14,40 mm széles, a másik végén 15,35 mm széles volt, a hossza pedig 73,65 mm, így a tömege 28,95 mg. a hidrogén térfogata 37,6 ml volt 1001 mbar nyomáson és 20,7 °C-on, ami 3,081 mmol H-nek (sic!) felel meg. Tehát 1 mol (≈ 1 g) H fejlesztéséhez 9,4 g Al kell. Ha az alumínium 1 vegyértékű, akkor tehát 9,4 g a móltömege. Ha viszont két vegyértékű, akkor 18,8 g a móltömege, ha három vegyértékű, akkor 28,2 g a móltömege, stb. Melyik lehetőség áll fenn? Ezt döntjük el a következő kísérletben. □

2.16.4 Kísérlet. Magas hőmérsékleten és kis nyomáson az anyagok viselkedését az „ideális gáz” közelíti, aminek a lényege, hogy a molekulák nem hatnak egymásra, szabadon mozognak. Alacsony hőmérsékleten és nagy nyomáson viszont az anyagok állapotát az „ideális szilárd test” közelíti, amiben az atomokat végtelenül nagy erők rögzítik egymáshoz, így a keménység végtelen nagy, a fajhő pedig nulla, mert az atomok nem jönnek rezgésbe. Jól közelíti ezt az állapotot a gyémánt: nagyon kemény és 50 K alatt a fajhője mérhetetlenül kicsi. Más anyagoknál is a fajhő nagyon gyorsan nullához közeledik, ha az abszolút nulla ponthoz közeledünk, az abszolút hőmérséklet harmadik hatványával arányos. A pontos magyarázat a rezgési szabadsági fokok „befagyásával” kapcsolatos, amiről a gázoknál már volt szó. Annál meglepőbb a kísérleti úton talált *Dulong–Petit-szabály*: a fémeknél az egy móltra eső hőkapacitás (a fajhő és a móltömeg szorzata, az

úgynevezett C_p *atomhő*) szobahőmérsékleten, standard nyomáson ≈ 26 J/K. Ez annak felel meg, hogy a fémeknél az egy móltra eső C_v hőkapacitás szobahőmérsékleten, állandó térfogaton $\approx 3R \approx 5,96$ cal/(mol·K) ≈ 25 J/(mol·K), azaz a szabadsági fokok száma ≈ 6 . Nem könnyű ezt pontosan megmagyarázni, a fémrács rezgési lehetőségeinek számával van kapcsolatban. Mindenesetre ez azt jelenti, hogy egy fém fajhőjét megmérve, nagyjából kiszámolhatjuk a móltömeget. A mért C_p értékeket J/(mol·K)-ben a 2.16.1 táblázat tartalmazza.

Elem	C_p	Elem	C_p	Elem	C_p	Elem	C_p
Ag	25,53	C(gy.)	6,07	K	29,18	S	22,65
Al	24,36	Ca	26,29	Li	23,65	Sb	25,24
Au	25,24	Cd	25,91	Mg	23,90	Si	19,80
Be	17,83	Cu	24,53	Na	28,42	Sn	26,37
Bi	25,53	Fe	25,24	Ni	25,78	W	24,99
C(gr.)	8,62	I	27,50	Pb	26,75	Zn	25,41

2.16.1 táblázat: atomhők.

Mint látjuk, a szabály közelítő, és nemfémekre igen nagy az eltérés. Mégis, még egyszerűbb vegyületekre, például oxidokra, kloridokra, szulfidokra is igaz, hogy egy mólnyi anyag hőkapacitása, az úgynevezett C_p *mólhő* nagyjából az atomhők összege. Persze, az oxigén meg a klór nem szilárdak normál hőmérsékleten, így az atomhőt a vegyületek mólhőjéből kell visszaszámolni: oxigénre $\approx 18,8$ J/(mol·K), klórra $\approx 23,4$ J/(mol·K) adódik.

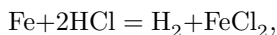
Az Al fajhője, mint már megmértük, $0,96$ J/(g·K). Ha feltételezzük, hogy atomhője 26 J/(mol·K), akkor a móltömege $26/0,96 \approx 27,1$ g. Így az előző kísérlet szerint a móltömeg ≈ 28 g, és az alumínium három vegyértékű. Valójában a móltömeg ≈ 27 g. A hibát valószínűleg a tömeg meghatározásának pontatlansága okozza (a fólia vastagsága nem egyenletes) és nagyobb darab alumíniumot használva pontosabb értéket kaphatnánk. Ugyanígy meghatározhatjuk más fémek móltömegét és vegyértékét is. □

** Mi a helyzet a folyadékokkal? Kevés atomos molekulákból álló folyadékok, például higany, víz, stb., atomhője is 25 J/(mol·K) nagyságrendű, bonyolultabb molekulákból álló folyadékoknál azonban lényegesen kisebb, csak 8 – 13 J/(mol·K) nagyságrendű, és erősen függ a hőmérséklettől, általában annak a növelésével nő. Ez összhangban van a szabadsági fokok „befagyásáról” mondottakkal.

A párolgáshőre vonatkozó Trouton-szabályt is megfogalmazhatjuk mólokra vonatkoztatva: 0 és 200 °C közötti forráspontú folyadékok 1 móljának párolgáshője osztva a forrásponttal 88 J/K körül van. Ha ennél magasabb — mint például a víznél — akkor arra következtethetünk, hogy a molekulák között erősebb kötések vannak.

Van-e ennek megfelelője az olvadáshőre? Csak egyatomos molekulákból álló anyag (például fémek) olvadáshőjére: 1 mól olvadáshője osztva az olvadásponttal 6 és 14 J/K között van. **

2.16.5 Kísérlet. Hígított sósavba adagoljunk apránként vasreszeléket (esetleg vasforgácsot, apró vasszeget, vasdrótot). Heves pezsgés, gázfejlődés indul meg. Egy gyufától a kiáramló gáz elpuffan, esetleg meggyullad: hidrogén fejlődött. A reakció:



azaz világoszöld *vas(II)-klorid* keletkezett. Töményebb sósavval töményebb oldatot kapunk. Addig adagoljuk a vasat, amíg a pezsgés megszűnik és a vas egy része oldatlanul marad a kémcső alján. Egyelőre tegyük félre a kémcsövet.

Hasonló a reakció cinkkel: $Zn+2HCl = H_2+ZnCl_2$, azaz szintelen *cink-klorid* keletkezik. Itt a reakció még hevesebb. Készítsünk töményebb sósavval minél töményebb cink-klorid oldatot. Itt is maradjon oldatlan cink a kémcsőben.

Az alumínium oldódását részletesen megbeszéltük: $2Al+6HCl = 2AlCl_3+3H_2$, azaz szintelen *alumínium-klorid* keletkezik. Elég lesz a híg sósavval készült oldat is. Alumínium azért maradjon az alján. Most ne tegyünk a kémcsőbe rézdrótot. Az oldódás lassan indul, de melegítésre, vagy ha az oldat felmelegszik, nagyon heves lesz. Ezért vagy a sósavat, vagy az alumíniumot apránként adagoljuk.

Magnézium reakciója híg sósavval még hevesebb: $Mg+2HCl = H_2+MgCl_2$, azaz szintelen *magnézium-klorid* képződik. Ugyanúgy járunk el, mint a fentiekben.

Próbálkozzunk ön oldásával híg sósavban! Alig tapasztalunk reakciót. Öntsük le a híg sósavat, és öntsünk az önra töményebb sósavat. Különösen melegítésre megindul a reakció: $Sn+2HCl = H_2+SnCl_2$, szintelen *ón(II)-klorid* keletkezik. Ugyanúgy járunk el, mint a fentiekben.

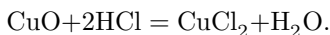
Próbálkozzunk tiszta ólommal. Ez sem oldódik híg sósavban. Öntsük le a híg sósavat, és öntsünk az ólomra töményebb sósavat. Különösen melegítésre lassú hidrogénfejlődést tapasztalunk: $Pb+2HCl = H_2+PbCl_2$, szintelen *ólom(II)-klorid* keletkezik. 5–10 percig forralgassuk, majd hagyjuk kihűlni. Finom fehér tűk alakjában kikristályosodik az ólom(II)-klorid, amely meleg vízben mérsékelten oldódik, hideg vízben kevésbé. Ez a rossz oldhatóság akadályozza az ólom oldását sósavban.

Végül finom részszálakat próbáljunk meg feloldani sósavban. Csak annyi sósavat öntsünk rá, hogy ne lepje el teljesen a részszálakat a sósav. Nincs reakció, még akkor se, ha főzzük. Tegyük félre a kémcsövet. □

A következő kísérletben egy régi adósságot törlesztünk, azután pedig feloldjuk az ólmot és a rezet egy kis kerülővel. A többi fém-klorid oldattal nemsokára tovább kísérletezünk.

2.16.6 Kísérlet. A vas-oxidok redukálásánál kapott mágneses porról nem tudjuk biztosan, hogy vas-e, mert vannak mágneses vas-oxidok is. Most meggyőződhetünk róla, hogy vas: cseppentsünk rá pár csepp sósavat. Ha vas-oxid lenne, nem fejlődne gáz: $FeO+2HCl = FeCl_2+H_2O$. □

2.16.7 Kísérlet. A réz nem oldódik savakban, nem bírja a hidrogént kiszorítani a savból. Ha azonban pár nap múlva megnézzük a kémcsövet a részszálakkal és a sósavval, azt tapasztaljuk, hogy a sósav sárga lett. A levegő oxigénje jött segítségünkre: $2Cu+O_2 = 2CuO$, réz(II)-oxid képződik, amit a sósav azonnal felold:



Az oldatot vízzel erősen felhígítva előtűnik a halványkék, a rézsók jellegzetes színe. A színváltozásra később visszatérünk. Másként is célt érhetünk és kicsit több réz(II)-kloridot kaphatunk: tegyük a finom részszálakat óraüvegre, és öntsünk rájuk annyi hígított sósavat, hogy ne lepje el őket teljesen. Az egészet fedjük le egy papír kúppal. (Mint a szűrőpapírt, úgy vágjuk és hajtogassuk a papírt.) Lassan réz(II)-klorid keletkezik, ami ha a sárga, szinte barna oldat beszárad, kék dihidrátként ki is válik. Ne hagyjuk tovább állni, mert

a réz tovább oxidálódik, és az anyag megzöldül. Ha ez történe, öntsünk még rá sósavat és hagyjuk újra beszáradni. A kék kristályokat szűrőn keresztül mossuk kis üvegbe.

A réz vegyületek bár mérgezőek, emberre nem olyan veszélyesek, a környezetre viszont igen. Permetezőszernek használják őket. A kísérleteknél keletkező réz tartalmú hulladékot gyűjtsük egy „Réz gyűjtő, mérég” feliratú palackba. Nemsoká lesz róla szó, hogyan tehetjük ártalmatlanná. □

2.16.8 Kísérlet. Az ólom rosszul oldódik sósavban. Mint láttuk, ha nehezen is, de ki bírja üzni a hidrogént a sósavból, viszont a keletkező ólom(II)-klorid rosszul oldódik vízben, így bevonja az ólom felületét és megakadályozza a további oldódást. Könnyebb az ólmot ecetben feloldani. Ebben viszont túl kevés a hidrogén ion, hogy az ólom hidrogénfejlődéssel feloldódjon. A levegő oxigénjét fogjuk használni. Lehetőleg tiszta ólmot megolvastva csepegtessünk porcelán tányérba, amit lábas fenekére tettünk. A keletkező vékony lemezekből mérjük le pár grammot lehetőleg cg pontossággal egy kis főzőpohárba vagy kristályosító tálba, öntsünk rá annyi töményebb ecetet, hogy ne lepje el teljesen, takarjuk le papír kúppal, és hagyjuk állni. Ahogy beszárad, fehér réteg válik ki. Az ólom először oxidálódott, az oxidot az ecetsav feloldotta, azonban az ólom(II)-acetátot a levegő szén-dioxidja ólom(II)-karbonáttá alakítja, ami részben elbomlik ólom(II)-hidroxiddá, ha az ecetsav elpárolgott. Mindenesetre mindkettő könnyen oldódik ecetben, a karbonát pezseg is. Ha még sok ólom van, újra hagyhatjuk beszáradni, esetleg többször is. Végül öntsünk rá erős ecetet, amíg minden fehér anyag feloldódik, csak ólom marad oldatlanul. Nem árt, ha felforraljuk. Szűrjük le kis tölcsérbe tett, a tölcsérrel együtt lemért szűrőpapíron. A maradék ólom mind kerüljön a szűrőpapírral. Üvegbot végére húzott gumi vagy műanyag cső darabbal célszerű a maradékot a tölcsérbe kaparni, vízzel utána öblítve. Vigyázzunk, hogy az oldatból egy csepp se vesszen el! Ha kell, ide-oda szűrhetjük az oldatot az üveg és a főzőpohár között. Általában nem lesz teljesen tiszta, mert a levegő szén-dioxidja is leválaszt belőle valamennyi nagyon oldhatatlan ólom-karbonátot. Végül kevés ecettel mossuk ki a főzőpoharat és a szűrőpapírt, aztán vízzel, majd a tölcsérkét szárítsuk meg. Megmérve a tölcsért, megkapjuk, hogy mennyi ólom maradt. Az oldathoz adjunk annyi vizet — ha zavaros, ecetet — hogy ólomra 0,25 M koncentrációjú legyen. A színtelen oldat amit készítettünk, némi ecetsavat tartalmazó ólom(II)-acetát, régi nevén *ólomcukor* oldat. Régi nevét édeskés ízéről kapta, de MEG NE KÓSTOLJUK, MERT NAGYON MÉRGEZŐ: MÉREGJELZÉSEL ELLÁTVA, ZÁRT HELYEN KELL TARTANI! Régen gyógyszernek is használták, de legnagyobb egyszeri adagja 0,1 g volt! Még veszélyesebb, hogy napi 1 mg-nál több ólmot bevive a szervezetbe az ólom felhalmozódik és hónapokig, sőt, évekig megmarad súlyos mérgezést okozva. Vigyázzunk az ólomvegyületekkel! A kísérleteknél keletkező ólomtartalmú hulladékot gyűjtsük egy „Nehéz fém gyűjtő, mérég” feliratú palackba. Majd később lesz róla szó, hogyan tehetjük ártalmatlanná.

Egyébként hasonlóan készíthetünk a maradék réz visszamérésével ismert töménységű réz(II)-klorid oldatot, de inkább más réz sót szokás használni. □

2.16.9 Kísérlet. Pár csepp réz(II)-klorid oldatba tegyünk egy fényes vasszeget. Rövid idő alatt vörös rézréteg vonja be. A vas könnyebben adja le elektronjait mint a nemesebb réz, ő maga oldatba megy és helyére réz válik ki: $\text{Fe} + \text{Cu}^{2+} = \text{Cu} + \text{Fe}^{2+}$. Talán ez a megfigyelés adta az alapot az alkimisták aranycsinálási törekvéseinek. Bányavizekben gyakran találhatók oldott rézvegyületek. Úgy gondolhatták, hogy ha a bányavíz a kevésbé nemes vasat nemesebb rézzé változtatja, akkor a „bölcsek köve” segítségével kevésbé

nemes anyagokat arannyá lehet változtatni.

Ennek alapján a réz gyűjtő tartalmát úgy tehetjük ártalmatlanná, hogy sósavval meg-savanyítjuk (az esetleg vízben oldhatatlan csapadék oldására), majd vas hulladékot (re-zseléket, forgácsot, drótot, apró szeget, stb.) szórunk bele. Lassanként kiválik a réz a vasra. Egy-két nap múlva a tisztájából kiöntünk egy keveset, és egy fényes vas szeget ál-lítunk bele. Ha 10 perc alatt nem vonódik be rézzel, akkor az összes réz kivált, az oldatot kiönthetjük, az üledéket pedig kidobhatjuk.

Vizsgáljuk tovább a jelenséget. A réz(II)-klorid oldatból az ón, a cink, az alumínium és a magnézium is rezet választ ki.

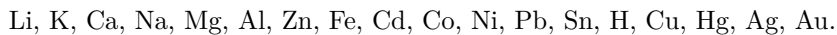
A vas(II)-klorid oldatunk valószínűleg megsárgult: ez a levegő hatása. Készítsünk frisset néhány ml tömény sósavval. Forraljuk fel! Ha megszűnt a hidrogénfejlődés, szűrjük át egy másik kémcsőbe. Dobjunk bele egy cinkdarabkát, amit frissen törtünk el. A vas(II)-klorid oldatból nagyítóval láthatóan vas válik ki. Erős mágnessel is meggyőződhetünk róla, hogy vas vált ki: a kémcsőben a cinkdarabka a mágnes hatására megmozdul. Ha papírra borítjuk a cinkdarabkát, nagyítóval jól látható a sötétszürke vas.

Tömény sósavval készült cink-klorid oldatból ugyancsak nagyítóval láthatóan cink vá-lik ki a magnéziumra. Az alumíniumot vagy a magnéziumot már nem sikerül oldatból kiválasztani: azok a fémek, amelyek esetleg erre képesek lehetnének, vizes oldatból hid-rogént fejlesztenek (már a magnézium is). A réz egyébként higany sók oldatából higanyt választ ki: higany só oldatába mártva és utána felületét szűrőpapírral megdörzsölve fényes higanytűkör keletkezik. Egy higanycseppre ezüst só oldatából apró tűk alakjában ezüst válik ki.

Ennek a kísérletnek az alapján a fémeket növekvő nemesség szerint az alábbi sorba rendezhetjük:



Arra, hogy a magnézium kevésbé nemes, mint az alumínium, abból következtettünk, hogy forró vízzel hidrogént fejleszt. A sorba — bár nem fém — besorolhatjuk a hidrogént is, a vas és a réz közé. Az ón és az ólom a hidrogéntől balra, valahova a vas közelébe sorolható be. (Az ón is és az ólom is kiválik cinkre és persze alumíniumra és magnéziumra is.) Egy teljesebb sor, pontosabb kísérletek alapján:



Most érhetjük meg, miért érdemes egy fém savban való oldásakor feleslegben venni a fémot: a nála nemesebb fémek így nem mennek oldatba, az oldat tisztább lesz! Jó lenne valami módszer, amivel pontosan mérhetnénk, melyik fém milyen könnyen adja le elektronját. Ezzel foglalkozunk a következő kísérletben. □

2.16.10 Kísérlet. Vegyük elő U-csövünket! Hidegen telített KCl oldatban oldjunk for-rón 3% agar-agar-t, és öntsük az U-cső aljára. Amikor megdermedt, az egyik szárba öntsünk fölé réz(II)-klorid oldatot (nem baj, ha sósavas), és tegyük bele tiszta, fényes rézelektrodot. A másik szárba öntsünk kevés vas(II)-klorid oldatot (közvetlenül a kémcső-ből, amiben oldottuk, és benne van még a maradék vas; ha megsárgult, készítsünk frisset) és tegyük bele fényesre csiszolt vaselektrodot. A két elektród között feszültségkülönbség mérhető, a réz a pozitívabb. Ez az a feszültség, ami átviszi a vasról az elektronokat a rézre. Így bármilyen két fém-fém só pár között fellépő feszültséget megmérhetünk. A tömény KCl

a diffúziós feszültség (majdnem teljes) kiközöbölésére kell. Ha például cink–cink-klorid és réz–réz(II)-klorid párt használunk, akkor lényegében az úgynevezett *Daniell-elemt* hoztuk létre, bár Daniell más cink- és rézsót használt, ez azonban a feszültségen mit sem változtat, csak a fémion számít.

Miért nem mérjük közvetlenül az oldat és fém közötti feszültséget? Sajnos ez nem megy: az áramnak be és ki kell lépnie az oldatba illetve oldatból, és ehhez két elektród kell. A legtöbb, amit tehetünk, hogy minden fém–fémion párnál másik párnak ugyanazt a fém–fémion párt használjuk. Bár a hidrogén nem fém, a másik párnak a H_2/H^+ párt szokás választani, 1 mol/kg víz koncentrációjú savba merülő platinázott platina elektród körül buborékoltatva a normál állapotú teljesen tiszta hidrogént. Így a mért feszültség attól függően negatív vagy pozitív, hogy a fém fejleszt-e savból hidrogént vagy nem. Ez az úgynevezett *normál hidrogén elektród*. Ezt az elektródot nehéz lenne otthon megcsinálni, ezért csak közöljük az eredményeket. Van azonban még egy probléma. Aki jól megértette a sósav bontási feszültségéről mondottakat, tudja, hogy még a normál hidrogén elektróddal szembeni feszültség is függ a fémion mol/kg víz egységben mért c koncentrációjától:

$$U = U_0 + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \frac{c}{c_0} \approx U_0 + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot 2,303 \lg \frac{c}{c_0},$$

ahol $z \cdot e$ a fémion töltése, U_0 pedig a c_0 koncentrációnál meghatározott feszültsége az elektródnak a normál hidrogén elektródhoz képest. (Persze a hidrogén elektród feszültsége meg a hidrogén ionok koncentrációjától függ, így segítségével pH-t lehet mérni.) Ez azt is mutatja, hogy kísérletünk nagyon hanyag volt: számítanak a fémionok koncentrációi is. U_0 -at normál hőmérsékleten 1 mol fémion /1 kg víz koncentrációnál szokás mérni. Ez a *normál elektród potenciál*. Néhány normál elektród potenciál:

elektród	Li/Li ⁺	K/K ⁺	Ba/Ba ²⁺	Sr/Sr ²⁺	Ca/Ca ²⁺	Na/Na ⁺
U_0/V	-3,05	-2,93	-2,91	-2,89	-2,87	-2,71
elektród	La/La ³⁺	Ce/Ce ³⁺	Mg/Mg ²⁺	Al/Al ³⁺	Mn/Mn ²⁺	Zn/Zn ²⁺
U_0/V	-2,52	-2,48	-2,36	-1,66	-1,18	-0,76
elektród	Cr/Cr ³⁺	S/S ²⁻	Fe/Fe ²⁺	Co/Co ²⁺	Ni/Ni ²⁺	Sn/Sn ²⁺
U_0/V	-0,74	-0,48	-0,44	-0,28	-0,23	-0,14
elektród	Pb/Pb ²⁺	Fe/Fe ³⁺	Cu/Cu ²⁺	O ₂ /OH ⁻	I/I ⁻	Hg/Hg ₂ ²⁺
U_0/V	-0,13	-0,04	+0,34	+0,40	+0,53	+0,79
elektród	Ag/Ag ⁺	Hg/Hg ₂ ²⁺	Br/Br ⁻	Cl ₂ /Cl ⁻	Au/Au ³⁺	F ₂ /F ⁻
U_0/V	+0,80	+0,92	+1,09	+1,36	+1,40	+2,87

Meglepő lehet, hogy anionok is szerepelnek, de gondoljunk a sósav elektrolízisekor keletkező gázelemre. A táblázat alapján bármely elektródpár között fellépő feszültséget ki tudunk számítani: kiszámoljuk az adott koncentrációkhoz tartozó elektródpotenciálokat, és a kettő különbsége adja a feszültséget. ** Mint a sósav bontásával foglalkozó gondolatkísérletnél láttuk, ebből a feszültségből kiszámítható az így létrehozott elembe lezajló kémiai folyamat szabadentalpiáját is. Sőt, ha ismerjük a feszültség hőmérsékletfüggését, akkor $\Delta G/\Delta T$ is kiszámítható, ami megadja a reakcióentrópiát is. ** □

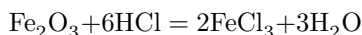
2.16.11 Kísérlet. A vas(II)-kloridnál mindig kiírtuk a római II-t annak jelzésére, hogy a vas két vegyértékű, míg a cink-kloridnál nem. Ez azért van, mert a cink mindig két vegyértékű, a vas viszont lehet három vegyértékű is. Öntsünk kevés vas(II)-klorid oldathoz kémcsőben ammóniaoldatot! Kissé zöldes fehér csapadék keletkezik: $Fe^{2+} + 2OH^- = Fe(OH)_2$.

Az ammónia lúgossága éppen csak elég ennek a csapadéknak a leválasztására, és ha ammóniumsók is vannak az oldatban, a csapadék esetleg le sem válik. Ha levegőt fűjünk az oldatba, akkor megzavarosodik, kezdetben zöldes lesz, majd majdnem fekete, végül rozsdabarna $\text{Fe}(\text{OH})_3$, vas(III)-hidroxid válik ki. (A fekete csapadék összetétele nagyjából a mágnesvaskőnek felel meg.) A vas(II)-hidroxidot a levegő oxigénje oxidálta vas(III)-hidroxiddá: $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$. A vas(III)-hidroxid — ellentétben a vas(II)-hidroxiddal — nem oldódik gyengén lúgos, semleges, sőt, még savas közegben sem, csak erősen savasban. Ez magyarázza a kiválását. A levegő oxigénje viszont csak lúgos közegben oxidálja gyorsan a vas(II)-t vas(III)-má, semleges közegben csak lassan (órák, sőt, napok alatt), savas közegben csak nagyon lassan. Most érthetjük meg, miért fűjtünk levegőt szóda, kalcium-klorid és más oldatokba: a vas szennyezést távolítottuk el, ami három vegyértékűvé oxidálódva leválik! □

2.16.12 Kísérlet. Kiforralt nátronlúg hatására levegőmentes oldatból (például abból, ami frissen készült, és még a maradék vas fölött áll) fehér $\text{Fe}(\text{OH})_2$ válik le, ami levegőn zöldesfehér, zöldesbarna, majd barna lesz. A $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 10%-os nátronlúgban elnyeli a levegő oxigénjét és egyes oxigén tartalmú anyagokból is elvonja az oxigént, tehát erős redukálószer. □

2.16.13 Kísérlet. A vas(II)-kloridból szóda oldattal fehér FeCO_3 válik le, ami azonban levegőn CO_2 felszabadulásával vas(III)-hidroxiddá alakul. □

2.16.14 Kísérlet. Vas(III)-kloridot is előállíthatunk közvetlenül: vörös vas-oxid porfestéket főzünk jó erős sósavval: az



reakció szerint vas(III)-klorid keletkezik. Nagyon nedvszívó és már 0,3 rész vízben feloldódik, így nehéz kristályosítani. Ezért a vörös vas-oxid oldásával készült oldatot használjuk, bár nem valami tiszta. Lemérjük az egész oldatot, visszamérjük az oldatlanul maradt vas-oxidot, és kiszámítjuk az oldat koncentrációját. 1/3 M koncentrációjú oldatot készítsünk, ilyet szokás használni. Ebből az oldatból lúgokkal egyből rozsdabarna vas(III)-hidroxid válik le. □

2.16.15 Kísérlet. Egy kis kiterő: vas(III)-klorid oldatunkat hígítsuk fel annyira, hogy a kémcsőben még éppen sárgának, de ne vörösbarnának látszódjon. Körülbelül 20 ml-t csepegtessünk 200 ml forrásban lévő desztillált vízhez. Sötét rozsdabarna oldatot kapunk. A vas(III)-klorid könnyen hidrolizál, amit kaptunk az kolloid vas(III)-hidroxid. □

2.16.16 Kísérlet. Az előző kísérlet egy másik változata: minél töményebb vas(III)-klorid oldathoz csepegtessünk ammónium-karbonát oldatunkból mindaddig, amíg a kezdetben előálló csapadék keverésre éppen újra feloldódik. Az esetleg megmaradó kevés csapadékot kevés vas(III)-klorid oldat hozzáadásával oldhatjuk fel, de ne adjunk hozzá túl sokat! Sötétbarna kolloid vas(III)-hidroxid oldatot kapunk. □

2.16.17 Kísérlet. Jó lenne valamilyen kémiai reakció, amivel ki tudnánk mutatni a vasat. A legelső ilyen anyag, *reagens*, amit már a kémia hőskorában is használtak, a *csersav* vagy *tannin*. Sok csersav van a tölgyfa kérgében, a bükkfa kérgében. Egyes vörös borokban is van csersav. Borászati boltokban lehet is kapni, a vörösborhoz szokták hozzáadni. Nagyrészt csersavból áll a tölgyfa gubacsa. A csersav nevét onnan kapta, hogy bőrök

cserzésére használják. Készíthetünk gubacsból, tölgyfakéregből főzetet vagy tinktúrát. Ha vásároltunk csersavat, csak oldjuk fel vízben. A teában is van csersav: készítsünk egy nagyon erős teát, és a teaívet a szokástól eltérően nagyon sokáig hagyjuk állni a jó forró vízben. Ekkor a csersav is kioldódik és a tea keserű lesz. Most azonban nem meginni akarjuk. Adjunk egy keveset vas(III)-klorid oldatunkhoz: fekete csapadék keletkezik. Ha a vas felett álló vas(II)-kloridból veszünk ki egy keveset, és ahhoz adunk csersavas oldatot, nem kapjuk meg a fekete színt, csak hosszabb állás, levegővel való összerázás után, ha a vas(II) vas(III)-má oxidálódott. Ha az ammóniával vagy nátronlúggal kapott vas(III)-hidroxid csapadékhoz sósavat öntünk, akkor az feloldódik vas(III)-kloridként, és ezzel már a csersavval egyből megkapjuk a fekete csapadékot.

Egyébként ezen a reakción alapult az eredeti tinta készítése: valamilyen vas(II)-sót csersav oldattal keverték, és esetleg megszínezték, hogy lehessen látni. Az ezzel készült írás színe csak fokozatosan lett fekete, ahogy a vas(II) vas(III)-má oxidálódott és reagált a csersavval.

A csersavnál sokkal jobb reagensek is vannak a vas(III)-ionok kimutatására, ezekkel majd később fogunk megismerkedni. □

2.16.18 Kísérlet. Ha savas közegben akarjuk a vas(II)-t vas(III)-má oxidálni, valamilyen erősebb oxidáló szerrel kell próbálkozzunk. Vas(II)-klorid oldatunkhoz adjunk sósavat, majd hidrogén-peroxidot vagy hyperol tablettát! Az oldat felpezseg, az oxidáció pillanatok alatt lejátszódik, az oldat zöldből sárga lesz. Egy másik lehetőség, hogy a vas(II)-klorid oldathoz klóros vizet adunk. Ekkor is megsárgul az oldat: $2\text{FeCl}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{FeCl}_3$. Ezek szerint a klór is oxidálószer? De hisz nincs is benne oxigén! Valóban, de a reakció lényege, hogy a Fe^{2+} ion lead még egy elektront, a klór pedig felveszi. A fémek oxigénnel való egyesülésekor is ez történik: a fém elektronokat ad le, az oxigén pedig felveszi őket. Ezért a vegyészek minden olyan reakciót, amelyben egy anyag elektronokat ad le, *oxidációnak* neveznek, és minden olyat, amiben egy anyag elektronokat vesz fel, *redukciónak*. Ezek szerint a fenti reakcióban a vas(II)-klorid oxidálódik, a klór meg redukálódik? Igen, ebben az elektronleadás-elektronfelvétel értelemben. Ezek szerint az oxidáció és a redukció együtt jár, hiszen ha valami elektront ad le, azt valaminek fel is kell venni! Szokás is *redox reakciónak* beszélni. □

2.16.19 Kísérlet. Ha a vas(II)-klorid klóros vízzel való oxidációja során elektronok adódnak át, akkor a szabad entalpiát (legalább egy részét) elektromos energia formájában is ki kell tudnunk nyerni. Vegyük elő U-csőünket hidegen telített KCl oldatos agar-agar kocsonyával! Az egyik szárába öntsünk hígított KCl oldatot, a másikba pedig vas(II)-klorid oldatot. Mindkettőbe merítsünk fényes rézdrótot. Feszültségkülönbséget nem mérhetünk. Öntsünk klóros vizet a KCl oldathoz. Feszültségkülönbség lép fel, a klóros vízben van a katód. A vas(II)-ionok által leadott elektronok kénytelenek átmenni a másik elektródra, hogy a klóratomokhoz csatlakozzanak. Ha árammérésre kapcsolunk és sokáig hagyjuk folyni az áramot, csersavval ki is mutathatjuk a keletkező vas(III)-at. □

2.16.20 Kísérlet. Az előző kísérletben vas(II)-klorid helyett ón(II)-kloridot is használhatunk. Az ón kettő mellett lehet négy vegyértékű is. Az itt létrehozott lényegében ón(II)/ón(IV) elektródot, illetve az előző kísérletben létrehozott vas(II)/vas(III) elektródot *redox elektródnak* nevezzük. Az áram el- illetve hozzávezetését redox elektródoznál nemesfém (platina, arany) elektróddal biztosítjuk. Ehhez a két kísérlethez elég nemes a

réz is. Egy redox elektród redox potenciálja normál hidrogén elektróddal szemben

$$U = U_0 + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]} = U_0 + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot 2,303 \lg \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]},$$

ahol z a redox folyamat során átmenő elektronok száma, $[\text{ox}]$ az oxidált, $[\text{red}]$ a redukált forma koncentrációja mol/kg oldószer egységben, U_0 pedig a *normál redox potenciál*, amit normál hőmérsékleten akkor mérhetünk, ha mindkét forma koncentrációja ugyanannyi. Ahogy nő az oxidált forma koncentrációja, úgy változik a feszültség. Ezt észre is vehetjük, különösen a mérés legelején: először feszültséget mérünk, majd 1 s-ig áramot, megkeverjük az elektrolitokat, újra feszültséget mérünk, majd 2 s-ig áramot, megkeverjük az elektrolitokat, újra feszültséget mérünk, majd 4 s-ig áramot, stb. A következő kis táblázatban megadjuk néhány normál redox potenciál értékét:

pár	Cr ²⁺ /Cr ³⁺	Sn ²⁺ /Sn ⁴⁺	Cu ⁺ /Cu ²⁺	Fe ²⁺ /Fe ³⁺	Pb ²⁺ /Pb ⁴⁺
U_0/V	-0,41	+0,15	+0,16	+0,77	+1,67

Bonyolultabb esetekben jobb felírni a teljes redox reakciót. Ha az összes szereplő ion 1 mol/kg oldószer koncentrációjú, akkor kapjuk a normál redox potenciált.

2.16.21 Kísérlet. Az előző kísérlet végén szereplő táblázat szerint az ón(II) erősebb redukálószer, mint a vas(II). Próbáljuk ezt ki! Öntsünk kevés vas(III)-klorid oldathoz ón(II)-klorid oldatot! A szín megváltozik. Ha elég sok az ón(II)-klorid, csersavval sem kapjuk meg a vas(III)-ra jellemző fekete színt. □

2.16.22 Kísérlet. Még egy érdekes elemfajttal ismerkedünk meg, a *levegőztetési elemmel*. Most is szükségünk lesz U-csővünkre, de egyszerűen hígított KCl oldattal töltjük meg. Két kis pohárkába öntünk az oldatból, majd az U-cső mindkét végét befogva, beleállítjuk a pohárkákba, egyiket az egyikbe, másikat a másikba. Mindkét pohárkába elektródnak egy-egy fényes vasszeg jön. Persze nincs feszültség. Az egyetlen különbség az lesz, hogy az egyik pohárkában a vasszeget egy U alakban visszahajlított végű csőbe állítjuk, amelyen át levegőt buborékoltatunk. Ettől ez a szeg oxigén elektróddá válik: az O₂ molekulák elektronokat vesznek fel és a vízzel OH⁻ ionokká alakulnak. A fenolftalein megpirosodik. A másik elektródon Fe megy oldatba elektronok leadásával. Végző soron a vas rozsdásodása zajlik, pontosabban annak első lépése. Figyeljük meg, hogy meglepő módon a vas nem ott oldódik, ahol az oxigén van! Kapcsoljunk árammérőre, és hagyjuk az áramot egy ideig folyni! A levegőztetett pohárkában fenolftaleinnel kimutathatjuk a lúgot. A nem levegőztetett pohárkából kivéve egy keveset, az nem lúgos. Viszont ammóniával majd levegővel, és esetleg savanyítás után csersavval kimutathatjuk az oldatba ment vasat. □

2.16.23 Kísérlet. Tegyük egy kitérőt: honnan tudjuk, hogy a vas három vegyértékű lesz ezekben a reakciókban? * Ha megmérjük, hogy mennyi hidrogént fejleszt, az derül ki, hogy a vas két vegyértékű alakban megy oldatba, és megkapjuk az atomtömegét. Mérjük le nagyon pontosan kb. 500 mg vasat, például virágdrótot. Oldjuk fel sósavban, majd vagy először oxidáljuk, vagy anélkül az oldatot jól felhígítva egy 300–500 ml-es főzőpohárban, adjunk hozzá ammóniát, amíg az oldat lúgos lesz, és hosszabban vezessünk bele levegőt. Ha a csapadék tiszta barnászörös, szűrjük le szűrőpapíron, jól mossuk ki (először dekantálással, majd a szűrőpapíron, anélkül, hogy állni hagynánk). Vigyázzunk,

hogy az összes csapadék a szűrőpapírra kerüljön! A szűrőpapírt hajtogassuk össze és tegyük egy kiizzított és lemért porcelán tégelybe. Nagyon kis lánggal óvatosan szárítsuk ki. Ha kiszáradt, oxidáló lánggal kicsit erősebben melegítsük a nyitott tégelyt, amíg a szűrőpapír elég. Közben a $\text{Fe}(\text{OH})_3$ átalakul $\text{FeO}(\text{OH})$ -vá, ami nagyjából a gypvasércnek felel meg. Ha a szűrőpapír elégett, izzítsuk ki erős oxidáló lánggal a tégelyt. A csapadék a vörösvasércnek megfelelő Fe_2O_3 összetételű lesz. Hogy valóban ez az összetétele, azt onnan tudjuk meg, hogy ha lehűlt, pontosan megmérjük. Mivel tudjuk, mennyi vas van benne, megkapjuk, hogy mennyi oxigén, így ismerve az atomtömegeket kiszámolhatjuk, hogy egy atom vasra 1,5 atom oxigén jut. Ebből persze következik, hogy itt a vas három vegyértékű. Egy hibaforrás lehet, hogy a szűrőpapír hamuját is belemértük a vas-oxidba. Ezt úgy küszöbölhetjük ki, hogy vagy hamumentes szűrőpapírt használunk, vagy egy ugyanakkora darab szűrőpapírt elhamvasztunk és megmérjük, mennyi hamut hagy.

Amit csináltunk, az lényegében *súly szerinti analízis*. Akármilyen vas tartalmú anyagban, ha el tudjuk választani a többi elemtől és vas(III)-hidroxid alakjában le tudjuk választani a vasat, így megmérhetjük, mennyi vas volt az anyagban. Más elemek súly szerinti mérése hasonló elven történik: az elemet ismert összetételű alakban elválasztjuk a többitől és a csapadékot (kiszáritva, esetleg kiizzítva) mérjük. * □

2.16.24 Kísérlet. A többi fémsót is kipróbálhatjuk, hogyan reagál lúgokkal. Kezdjük az ónnal! Nátronlúg hatására fehér $\text{Sn}(\text{OH})_2$ csapadék válik le, amely a reagens (azaz a lúg) feleslegében feloldódik. Ezt úgy nevezzük, hogy *amfoter*. A szó azt jelenti, hogy erős savval szemben gyenge lúgként, erős lúggal szemben gyenge savként viselkedik. Már tudjuk, hogy az ón(II) vegyületek könnyen oxidálódnak ón(IV) vegyületekké. Egyébként az ón(IV)-hidroxid is fehér csapadék és szintén amfoter, azonban át tud alakulni olyan változattá, amely már nagyon nehezen oldható. Tulajdonképpen mindkettő víztartalmú ón(IV)-oxid, de a durvább szemcséjű nagyon nehezen oldódik. Ha ammóniát vagy szódat adunk ón(II)-sóhoz, akkor is fehér hidroxid csapadékot kapunk szén-dioxid fejlődés mellett, amely azonban nem oldódik fel a feleslegben. A szén-dioxid fejlődést úgy értelmezhetjük hogy a gyenge lúgnak gyenge savval vett sója, az ón-karbonát hidrolizál. Az ón(II)-hidroxid leszűrve és melegítve vizet veszít, és olajzöld vagy barnásfekete ón(II)-oxiddá alakul. (Egyébként az átalakulás lassan víz alatt is végbemegy, fekete kristályos SnO képződik.) Vöröszízáig hevítve felizzik és ón(IV)-oxiddá alakul. Az ón(IV)-oxid, ónkő az ón legfontosabb ásványa. Faszénnel 900–1000 °C-on ónná redukálható. □

2.16.25 Kísérlet. Ónvegyületet tartalmazó oldatból cseppentsünk óraüvegre 2–3 cseppet, és adjunk hozzá 3–4 csepp tömény sósavat! Dobjunk bele egy kevés vasport, vasreszeléket. Az oldatot vízzel félig töltött kémcsővel megkeverve, tartsuk a kémcsövet teljesen kinyitott levegőnyílással égő Bunsen-égő lángmaga fölé kb. 1 cm-rel. A kémcső felületén bűzavirágkéken világító láng észlelhető. Ezt a lángban keletkező hidrogén hatására képződő SnH_4 , ón-hidrogén okozza. A reakció érzékeny és jellemző az ónra. Még a tömény sósavval elkevert ónkőpor is adja. □

2.16.26 Kísérlet. Az ón(II)-klorid fontos vegyszer. Az egyik lehetőség, hogy mindig frissen állítjuk elő óndarabkák tömény sósavas oldásával, de készíthetünk is magunknak belőle. Töményebb sósavhoz melegen ón darabkákat adagolunk. További ón darabokat adagolva hozzá bepároljuk, majd a maradék ónról leöntve dihidrátként kristályosítjuk. Nagyon jól oldódik vízben, de nem nedvszívó. Kevés vízben tisztán oldódik, de sok vízzel hidrolizál és fehér bázisos só, $\text{Sn}(\text{OH})\text{Cl}$ válik ki (próbáljuk ki). Ezt sósav hozzáadásával

megakadályozhatjuk. Még a savas oldat sem állandó, hacsak nem adunk hozzá fémes ónt: az ón(II)-klorid oxidálódik ón(IV) kloriddá, a sósav elfogy, és kiválik a bázisos só. Az ón(IV)-klorid folyadék, vízben nagyon jól oldódik, de nem nagyon disszociál. □

2.16.27 Kísérlet. Az alumínium nem változtatja vegyértékét. Az AlCl_3 oldat nátronlúggal, ammóniaoldattal és szódával hasonlóan reagál, mint az ón, tehát az alumínium-hidroxid is amfoter. Az alumínium-hidroxid kocsonyás fehér csapadék. □

2.16.28 Kísérlet. Készíthetünk alumínium-kloridot is. Lemért mennyiségű alumínium fóliát oldunk sósavban, és a visszamaradó alumíniumot visszamérjük. $1/3$ M töménységben használatos, de inkább majd az alumínium egy másik sóját fogjuk használni. □

2.16.29 Kísérlet. Érdekesen viselkednek lúgokkal a réz(II)-sók. Nátronlúggal világoskék $\text{Cu}(\text{OH})_2$ csapadékot kapunk, amely főzve megfeketedik, mert vízvesztéssel átalakul réz(II)-oxiddá: $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{CuO}$. Ha a nátronlúg nincs feleslegben, akkor a csapadék bázisos só, amely főzve nem feketedik meg. Szódával világos zöldeskék bázisos só válik le, ami töményebb szódaoldat nagy feleslegében kék színnel oldódik. Végül ammóniaoldattal világoskék csapadék válik le, ami a reagens feleslegében mély azúrkék (ibolyáskék) színnel feloldódik. Ez a reakció jellemző a réz(II)-sókra. □

2.16.30 Kísérlet. A magnézium mindig két vegyértékű. Sói nátronlúggal fehér magnézium-hidroxid csapadékot adnak. A csapadék a lúg feleslegében nem oldódik. Ammóniaoldattal csak akkor válik le a csapadék, ha az oldat nem tartalmaz sok ammóniumsót, mert egyébként az ammóniaoldat túl kevésbé lúgos a csapadék leválasztásához (a magnézium-hidroxid is lúgos). Cseppentünk szűrőpapírra egy csepp fenoltaleint, arra egy csepp magnéziumsót, majd cseppentsük meg ammónia oldattal! Megszáritva eltűnik a vörös szín, de vízzel megcseppentve előjön a magnézium-hidroxidtól. Ez a reakció jellemző a magnéziumra. Érdekes a helyet ceruza hegyével megjelölni, és egy másik helyen vakpróbát is végezni.

Szódával nagyjából $\text{Mg}_4(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_3$ összetételű bázisos karbonát válik le. Ez a *fehér magnézia*, latinul *magnesia alba*. Ennek a 600°C -on való izzításával (amíg ecettel már nem pezseg) készül a magnézium-oxid, *égetett magnézia*, latinul *magnesia usta*, amivel már találkoztunk. Szódabikarbonával nem válik ki csapadék, mert a magnézium-hidrogén-karbonát jól oldódik vízben, de az oldatból lassanként magnézium-karbonát válik ki. Ammónium-karbonáttal csak akkor válik ki csapadék, ha nincs sok erős savnak ammóniával képzett sója az oldatban, mert egyébként az oldat nem lesz elég lúgos. □

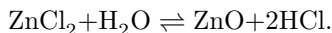
2.16.31 Kísérlet. A cink is mindig két vegyértékű. Sói nátronlúggal fehér gélyszerű csapadékot adnak, ami a reagens feleslegében feloldódik, tehát a cink-hidroxid amfoter. Ammónia oldat ammóniumsótól mentes oldatból ugyancsak cink-hidroxidot választ le, ami a reagens feleslegében feloldódik. Szódával fehér csapadékként bázisos cink-karbonát válik le, ami hasonló összetételű, mint a bázisos magnézium-karbonát. Ezt 300°C -on melegítve (amíg ecettel már nem pezseg) cink-oxidot kaphatunk. Tiszta cink-karbonátot szódabikarbonával kaphatunk. Ammónium-karbonáttal is leválik a bázisos cink-karbonát, de a kémszer feleslegében oldódik. □

2.16.32 Kísérlet. A cink-kloridot felhasználhatjuk jó aktív szén előállítására. Dióhéjat, vagy más csonthéjas gyümölcs héját (mogoró, barackmag, stb.) törjük rongyba csavarva kalapáccsal 4–5 mm-es darabokra! A port szitáljuk ki. A héjat áztassuk 3–4 percig

2%-os cink-klorid oldatban, majd szárítsuk meg. Vastégelybe téve vasfedővel majdnem teljesen lefedve izzítsuk addig, amíg már nem füstöl. A kiizzított széndarabkákat 5%-os sósavoldattal, majd desztillált vízzel 2–3 ízben főzzük ki. Egy nagy edénybe 1 l vizet öntünk, és a szén minden grammjára 2 csepp 2 M nátrium-hidroxidot adunk hozzá. A szenet a lúgos oldatban 2–3 percig forraljuk, majd desztillált vízzel mégegyszer kifőzzük. Végül megszáritjuk és vastégelyben gyenge vörösizzáson mégegyszer kihevítjük.

A szükséges mennyiségű cink-kloridot lemért sósavból a szükségesnél kicsit több cinkkel készítjük, hogy maradjon még oldatlan cink.

A cink-klorid egyébként nagyon jól oldódik vízben (0,3-szor annyi víz oldja) és nehéz kristályosítani. Ha szárazra pároljuk, egy része elbomlik, hidrolizál:



Ezért szokták oldatát — szalmiáksóval keverve — „forrasztóvíznek” használni lágyforrasztáskor: a keletkező sósav oldja a fém-oxidokat. □

2.16.33 Kísérlet. Az ólom(II)-acetátból nátrium-hidroxiddal fehér $\text{Pb}(\text{OH})_2$ válik le, ami a reagens fölöslegében feloldódik, tehát amfoter. Hidrogén-peroxid vagy hypo az ólom(II) ionokat oxidálja és barna PbO_2 , ólom-dioxid válik ki. Ez a legfontosabb ólom(IV) vegyület. Erősen oxidáló hatású, különösen savas oldatban. Ha dekantálással kimossuk, tömény sósav feleslegével forralva klórt fejleszt és feloldódik. Töményebb lúgban oldódik. □

2.16.34 Kísérlet. Ammóniaoldattal is ólom(II) sók oldatából $\text{Pb}(\text{OH})_2$ válik le, de nem oldódik a fölöslegben, mert az ehhez nem elég lúgos. Szódával változó összetételű, nagyjából $\text{PbO} \cdot \text{PbCO}_3$ képlettel jellemezhető bázisos karbonát válik le. Tiszta karbonátot hidegen, szódabikarbonáttal kaphatunk. Az ólom-karbonátból csak 0,05 mg/l oldódik vízben, szénsavas vízben viszont 140 mg/l! Ezért a régi ólomvezetékekben nem volt szabad szénsavas vizet vezetni. Ma már nem használnak ólomcsövet vízvezetéknek. Az ólom felületén bázisos karbonát képződik levegőn. Vágjunk el késsel egy ólomdarabot: a fényes felület gyorsan elhomályosodik. □

2.16.35 Kísérlet. Adjunk ólom(II)-acetát oldathoz sósavat. Fehér ólom(II)-klorid válik ki, amely 100 súlyrész hideg vízben és 30 súlyrész forró vízben oldódik. Sok vízzel forrón készült oldatából túszerű kristályok alakjában válik ki az ólom-klorid. □

2.17 Kén

Ismerkedjünk meg egy újabb elemmel, a *kénnel*. Borászati boltban juthatunk hozzá. Két féle formában is kapható, kénporként vagy kénszalagként. A kénpor sárga por, a kénszalag olvasztott kénbe mártott vászon- vagy papírcsík. Erről is lemorzsolhatjuk a kéndarabkákat, de legjobb, ha kénport veszünk. Ha elég tiszta, akkor a markunkban morzsolgatva (nem mérgező) csikorog. A kén atomtömege 32,0666 g, vegyjele latin nevéből (sulfur) S.

2.17.1 Kísérlet. Tegyük egy kémcsőbe 6–8 g ként és facsipeszbe fogva kezdjük melegíteni! Valamivel 120 °C alatt halványsárga folyadékká olvad. Ha hagyjuk lehűlni, megdermed. Ha letörjük róla a kémcsövet, kénrudat kapunk; persze, ha ez a szándékunk, akkor érdemes tele tölteni a kémcsövet. A kénrúd megdörzsölve erősen feltöltődik, tehát

kiváló szigetelő (és hőszigetelő), mint más nem fémes elemek. Ha tovább melegítjük az olvadt ként, 160 °C-on elkezd sötétedni és egyre sűrűbb lesz. 200 °C fölött olyan sűrű, hogy ki sem lehet önteni a kémcsőből. 250 °C fölött ismét hígul, 400 °C fölött könnyen mozgó, sötétbarna folyadék, amely 444,60 °C-on forr. Ha a kémcsövet egy üveglemezzel fedjük le, akkor arra sárga porként kén csapódik le, ez a *kénvirág*. Ha a sötét, hígán folyó folyadékot vízbe öntjük, sötét, gumyszerű anyagként szilárdul meg. Ez az *amorf kén*, ami néhány nap alatt közönséges sárga kén alakul. Kiöntéskor a kén majdnem biztos, hogy meggyullad, mert 260 °C-on gyullad. Ha ez történe, takarjuk le a kémcsövet egy üveg- vagy porcelánlappal.

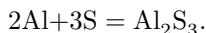
A kén különös viselkedésének az a magyarázata, hogy szobahőmérsékleten gyűrű alakú S_8 molekulákból áll. Melegítve a megolvadás után ezek a gyűrűk fokozatosan felhasadnak és hosszú láncokká egyesülnek: ettől lesz a kén sűrűn folyós. Tovább melegítve a láncok széthasadoznak, újra hígán folyós ként kapunk. A bányászott, nagyon szennyezett ként desztillációval szokták tisztítani: forralják, és a kénközt nagy kamrákba vezetik, ahol sárga porként csapódik le. □

2.17.2 Kísérlet. Furcsának tűnhet, hogy nem adtunk meg pontos olvadáspontot. Ennek az az oka, hogy a kén szobahőmérsékleten *rombos kénként* kristályosodik, de közvetlenül az olvadáspont alatt egy másik allotróp módosulat stabil, a *monoklín kén*. Ezt úgy kaphatjuk meg, hogy kémcsőben 6–8 g ként hidegen telített $CaCl_2$ oldatba merítve addig melegítünk, amíg megolvad majd elkezd barnulni. Ezután hagyjuk lassan kihűlni, és 110 °C körül egy üvegszálat merítünk bele, hogy a túlhűtést megszüntessük. Hosszú, átlátszó, viaszszárga tűkben szilárdul meg, ez a *monoklín kén*. Lehűlve másnapra átalakul rombos kénre. Az olvadáspont attól függ, mennyi a két módosulat aránya, ami változik a melegítés sebességével. □

2.17.3 Kísérlet. A kén nem oldódik vízben. Mint apoláris anyag, apoláris szerves oldószerekben oldódik jól. Toluolban fogjuk feloldani; használhatunk nitróhígítót is, aminek a nagy része toluol. Mivel a toluol tűzveszélyes, egy nagyobb edényben telített sóoldatot melegítünk forrásig, és a láng eloltása után, nyitott ablaknál a gyengén bedugott kémcsőben végezzük az oldást! 1 g kénre 8–10 ml oldószert öntünk. Ha a kén feloldódott, hagyjuk a sóoldattal együtt kihűlni. Monoklín tűkként válik ki a kén. (Más oldószerekből, az oldószertől függően, rombos kén is kikristályosodhat). □

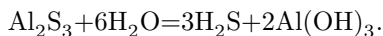
2.17.4 Kísérlet. Tömény szeszben is oldódik a kén: rázogassunk 8–10 ml denaturált szeszt kevés kénporral. Szűrjük az oldatot vízbe: finom eloszlású kén válik ki, ami átmegy a szűrőpapíron. □

2.17.5 Kísérlet. Keverjünk össze 5 g *alumíniumport* („ezüst porfesték” néven kapható) 9 g kénporral. Egy téglába vagy tetőcserép-darabba kőzetfűróval fúrjunk kis lyukat, amibe egy csillagszóró hegyét állítjuk. E köré szórjuk a keveréket. SZABADBAN, MINDEN GYÚLÉKONY ANYAGTÓL TÁVOL gyűjtsuk meg a csillagszóró másik végét! Ha végig, meggyújtja a keveréket, és nagy szikrázással a következő reakció játszódik le:



Ha nincs csillagszórónk, akkor védőkesztyűben egy izzó vasrúd vagy üvegbot hegyével is megpróbálhatjuk beindítani a reakciót. A keletkezett alumínium-szulfidot jól záró üvegben eltehetjük. □

2.17.6 Kísérlet. Az előző kísérletben kapott alumínium-szulfidból egy morzsányira (2 mm átmérőjű darabka) öntsünk kémcsőben vizet. Nagy pezsgés kezdődik, és egy erősen záptojásszagú, mérgező gáz fejlődik, *kén-hidrogén*:



A kén-hidrogén vagy *hidrogén-szulfid* egy nagyon gyenge sav, sói a *szulfidok*. Az alumínium-szulfid, mint gyenge savnak gyenge lúggal alkotott sója, erősen hidrolizál. Mivel a kén-hidrogén nem nagyon jól oldódik vízben, kipezseg az oldatból. □

2.17.7 Kísérlet. A kén az arany és a platinafémek kivételével minden fémmel, és sok nemfémmel is reagál. 4,4 g cinkpor és 2,4 g kénpor keverékét téglán ugyanúgy gyűjthetjük meg, mint az alumíniumnál tettük. Másik lehetőség, hogy a keveréket SZABADBAN, VÉDŐKESZTYÜBEN kanálból izzított vastálba szórjuk. Feleannyi keveréket kémcsőben is izzíthatunk, de a kémcső majdnem biztos, hogy elreped, ezért tegyük alá homokos tálat! Fehér cink-szulfid, ZnS keletkezik. □

2.17.8 Kísérlet. Ha a keletkezett cink-szulfidot ultraibolya fényel (UV-lámpa, UV-dióda) megvilágítjuk, sárgásan világít. Ez a jelenség a *fluoreszkálás*. Azt jelenti, hogy az anyag elnyeli a fényt, majd — rendszerint a vörös felé való színeltolódással — újra kibocsátja. Ilyen anyag például a kinin (a tonik tartalmazza), a növények zöld festékanyaga, a klorofill (később foglalkozunk vele), ásványolajok (vazelin), úgynevezett „optikai fehéritő” öblítőszerek és a velük mosott ruha, és még sok más anyag. Ha a kibocsátás jóval később történik, akkor *foszforeszkálásról* beszélünk. A cink-szulfid is foszforeszkál, de ez nyomnyi szennyezőktől függ. Próbáljuk ki készítményünket. Foszforeszkál a sűrűpor, mosópor, optikai fehéritővel mosott ruha, kvarchomok, cukor, szódabikarbóna, kalmopyrin, fehér papír, csont, homok, géz, stb. Szoktassuk a szemünket a sötétbe, kezünkben az asztali lámpához közel tartva az anyagot behunyva szemmel gyűjtsük fel a lámpát! Eloltva a lámpát és kinyitva a szemünket figyeljük meg a foszforeszkálást. □

2.17.9 Kísérlet. A cink-szulfid víztől nem bomlik el, és ecetsavban sem oldódik. Sósavval azonban elbomlik, és kén-hidrogén fejlődik. Nem kell feltétlenül magunk készíttette cink-szulfidot használnunk: litopon néven kapható egy fehér porfesték, amely cink-szulfid és egy savakban oldhatatlan anyag keveréke, ezt is használhatjuk cink-szulfid helyett. □

2.17.10 Kísérlet. Keverjük össze 5 g kénport és 8 g finom vasport! A keveréket téglán izzó üvegbottal vagy kémcsőben izzítással begyűjtve, vas(II)-szulfid keletkezik. Sósavban ez is oldódik kén-hidrogén fejlődéssel. □

2.17.11 Kísérlet. A kén és a vas hidegen is egyesül, ha az előző keveréket 2,5 ml vízzel péppé gyúrjuk. Ha megmelegítjük, már fél óra alatt lejátszódik a reakció. Ezt a keveréket „vastapasznak” használják. □

2.17.12 Kísérlet. Kémcsőben forraljunk kevés ként és a gőzébe tartsunk finom rézszálakat! A réz izzásba jön, esetleg meg is olvad. A keletkezett fekete anyag réz(I)-szulfid. Könnyen porlik és nem oldódik sósavban. □

2.17.13 Kísérlet. Ezüstpénzre vagy más ezüst vagy ezüstözött tárgyra tegyük homokszemnyi méretű kénszemcsét! Ha megolvasztjuk a ként, vagy akár csak hosszabb ideig állni hagyjuk, az ezüst megbarnul. Ezüst-szulfid képződik, amely sósavban nem oldódik.

(Fogkrémrel dörzsölve megtisztíthatjuk az ezüsttárgyat.) Ezen alapul a „kénmájpróba”, amiről már volt szó: faszélen forrasztócsővel, szódával keverve minden kéntartalmú vegyület szulfidrá redukálható. Ezüstpénzre téve az ömledéket és vízzel megcseppentve a hidrolízisnél keletkező kén-hidrogént a levegő oxigénje kénné oxidálja. Ez az ezüsttel barna foltot ad. □

2.17.14 Kísérlet. Kén-hidrogént legkényelmesebben kén és hidrogén egyesítésével állíthatunk elő. Nem kell tiszta hidrogént vennünk, hanem hidrogén tartalmú anyag, például valamilyen szénhidrogén is megfelel. Paraffint (gyertyát) fogunk használni. 25 rész paraffint vízfürdőn megolvasztunk, és hozzákeverünk 15 rész kénvirágot. Tehetünk még hozzá 7 rész szilikagélt, ekkor lazább lesz a keverék. A keletkező massa 20 °C-on morzsálékony, 30–40 °C-on kenhető. Egy kémcsövet félig töltünk meg vele, és a kémcső felső harmadába tegyünk egy szorosra gyömöszölt vattacsomót. Ez visszatartja az esetleg keletkező szerves szennyezéseket. A kén-hidrogén fejlődése nagyjából 170 °C-on indul meg, és ha abbahagyjuk a melegítést, megáll. A reakció egyszerű: a kén elvonja a hidrogént, vele kén-hidrogént ad, és szén marad vissza. A kémcsövet átfúrt, jól záró dugóval dugjuk be, és hajlékony csővel egy vékonyra kihúzott végű üvegcsőbe vezetjük a gázt. 1 g massa nagyjából 240 mg kén-hidrogént ad. Ha már enyhe melegítésre nem fejlődik kén-hidrogén, cseréljük ki a töltetet. Ne melegítsük izzásig a kémcsövet, mert magas hőfokon a kén a szénnel is egyesül: $C+2S = CS_2$, *szénkéneg*, egy rendkívül gyúlékony vegyület keletkezik!

A kén-hidrogén NAGYON MÉRGEZŐ! A közvetlenül életveszélyes koncentráció kb. ugyanannyi, mint a klórnál. Szintén hármas veszélyességi fokozatú. Szerencsére fél-egy óra alatt vagy harmincszor, egy nap alatt vagy százszor annyi viselhető el, mint klórból, mert nem halmozódik fel a szervezetben, és a hatása sem összegződik. Már a veszélyes koncentráció ezred részének a szagát is megérezzük, viszont nagy koncentrációban megbénítja a szaglőideget, és nem érezzük a szagát. Ezért arra kell nagyon vigyáznunk, hogy töményen ne hogy belélegezzük. SZABADBAN VAGY HUZATOS HELYEN FEJLESSZÜK, A LEVEGŐ A HÁTUNK MÖGÜL JÖJJÖN! Szerencsére legtöbbször elegendő lesz vizes oldatát használni. Ez úgy készül, hogy kiforralt és lehűtött desztillált vízbe majdnem teli üvegben kén-hidrogént vezetünk. Ha már felérnek a buborékok a víz tetejére, akkor kivesszük a bevezető csövet, áttesszük egy másik vizes üvegbe, és az első üveget befogva összerázzuk a gáztérrel. Ha beszívja az ujjunkat, akkor még nem telített. Tulajdonképpen az is elég, ha az oldat fölé vezetjük a kén-hidrogént, és gyakran összerázzuk. Kb. 2–3-szor annyi térfogatú gáz oldódik fel a vízben, mint a víz térfogata. Ha telített az oldat, jól zárjuk le az üveget. □

2.17.15 Kísérlet. A kén-hidrogénes víz lassan megromlik, főleg, ha sok levegő van felette, mert a kén-hidrogén reagál a levegő oxigénjével: $2H_2S+O_2 = 2S+2H_2O$. Az üveg alján látszik is a kivált kén. Hogy jó-e még, azt is ezen az alapon ellenőrizhetjük: egy kevéshez adjunk (akár szennyezett) $FeCl_3$ oldatot, vagy bármilyen vas(III)-só oldatát. Ez kénné oxidálja a kén-hidrogént, ami friss oldatnál először kékes színnel, kolloid oldatként válik ki. Ha bőséges a kénkiválás, akkor még jó az oldat. Próbáljuk ki a friss készítményünkkel! Egyébként ha 1/50-ed térfogatnyi *glicerint* (gyógyszertárban kapható) adunk a vízhez, akkor sokkal tovább tart a kénhidrogénes víz. □

2.17.16 Kísérlet. A kén-hidrogén gyenge sav, ez látszik, ha kén-hidrogénes vizünket indikátorral megvizsgáljuk. Nagyjából a szénsavval egyenlő erős: a kén-hidrogén valamilyen sójába szén-dioxidot vezetve kén-hidrogén válik szabaddá, amit a szagáról észrevehetünk,

kevés szódaoldatba viszont kén-hidrogént vezetve, szén-dioxid válik szabaddá, amit ki-mutathatunk, ha az átvezetett gázt mésvízbe vezetjük. □

2.17.17 Kísérlet. Készítsük el a kén-hidrogén ammóniumsóját! 2 M töménységű am-móniaoldattal töltsünk meg egy feleakkora térfogatú üveget, mint a kiszemelt (kis) tá-rolóüveg. Vezessünk bele telítésig kén-hidrogént. A telítést úgy ellenőrizzük, mint a kén-hidrogénes víz készítésénél. Még nem vagyunk kész, mert a kén-hidrogén kétbázisú sav, a $\text{H}_2\text{S} + \text{NH}_3 = \text{NH}_4\text{HS}$ reakció játszódott le. Öntsük ezt az oldatot a tárolóüvegbe, majd mérjünk hozzá ugyanannyi ammóniaoldatot! Ezzel a savanyú sót semlegesítettük. Szín-telen ammónium-szulfid oldatot kaptunk. A kén-hidrogén más sóit ugyanígy készíthetjük el.

Az ammónium-szulfid oldata állás közben lassan megsárgul. Ez azért van, mert a levegő oxigénje lassan oxidálja a benne lévő kén-hidrogént kénné. A maradék ammónium-szulfid ezt a ként feloldja, és $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ képlettel jellemezhető ammónium-poliszulfid keletkezik. Itt x lehet 2, 3, 4 vagy 5. A dolgot úgy kell elképzelni, hogy a kénatomok láncra kap-scsolódnak, és csak a lánc végén lévő egy-egy vegyérték szabad. Általában a poliszulfidos oldatot ugyanúgy használhatjuk, sőt, néha pontosan ilyenre van szükség. Ha ez a helyzet, 100 g 1 M koncentrációjú oldatban oldjunk fel 0,6 g ként. A keletkező anyag átlagképlete $(\text{NH}_4)_2\text{S}_{1,2}$. Hosszú idő alatt a kén-hidrogén teljesen oxidálódik, a sárga oldat színte-len lesz és kén ülepszik le, ekkor természetesen már elbomlott az oldat. (Ammónium-tiosulfáttá alakul, lásd később.) □

2.17.18 Kísérlet. Ha működik a kén-hidrogén fejlesztőnk, gyűjtsuk meg a kiáramló gázt! Halványkék lánggal ég. Ha vízfelületre irányítjuk, finom kénpor válik ki a víz felületén, így a lánggal „írhatunk a vízre”. □

2.17.19 Kísérlet. Ha van még a különböző fém-kloridokból, kipróbálhatjuk a fém-sók reakcióit kén-hidrogénnel. Kén-hidrogénes vízzel az ólom-acetát és a réz-klorid fekete csa-padékat ad, amely sósavban nem oldódik. Érdekesen viselkedik az ón. Nem túl savas oldatban az ón(II)-klorid barna SnS csapadékot ad, amely leszűrve színtelen ammónium-szulfidban nem oldódik, de sárga ammónium-szulfidban feloldódik. Ha az ón(II) már ón(IV)-gyé oxidálódott, az nem túl savas oldatban kén-hidrogénes vízzel sárga SnS_2 csa-padékat ad. Ez leszűrve színtelen ammónium-szulfidban oldódik. Mindkét oldat sósavval megsavanyítva sárga SnS_2 csapadékot ad. A magyarázat az, hogy a kén sok tekintetben képes helyettesíteni az oxigént. Az alkálifémek és az ammónium-ion szulfidjai *tiobázisok* ($\theta\epsilon\iota\upsilon\nu$ =kén), úgy viselkednek mint az alkálifém-oxidok, amelyek bázisok (pontosabban bázisanhidridek). Más fémek szulfidjai lehetnek tiobázisok, akkor az ammónium-szulfiddal nem reagálnak, ilyen például az ólom-szulfid és a réz-szulfid. Néhány amfoter fém szul-fidja *tiosav*, ezek ammónium-szulfiddal reagálnak. Ilyen az ón(IV)-szulfid is, $(\text{NH}_4)_2\text{SnS}_3$ összetételű *tiosót* ad. Az ón(II)-szulfid nem tiosav, viszont a sárga ammónium-szulfid könnyen leadható kénje oxidálja: $\text{SnS} + \text{S} = \text{SnS}_2$. Ez viszont már tiosót ad. A tiosónak a tiobázis része sósavtól azonnal elbomlik kén-hidrogén fejlődéssel, és kiválik az SnS_2 tiosav.

Sósavas oldatban a Zn, Fe(II), Fe(III), Al, Mg sók nem adnak csapadékot kén-hidrogénnel. Semlegesítsük az oldatot ammónia oldattal! Ha kiválik egy kis csapadék, egy-két csepp sósavval oldjuk fel újra. Ammónium-szulfiddal a cinksók fehér ZnS csa-padékat adnak, amely a feleslegben nem oldódik. A vas(II)-sók fekete FeS csapadékot adnak, szintén nem oldódik a feleslegben. Mint tudjuk, az alumínium-szulfid hidrolizál,

tehát az ammónium-szulfiddal kapott csapadék $\text{Al}(\text{OH})_3$. A vas(III)-sók fekete Fe_2S_3 csapadékot adnak, ami lassan hidrolizál, forralva azonnal, és rozsdabarna $\text{Fe}(\text{OH})_3$ keletkezik. Végül a magnézium sók nem adnak csapadékot. \square

2.17.20 Kísérlet. A kén-hidrogén szagát ugyan szinte lehetetlen nem észrevenni, de kémiai úton is kimutathatjuk: szűrőpapír csíkokat áztassunk be ólom-acetát oldatba, majd szárítsuk meg. A csíkokat jól záró üvegben tartjuk. Kén-hidrogéntől megfeketednek ólom-szulfid képződése miatt. Egyébként, mint már tudjuk, több más fémsó oldatát is lehetne használni. Sok fémnek a természetben előforduló leggyakoribb ásványa a szulfidja. \square

2.17.21 Kísérlet. Újonnan szerzett tudásunkat felhasználhatjuk, hogy kénvirágunkat megszabadítsuk kellemetlen szennyezéseitől. Ezek egyrészt a kén felületén keletkezett oxidációs termékekből, másrészt egy nagyon mérgező elem, az arzén szulfidjából állnak. 10 rész megszáított kénvirágot keverjünk össze 8 rész 1,25%-os ammóniaoldattal! Gyakran megkeverve hagyjuk egy napig állni. A szennyezések feloldódnak. Vásznon szűrve mossuk át alaposan vízzel, amíg a lecsepegő mosóvíz már ammóniamentes. A mosóvíz elejét a szűrlettel együtt fogjuk fel, a többit kiönthetjük. A mosott ként 30°C -nál nem melegebb helyen szárítsuk meg. A szűrletben van az esetleges arzén-szulfid szennyezés, ami tiosav, és már ammónia oldatban is oldódik. Vezessünk a szűrletbe kén-hidrogént. Változás persze nincs. SZABADBAN savanyítsuk meg az oldatot. Ha volt az oldatban arzén, sárga csapadékot kapunk, amely arzén-szulfid. Szűrjük le és tegyük el, majd később megvizsgáljuk. Ebben a formában ártalmatlan, mert még tömény sósavban sem oldódik. \square

2.17.22 Kísérlet. Miért pont záptojásszagú a kén-hidrogén? A helyes kérdés inkább úgy hangzik, miért kén-hidrogén szagú a záptojás? Már volt szó róla, hogy a fehérjék aminosavakból állnak. A tojásfehérjében van olyan aminosav is, amely kéntartalmú. (Ezért feketedik meg az ezüstkanál a tojástól.) Mikor a tojás megromlik, ebből kén-hidrogén keletkezik. Más fehérjékben is van kén. Főzzünk egy fehér madártollat szódával, majd adjunk az oldathoz egy csepp ólom-acetátot! A nátrium-szulfid az ólommal fekete ólom-szulfidot ad.

Úgy is eljárhatunk, hogy tojásfehérje oldatot, vagy 40–50 ml vízzel leöntött borsót, halat 1 hétig állni hagyunk. 8–10 ml leöntött vízhez egy csepp ólom-acetátot adunk. \square

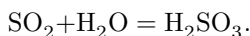
2.17.23 Kísérlet. Miért mérgező annyira a kén-hidrogén? Ismételjük meg a hidrogén-peroxid vérrel való katalitikus bontására vonatkozó kísérletet, de most két kémcsőbe tegyünk egy-egy csepp vért. Az egyikre öntsünk 1 ml kén-hidrogénes vizet. Mindkettőt öntsük fel pár ujjnyira vízzel, és dobjunk mindkettőbe ugyanakkora darabka hyperol tablettát. A kén-hidrogénes kémcsőben alig-alig van pezsgés: a kén-hidrogén megmérgezte a vér enzimeit. Ezért omlik össze a szervezet már kevés kén-hidrogéntől is! \square

2.17.24 Kísérlet. Kevés ként melegítsünk porcelán cserépen. Megolvadás után hamar meggyullad és kékes lánggal kén-dioxidá, SO_2 ég el: $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$. A kén-dioxid kellemetlen szúrós szagú, MÉRGEZŐ gáz. Sokkal kevésbé mérgező mint a klór, azonnal nem halálos, fél-egy óráig tízszer, munkahelyen hússzor akkora koncentráció engedhető meg. Ennek már a tized részét is megérezzük. Hármas veszélyességi fokozatú. A kén-dioxidot a borászásban használják. Mivel a penészgombákra rendkívül mérgező, az üres boroshordókban kevés kénlapot szoktak elégetni. A keletkező kén-dioxidtól a gombák elpusztulnak. \square

2.17.25 Kísérlet. A kén-dioxid összetételét ugyanúgy határozhatjuk meg, mint a széndioxidét. Elégetéséhez készítsünk egy kis égetőkanalat: vaslemez darabkába kalapáljunk mélyedést egy keményfába fúr lyukon. Mellette fúrjuk át a lemezt, dugjunk át a lyukon vasdrótot, hajlítsuk vissza és kalapáljuk le. A szárat tetszés szerint hajlíthatjuk. □

2.17.26 Kísérlet. A kén-dioxid elég jól oldódik vízben, mintegy 5%-os oldat készíthető belőle. Ilyen oldatot mi is könnyen készíthetünk. Szükségünk lesz egy nagy, 3–4 l-es befőttes üvegre. Egy liter levegőben szobahőmérsékleten mintegy 0,3 g oxigén van. Ha tehát például 4 l-es üvegünk van, abban a levegő 1,2 g oxigént tartalmaz. Ez ugyanannyi tömegű kénnel egyesül, és 2,4 g kén-dioxid keletkezik. Vegyünk tehát másfél-két gramm ként. Egy sima aljú műanyag tálba tegyünk egy kisebb, felfordított porcelán csészét. Ennek az aljára öntjük egy kupacba a ként. A műanyag tálba öntsünk 50 ml vizet, ennyi kell a kén-dioxid feloldására. Az égő ként a befőttes üveggel fogjuk leborítani. Hogy legyen hol ki- és bebuborékolni a levegőnek, egy 1–2 mm vastag műanyag darabkát tegyünk a tálba. Próbáljuk ki, hogy ha az üveggel leborítjuk a csészét úgy, hogy az üveg széle a műanyag darabkára támaszkodik, akkor a víz teljesen zárja-e a levegő útját? Ha igen, vegyük le az üveget, gyűjtsuk meg a ként, majd borítsuk le az üveggel. Először levegő buborékol ki, mert tágul, majd be, ahogy összehúzódik. Végül a kén kialszik. Hagyjuk nyugodtan állni az egész berendezést, hogy a kén-dioxidnak legyen ideje feloldódni a vízben.

A kén-dioxid nemcsak oldódik a vízben, hanem egyesül is vele:

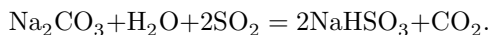


Ami keletkezett, az *kénesség*. Tisztán nem ismeretes, csak híg vizes oldatban. Forralással a kén-dioxid kiűzhető a vízből. Középerős, kétbázisú sav, sói a *szulfitok*. Mérjük meg a pH-ját, és próbáljuk ki, hogy szódával pezseg! A kísérletet érdemes összekombinálni a következő kísérlettel. □

2.17.27 Kísérlet. A kén-dioxid még képes oxigént felvenni, és a kénesség meg a szulfitok is, ezért redukáló hatásúak. Ezt a redukáló hatást kimutathatjuk, ha az előző kísérletnél az üveg belső falára egy megnedvesített színes virágot ragasztunk a száránál fogva. A kén-dioxid hatására lassan kifakul, a kén-dioxid redukálja a virágkéket. Szoktak színes papírt vagy rongyot is ajánlani, de nekem ezekkel a kísérlet nem sikerült. Úgy látszik, a mai festékek jobbak, mint a régebbiek. Szerencsére a virágok nem változtak. □

2.17.28 Kísérlet. A kén-dioxid kiváló gombaölőszer. Egy darab penészes kenyeret tegyünk egy zárt műanyag dobozba, mellé egy darab nem penészes kenyeret. Égessünk el egy darabka ként egy porcelándarabon a dobozban (mint tudjuk kb. 0,3 g kell minden liternyi térfogatra), majd zárjuk le. Az ember azt hinné, hogy a penész átterjed a friss kenyérré is. Ehelyett a penészesről is elpusztul. □

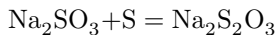
2.17.29 Kísérlet. A kénesség sóit, a szulfitokat kén vagy kéntartalmú anyag égetésével nyert kén-dioxidból szokták előállítani. Ha lúgba vagy karbonát oldatába kén-dioxidot vezetünk telítésig (mint a kén-hidrogénnél) savanyú só képződik, például



Ha most az eredeti oldatból ugyanannyit töltünk az oldathoz, a savanyú sót semlegesítjük, szulfit képződik. Ha a savanyú sót megpróbáljuk kikristályosítani, érdekes dolog történik.

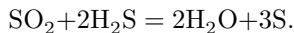
Két molekula savanyú sóból kilép egy molekula víz, és a $2\text{NaHSO}_3\text{-H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ egyenlet szerint *nátrium-diszulfít* képződik. Ez olyan, mintha a $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_5$ *dikénessav* sója lenne. Maga a sav nem létezik szabadon, csak néhány sója, például a nátrium- és káliumsó. A káliumsót *borkén* néven használják a borászatban. A borhoz adják kis mennyiségben, hogy a penészgombákat elpusztítsák. Ezt fogjuk tiszta kén-dioxid fejlesztésére felhasználni, mert enyhe melegítésre a $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5 = \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{SO}_2$ egyenlet szerint elbomlik. A fejlesztő egyébként ugyanúgy egy kémcső, mint a kén-hidrogénnél. A nátriumsó is használható. □

2.17.30 Kísérlet. Ha a nátrium-szulfit oldatot kénnel főzzük (amit jobb alkohollal megnedvesíteni), a



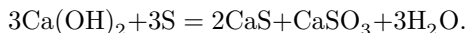
reakció játszódik le. (Számítsuk ki, mennyi kén szükséges.) Ami keletkezik, *nátrium-tioszulfát*, köznapin néven *fixírsó*. Ki is kristályosítható pentahidrátként, ha leszűrtük a maradék kénről. (Tisztítása 0,3 ml/g vízből átkristályosítva történhet 60 és 0 °C között.) Tudjuk, hogy a szulfitok redukálószer, könnyen felvesznek még egy oxigént. A kén viszont képes oxigént helyettesíteni. Itt a szulfit egy kénatomot vett fel oxigén helyett, innen a névben a „tio”. Ha a sóból megpróbáljuk például sósavval felszabadítani a tiokénsavat (ami egyébként nem valami erős sav), a szabad sav gyorsan elbomlik kén-dioxid és kén keletkezésével. □

2.17.31 Kísérlet. Vezessünk magasabb pohárba vagy porüvegbe SZABADBAN kén-dioxidot és kén-hidrogént! Kén válik ki. A reakció:



Ha gyorsan kimossuk a poharat, a kén még kijön, később esetleg ammónium-szulfiddal oldható ki. Érdekesség, hogy ha a gázok teljesen szárazak, a reakció nem megy végbe: a víz katalizátorként szerepel. □

2.17.32 Kísérlet. Az előző kísérletben kén-dioxidból és kén-hidrogénből (főleg) kén keletkezett. Ha ként lúgokkal főzünk, lényegében ennek a reakciónak a fordítottja játszódik le. Az úgynevezett *mészkenél* készítéséhez 5 g kalcium-oxidnak megfelelő oltott mészhez 44 ml vizet és 9 g ként adunk, és még hozzáadunk 140 ml vizet. Egy órán át főzzük, az elpárolgó vizet pótoljuk. Ha leülepedett, a tisztáját leöntjük, a maradékot pedig még 90 ml vízzel kifőzzük. Ennek a tisztáját is az előző oldathoz öntjük és zárt edényben néhány napig állni hagyjuk, majd szűrjük és vízzel 360 ml-re töltjük fel. Az alapreakció a következő:



A többi kénnel a CaSO_3 , kalcium-szulfit tioszulfáttá, a CaS , kalcium-szulfid kalcium-pentaszulfiddá, CaS_5 egyesül. Nátronlúgban illetve kálilúgban is feloldódik a kén főzésre, hasonló reakcióval. Ha kénvirágot ugyanannyi szódával vagy hamuzsírral olvasztunk össze, akkor is hasonló reakció játszódik le, de szén-dioxid is keletkezik, és a hevítéstől a tioszulfát elbomlik szulfátra és pentaszulfidra:



A kapott májzsinú olvadék a *kénmáj*. □

2.17.33 Kísérlet. Ha az előző kísérletben kapott mészkénléhez SZABADBAN 56 ml 6 %-os sósavat adunk óvatosan, hogy az oldat még sárga színű és feltétlenül lúgos maradjon, akkor nagyon finom eloszlású halványszürkés vagy zöldessárga árnyalatú kén, az úgynevezett *lecsapott kén* válik ki. A magyarázat az, hogy ha ilyen poliszulfid tartalmú oldatot megsavanyítunk, a kénlánc szétesik, kén-hidrogén szabadul fel, és a többi kén kiválik. Az oldatnak azért kell lúgosnak maradnia, mert az esetleges arzénszennyezés így nem válik ki, másrészt a tioszulfát sem bomlik el. Ez baj lenne, mert akkor a kén ragacos lenne. Az oldatot többször dekantáljuk, majd a ként szűrjük, és 30 °C-on szárítjuk. Ilyen finom eloszlású ként használnak például samponokban. Levegőn lassan oxidálódik, kén-dioxidot fejleszt, ami fertőtlenítő hatású. Egyébként a mészkénlével közvetlenül permetezni is szoktak. Ilyenkor a levegő szén-dioxidja bontja el a poliszulfidokat. □

2.17.34 Kísérlet. Néha a maradék *nehézfém-sók ártalmatlanítására* van szükségünk. A mérgező nehéz fémek a természetben elsősorban szulfidjaik alakjában fordulnak elő, mivel általában ez a legoldhatatlanabb vegyületük. Ezt szokták aztán a kohászatban „pörkölni”, azaz a levegő oxigénjével oxidálni belőle a ként. Melléktermékként kén-dioxidot kapnak, amit felhasználnak. A kapott oxidot redukálva kapják a fémeket. (Más eljárások is vannak. Például az ólom-szulfidot lehet csak annyira pörkölni, hogy csak a kén égjen ki belőle, vagy vassal reagáltatni, ami elvonja a ként.)

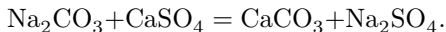
Az ártalmatlanításhoz megfordítjuk ezt a folyamatot: a fémsókat szulfidokká alakítjuk. (A fémek harmada leválik szulfid alakban.) Egy műanyag palackban gyűjthetjük a fémsók hulladékait (például ólomsók, arzénsók, stb.) Az oldatot sósavval savanyítjuk meg pH≤1-ig, majd SZABADBAN adjunk hozzá vas-szulfidot. Ez a sósavval lassan kén-hidrogént fejleszt, ami leválasztja a nehézfémek szulfidjait. Egy nap múlva az oldat tisztájából cink-szulfidos papírra cseppentve, ha nem színeződik el a papír, akkor készen vagyunk, az oldatot kiönthetjük, a csapadékot a palackkal kidobhatjuk. Nem árt azért ha a csapadékot gipsszel keverjük és megvárjuk, amíg a gipsz megköt. Így nem szóródik szét finom porként. Ha a cink-szulfid színe megváltozik, akkor megismételjük a savanyítást és a vas-szulfid adagolást, majd újra vizsgálunk.

Vannak olyan fémek, amelyek csak lúgos oldatban reagálnak szulfidok képződésével, például a nikkell és a kobalt. Az előző gyűjtőre ráírhatjuk, hogy H₂S-fémek, egy másikra pedig, hogy Na₂S-fémek. Ebbe Na₂S-oldattal fogjuk a szulfidokat lecsapni. Az oldatot NaOH oldat és S főzésével kapjuk. Ugyanezt az oldatot úgy is megkaphatjuk, hogy mészkénléhez szódát keverünk. Ha a kész oldathoz adunk alumínium port vízzel és mosogatószerrel alaposan elkeverve, akkor az a tioszulfátot is szulfiddá redukálja. Ezt a nyers Na₂S-oldatot használjuk. Az ártalmatlanítás előtt szódával lúgosítsuk meg a fémsó oldatot! A bőségesen vett szulfid hozzáadása után a tisztájához adjunk még szulfidot! Ha nem válik le semmi, a lecsapás kész, úgy járunk el, mint a fenti esetben.

Van két fém, amely elég különösen viselkedik: a V és a W. Ezek savas közegben csak redukálódnak a kén-hidrogéntől, lúgos közegben viszont nem válnak le. Ha azonban megsavanyítjuk az oldatot, akkor leválnak szulfidként. Ezeket gyűjtsük külön, és így járunk el! Miért nem csináljuk ezt az összes fémmel? Egyrészt azért, mert sok kén-hidrogén szabadul fel, másrészt, mert néhány fém szulfidja feloldódik savas közegben. Más fémek szulfidjai viszont lúgos közegben oldódnak fel, ilyenek az As, Sb, Hg, Mo és az Sn. Ezek tehát feltétlenül a H₂S-fémek gyűjtőjébe kerüljenek! □

2.18 Puskaport készítünk

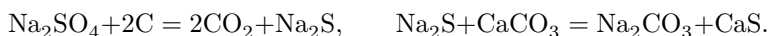
2.18.1 Kísérlet. Már találkoztunk sok olyan reakcióval, amikor két anyagból két másik anyag keletkezik. A gipsz kémiai neve *kalcium-szulfát*. A szulfátok a szulfidok rokonai, nem a kénessav, hanem a kénsav sói. Bennük SO_3^{2-} szulfit ion helyett SO_4^{2-} szulfát ion van. Sejthetjük, hogy ha szódával hozzuk össze, kalcium-karbonát válik ki. Próbáljuk ki: adjunk kémcsőben gipszes vizünkhöz szódaoldatot. Valóban fehér csapadék keletkezik. A reakció:



Lényege, hogy a karbonát és a szulfát ion helyet cserélt: a karbonát ion átment a Ca^{2+} kalcium-ionhoz, és a kalcium-karbonát mint oldhatatlan anyag kivált az oldatból. Az ilyen folyamatok neve *cserebomlás*. Itt ami az oldatban maradt, az a *glaubersó*. Nevét felfedezőjéről kapta: Glauber volt az első a XVII. században, aki a sókat kristályosítással tisztította, és így tiszta anyagokat állított elő és pontos előírásokat használt az alchimisták pontatlan és homályos receptjei helyett. Így munkája tekinthető a *kémiai technológia* kezdetének, műhelye pedig (ahol eladásra is termelt) a mai modern *vegyipar* ősenek. A nátrium-szulfáthoz úgy jutott, hogy tiszta kősóból tiszta kénsavval tiszta sósavat készített; a visszamaradó anyag *nátrium-szulfát*. Hamarosan használni kezdték „Glauber csodálatos sója” néven. Gyógyszertárban ma is kapható, enyhe hashajtónak használják. A kristályos dekahidrát, a vízmenteset pedig szárított glaubersó néven árulják. Nem kell feltétlenül az előállításával kínlódnunk, mert nem sokra lesz szükségünk. Ha elő akarjuk állítani, 10%-os szódaoldathoz adagoljunk a fentiek alapján kiszámított mennyiségnél 20%-kal több gipszet. A számítás: $2 \cdot 23 + 12 + 3 \cdot 16 = 106$ g vízmentes szóda $40 + 32 + 4 \cdot 16 = 136$ g vízmentes gipsszel, azaz $136 + 2 \cdot 18 = 172$ g dihidráttal („döglött” gipsszel) illetve $136 + 9 = 145$ g hemihidráttal (égetett gipsszel) reagál. Ennél kell 20%-kal többet venni. Állandó keverés közben adagoljuk bele a szódaoldatba. Ha csak lehet, döglött gipszet használjunk, mert egyébként kezdetben elég erősen kell keverni, hogy nehegy megkössön. A zavaros folyadékot főzzük fel! Általában már ezalatt végbemegy az átalakulás. Egy keveset leszűrve savanyítsuk meg sósavval. Ha nem pezseg, készen vagyunk, már nincs az oldatban szóda. Ha nem, főzzük egy darabig az elpárolgó vizet pótolva, majd újra vizsgáljuk meg. Hagyjuk leülepedni, majd szűrjük meg. Kevés szódával lúgosítsuk meg és vezessünk bele hosszabb ideig levegőt, hogy az esetleges vas szennyezést három vegyértékűvé oxidáljuk, majd újra szűrjük. Sokkal gyorsabban célt érhetünk, ha kevés nátrium-perkarbonátot adunk az oldathoz, ami gyorsan három vegyértékűvé oxidálja a vasat, a feleslegben lévő hidrogén-peroxid pedig főzésnél elbomlik. Szűrés után, vagy ha még nincs kénsavunk, egy későbbi átkristályosításnál kevés kénsavval semlegesítsük a szóda feleslegét. Mivel 106 g szódából $2 \cdot 23 + 32 + 4 \cdot 16 = 142$ g glaubersó keletkezik, ami $9 \cdot 106 = 954$ g vízben van oldva, az oldatunk $142 / (142 + 954) = 0,13$ -ad része, azaz 13%-a glaubersó. (A hemihidrát feleslege megköti a vizet, ami a reakcióban a hemihidrátból felszabadul. Dihidrátnál még 36 g víz is felszabadul, így kicsit hígabb az oldat.) Dekahidrátra számolva ez $(142 + 180) / (142 + 954) = 0,29$ -ad rész, azaz 29%. A glaubersó tisztításához az a recept, hogy 1,1 ml/g vízből kell átkristályosítani a dekahidrátot 30 °C és 0 °C között. Az ilyen oldat $1/2,1 = 0,48$ -ad rész, azaz 48% dekahidrátot tartalmaz. Az oldatunk egy grammjában lévő 0,29 g dekahidrát $0,29 / 0,48 = 0,6$ g oldatnak a 48%-a. Tehát az oldat tömegének 40%-át kell elpárologtatni a kristályosítás előtt. (A meleg edény mérésénél tegyünk a mérlegre valamilyen hőszigetelő edényalátétet.) Lehet, hogy a bepárláskor a só

egy része kiválik, mert 32 °C felett már nem dekahidráttal, hanem vízmentes sóval van az oldat egyensúlyban, és magasabb hőmérsékleten ez rosszabbul oldódik. Ha ez a helyzet, kavargassuk 30 °C-on, amíg minden só feloldódik. Szükség esetén kevés vizet is adhatunk hozzá. 0 °C-ra hűtve kristályosítjuk. A tiszta terméket ákristályosítással kaphatunk. A *szárított glaubersó* vízmentes, a kristályos termék 40–50 °C-on való szárításával készül. □

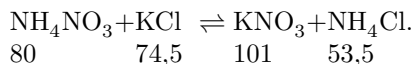
2.18.2 Kísérlet. A glaubersóval kipróbálhatjuk az első ipari szódagyártási eljárást, az úgynevezett *Leblanc-féle szódagyártást*. Keverjük össze kevés szárított glaubersót ugyanannyi kalcium-karbonáttal. Forrasztócsővel olvasszuk meg a keveréket faszénen, redukáló lánggal! Ha kihűlt, kevés vízzel keverjük el. Leszűrve a szűrlet lúgos és sósavval pezseg. A maradék a szűrőpapírról az ezüstpénzt (nedvesen) megbarnítja, sósavval pedig kén-hidrogént ad. A folyamat a következő volt:



Első lépésben a szén elvonta a nátrium-szulfátból az oxigént. A második lépés egy olvadt állapotban lejátszódó cserebomlás, amelynek során az erősebb sav az erősebb bázishoz csatlakozik, a gyengébb savnak pedig marad a gyengébb bázis. De hát azt mondtuk, hogy a kén-hidrogén és a szénsav nagyjából egyforma erősek! Igen, oldatban, de ezt csak az okozza, hogy a szén-dioxid nagy része nem reagál a vízzel. Valójában emiatt látszik a szénsav gyenge savnak. □

2.18.3 Kísérlet. Mitől függ, hogy a cserebomlás lejátszódik-e vagy sem? Ha a két só-párból valamelyik só kiválik az oldatból, akkor a párja ott marad, és kinyerhető. Nem kell azonban az egyik sónak teljesen oldhatatlannak lenni. Kálisalétromot szeretnénk előállítani. A salétromok a salétromsav sói, kémiai nevük *nitrát*. Az anion bennük az NO_3^- nitrát-ion. A kálisalétrom a második káliumsó, amit az emberiség megismert, a hamuzsír után. A természetben is előfordul, például Nagykovács határában. Míután a puszkapor előállítására használták, nagyon fontos volt. A XVIII. században úgynevezett *salétromkerte*kben állították elő: földre fahamut öntöttek, és trágyalével öntözték. A földben lévő baktériumok a trágyalében lévő nitrogénvegyületeket lassan salétromsavvá oxidálták, ami a hamuzsírral kálisalétromot adott. A földet néhány havonta vagy évente kilúgozták, az oldatból kikristályosítva a kálisalétromot. Lehet a fahamu helyett használt vakolatot is alkalmazni, ekkor mészsálétrom keletkezik. Ezt hamuzsírral cserebomlásba hozva mészkövet és kálisalétromot kapunk. Később Chilében nagy nátronsalétrom telepeket találtak.

Mi a nitrát iont vehetjük például ammónitrátból, a kálium iont pedig kálisóból. Így két sópárunk van: ammónium-nitrát és kálium-klorid illetve kálium-nitrát és ammónium-klorid, vagyis szalmiáksó. A lejátszódó reakció a következő:



Az egyenletben a sók alá odaírtuk a grammal vett móltömegüket is. A sók oldhatóságát a 2.18.1 táblázatban adjuk meg, a felső sorban g/100 g vízben, az alsó sorban mol/100 g vízben. (Egyébként régen az iparban is így állították elő a kálisalétromot, de ammonsalétrom helyett nátronsalétromot használtak, amit bányásztak. Ez volt a „salétromkonverzió”, azaz magyarul átalakítás.)

°C	0	10	20	30	40	50	90	100
NH ₄ Cl	29,4	33,3	37,2	41,4	45,8	50,4	71,3	77,3
	0,515	0,622	0,695	0,774	0,856	0,942	1,33	1,44
NH ₄ NO ₃	118		192	242	297	344	740	871
	1,48		2,40	3,03	3,69	4,30	9,25	10,9
KCl	27,6	31,0	34,0	37,0	40,0	42,6	54,0	56,7
	0,370	0,416	0,456	0,497	0,537	0,572	0,725	0,761
KNO ₃	13,3	20,9	31,6	45,8	63,9	85,5	202	246
	0,132	0,207	0,313	0,453	0,633	0,847	2,00	2,44

2.18.1 táblázat: oldhatóságok.

Látjuk, hogy hidegen legrosszabbul a kálsalétrom oldódik. A sók, ha közös ionjuk nincs, nem nagyon zavarják egymás oldódását: van, amelyik kicsit csökkenti, van, amelyik kicsit növeli a másik oldhatóságát. A táblázat alapján azt várjuk, hogy 0 °C-on 100 g vízben 13,3 g kálium-nitrát és 29,4 g ammónium-klorid fog feloldódni. Ez nincs pontosan így, de első közelítésnek elmegy. Üzemekben cserebomlásos folyamatokhoz mérések alapján összeállított pontos táblázatokat használnak. Egy ilyen táblázat alapján –10 °C-on 100 g vízben kevesebb, mint 0,1 mól kálsalétrom, de több, mint 0,4 mól szalmiáksó oldódik. (Magában a kálsalétrom oldata már meg is fagyna.) Ha le tudjuk hűteni az oldatot –10 °C-ra, akkor a tervünk egyszerű: ugyanannyi mól kálisót és ammonitrátot feloldunk annyi vízben, hogy 100 g víz essen minden 0,4 mólra. Forró vizet használunk, mert az oldat lehül az oldáskor. Ezután az egészet lehűtjük -10 °C-ra. Csak a kálsalétrom fog kiválni. Lecentrifugázzuk vagy vászonzacskón (bevásárlószatyor) leszűrjük, és megmérjük, hogy mennyi vált ki. Az oldatban van a maradék kálsalétrom és az összes szalmiáksó. Bepároljuk, időnként mérve a súlyát, de csak annyira, hogy a megmaradó víz a kálsalétromot még oldatban tudja tartani, majd lehűtjük például 40 °C-ra. Kiválik a szalmiáksó nagy része. A maradékot kidobhatjuk. Vigyázzunk, a centrifuga műanyag bevonatú vagy rozsdamentes acél legyen, mert a szalmiáksó a legtöbb fémet megtámadja! Hogy miért, az kiderül a következő kísérletből.

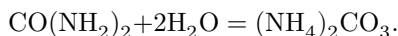
A gyakorlatban másként alakult a dolog. Hideg téli napokon csináltam a műveletet, de nem volt -10 °C. 10 kg ammonitrátból és 9,3 kg kálisóból indultam ki, mindkettő 125 mol. 24 l forrásban lévő vízben oldottam a sókat. A szabadban, 0 °C körül kivált kálium-nitrátot centrifugáltam és 3 l vízzel mostam (ez nem feltétlenül szükséges). 6,3 kg vált ki. A nedvességre 5 %-ot számoltam. Így az oldatban ≈ 6,5 kg kálsalétrom és 6,7 kg szalmiáksó maradt. Ezt a kálsalétrom mennyiséget 50 °C-on ≈ 7,6 kg víz bírja oldatban tartani, 40 °C-on pedig ≈ 10,4 kg. A terv az volt, hogy 20–22 kg-ra párolom be és 50 °C-ra hűtöm. Azonban a 37,4 kg oldat egy része kiömlött, és csak 32,5 kg maradt. Így végül ezt 20 kg-ra pároltam be, és 40 °C-ra hűtöttem. A centrifugán 2,27 kg nyers szalmiáksó maradt. A szűrlethez hozzáadtam 5 l vizet, hogy nehogy kiváljon lehűtésekor a szalmiáksó, majd szabadban 2–3 °C-ra hűtöttem. A kivált kálsalétromot lecentrifugáltam, 1,1 kg lett. Az anyalúgot újra bepároltam 18 kg-ra. 40 °C-ra hűtve 2,3 kg szalmiáksó vált ki. Centrifugálás után 3 l vízzel hígítottam és 0 °C alá hűtöttem. 1,3 kg kálsalétrom vált ki. Végül a ≈ 12 kg oldatot bőséges kristálykiválásig bepároltam, 40 °C-ra hűtöttem és centrifugáltam. Még 1,2 kg szalmiáksót kaptam. A maradékot oldatot kiöntöttem.

Ákár magunk készítünk így kálsalétromot, akár műtrágyaként vesszük, átkristályo-

sítással meg kell tisztítani. Ugyanez vonatkozik a szalmiáksóra. (A műtrágyaként árult sókkal vigyázzunk, vásárlás előtt gondosan olvassuk el az adatlapját. Például a mészsáletromként árult műtrágya 1/6-a ammónsalétrom, és bórvegyületeket is kevernek hozzá.) Olvassuk el a következő két kísérletet! □

2.18.4 Kísérlet. A szalmiáksót 1,5 ml/g vízből való 90 °C és 0 °C közötti átkristályosítással szokás tisztítani, a kivált sót jeges vízzel mosva. Mivel a mi készítményünk kálicsalétrommal szennyezett, az első átkristályosításnál ne hűtsük az oldatot 20 °C alá. A következő átkristályosításnál ammónia oldattal semlegesre vagy enyhén lúgosra állítjuk be. Sok fém szennyezés leválik. Persze, azok nem, amelyek ammóniával nem adnak csapadékot, például a Zn, Cd, Pb, Co, Ni, Mn, Ca, Mg. Semleges vagy gyengén lúgos közegben az Fe(II) sem válik le, ezért az oldatba fúvassunk levegőt, hogy az esetleges vaszennyezés oxidálódjon, leváljon, és leszűrjünk. Az oldáshoz a minimálisnál több vizet használjunk, hogy ne váljon ki a szalmiáksó. Hogy mennyit, az attól függ, milyen melegen tudjuk tartani az oldatot. Ezután az oldatot aktív szénnel derítsük: a forró oldatba kevés aktív szenet teszünk (kg-onként kb. fél grammot), 5–10 percig melegítjük néhányszor átkavarva, majd forrón szűrjük. A tiszta oldatot bepároljuk. A maradék ammóniát szűrés után a megfelelő savval — szalmiáksónál sósavval — közömbösíthetnénk, de erre nincs szükség: az oldatból főzéskor távozik az ammónia, sőt, az ammóniumsók oldata főzéskor savas lesz, mert némi ammónia távozik. Az ammóniaszag miatt jobb szabadban dolgozni, de nyitott ablaknál is dolgozhatunk.

Esetleg az a gondolatunk támadhat, hogy nátrium-perkarbonáttal oxidáljuk a vasat. Ez nem lenne szerencsés, mert nátrium-karbonátot vinnénk az oldatba. Használhatunk viszont hyperol tablettát. Ez ugyan karbamidot visz az oldatba, a karbamid azonban főzéskor átalakul:



Tiszta víz a keletkező ammónium-karbonáttól így magától lúgosodik egészen 11-es pH-ig. Sok ammóniumsó jelenlétében — a pufferhatás miatt — ezt nem várhatjuk, de mindenestre az ammónium-karbonát főzéskor elbomlik. Tehát ha hyperollal oxidálunk, akkor is lúgosítsunk ammóniával. Még így is kerül szennyezés az oldatba: a hyperol tablettá némi citromsavat tartalmaz. Legjobb a levegő. Az esetleges oldhatatlan fém-hidroxidok leválnak. Ha kell, szűrjük és derítsünk. Más ammóniumsók is így tisztíthatók, például az ammónium-nitrát, aminek az átkristályosítása 0,5 ml/g vízben melegen oldva és só-jég keverékben hűtve történhet.

Szublimálással is tisztítható a szalmiáksó, de ezzel most vigyáznunk kell: a kálicsalétrom oxidáló anyag, és ha még van a szalmiáksóban, akkor a szublimálásakor keletkező sósavból klórt fejleszt. Viszont a szalmiáksó egy kis részét porceláncserépen hevítve kipróbálhatjuk, hogy fejleszt-e klórt és hagy-e maradékot? Ha klórt fejleszt, még van benne nitrát, ha pedig hagy maradékot, még vannak benne káliumsók vagy más fémek sói. Ha nem fejleszt klórt, akkor beiktathatunk utolsó tisztítási lépésnek egy szublimálást. Ez úgy megy, hogy egy tűzálló üvegtálban homokfürdőn SZABADBAN melegítjük a szalmiáksót. Az üvegtálat befedjük a tetejével, de fordítva tesszük rá és vizet öntünk bele. Erre a hűtött felületre válik ki, ami szublimál. Minden, aminek a kloridja nem párolog, a tálban marad. (A vas(III)-klorid párolog egy kicsit.) □

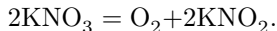
2.18.5 Kísérlet. A kálicsalétrom 0,5 ml/g vízből való átkristályosítással könnyen tisztítható. Az általunk készítettet kristályosítsuk át, majd vizsgáljuk meg ammóniára lúggal:

egy keveset óraüvegre teszünk, és leöntjük nátronlúggal. Ha NH_4^+ van benne, az ammónia szaga érződik. Amíg nem tiszta, addig kell ismételni az átkristályosítást. Várható, hogy mire az NH_4^+ ionoktól megszabadulunk, addigra a Cl^- ionoktól is. Ha van tiszta hamuzsírunk, akkor beiktathatunk egy utolsó tisztítási lépést: hamuzsírral meglúgosítjuk az oldatot, levegőt fúvatunk bele, és az esetleg keletkező csapadékról leszűrjük. Karbonát-ként a legtöbb nem alkáli fém sója kiválik, beleértve a kalcium és magnézium sókat és más alkáli földfémeket is. Ha nincs tiszta hamuzsírunk, várjunk ezzel az utolsó tisztítási lépéssel, nemsoká készítünk tiszta hamuzsírt. A lúgos oldatot, ha van, híg salétromsavval kell semlegesíteni, ekkor a hamuzsír kálium-nitráttá alakul. Valószínű nincs salétromsavunk, de úgy is eljárhatunk, hogy a forró oldathoz óvatosan, kis adagokban tiszta ammónium-nitrátot adunk, amíg még erősen lúgos. Az ammónium-nitrát a hamuzsírral kálium-nitrátot és ammónium-karbonátot ad. Az utóbbi forrón elbomlik, és távozik az oldatból. Vigyázzunk, ne adagoljuk túl az ammónium-nitrátot, mert akkor kezdhethetjük hamuzsírral visszalúgosítani. Az oxidálást levegő helyett hyperol tablettával is végezhetjük.

□

2.18.6 Kísérlet. Látványos kísérlet mutatja a kálium-nitrát oxidáló hatását. Kevés meleg vízben oldjunk kálium-nitrátot és ecsettel írjunk valamit papírra. Száradás után a vonal elejét megérintve egy izzó dróttal, az írás végigég, a betűk izzanak. A kálsalétromnak az az előnye ilyen kísérleteknél és puszkapor gyártásánál más salétromokkal szemben, hogy nem nedvszívó. □

2.18.7 Kísérlet. Ha porceláncserépen kevés kálsalétromot megolvasztunk és izzásig hevítünk, finom buborékok szállnak fel belőle. A gáz oxigén, a reakció



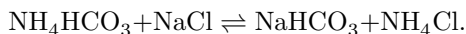
A kálium-nitrát olvadáspontja 339°C , a bomlás 500°C felett következik be. A keletkező anyag *kálium-nitrit*. Ha a megolvasztott salétromhoz égő gyújtópálcát érintünk, hevesen elég. Az izzó salétromon faszéndarabka meggyullad és elég, kéndarabka fényes kék lánggal ég. □

2.18.8 Kísérlet. Puszkapor készítéséhez 30 g kálium-nitrátot finoman porítsunk el. KÜLÖN ugyancsak finoman porítsunk el 4 g ként és 6 g faszenet. (Legjobb az alacsony hőfokon égetett, finoman lukacos fából, például hársfából készült faszen.) A puszkapor ugyan nem különösebben érzékeny ütésre, dörzsölésre, de azért a legjobb, ha fa pálcával keverjük össze az oxidáló anyagot az éghető anyagokkal. (A robbanóanyagok robbanása ott szokott indulni, ahol ütéstől, dörzsöléstől származó helyi hőhatás felmelegíti az anyagot. A puszkapor NAGYON TŰZVESZÉLYES, A LEGKISEBB SZIKRÁTÓL MEGGYULLADHAT, ELEKTROMOS FELTÖLTŐDÉSKOR KELETKEZŐ SZIKRÁTÓL IS!) A keverék negyedét szórjuk ki tűzbiztos alapra vékony csíkban. Az egyik végét NYITOTT ABLAKNÁL VAGY SZABADBAN meggyújtva szikrázva de nyugodtan végigég kb. 1 cm/s sebességgel. Így működik az időzítő gyújtózsínór, egy puszkaporral töltött vékony falú cső. Olvassuk el a következő két kísérletet is. □

2.18.9 Kísérlet. A keverék második negyedét keverjük össze annyi vízzel, hogy gyúrható legyen, gyúrjuk össze fapálcával, és VÍZFÜRDŐN szárítsuk meg. Az összeszáradt darabot falapon, fapálcával óvatosan daraboljuk fel. Az így kapott darabkák meggyújtva hevesebben, robbanásszerűen égnek el. □

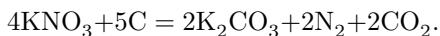
2.18.10 Kísérlet. A puskapor legfontosabb felhasználása természetesen a lövöldözés volt. Készítsünk mi is egy ágyúmodellt! Egy üres szénsavas vagy habszifonos patronot világos vörösre felizzítva majd lehűtve lágýítsunk ki. Vágjuk le az összeszüküló részt, és a vége felé fúrjunk bele oldalról egy 3 mm átmérójú lyukat. Nagyobb darab fába fúrjunk egy lyukat, amibe a patron belefér, és oldalról is fúrjunk hozzá egy lyukat. A patronot töltsük meg puskaporral, a kis lyukat is, és a fába fúrt lyukat is (felül legyen). A patronba tegyünk egy gumigolyót, vagy öntsünk bele szilikongumi dugót. SEMMI ESETRE SE HASZNÁLJUNK KEMÉNY GOLYÓT! Az „ágyút” irányítsuk egy erős fal felé. EMBERRE, ÁLLATRA LŐNI BŰNCSELEKMÉNY! A puskaport egy vékony vasszállal gyújthatjuk meg, amihez egy 9 V-os elem áramát vezetjük. □

2.18.11 Kísérlet. A cserebomlást sűrűn felhasználják a vegyiparban. A legelső fontos alkalmazása a Solvay-féle szódagýártás volt. Kipróbálhatjuk egy kísérletben, de nem érdemes nagyban szódat gyártani, hiszen olcsón kapható. Készítsünk olyan oldatot, amelynél 1 mol ammónia és 1 mol konyhasó jut 320 g vízre. (Az iparban olyan oldatot használnak, ami 10 %-os ammóniaoldat konyhasóval való telítésének felel meg.) Az oldatból csak annyi kell, amellyel egy „kotyogót” addig tudunk tölteni, hogy a gömbjeiben is legyen egy kevés oldat. Mint az egyik lítiumos kísérletnél, egy megfelelő méretű műanyag palack levágott aljából ügyeskedjünk a kotyogóra hűtőt, amibe jeges vizet teszünk. A kotyogó egyfuratú dugóba jön, amit egy palackba dugunk. A palackba tegyünk márványt és ecetet vagy sósavat, a szájába vattát, és dugjuk be a kotyogóval. Az élénk szén-dioxid áram telíti az oldatot szén-dioxiddal, az ammóniával ammónium-hidrogén-karbonátot ad. (A reakcióhőt a jeges víz vonja el.) A keletkezett anyag cserebomlásba lép a konyhasóval:



Mivel legrosszabbul a szódagýikarbóna oldódik, részben kiválik az oldatból. A szódat ennek hevítésével kapják. A keletkezó tiszta szén-dioxidot a telítés végén felhasználják. A telítés elején mészegetéssel kapott, nem tiszta szén-dioxidot használnak. Mivel az ammónia drága anyag, vissza kell nyerni: az égetett mésszel szabadítják fel, és melléktermékként kalcium-kloridot kapnak. □

2.18.12 Kísérlet. Kálium-nitrátunkat felhasználhatjuk elég tiszta hamuzsír készítésére. A reakció lényege az oxigén elvonása a salétromból szénnel:



Biztosan van akiben felmerül, hogyan sütöttük ki ezt a reakcióegyenletet? Persze, próbálgatással is ki lehet találni, de van jobb módszer is. Ez az *oxidációfok* fogalmán alapul. Redox folyamatokban elektronok adódnak át. Az oxidációfok nagyjából azt fejezi ki, hogy az adott atom hány elektront adott át. Az oxidációfokkal kapcsolatos szabályok a következők:

- Elemi állapotban, függetlenül attól, milyen a belső szerkezet, az oxidációfok nulla. Például H_2 , O_2 , S_8 , stb.
- Egyforma atomok összekapcsolódása nem jelent oxidációfok változást, például a hidrogén-peroxidban, H-O-O-H a középső kötés.
- Egyatomos ionok oxidációfoka egyenlő az ion töltésével.
- Az alkálifémek oxidációfoka mindig +1, az alkáliföldfémeké +2.

- Az oxigén oxidációfoka vegyületeiben mindig -2 . Kivételek a peroxidok és néhány ritka vegyület. (Erre később visszatérünk.)
- A hidrogén oxidációfoka általában $+1$, fémhidridekben, például az LiH lítium-hidridben -1 .
- Ionokban az atomok oxidációfokainak összege az ion töltése, semleges molekulákban nulla.

Lehet, hogy egy vegyületben ugyanannak az elemnek két atomja nem egyforma oxidációfokú. Például az ammónium-nitrátban az NH_4^+ ionban lévő nitrogén oxidációfoka -3 , míg az NO_3^- ionban lévőé $+5$. Az elem *oxidációs száma* az atomjai oxidációfokának átlaga (nem feltétlenül egész szám). Itt most a N-é $+1$.

Nézzük, hogyan tudjuk ezt a fogalmat felhasználni! Az egyenlet bal oldalán a kálium-nitrátban a N oxidációfoka $+5$, a jobb oldalon az N_2 -ben 0 . A szén oxidációfoka az egyenlet bal oldalán 0 , a jobb oldalon $+4$. Más oxidációfok nem változik. Ha 5 atom szenet és 4 atom N-t veszünk, akkor 20 elektron megy át. Ez a számolás jobban is mutatja a folyamat lényegét.

A kálium-nitrát móltömege 101 g. Tehát az egyenlet szerint 404 g-hoz 60 g szén kell. Nem szenet fogunk használni redukáló anyagnak, hanem cukrot, mert az tisztább. Ebben mint szénhidrátban egy atom szénre (nagyjából) 1 molekula víz jut, tehát 12 g-ra 18 g. Így 150 g kell belőle. Vegyünk ennél 10% -kal többet. Legjobb, ha porcukrot veszünk. Ha összeállt darabokba, dörzsöljük szét. KÜLÖN dörzsöljük porrá a kálsalétromot is. ÓVATOSAN, EGY DESZKÁN FADARABBAL keverjük jól össze a két anyagot. Ne feledjük, hogy a puskaporhoz hasonló összetételű anyag! Egy vas edényben, például malteros kanálban fapálcával gyűjtsunk meg egy evőkanálnyi keveréket, majd apránként adagoljuk hozzá a többi. Izzítsuk ki a maradékot, hogy biztosan minden cukor elbomoljon.

Úgy tűnik, készen is vagyunk. Sajnos, nem. Egy kellemetlen mellékreakcióban KCN, kálium-cianid is keletkezik, szerencsére kis mennyiségben. Ez egyike a legerősebb mérgeknek, amelyek egy laboratóriumban előfordulnak. A hidrogén-cianidnak, HCN a sója. A hidrogén-cianid könnyen forró folyadék, forráspontja $26\text{ }^\circ\text{C}$, tehát gyakorlatilag gázként van jelen. Keserűmandula szaga van, de az embereknek nagyjából harmada nem érzi a szagát. (Dohányzók előnyben: dohányfüst mellett szinte mindenki érzi a hidrogén-cianid szagát.) Mérgezőbb a kén-hidrogénnél és a klórnál, már azoknál néhányszor kisebb koncentrációban is közvetlenül életveszélyes! Hatása inkább a kén-hidrogénéhez hasonlít, kisebb koncentrációban hosszabb idő alatt jóval kevésbé veszélyes. A munkahelyen megengedett koncentrációja 11 mg/m^3 , szagáról ennek a tizedrésze is észrevehető. Úgy tűnik, ez a rendkívül mérgező szennyezés tönkreteszi munkánkat. Nem kell azonban megijednünk! Ha néhány nap alatt, jól szellőző helyen szabadítjuk fel, semmi veszély nincs. Arra azonban vigyázzunk, hogy a keletkezett anyagot NEHOGY MEGSAVANYÍTSUK, mert a hidrogén-cianid mint rendkívül gyenge sav, azonnal felszabadul. Tervünk is ezen alapul: mivel még a szénsavnál is gyengébb sav, az is felszabadítja sóiból. Lassan fejlődő szén-dioxidot fogunk ezért a tömény oldatba vezetni elnyeletőharanggal. Mivel ekkora adagban 88 g szén-dioxid van, ugyanennyit kell belevezetni. Ez egyúttal kálium-hidrogén-karbonáttá alakítja a hamuzsirt. Az átalakulás teljességét keserűsóval ellenőrizhetjük, ahogy már leírtuk. A kivált sötét leszűrjük, kevés jéghideg vízzel mossuk és szobahőmérsékleten megszáritjuk. Egyszerű melegítéssel tiszta hamuzsirt kapunk belőle. Mivel cukorból erjesztésnél a felének megfelelő súlyú szén-dioxid fejlődik, vegyünk jó bőven 300 g cukrot.

Mielőtt ezeket megteesszük, végezzük el a következő kísérletet, amiből megtudhatjuk,

hogyan mutathatjuk ki a cían szennyezést. □

2.18.13 Kísérlet. A cían szennyezést az úgynevezett *berlini kék* reakcióval mutathatjuk ki. A lúgos oldat pár cseppjéhez adjunk pár csepp vas(II) só oldatot. Csak addig szabad cseppenként a vas(II) sötét adagolni, amíg csapadék kezd kiválni, mert utána megsavanyítja az oldatot és a hidrogén-cianid felszabadul! Pár percig főzzük ezt a keveréket. Óvatosan savanyítsuk meg (ha sok cían van az oldatban, HCN képződik) és adjunk hozzá pár csepp vas(III) só oldatot. Ha volt benne cían, sötétkék csapadék képződik, kevés cían esetén csak haragoszöld színeződés. Ha pár cseppel nincs határozott eredmény, pár ml oldattal is megismételhetjük a próbát, mert sok cían már biztosan nincs jelen. Hogy mi is történik, azzal a komplex vegyületeknél foglalkozunk. □

2.18.14 Kísérlet. Mint tudjuk, a kálium-nitrát magasabb hőmérsékleten könnyen bomlik oxigén leadásával, és *kálium-nitritté*, KNO_2 alakul. Ezt a bomlást elősegíthetjük, ha könnyen oxidálható anyagot keverünk a salétromhoz. Ennek ólmot használhatunk, ami ólom-oxiddá, PbO , alakul. Olvasszunk meg vas edényben 1 rész kálium-nitrátot és adjunk hozzá vas pálcával való kevergetés közben apránként 2 rész ólmot! A reakció állandó kevergetés közben nagyjából fél órát igényel. A még félig folyékony oldadékot öntsük lapos vastálba vagy nagy vaslemezre, hogy az aprítás könnyebb legyen. A porrá tört anyagból az oldható részt forró vízzel többször kifőzve oldjuk ki és az oldatot szűrjük. A maradék (főleg) ólom-oxid. Az egyesített szűrletekbe forrón vezessünk pár percig — ne tovább — szén-dioxidot. Ez azért kell, mert a kálium-nitrát egy kis része kálium-oxiddá bomlik, és a lúgban az ólom-oxid oldódik. Ezt a szén-dioxid karbonáttá alakítja, és kiválik. Mégegyszer szűrjük, majd vízfürdőn bepároljuk. Ha van salétromsavunk, forrón semlegesítjük. Ha nincs salétromsavunk, és az oldat nagyon lúgos, adjunk hozzá kevés tiszta ammónsalétromot. Ne használjunk nagyon sokat, mert a felesleg a kálium-nitrittel cserebomlásba lép: $\text{KNO}_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_2$. Ugyan az ammónium-nitrit elbomlik az $\text{NH}_4\text{NO}_2 = \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ reakció szerint, de a kálium-nitrit egy része így visszaalakult nitráttá. Hagyjuk az oldatot lehűlni. A kiváló kristályok kálium-nitrátból állnak: a kálium-nitritből 0°C -on 280 g, 100°C -on pedig 413 g oldódik 100 ml vízben, ezért nehéz kristályosítani. Az oldatot pároljuk szárazra, olvasszuk meg, öntsük vaslemezre, és tegyük jól záró üvegbe, mert nedvszívó. Kissé sárgás fehér anyag. Szükség esetén tovább úgy tisztítható, hogy hidegen telített oldatot készítünk belőle, amit vízfürdőn bőséges kristálykiválásig bepárolunk és forrón szűrünk, hogy a nitrát ki ne váljék. □

2.18.15 Kísérlet. Teljesen hasonlóan készíthetünk *nátrium-nitritet* 4 rész nátrium-nitrátból és 10 rész ólomból. A felaprított oldadékot egyszer 16 rész, majd kétszer 5 rész forró vízzel lúgozzuk ki, és az ólmot csapjuk le. Két napig hagyjuk ülepedni, az oldat tisztáját semlegesítve és erősen bepárolva kristályosítjuk. A kissé sárgás fehér kristályokat alkohollal mossuk. Az anyalúgot is feldolgozzuk. A tisztítása $0,7\text{ ml/g}$ forró vízben oldva és 0°C -ra hűtve történhet. Tiszta anyag előállításához legalább háromszori átkristályosítás szükséges.

2.18.16 Kísérlet. Az előző két kísérletben kapott ólom-oxidot ecetsavban oldva kényelmesen készíthetünk ólom-acetátot. Hozzácsaphatjuk az ólom-oxidhoz a csapadékként levált ólom-karbonátot is. Persze, gondosan mossuk ki mindkettőt. Az ecetsavat vegyük feleslegben, mert az ólom-acetát oldat oldja az ólom-oxidot, bázikus sók képződnek. Ha tiszta ólom helyett keményólmot használtunk, akkor annak Sb -tartalmából Sb_2O_3 képződött, ami nem oldódik ecetben. Ezt szűrjük le és tegyük el, majd később foglalkozunk vele

(a Sb-vegyületek mérgezőek, de ebben a formában a Sb nem veszélyes). Az ólom-acetátot úgy tisztíthatjuk meg, hogy némi kén-hidrogént vezetünk bele. Ekkor ólom-szulfid válik ki, de egyúttal kiválnak az összes, ólomnál oldhatatlanabb szulfidot képező fémek szulfidjai is. Szűrés után a tiszta oldatot bepároljuk és kristályosítjuk. Trihidrát válik ki. □

2.18.17 Kísérlet. Tiszta ólmot készíthetünk tiszta ólom-acetátból. A kristályos sót kiszárítjuk, majd lefedett porcelán edényben hevítéssel elbontjuk. Ügyeljünk rá, hogy csak az ólom olvadjon meg, az ólom-oxid ne, mert megtámadja a porcelán mázát, és szennyezettebb ólmot kapunk! Az olvadt ólmot másik porcelán edénybe öntjük, ügyelve rá, hogy az oxidos salaktól elválasszuk. Meglehetően puha, és kevésbé oxidálódik levegőn, mint az elektrolízissel tisztított ólom. □

2.18.18 Kísérlet. Az ólom-oxidot szénnel is visszaalakíthatjuk ólommal. Legegyszerűbb faszénnel forrasztócsővel redukálni. Nagyobb mennyiségben gondosan eldörzsöljük harmadannyi faszénporral és fűvőlángon 800–900 °C-on izzítjuk, vasdróttal néha megkeverve. □

2.19 Kénsav

2.19.1 Kísérlet. A tiszta, 96 %-os (18 M) tömény *kénsav* meglehetősen veszedelmes anyag, ezért kísérleteinket hígított kénsavval kezdjük. Ez sem veszélytelen, ugyanis a tiszta kénsav magas hőmérsékleten forr, közönséges hőmérsékleten nem párolog; ezért ha ruhánkra, cipőnkre akár csak hígított kénsav kerül és rajta marad, idővel betöményedik és lyukat mar bele. Szerencsére vízzel lemosható és szóda- vagy szóda-bikarbóna-oldattal még a nyomai is semlegesíthetők. Esetleg kaphatunk *akkumulátorsav* néven, PE edényben árulják. Ez kb. 37 %-os és meglehetősen tiszta. Vethetünk hígabbat is, ha csak olyat kapunk. Ha nem tudunk venni, egy használt gépkocsi *akkumulátorból* is kiönthetjük. Mossuk le az akkumulátort, majd feszegezzük le a tetejét. Hat műanyag dugót látunk, azokat húzzuk ki: hat kisebb rekeszben van a kénsav és ólom, meg különböző szilárd ólom-vegyületek. Felfordítva az akkumulátort, egy tisztára mosott műanyag lavórba öntsük ki a kénsavat; a lehető legkevesebb maradjon az akkumulátorban. Ezután vízzel néhányszor öblítsük ki az akkumulátort, és tegyük el. Majd később, ha már megismertük a szerkezetét, kinyerjük belőle az ólmot. A savat, ha zavaros, szűrjük meg vagy ülepítsük. Mivel nem tudjuk, pontosan hány százalékos, mérjük meg a sűrűségét! Táblázatból kikereshetjük, hogy hány százalékos.

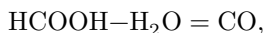
Számunkra egyelőre még az akkumulátorsav is túl tömény. Készítsünk 1 M koncentrációjú, 9,8 %-os kénsavat, a legtöbb kísérlethez ezt fogjuk használni. Kipróbálhatjuk, hogy szódaoldattal pezseg, mint erős sav. Ez a hígabb sav sem veszélytelen: egy darab rongyra öntve pár cseppet, és a rongyot egy tányéron eltéve olyan helyre, ahol nem férhetnek hozzá, pár nap alatt kilyukad. Egyébként gyorsabban is célt érhetünk: szűrőpapírra üvegbotlal tegyünk pár cseppet egy porcelán tálon, majd a tálat lassan melegítve, szárítsuk be. Ahol a kénsav van, a papír elszenesedik. Gázláng felett jó magasan is beszáríthatjuk a papírt. □

2.19.2 Kísérlet. A kénsavat, sóiban is, kimutathatjuk gipszként. A gipsz ugyanis a kénsav kalciumsója, és mint tudjuk, elég oldhatatlan. Egy tárgylemezre tegyünk egymás mellé egy csepp igen híg kénsavat és 0,05 M töménységű kalcium-kloridot, és egy üvegszállal húzzunk csatornát, ami a két cseppet összeköti! A két csepp egymásba diffundál

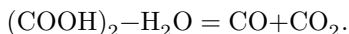
és kiválnak a gipsz jellegzetes, nagyítóval jól látható kristályai. Kénsavas sóknál egy pár csepp tömény sósavat tartalmazó üvegcsőre fordítva a tárgylemezt, savanyítsuk meg a vizsgálandó oldatot! □

2.19.3 Kísérlet. A kénsav egyik fontos alkalmazása, hogy nálánál gyengébb savakat állítunk elő vele sóikból. Kalciumsót készítünk a savból, majd ebből felszabadítjuk a savat. Melléktermékként gipsz keletkezik. Próbáljuk ki ecetsavval: kalcium-acetát oldatba öntsünk kénsavat. Gipsz válik ki, és érezhető az ecetsav szaga. □

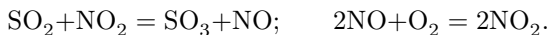
Teljesen hasonlóan állítható elő borkősav, citromsav, hangyasav és oxálsav is. Tömény ecetsav előállítására tömény kénsavat használhatunk, és a keletkező tömény ecetsavat ledesztilláljuk. A borkősav, a citromsav és az oxálsav szilárd anyagok, oldatukból ki-kristályosíthatjuk őket. Nehezebb a tömény hangyasav előállítása, mert a forráspontja majdnem megegyezik a vízzel, a tömény kénsav viszont könnyen elbontja, vizet von el belőle:



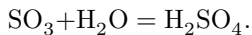
tehát szén-monoxidot kapunk, aminek ez a szokásos előállítási módja. Egyébként az oxálsavból is vizet von el a tömény kénsav:



2.19.4 Kísérlet. Az egyik régebbi kénsavgyártást könnyen kipróbálhatjuk. Pontosan úgy járunk el, mint amikor kénessavat készítettünk, de a kénport porított salétrommal keverjük 5:1 arányban, és csak 1 g keveréket veszünk, hogy maradjon levegő. A víz lehet kevesebb is, de zárja el a levegő útját. Meggyújtva a keveréket és leborítva az üveggel, az üveg belsejében sűrű fehér köd gomolyog. Ez kén-trioxid és kénsavköd. Nagyon maró, köhögtesítő. A megengedett koncentrációja munkahelyen a levegőben csak 1 mg/m³, tizede a sósavgáz megengedett koncentrációjának! Ezért ezt a kísérletet SZABADBAN, vagy jó HUZATOS HELYEN kell végezni. A salétrom egy részét a kén nitritté redukálja. Ebből némi NO és NO₂ képződik. Ezek katalizálják a kén-dioxid kén-trioxiddá való oxidációját. Nagyjából a következő folyamat játszódik le:



A kén-trioxid aztán a vízzel, sőt, a vízgőzzel is kénsavat ad:



Ez adja a fehér kénsavködöt, ami lassan elnyelődik a vízben. Várjunk, amíg eltűnik a fehér köd.

Hogy tényleg kénsav keletkezett, arról könnyen meggyőződhetünk: pároljuk be a keletkezett folyadékot porcelán tálban SZABADBAN vagy jó HUZATOS HELYEN. Ha eléggé bepároljuk, fehér, maró, köhögtesítő „kénsavfüst” kezd képződni. Ekkor hagyjuk abba a bepárlást. Üvegbottal szűrőpapírra téve pár cseppet és azt megszáritva, látjuk, hogy megfeketedik. A porcelán tálban is fekete foszlányok képződnek. Ez a behulló szerves szennyeződésekkel képződő szén. A szennyeződések és a papír is azért szenesedik el, mert a tömény kénsav nagyon erős vízelvonószer. A papírból, ami szénhidrát, elvonja a vizet, és marad a szén.

Ellenpróbaként kipróbálhatjuk hasonlóan készített kénessavunkat: bepárolva nem képződik fehér füst és semmi sem marad, bár némi elszenesedés tapasztalható a tálban: a kén égésénél a kén-dioxid mellett pár % kén-trioxid is képződik.

Ha sehogy sem jutunk kénsavhoz, kisebb mennyiségben magunk is előállíthatjuk ezzel a módszerrel egy minél nagyobb fedeles PE vagy PP edényben. □

Nagyon sokáig ezen az elven gyártották az „angol kénsavat”. A nitrogén-oxidokat kénsavval salétromból állították elő, és kén-dioxiddal, levegővel és vízzel keverve ólomkamrába vezették. (Az tiszta ólom volt az egyetlen olcsó anyag, amely ellenáll a 60–80 %-os kénsavnak.) Itt képződött a kénsav. Hogy az értékes nitrogén-oxidok ne vesszenek kárba, töményebb kénsavval nyellették el őket, és a forró kén-dioxidot ezen vezették át, hogy visszakapják a nitrogén-oxidokat. A kén-dioxidot kén égetésével vagy kén tartalmú ércek pörkölésével kapták.

2.19.5 Kísérlet. Ma a kénsavat, pontosabban a kén-trioxidot kén-dioxid és levegő keverékéből katalizátort használva gyártják. Ezt is kipróbálhatjuk. HUZATOS HELYEN egy kisebb befőttes üveget töltsünk meg száraz kén-dioxiddal. Drótra szerelt kis gyertyával ellenőrizhetjük, hogy meddig van már kén-dioxiddal, mert az nem táplálja az égést. A kén-dioxidot öntsük át egy széles szájú műanyag palackba. A palackot olyan dugóval dugjuk be, amelyen két vastagabb rézdrótot vezettünk át. A drótok közé rugószerűen felcsavart vékony vasdrótot szerelünk, például acélgyapotból. A vasszálat feszültségosztóról vett vagy előtétellenálláson átvezetett árammal izzítsuk fel. A palackban fehér kén-trioxid füst kezd gomolyogni. Az izzó vas katalizálja a $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$ reakciót. Ha már nem képződik több fehér füst, lazítsuk meg a dugót, és spricceljunk kevés vizet a palackba. A fehér kénsavfüst lassan nyelődik el a vízben. Hogy tényleg kénsav keletkezett, azt ugyanúgy mutathatjuk ki, mint az előző kísérletben. □

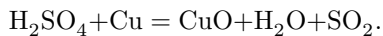
Az iparban más, hatásosabb katalizátort használnak. Gondot okoz, hogy a kén-trioxid a vízgőzzel „kénsavfüstöt” képez. Ez tulajdonképpen kénsavcseppekből álló köd, és nagyon nehezen nyelődik el vízben. Ezért a kén-trioxidot tömény kénsavban nyeletik el. Az így kapott főlös kén-trioxidot tartalmazó kénsavat *óleumnak* vagy *vitriololajnak* nevezik. Rendszerint közvetlenül 20–25 %-os óleumot gyártanak, azaz olyan óleumot, ami a kénsav mellett ennyi szabad kén-trioxidot tartalmaz. Az óleum még sokkal maróbb, mint a tömény kénsav. A kén-trioxid részben egyesül is a kénsavval, és *dikénsav* keletkezik: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_3 = \text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$. A reakció megfordítható, az óleumot forralva kén-trioxid párolog el. Így gyártják a tiszta kén-trioxidot, illetve azt kénsavval elnyelve a 60 %-os óleumot.

2.19.6 Kísérlet. Bár azt mondtuk, hogy egyelőre ne vegyünk tömény kénsavat, mert maró, veszedelmes anyag, néhány kísérletet mégis elvégezzünk vele. A magyarázat egyszerű: jobb, ha pár cseppel dolgozunk, mintha első „kísérletünk” az lenne, hogy leejtünk egy tele üveggel, és fogalmunk sincs, hogyan mentsük magunkat. Az előző két kísérlet mutatja, hogy híg kénsavból egyszerű bepárlással kaphatunk töményebb (ha nem is teljesen tömény) kénsavat. Nagyon fontos tudni, hogy TÖMÉNY KÉNSAVBA (PLÁNE ÓLEUMBA) TILOS VIZET ÖNTENI, ugyanis a kénsav hígításakor nagyon sok hő keletkezik. Ha kevés víz kerül bele, felforr, és szétfröcsköli a tömény savat. Mindig a tömény kénsavat öntjük a vízbe, apránként, keverés közben! Csak kb. 1 ml tömény savat tervezünk készíteni. Ehhez mérjünk ki egy porcelán tálba, esetleg kis tűzálló üvegtálba 5 g akkumulátorsavat (hígabb savból arányosan többet). Mivel a tömény kénsav sűrűsége $\approx 1,84$ kg/l, ez 1 ml

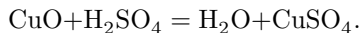
tömény, 100 %-os savnak felel meg. Használjunk homokfürdőt (vékony rétegben), amit egy zománcozott vas edényben készítettünk. A savat öntsük a porcelán tálba. TILOS HÍGABB SAVAT TÖMÉNY SAVBA UTÁNTÖLTENI! Kb. 70 %-os töménységig gyakorlatilag csak víz távozik a bepárláskor, a sav ekkor nagyjából 170 °C-on forr. Ha a sav 88 %-os, akkor 260 °C-nál forr és nagyjából 10 %-os kénsav párolog el. Az iparban 96 %-ig szokták a savat töményíteni, ekkor már 300 °C körül forr a sav és 60 %-os kénsav párolog el. Szilíciummal ötvözött vasból készült edényt használnak. (Hogy a forró, tömény kénsav nem támadja meg a vasat, passzíválódással magyarázható: lásd később. Ezért tesszük mi is a homokot zománcozott vas edénybe.) A kénsav a vízzel azeotrópos elegyet képez, ami 98,3 % savat tartalmaz és 336,5 °C-on forr. Csak addig pároljuk be a savat, amíg kénsavfüst kezd megjelenni, addig is SZABADBAN! Olvassuk el a következőt is kísérletet, és végezzük el! Mindegyikhez csak pár csepp sav kell. Utána várjuk meg, amíg a homokfürdő és a porcelán tál teljesen kihűl. Nyissuk meg a vízcsapot, és óvatosan öntsük a maradék savat a vízhez! Ha el akarjuk tenni, PE kupakos üvegben tárolhatjuk, de úgy, hogy az üveg egy PE, PP vagy PVC edényben legyen. Ha kiömlik a sav, ezeket nem támadja meg. A porcelán tálát SOK VÍZZEL mossuk ki. NAGYON VIGYÁZZUNK, NE CSEPPENJEN EL A SAV! Ha esetleg a bőrünkre cseppenne, ha van kéznél, SZÁRAZ ronggyal töröljük le, majd BŐ VÍZZEL öblítsük le a bőrünket, és szódadibikarbónával közömbösítsük a sav nyomait. A nedves rongy csak bajt okozna: a sav a kevés víztől felmelegszik. Ha sok kénsav ömlik ki, MÉSZKŐPORRAL, OLTOTT MÉSZ PORÁVAL semlegesítsük, esetleg SZÁRAZ HOMOKKAL itassuk fel, a helyét mossuk le, majd szódadibikarbónával közömbösítsük a nyomait! □

2.19.7 Kísérlet. Egy kémcsőbe tegyünk kevés porcukrot, és adjunk hozzá szemcseppentővel pár csepp kénsavat! (Legyen ott egy üvegedény, amibe a szemcseppentőt beleállítjuk.) A porcukor azonnal elkezd szenesedni: a kénsav a szénhidrátból elvonja a vizet. Ha kicsit melegítjük, a szén felfúvódik. SOK VÍZZEL öblítsük ki a kémcsövet a lefolyóba, és bőségesen engedjük utána vizet. □

2.19.8 Kísérlet. Egy kémcsőbe tegyünk kevés vékony rézdrótot (hajlékony vezeték) és adjunk hozzá szemcseppentővel pár csepp kénsavat. Ha kicsit melegítjük, gáz fejlődik, és a réz megfeketedik. A gázt óvatosan megszagolva szagáról megismerhetjük: kén-dioxid. A tömény kénsav melegen oxidáló hatású:



A keletkezett réz-oxidot a maradék kénsav feloldja, réz-szulfát keletkezik:



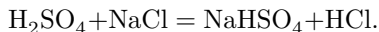
Ha a kémcsőbe hirtelen egy másik kémcsőből pár ujjnyi vizet öntünk, látszik a rézsók jellegzetes kék színe. □

2.19.9 Kísérlet. Ha egy kevés faszenet teszünk egy kémcsőbe, és ahhoz adunk szemcseppentővel pár csepp kénsavat, kicsit melegítve azt is oxidálja a sav:



Óvatosan szagoljuk meg: érezhetjük a kén-dioxid szagát. □

2.19.10 Kísérlet. Egy kevés szilárd konyhasóra egy kémcsőben szemcseppentővel cseppentsünk pár csepp kénsavat. Kicsit melegítve, sósavgáz fejlődik, amit szagáról megismerhetünk vagy ammóniaoldattal kimutathatunk. Tulajdonképpen a kénsav nem erősebb sav, mint a sósav, egyensúly áll be, de a sósav gázként távozik. Régen így gyártották a sósavgázt. A reakció:



A kénsavnak tehát csak az egyik hidrogénje reagál, a második csak magasabb hőmérsékleten. □

2.19.11 Kísérlet. Egy kémcső aljára tegyünk pár csepp tömény kénsavat. Majdnem vízszintesen tartva a kémcsövet, tegyünk bele egy szál gyufát, és dugjuk be. Még mindig majdnem vízszintesen tartva, tegyük egy kisebb műanyag palackba, majd a palackot állítsuk függőlegesre. A gyufa leesik, feje beleér a kénsavba. Heves reakció kezdődik és egy sárga, mérgező gáz fejlődik, ClO_2 , *klór-dioxid*, amely $60\text{ }^\circ\text{C}$ felett robban! A gyufa esetleg meg is gyulladhat, vagy kis robbanás történhet, ezért kell a műanyag palack és a dugó. Ha lejátszódott a heves reakció, óvatosan megszagolhatjuk a gázt. Szaga kellemetlen, a klór és az égetett cukor szagának keverékére hasonlít. □

2.20 Szulfátok

Nagyon sok fémnek a legfontosabb, leggyakrabban használt sója a szulfát. Végigmegyünk a szulfátok előállításán, de természetesen az előállítást elhalaszthatjuk addig, amíg szükségünk van az anyagra. Sokat meg is vásárolhatunk, többé-kevésbé tisztán.

2.20.1 Kísérlet. Az előző pont alapján kálisóból kénsavval kiüzve a sósavat, káliszulfátot, kémiai nevén *kálium-szulfátot* állíthatnánk elő. Még egyszerűbb lenne hamuzsírít kénsavval közömbösíteni. Azonban nem érdemes, mert a káliszulfát olcsó anyag, műtrágyának árulják. Tisztítani 4 ml/g vízből $100\text{ }^\circ\text{C}$ és $0\text{ }^\circ\text{C}$ közötti átkristályosítással lehet. Olyan szennyezett, hogy az első átkristályosítás akár csapvízből is történhet. Kémiai tisztításként hamuzsírral meglúgosítva és a vasat levegővel vagy más módon oxidálva megszabadulhatunk a legtöbb szennyező fémsótól. Szűrés után kénsavval semlegesítjük és bepároljuk, majd kristályosítjuk. Vízmentesen kristályosodik, tehát sütőben szárítható. □

2.20.2 Kísérlet. A kálium-hidrogén-szulfátot kényelmesen előállíthatjuk tiszta kálium-szulfátból és tiszta tömény kénsavból: 17 g K_2SO_4 -ot 10 g tiszta kénsavval porcelán csészében melegítünk. Az elegy megolvad és lehűléskor fehér kristályos masszává dermed. Ha nincs tömény kénsavunk, akkor annyi savat vegyünk, ami 10 g tömény kénsavnak felel meg, és az elegyet addig pároljuk be, amíg súlya 27 g lesz.

Oldáskor a kálium-hidrogén-szulfát igen érdekesen viselkedik: *inkongruensen* oldódik, amit magyarra úgy lehetne fordítani, hogy „nemegeybevágóan”. Az oldatból csak $70\text{ }^\circ\text{C}$ felett válik ki kálium-hidrogén-szulfát, hidegen először K_2SO_4 , majd $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{KHSO}_4$, és csak aztán KHSO_4 . Ez nehezíti az átkristályosítását. □

2.20.3 Kísérlet. Ha az előző elegyet tovább melegítjük, akkor habzás és fröcskölés kíséretében víz távozik el, és *kálium-diszulfát* képződik: $2\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O} = \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$. Ez a dikénsav sója. (Egyébként a dikénsavnak is van savanyú sója.) Nagyjából $300\text{ }^\circ\text{C}$ -on olvad, és $450\text{ }^\circ\text{C}$ körül kezd bomlani kén-trioxid leadásával és kálium-szulfát hátrahagyásával.

Ilyen forrón a kén-trioxid még a forró tömény kénsavnál is erősebben támadja meg az oxidokat, és olyanokat is szulfáttá alakít, amelyeket a forró tömény kénsav sem. Ha az anyag megolvadt és már nem habzik és nem fröcsköl, öntsük át egy nagyobb csészébe, amelynek a falára vékony rétegben ráfagyasztjuk. Ha kihűlt, elporítjuk, és jól záró üvegben tartjuk, mert nedvszívó és vízzel visszaalakul kálium-hidrogén-szulfáttá. Nemsokára használni fogjuk. □

A diszulfátok rokonai a *perszulfátok*, a *peroxikénsav*, $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ sói. Szulfátok elektrolízisénel keletkezik platina drót anódon: HSO_4^- ionok semlegesítődnék és egyesülnek kettésével. Rendszerint a sókat állítják elő. Leggyakrabban az ammónium, kálium és nátrium só használatos. Az anion $-\text{O}-\text{O}-$ peroxid-kötést tartalmaz, mint a hidrogén-peroxid. Erős oxidálószer. Még erősebb oxidálószer a szintén peroxid kötést tartalmazó bomlékony *Caro-féle sav*, H_2SO_5 . Csak a KHSO_5 stabil valamennyire.

2.20.4 Kísérlet. Glaubersót már előállítottunk, a többi előállítási módja megfelel a kálium-szulfát előállításának. Tisztítása hasonlóan végezhető, mint a kálium-szulfaté. A nátrium-hidrogén-szulfát és a nátrium-diszulfát hasonlóan készül, mint a megfelelő káliumsó. A nátrium-hidrogén-szulfát olcsó anyag, pH-mínusz néven medencék vizének savanyítására is használják. □

2.20.5 Kísérlet. Az *ammónium-szulfátot* az iparban hasonlóan készítik gipszből, mint ahogy mi a nátrium-szulfátot készítettük, de persze szóda helyett ammónium-karbonát oldatot használnak. Mi is kipróbálhatjuk. Zárt edényben végezzük a reakciót (legjobb egy rozsdamentes kukta fazék), mert némi túlnyomás alakul ki az ammónium-karbonát bomlása miatt, és ne melegítsük 45°C fölé, hogy a bomlás ne legyen túl erős! Persze, így az átalakulás lassabb. Ha csak jól záró fedőt használunk, inkább hagyjuk kicsit langyosan egy napig állni a keveréket, néha összerázva. Ha már nincs az oldatban karbonát, szűrünk. Tisztítása ugyanúgy történik, mint az ammónium-kloridé. Forró vízből lehet átkristályosítani.

Nemigen lesz rá szükségünk, ha mégis, akkor ammóniaoldatból kénsavval könnyen előállíthatjuk. Ez az eljárás is használatos az iparban. Ammónium-hidrogén-szulfát is készíthető. □

2.20.6 Kísérlet. A keserűső kémiailag *magnézium-szulfát*. Előáll, ha magnéziumot, magnéziát vagy égetett magnéziát kénsavban oldunk. Inkább fordítva szoktak eljárni, belőle állítják elő a többi magnéziumvegyületet. A keserűsőt tengervízből nyerik: ez adja a tengervíz keserű ízét, a kősó pedig a sós ízét. Olcsón kapható, tisztítását a következő kísérletben írjuk le. Ha mégis feltétlenül magunk akarunk keserűsőt előállítani, akkor a következőképpen járhatunk el: 120 g 20%-os sósavba szórjunk 33 g dolomit port! A dolomit, ami némi feleslegben van, a következő egyenlet szerint oldódik:



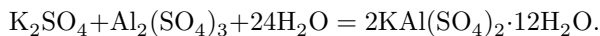
A leszűrt oldathoz adjunk annyi kénsavat, ami (a sósavból számítva) éppen elegendő a kloridok szulfáttá való átalakításához. A *gipsz* kiválik, szűrjük le. (Egyébként 5–6%-os CaCl_2 oldatból kénsavval így akármikor kaphatunk tiszta gipszet, csak ki kell mosni a szűrőn.) A szűrletet SZABADBAN, mert sósav párolog el, pároljuk szárazra, és kristályosítsuk át (0,5 ml/g heptahidrát meleg vízből 0°C -ra hűtve). □

2.20.7 Kísérlet. A magnézium-szulfát tisztítása: oldjunk fel 400 rész heptahidrátot 500 rész vízben! Adjunk hozzá 6–8 rész kénhidrogénes vizet a nehézfém szennyezések lecsapására! Szűrjük meg, és a szüredéket kevés égetett magnéziával (gyógyszertárból) és 0,2–0,3 rész aktív szénnel forraljuk fel! Ismét szűrjük és 600 részre pároljuk be. 0 °C-ra hűtve kristályosítjuk. Levegőn szárítjuk. A kristályos anyagból a szárított vízfürdőn való szárítással készül. □

2.20.8 Kísérlet. Magnézium-szulfát és szóda reagáltatásával készül a *bázisos magnézium-karbonát*, amiről már volt szó. 5 rész kristályos magnézium-szulfátot oldunk hidegen 40 rész vízben és hozzáadjuk hidegen 6 rész kristályos szóda 40 rész vízben készült oldatát. A csapadékot szűrjük, forró vízzel mossuk, és 70 °C-ot meg nem haladó hőmérsékleten szárítjuk. Így könnyű fehér port kapunk. Nehezebb port úgy kapunk, hogy az oldatokat forrón öntjük össze és hosszabb ideig forraljuk a keveréket. □

2.20.9 Kísérlet. 0,15 mol kénsavat tartalmazó 150 ml oldatot forraljunk fel, és adagoljunk bele apránként 3 g alumínium fóliát! Az alumínium hidrogénfejlődéssel feloldódik. Ha az oldódás lassú, adhatunk hozzá — ha van — egy kristályka kékgálicot (réz-szulfátot). Ebből réz válik ki az alumínium felületére, amin a hidrogén sokkal könnyebben fejlődik, így az oldódás felgyorsul. Ha az oldódás a reakció vége felé nagyon lelassul, forraljuk fel az oldatot. Szűrjük meg, majd pároljuk be kezdődő kristálykiválásig. Hagyjuk szobahőmérsékleten lehűlni. A kiváló selyemfényű lemezeket (vagy tüket) üvegbottal jól keverjük át majd üveggolyón szűrjük le. Néhány ml vízzel mossuk. Szűrőpapír között jól nyomkodjuk ki! Az anyalúgot újra kristályosítjuk. Az anyag $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Mint minden anyagot, mielőtt elrakjuk, tanácsos kiszárítani. Papírral lefedve vagy exszikkátorban száríthatjuk, de óvatosan, mert elveszti kristályvizét! Egyébként réz-szulfátból is előállíthatjuk, főlős mennyiségű alumíniummal leválasztva a rezet. □

2.20.10 Kísérlet. Ha hidegen telített alumínium-szulfát (például az előző kísérletből maradt anyalúg) és kálium-szulfát oldatok egyenlő térfogatát összeöntjük, rövidesen elég sok *timsó* válik ki. Ez kémiailag kettős só, a reakció:



Régen a timsó volt a legfontosabb alumínium vegyület, mert kristályosítással könnyen tisztítható és vasmentesen állítható elő. Tisztítása 0,5 ml/g gyengén kénsavas vízből való átkristályosítással történik. Nem érdemes a fenti módon előállítani, mert olcsón kapható. Egyébként a timsóból ered az Al_2O_3 , a timföld neve és az alumíniumé is, mert a timsó latin neve *alumen*. Az *égetett timsó* úgy készül, hogy a porrá tört kristályos timsót 50 °C-on szárítjuk, míg elveszti súlyának egyharmadát, majd porceláncsészében legfeljebb 160 °C-on addig, amíg elveszti súlyának 40 %-át. □

A timsóban az alumíniumot más három vegyértékű fémion is helyettesítheti, például Cr, Fe, Ti, V, Mn, Co, Ga, In, Tl, Rh. Például a krómtimsó $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ összetételű. A K-ot is helyettesítheti más alkálifém (kivéve a Li-ot, amelynek ionja túl kicsi) vagy Tl illetve NH_4 és hozzá hasonló nitrogénvegyületek. Például az ammónium-vas-timsó $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ összetételű. Ezek a timsók is a komponensek összekristályosításával állíthatók elő.

2.20.11 Kísérlet. Alumínium-hidroxidot alumínium-szulfátból ammóniaoldattal állíthatunk elő. 17 rész ammóniát tartalmazó 670 rész oldathoz hozzáöntjük 100 rész kristályos alumínium-szulfát 2000 rész vízben készült megszárt és felmelegített oldatát. Ne

az ammóniaoldatot öntsük az alumíniumsó oldatába, mert bázisos szulfátok keletkeznek, amelyek aztán nagyon nehezen alakulnak át! A leülepedő csapadékot dekantálással alaposan kimossuk, szűrjük, előbb 40 °C-on, majd 100 °C alatt szárítjuk és szitáljuk. □

2.20.12 Kísérlet. Nyilván az alumíniumvegyületeket sokkal régebben ismerték, mint a fém alumíniumot. Hogyan állították elő őket? Agyagból, ezért az alumíniumot néha „agyagezüstnek” is nevezik. Próbáljuk ki ezt is kicsiben! Az agyag fő alkotórésze a *kaolin* vagy *fehér agyag*: $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$. A tiszta kaolint porcelángyártásra használják. A közönséges agyagot, amit vasvegyületek festenek sárgára, kiégetve égetett agyagot kapunk. Ebből készül a téglá, tetőcserép, fazekasáruk. Homokot is kevernek hozzá, hogy ne zsugorodjon annyira, mert megrepedezik. Vas(III)-oxid festi a téglát vörösre. Száraz (még jobb 600 °C-on, de nem magasabb hőfokon kiégetett) 1 rész kaolint vagy agyagot öntsünk le másfélszer annyi súlyú tömény kénsavval (vagy ugyanannyi kénsavat tartalmazó hígított savval) porcelán tálban! Hevítjük hosszabb ideig először gyengén, majd erősebben kénsavfüst megjelenéséig SZABADBAN! Lehűlés után a szétdőrszölt masszát többször forró vízzel kivonjuk: először 6 rész, majd háromszor 2 rész vízzel többször jól felkeverjük, majd dekantáljuk. A szilíciumvegyületek nem oldódnak kénsavban. Az egyesített szűrleteket pároljuk be, és oldjunk az oldatban a számítottnál 15 %-kal kevesebb, 0,56 rész kálium-szulfátot. Timsó — és mivel a közönséges agyag vastartalmú — vastimsó elegye kristályosodik ki. A vastól alumínium-hidroxiddal szabadulhatunk meg.

Még gyakrabban használják alumíniumvegyületek előállítására a *bauxitot*. Ez lényegében alumínium-oxid-hidroxid szennyezőanyagokkal. A *Bayer-eljárás*nál forró, tömény nátronlúgban nyomás alatt 170 °C-on az alumíniumvegyületek feloldódnak. Hidegen és kissé hígítva az alumínium-hidroxid kiválik. Itt a vas-oxid nem zavar, mert nem amfoter, és más fém-oxidokkal együtt visszamarad, ez a *vörösiszap*. Itt viszont a szilíciumvegyületek zavarnak, mert oldódnak, így agyaggal ez az eljárás nem használható. □

2.20.13 Kísérlet. Miért volt jó az előző kísérletben gyengén kizzítani a kaolint vagy agyagot? Gyenge izzításkor a kaolin szétesik bázisos alumínium-oxidra és szilícium-dioxidra. Erősebb izzításkor ezek reagálnak és az izzított kaolin olvadáspontja ≈ 1800 °C. A homok formájában hozzáadott szilícium-dioxid olvadáspontja is ennyi, de a keverék olvadáspontja csak ≈ 1600 °C. Az egyesülés 1400 °C-on való izzításkor következik be, és kemény (7-esnél keményebb), tömör *porcelán* keletkezik. Más adalékanyagok, szennyezések az olvadáspontot leszállítják. A régi kínai porcelánt 1300 °C-on égették. A *máz* alacsonyabb hőfokon olvadó, üvegszerű anyag. A téglafélék égetése 1000 °C körül történik, ezek már nem tömörek. A legolcsóbb tűzálló anyag a *samott*. Úgy készül, hogy tűzálló (azaz lehetőleg tiszta) agyagot kiégetnek, megőrlik, és ezt a samottörleményt keverik soványító anyagként a tűzálló agyaghoz. A hazai tűzálló agyagok 1700 °C körül olvadnak. A samott olvadáspontja ugyan magas, de fehérizzáson puhul, 1400–1500 °C-on már nem terhelhető. Ha égetett agyagárut akarunk készíteni, legegyszerűbb, ha nem kísérletezünk az agyag és homok keverési arányának eltalálásával, amely minden agyagnál más és más. Vegyünk samotthabarcot (ne samottbetont), ez a szükséges arányban tartalmazza a tűzálló agyagot és a samottörleményt, csak annyi vizet kell hozzáadni, hogy gyúrható legyen. Kézzel formázzuk vagy gipszformába nyomkodjuk. Ha folyóssá keverjük víz és esetleg valamilyen sóoldat (általában vízüveg) hozzáadásával, pépet kapunk, amit száraz gipszformába önthetünk. A gipsz felveszi a vizet, és egyre vastagodó réteg rakódik le a forma falára. Ha a réteg már elég vastag, a felesleges pépet kiöntjük. Száradáskor a

tárgy elválik a forma falától. Lassanként kiszárítjuk, majd fokozatosan hevítve fatűzben kiégetjük. Fémeket samott tégelyben szoktak olvasztani. □

2.20.14 Kísérlet. Ha van elég cinkünk, az alumínium-szulfáthoz teljesen hasonlóan készíthetünk *cink-szulfátot*. 0,1 mól kénsavhoz 60 ml-ben 7 g cinket vegyünk. A cink-szulfát egy fehér színű só, régen *fehérgálicnak* vagy *cinkgálicnak* hívták, míg a vas(II)-szulfátot *vasgálicnak* vagy színéről *zöldgálicnak*, a réz-szulfátot pedig *rézgálicnak* vagy *kékgálicnak* vagy *kékkőnek*.

Ha az oldásnál a kénsav van feleslegben, a szennyező fémek, mint a kadmium, vas, mangán, ón, kobalt, nikkel, esetleg a réz is feloldódnak. Nem oldódnak az ólom és az antimon. Ha azonban a cink van feleslegben, akkor ezek közül a fémek közül csak a mangán és kisebb mennyiségben a vas és a kadmium oldódnak. Bár a vas és a kadmium normál potenciálja pozitívabb, mint a cinkké, mégis oldódik valamennyi, mert a tömény cinksó oldatban növekszik a cink potenciálja. Az esetleges szennyezések közül nem oldódik az ólom-szulfid. A kén egy része kén-hidrogén alakjában felszabadul. A szén egy része szén-hidrogének alakjában a hidrogénnel távozik, más része oldatlanul visszamarad. Kellemetlen szennyezés az arzén. Egy része visszamarad, másik része viszont a nagyon mérgező és kellemetlen szagú arzén-hidrogénné, AsH_3 , alakul és a hidrogénnel távozik. Ezért ha fémek oldásánál savban kellemetlen szagot érzünk, SZELLŐZTESSÜNK! Nagyobb mennyiségű fém oldását SZABADBAN végezzük! Mindig a fémeket vegyük feleslegben, hogy a nála nemesebb szennyezések oldatlan maradjanak. Az oldást egy kevés rézszó — most réz-szulfát, ha van — hozzáadásával siettethetjük. Az oldás végefelé az oldatot melegítjük. Melegen szűrünk. A vasszennyezés leválasztására az oldat 5–10%-ából készítsünk a következő kísérlet szerint bázisos cink-karbonátot, amit alaposan kimosva vigyünk vissza az oldatba. Levegőbevezetéssel kevertessük az oldatot, ez a vas(II)-szennyezést vas(III)-má oxidálja, ami a cink-karbonáttól leválik. Az oxidálást tiszta hidrogén-peroxiddal is végezhetjük, így sokkal gyorsabb, és a mangán szennyezés is oxidálódik és leválik. Leválasztásra még jobb a cink-oxid. A leszűrt oldatot pár csepp kénsavval megsavanyítjuk, kristálykiválásig bepároljuk és kristályosítjuk. Az anyalúgot mégegyszer bepárolhatjuk. A kristályokat szűrőpapír között, levegőn szárítjuk. A cink-szulfát oldat 0,25 M koncentrációban használatos: 7,19 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -ot oldunk 100 g-ra.

Cink-szulfátot olcsón kaphatunk, nyomelem műtrágyának használják. Csak meg kell tisztítani. Az egyik lehetőség, hogy kevés híg kénsavval megsavanyítva és némi cinket téve bele, lecsapjuk a szennyező fémeket. Ezután úgy járunk el mint fentebb leírtuk. Ha nincs cinkünk, akkor a kénsavas savanyítás után vassal választhatjuk le a szennyező fémeket, hisz a vasat utána úgymint leválasztjuk. Nem is árt, ha az oldatban van vas, mert a leváló vas(III)-hidroxid nagy felületű anyag, ami a különböző szennyeződések megkötője. Hidrogén-peroxiddal forralva a mangán is leválik a cink mellől. Egy másik tisztítási lehetőség, hogy ha az oldat nem savanyú, tiszta kénsavval megsavanyítjuk, és szabadban kén-hidrogént vezetünk bele, amíg annak szagát már érezzük. A leváló fém-szulfidokat leszűrjük, az oldatból a maradék kén-hidrogént kiforraljuk. Ezután úgy folytatjuk a vas-talanítást, ahogy fentebb leírtuk.

Ha nincs cinkünk, akkor később éppen cink-szulfátból fogunk készíteni. □

2.20.15 Kísérlet. Bázisos cink-karbonátot könnyen előállíthatunk cink-szulfátból. 9 rész kristálysóda oldatát felforraljuk, ha kell, szűrjük, és hozzáfolyatjuk 2 rész cink-szulfát oldatát vékony sugárban állandó keverés közben. Felfőzzük és dekantálással alaposan

kimossuk. Végül kipréseljük belőle a vizet és szárítjuk. □

2.20.16 Kísérlet. A cink-oxidot bázisos cink-karbonáttól állítják elő. A teljesen kiszáritott karbonátot 300 °C-on hevítjük mindaddig, amíg a kivett minta savval nem pezseg. A bomlás már 150 °C-on kezdődik. □

2.20.17 Kísérlet. Vasunk biztosan van, készítsünk zöldgálicot, azaz vas(II)-szulfátot! Mangánmentes vasat — virágdrotot, szeget — hígított kénsavban oldunk. 20 rész vashoz 30 rész tömény kénsav és 100 rész víz keverékének megfelelő savat vegyünk. A gázfejlődés megszűnte után az oldatot melegítjük, amíg a gázfejlődés újra megszűnik. Vigyázzunk, ne töményedjen be az oldat és váljanak ki kristályok, mert ezeket igen nehéz újra oldatba vinni! A meleg oldatot szűrjük, 5 rész 1 M kénsavat adunk hozzá, és kristályosítjuk. Heptahidrátként kristályosodik. A kristályokat kevés vízzel majd 50 %-os alkohollal mossuk. Levegőáramban szobahőmérsékleten szárítjuk. Az anyalúgot újra kristályosíthatjuk, de csak vízfürdőn pároljuk be, mert az oldat forralva könnyen oxidálódik. A vas(II)-szulfátot 0,5 M koncentrációjú oldatban használjuk: 13,9 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -ot és 20 g 1 M koncentrációjú kénsavat oldunk 100 g-ra (savas oldatban a vas(II)-szulfát nehezebben oxidálódik).

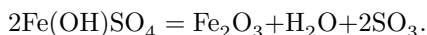
A zöldgálic olcsón kapható, nyomelem-műtrágyának használják. Rendszerint rézzel és vas(III)-szulfáttal szennyezett. Ha ilyen anyag oldatához kevés kénsavat és vasat adunk, a vasra kiválik a réz, és a vas redukálja a vas(III)-at vas(II)-vé. Az átkristályosítás 0,4 M koncentrációjú kénsavból történik. □

2.20.18 Kísérlet. Vas(II)-szulfátot ammónium-szulfáttal összekristályosítva egy $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ összetételű kettős sót kapunk, amit *Mohr-sónak* is szokás nevezni. (Hasonló kettős sókban a vasat helyettesítheti Cu, Mg, Zn, Cd, Mn, Co és Ni, az NH_4 -et K, Rb, Cs, a ként pedig Se, Te, Cr.) Előállításához tiszta vas(II)-szulfátból induljunk ki, ami még nem oxidálódott. Számítsuk ki, hogy a lemért adagnak mennyi kénsav felel meg, és vegyünk annyi hígított kénsavat, amiben ennyi tiszta kénsav van. Ezt semlegesítsük ammóniaoldattal. A két oldatot öntsük össze, és annyira pároljuk be, hogy a tiszta hexahidrátra 1,5 ml/g víz jusson. A meleg oldatot gyorsan hűtsük 0 °C-ra, a kivált kristályokat szűrjük, kevés hideg vízzel mossuk, és szűrőpapír között préseljük szárazra! A vas(II)-szulfát helyett használják, mert jobban eláll, kevésbé oxidálódik. □

2.20.19 Kísérlet. A vas-szulfáttal kipróbálhatjuk a legrégebb kénsavgyártási eljárást. Ez azon alapszik, hogy a vas(III)-szulfátot izzítva elbomlanak vas(III)-oxidra és kéntrioxidra. Vas(II)-szulfátnál a kén-trioxid egy része arra használódik el, hogy a vas(II)-t vas(III)-má oxidálja, így legjobb lenne tiszta vas(III)-szulfátból kiindulni. Ezt is megtehetjük, ha vörös vas-oxidot kénsavban oldunk; így majdnem tiszta kén-trioxidot kaphatunk. Mivel levegőn a vas(II)-szulfát részben bázisos vas(III)-szulfáttá oxidálódik, elveszti szép zöld színét és megbarnul, legegyszerűbb ilyen megbarnult zöldgálicból kiindulni. Az oxidációt úgy is elősegíthetjük, hogy a kristályokat egy ferdére állított tálba tesszük és meglocsoljuk egy kevés vízzel. A lecsorgó vizet összegyűjtjük, és időnként újra meglocsoljuk vele a kristályokat. A vízbe tehetünk egy kevés kékgálicot is, mert az katalizálja az oxidációt. Régen úgy jártak el, hogy piritet — egy ásványt, FeS_2 vas-diszulfidot — hagytak levegőn lassan bázisos vas(III)-szulfáttá oxidálódni.

Akárhogyan is, ha megvan a — lehetőleg megbarnult, de nem feltétlenül — vas-szulfátunk, azt szárazdesztillálni kell. Erre a régiek *retortát* használtak, egy régi desztilláló eszközt, amit még az alkimisták találtak ki: a ?? ábrán bal oldalon látható a

keresztmetszete. Több módon is pótolhatjuk. Ha nagyobb anyagmennyiséggel dolgozunk, akkor vagy meghajlítjuk egy hosszúnyakú gömblombik nyakát, vagy a közepén látható összeállítást használhatjuk: egy frakcionáló lombikot bedugunk egy lazán beleillő üveg dugóval. A másik, jobb oldalon látható eszköz egyszerűbb: csak két különböző átmérőjű kémcsőre van szükségünk. A kisebb átmérőjű menjen bele a nagyobb átmérőjűbe. Ha kell, pattintsuk le vagy olvasszuk össze a kisebb átmérőjű kémcső peremezett részét. Végül hajlítsuk meg kb. a felénél mintegy 45°-os szögben, ahogy az ábrán látható. Most ezt fogjuk használni. A kémcsőbe adagoljunk műanyag vagy papírcsővön át 150–200 °C-on kiszáritott vas-szulfátot. Vigyázzunk, a felső fele maradjon tiszta! A kémcső felső fele, úgy hogy kicsit lefelé lejtsen, megy bele a nagyobb kémcsőbe. Az alját kezdük el melegíteni, majd izzítani. Nagyjából a következő reakció játszódik le:



Ami visszamarad, vörös vas(III)-oxid. A víz a kén-trioxiddal dikénsavat, azaz füstölgő kénsavat vagyis óleumot ad. Ha lejátszódott a bomlás, vizsgáljuk meg az óleumot, mint a tömény kénsavval tettük. NAGYON ÓVATOSAN járjunk el, hiszen tudjuk, hogy AZ ÓLEUM MÉG A TÖMÉNY KÉNSAVNÁL IS SOKKAL VESZÉLYESEBB! Régen *nordhauseni kénsavnak* is hívták, mert ott gyártották. Egyébként az alumínium-szulfát is elbomlik 600 °C felett, a bomlás 800 °C-on teljes. □

2.20.20 Kísérlet. Oldjunk fel 3 g kristályos vas(II)-szulfátot 10 ml vízben, és adjuk hozzá 2,3 g ammónium-oxalát 10 ml vízben való oldatát! Sárga vas(II)-oxalát csapadék képződik. Szűrjük le, mossuk ki, és levegő átszivattással szárítsuk ki. Szórjuk száraz kémcsőbe és óvatosan melegítsük, amíg sárgáról szürkére változik. Dugjuk be a kémcsövet, és hagyjuk néhány percig hűlni, majd lehetőleg sötétben 1 m magasról szórjuk tűzbiztos alátételre tett papírra. Az anyag rendkívül finom eloszlású ezért *piroforos* vas, némi vas(II)-oxiddal: a levegőben szikrázva elég, a papírt megperzseli. 150–169 °C között főleg vas(II)-oxid képződik kevés vassal, felette főleg vas. □

2.20.21 Kísérlet. Rézgalic előállításához rezet kell feloldanunk kénsavban. Mivel a réz nem képes a savakból kiszorítani a hidrogént, most is kerülő úton kell eljárnunk: oxidáljuk a rezet réz-oxidá, és ez már könnyen oldódik a kénsavban. Mint tudjuk, a forró tömény kénsav is képes a rezet oxidálni, de így a kénsav fele elvész. Bár hosszadalmasabb, de egyszerűbb a rezet a levegő oxigénjével oxidálni; az iparban is így járnak el. Egy lombikot dugjunk be egyfuratú parafadugóval, aminek a furatában nagyobb átmérőjű, minél hosszabb üvegcső van. Ez visszafolyó hűtőként szolgál, hogy az elpárolgó víz a csőben lecsapódva visszafolyjon a lombikba. A lombikba tegyünk 10–20%-os kénsavat és a számítottnál kicsit több finom rézdrótot, esetleg tiszta rézforgácsot. A villanyvezetékek reze egyrészt nagyon tiszta, másrészt finom szálakból áll, így nagy felületű és gyorsabban oldódik. A lombikban az oldatot majdnem forrásig melegítjük, és egy vékony üvegcsővön keresztül egy kis membránszivattyúval levegőt fuvatunk bele. Ha csökken az oldat térfogata, a vizet pótoljuk. A réz lassan feloldódik. Ha már nem oldódik több, szűrjük, kezdődő kristálykiválásig bepároljuk, és kristályosítjuk. Pentahidrát válik ki. Kevés vízzel mossuk és levegőn szárítjuk. Az anyalúgot újrakristályosíthatjuk. 0,6 ml/g vízből 100 °C és 0 °C között átkristályosítva tisztítható.

A pentahidrát levegőn vagy exszikátorban lassan elmállik trihidráttá, 100 °C-on pedig kékes-fehér monohidrát keletkezik belőle. 220–260 °C-on gyakorlatilag teljesen kiszárad

és fehér por keletkezik, ami 360 °C fölött elkezd kén-trioxidot veszíteni, és 700 °C körül elbomlik réz(II)-oxiddá (próbáljuk ki). Mint már volt róla szó, a fehér port arra használják, hogy például alkoholban és más szerves folyadékokban vizet mutassanak ki: attól megkékül.

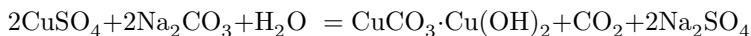
Nem biztos, hogy rászánjuk magunkat réz-szulfát készítésére, mivel kapható is, és a tisztításával is célt érhetünk. Ezt a következő kísérletben írjuk le. □

* Melegítve a réz-szulfát pentahidrát 70 °C-nál veszít el két molekula vizet, 100 °C-nál még kettőt, és az utolsót 225 °C-nál. Honnan tudjuk ezt ilyen pontosan? Bár kísérletként nem tudjuk megmérni, az elvvel érdemes megismerkedni. Tulajdonképpen az elv egyszerűbb, mint amit az ammonitrát kristályszerkezet-változásának észlelésére használtunk. Készíteni kell egy kis elektromos kemencét, amibe két porcelán cső nyúlik be alulról. A porcelán csövek belsejében hőelem van, ami egy-egy platina tégely belsejébe nyúlik be. Az egyik tégelybe kerül a réz-szulfát, a másikba egy inert anyag, azaz olyan anyag, ami biztosan nem változik hő hatására, például jól kiizzított alumínium-oxid. A két termoelemet szembe kapcsoljuk egymással, azaz a feszültségük különbségét mérjük, de mérjük az inert anyagban lévő termoelem feszültségét is: ebből számoljuk ki a hőmérsékletet. A hőmérséklet-különbséget a hőmérséklet függvényeként ábrázolva valami olyasmi ábrát kapunk, mint ami a ?? ábrán bal oldalon látható. A lefelé nyúló csúcsok azt jelzik, hogy a mért anyag hőmérséklete elmaradt az inert anyag hőmérsékletétől, azaz endoterm reakció játszódott le. (Felfelé nyúló csúcs exoterm reakciót, például oxidációt jelez.) A csúcsok helye jelzi, hogy milyen hőmérsékletnél a leggyorsabb a reakció. A módszert DTA-nak, *differenciális termikus analízis*nek nevezik, ami magyarul nagyjából különbségi hő elemzés lenne.

Jó, de honnan tudjuk, hogy mikor mennyi vizet veszített a réz-szulfát? Ehhez a réz-szulfátos tégelyt tartó porcelán csövet érzékeny mérlegre kell állítani. Ez a melegítés közben állandóan méri a réz-szulfát súlyát. A súlycsökkenést (vagy súlynövekedést, például oxidációnál) ismerve százalékban kiszámíthatjuk, hogy hány molekula víznek, oxigénnek, stb., felel meg. Szokás még a súlyvesztés sebességét is mérni. Ezen a gyors súlyvesztés helyét csúcs jelzi. Ez különösen akkor hasznos, ha több reakció játszódik le közel azonos hőmérsékleten. Ezeket a hőmérséklet függvényében ábrázolva valami olyasmi ábrát kapunk, mint ami a ?? ábrán jobb oldalon látható. Ezt a módszert DTG-nak, *differenciális termikus gravimetrián*ak nevezik, ami magyarul nagyjából különbségi hőmérsékleti sulyelemzés lenne.*

2.20.22 Kísérlet. A szőlészeti-borászati boltban permetezőszerként kapható rézgálic legkellemetlenebb szennyezése a vasgálic. Ettől átkristályosítással nem tudjuk elválasztani, mert a két só együtt kristályosodik, mégpedig heptahidrátként 0%-tól 53,1% réz-szulfát tartalomig, pentahidrátként pedig 94,9%-tól 100% réz-szulfát tartalomig. A vasat három vegyértékűvé kell oxidálni. Az oldat 5–10%-ából bázisos réz-karbonátot csapunk le a következő kísérlet szerint, jól kimossuk dekantálással, szűrjük, és azon nedvesen az oldatba tesszük. Most hosszabb ideig levegőt fúvatunk a forró oldatba. (Persze tiszta hidrogén-peroxiddal gyorsabban is célt érhetünk.) A vas leválik vas(III)-hidroxidként. Szűrjük, és a továbbiakban úgy járunk el, mint az előző kísérletben. □

2.20.23 Kísérlet. Zöld bázisos réz-karbonátot a



reakció szerint állíthatunk elő. A vízben oldott réz-szulfátot az ekvivalens mennyiségű szódával reagáltatjuk szobahőmérsékleten. A zöldeskék, változó összetételű részben kolloid csapadék az anyalúggal állva lassan kristályos alakba megy át. Melyik oldatot öntsük melyikbe? Látszólag ez mindegy, de nem. Ha a rézsóba öntjük a karbonátot, kezdetben bázisos sók képződnek, amelyek szulfátot tartalmaznak és később sem alakulnak át könnyen. A csapadék tehát szulfáttal szennyezett. Ha viszont a szódába öntjük a réz-szulfátot, akkor a csapadék kationnal, itt nátriummal lesz inkább szennyezett. Mindkét esetben az egyértékű ionok kevésbé szennyeznek, mint a kétértékűek, azok kevésbé, mint a háromértékűek, stb. Ha tehát a csapadékot vissza akarjuk tenni a réz-szulfátba, akkor a réz-szulfátba öntsük a szódát, egyébként inkább fordítva. A csapadékot forró vízzel dekantálva mossuk, szűrjük és szárítjuk. Az anyag tulajdonképpen a régi réztárgyakon látható zöldeskék „rézrozsda”. Pontosabban, régen a réztárgyakat bevonó úgynevezett *patina* ilyen összetételű volt. Manapság annyi a kén-dioxid a levegőben, hogy a patina inkább bázisos réz-szulfát. □

2.20.24 Kísérlet. A bázisos réz-karbonátból szinte akármilyen rézsót előállíthatunk, ha feloldjuk a megfelelő savban. Például sósavban oldva réz-klorid-dihidrát keletkezik, amit 0,6 ml/g forró híg sósavból kristályosítható kalcium-klorid-jég keverékkel hűtve. Ecetsavban oldva réz-acetát-monohidrát keletkezik, ami 5 ml/g meleg híg ecetsavból kétszer átkristályosítva tisztítható. □

2.20.25 Kísérlet. Öntsünk réz-szulfát oldathoz nátrium-hidroxid oldatot! Kocsonyás kék csapadék válik ki, $\text{Cu}(\text{OH})_2$, réz-hidroxid, ami több-kevesebb réz-szulfátot is tartalmaz, így inkább bázisos só. Forraljuk fel a folyadékot, amíg még kevés a nátronlúg. Nincs változás. Adjunk még nátronlúgot az oldathoz, és melegítsük a lúgos folyadékot! A csapadék fokozatosan megfeketedik, a $\text{Cu}(\text{OH})_2$ réz-hidroxid vizet veszít, CuO , réz-oxid keletkezik. Az így keletkező réz-oxid víztartalmú, nagyjából $4\text{CuO}\cdot\text{H}_2\text{O}$ összetételű. Vízét teljesen csak vörös izzáson veszti el.

Egyébként permetezés előtt a rézgálicot vízben oldva mésztejjel gondosan összekeverik, és tulajdonképpen a keletkező réz-hidroxid szuszpenzióval — amit *bordói lének* neveznek — permeteznek. A rézsók alacsonyrendű szervezetekre, gombákra, algákra nagyon mérgezőek, már kétmilliószoros hígításban is. A rosszul oldódó réz-hidroxid sokáig megmarad a leveleken. □

2.20.26 Kísérlet. Öntsünk 1-2 ml réz-szulfát oldathoz feleslegben nátrium-hidroxid oldatot majd szőlőcukor oldatot! Jól keverjük össze majd melegítsük fel! Előbb narancssárga csapadék válik ki, amely erősebb melegítésre fokozatosan vörös színű Cu_2O , réz(I)-oxid alakul. Már az először kiváló csapadék is réz(I)-oxid, csak finomabb eloszlású, ezért más a színe. A réz is változó vegyértékű, lehet két vegyértékű mellett egy vegyértékű is. Mivel leggyakrabban két vegyértékű, ha nem írjuk ki, akkor két vegyértékű. Itt az történt, hogy a réz(II)-hidroxidot a szőlőcukor részben feloldotta, majd redukálta egy vegyértékűvé. Dekantálással mossuk ki a kevés réz(I)-oxidot és használjuk fel a következő kísérlethez. □

2.20.27 Kísérlet. Az előző kísérletben kapott réz(I)-oxidot oldjuk fel közepes töménységű kénsavban, például akkumulátorsavban! Meglepetésünkre az oldatból réz válik ki. Az egyik Cu^+ ion oxidálja a másik Cu^+ iont Cu^{2+} ionná, miközben maga fémrézé redukálódik. Az ilyen reakciókat, amelyekben egy anyag önként kétféle anyaggá alakul, idegen szóval *diszproporcinálódás*nak szokás nevezni. □

** De miért történik ez? Tudjuk, hogy azok a kémiai reakciók mehetnek végbe, amelyeknél energia (szabad entalpia) szabadul fel, azaz a reakció szabadentalpiája negatív. Akkor itt is ez kell hogy legyen a helyzet. Számoljuk ki! Kapcsoljunk össze egy Cu/Cu²⁺ rézelektrodát egy hidrogénelektroddal. A rézelektrod potenciálja +0,34 V. Ahhoz, hogy egyetlen rézatomot a rézből az oldatba vigyünk át, két elektront kell áthajtanunk a rézről a hidrogénelektrodra. Az egyszerűség kedvéért számoljunk a fizikusok kedvenc (bár nem szabványos) energiaegységében. Ez az az energia, amit akkor kapunk, ha egyetlen elektron 1 V-tal pozitívabb helyre megy át. Ezt az egységet *elektronvolt*nak nevezik, és eV-vel jelölik. Itt tehát $2 \cdot 0,34 = 0,68$ eV munkát kell befektetnünk. Mennyi lehet a Cu/Cu⁺ elektrod potenciálja? Azt tudjuk, hogy a Cu⁺/Cu²⁺ redoxreakció redoxpotenciálja 0,16 V. Ha a rézatomtól a két elektronját két lépésben vesszük el (és adjuk át a hidrogénelektrodnak), akkor először valami ismeretlen x eV munkát kell befektetnünk, majd még 0,16 eV munkát. Ez összesen 0,68 eV munka kell legyen, mert mindegy, hogy melyik utat választottuk. Így $x = 0,52$, azaz a Cu/Cu⁺ elektrod potenciálja 0,52 V. Most már egyszerű befejezni a gondolatmenetet: rézből két Cu⁺ ion létrehozásához 1,04 eV, míg egy Cu atom és egy Cu²⁺ ion létrehozásához csak 0,68 eV munkát kell végezni, tehát a diszproporcionálódás szabadentalpiája negatív.

Jó lenne valamilyen eljárás, amivel az elektrodpotenciálok segítségével azonnal megállapíthatnánk, hogy lejátszódhat-e a diszproporcionálódás? Tegyük fel, hogy ismerjük a különböző oxidált illetve redukált alakoknak az elemre vonatkozó redoxpotenciálját, és azt szeretnénk megtudni, hogy a z_1 oxidációs fokú, U_1 redoxpotenciálú alakból diszproporcionálódással létrejöhet-e a z_0 oxidációs fokú U_0 redox potenciálú és z_2 oxidációs fokú U_2 redoxpotenciálú alak. Számoljuk ki a $z_i \cdot U_i$ úgynevezett *voltekvivalenseket* és ábrázoljuk egy koordinátarendszerben az oxidációs fok függvényeként! Ha a z_0 -nak és z_2 -nek megfelelő pontokat összekötő egyenes a z_1 -nek megfelelő pont alatt megy, akkor a diszproporcionálódás szabadentalpiája negatív, egyébként nem.

Miért számolunk ilyen nem szabványos, „fizikus” egységekben? Látjuk, hogy kényelmes, és mivel a fizikusok általában egyedi atomokkal, elektronokkal számolnak, szeretik ezt az egységet. A vegyészek inkább mólnyi mennyiségekkel számolnak. Ha szorzunk az Avogadro-számmal, és figyelembe vesszük, hogy Avogadro-számszor az elektron töltése a Faraday-szám, J-ban kapjuk az energiát.

Ne feledjük el, hogy ha egy reakció szabadentalpiája negatív, attól még nem biztos, hogy végbemegy. Például a durranógáz vagy a robbanóanyagok robbanásának szabadentalpiája negatív, mégsem megy magától végbe a reakció. A különbség az, hogy míg két Cu(I)-ionnak elég találkozni, hogy az egyik átadja az elektronját a másiknak, egy H₂ és egy O₂ molekulának nem elég csak találkozni, valamelyiknek fel is kell bomlani, azaz először egy elég nagy energiát, az *aktiválási energiát* be kell fektetni, hogy a reakció beinduljon. Ez szobahőmérsékleten nem áll rendelkezésre.**

2.20.28 Kísérlet. Készítsünk 10–15 ml réz-kloridot bázisos réz-karbonát sósavban való oldásával. Az oldathoz adjunk 2 ml tömény sósavat. Figyeljük meg, hogy az oldat színe zöldre változik, de ha néhány cseppet vízbe öntünk, kék oldatot kapunk. Adjunk hozzá finom rézszalakat! A pohár tartalmát forraljuk addig, amíg az oldat színe zöldből piszkos-sárgává változik. Ekkor, ha néhány cseppet vízbe öntünk, már nem ad kék színt. A reakció befejeztével öntsük a folyadékot vízzel telt pohárba. Fehér réz(I)-kloridból álló csapadék válik ki. A réz redukálta a réz(II)-kloridot: $\text{Cu} + \text{CuCl}_2 = 2\text{CuCl}$. A csapadékos folyadékot azonnal használjuk fel a következő kísérlethez. □

2.20.29 Kísérlet. A csapadékról lehetőleg teljesen öntsük le a felette lévő folyadékot. A maradékkal rázzuk össze és öntsük két kémcsőbe. Az egyikbe öntsünk tömény sósavat, a másikba tömény ammóniaoldatot. A csapadékok mindkét esetben színtelenül feloldódnak úgynevezett komplex vegyületekként. A komplexképződéssel nemsokára részletesebben fogunk foglalkozni. Ez a magyarázata a színváltozásoknak is. Egyébként egyik oldat sem tartós: levegőn lassan oxidálódnak réz(II)-vegyületekké. A sósavas oldat zöld lesz, az ammóniás kék. Az ammóniás oldatot laboratóriumban is, az iparban is használják, mert elnyeli a szén-monoxid nyomait is. □

2.20.30 Kísérlet. Bár az ón nem oldódik kénsavban, ón(II)-szulfátot mégis könnyen készíthetünk réz-szulfátból, ha ón darabkákat, például ón lemezeket és némi kénsavat teszünk bele és forraljuk. A réz kiválik, az ón feloldódik. Vízfürdőn bepárolva kristályosíthatjuk, és a kristályokat alkohollal mossuk. Ez az az ón(II)-só, amely általában a legkevesebb ón(IV) szennyezést tartalmazza. Persze hasonló módon bármely fém szulfátját elkészíthetjük amelynél a réz nemesebb. □

2.20.31 Kísérlet. Kevés ólom(II)-acetát oldathoz adjunk híg kénsavat! Fehér ólom(II)-szulfát válik le, amely vízben és híg kénsavban nagyon rosszul oldódik, de tömény kénsav feloldja $\text{Pb}(\text{HSO}_4)_2$ képződése közben. □

2.20.32 Kísérlet. A kobalt acélszürke fém. Tulajdonságaiban a vas és a nikkelt között áll, azok rokona. Kobaltvegyületeket legkönnyebben kobalt-karbonátból vagy kobalt-oxidból állíthatunk elő a következő kísérlet alapján. Ha szódával faszénen forrasztócső előtt valamilyen kobaltvegyületet redukálunk, szürke fém kobaltot kapunk, amit a mágnes vonz. Ásványi savakban, például sósavban és kénsavban oldódik. □

2.20.33 Kísérlet. A leggyakrabban használt kobaltsó a klorid. Ha kobalt-karbonátunk, CoCO_3 van, akkor egyszerű a dolgunk: csak feloldjuk híg sósavban úgy, hogy az alján maradjon valamennyi feloldatlan, levegővel oxidáljuk az esetleg jelenlévő vasat, szűrjük és szobahőmérsékleten, letakarva vagy exsikkátorban bepárolva kristályosíthatjuk a sót. A hexahidrát rózsaszín, a tetrahidrát vörös, a dihidrát kékes-ibolya, a szeszkvihidrát (másfélhidrát) rózsás-ibolya, a monohidrát kékes-ibolya, a vízmentes só halványkék. Ezért ha fehér, vagy pláne rózsaszín papírra írunk az oldatával, az írás láthatatlan, de megmelegítve kéken előtűnik. A színváltozás már tömény oldatot melegítve is megtörténik. Ugyancsak beáll a színváltozás, ha a tömény oldathoz tömény sósavat, szilárd kalcium-kloridot vagy alkoholt adunk.

Ha fekete kobalt-oxid áll rendelkezésünkre, akkor lehet, hogy oldódik sósavban, ha nagyon finomszemcsés, de klór képződik. Ezért jobb a következő kísérlet szerint kénsavban oldani. □

2.20.34 Kísérlet. A fekete kobalt-oxid összetétele Co_3O_4 . A számított mennyiségnél 5%-kal több kénsavval leöntve porcelán tálban melegítjük, amíg nagy része oxigénfejlődés közben feloldódik. 3–4-szeres mennyiségű vízben oldva a CoSO_4 oldatot szűrjük meg, 10%-ából válasszuk le a kobaltot karbonátként a következő kísérlet szerint, jól mossuk ki és tegyük vissza az oldatba. Ha teljesen vagy majdnem teljesen feloldódott, akkor mégegyszer ismétljük ezt meg. Végül levegővel oxidáljuk az esetleg jelenlévő vasat, és szűrjük. Szobahőmérsékleten, letakarva vagy exsikkátorban bepárolva kristályosíthatjuk. Ahogy később leírjuk, elektrolízissel fém kobaltot is készíthetünk belőle. A következő kísérlet szerint karbonáttá is alakíthatjuk, amiből bármilyen kobaltsót kaphatunk. □

2.20.35 Kísérlet. Fölös mennyiségű tiszta szódaoldattal kobalt-szulfátot (vagy más kobaltsót) bázisos karbonáttá alakíthatunk. A karbonát a koncentrációtól függően kékes vagy vöröses színű csapadék. Dekantálással mossuk, majd szűrjük és megszáritjuk. □

2.20.36 Kísérlet. Kobaltsó oldatához adjunk nátronlúgot! Kék színű bázisos só válik le. Melegítve az oldatot rózsaszínű kobalt(II)-hidroxid képződik, ami híg lúg feleslegében nem oldódik. Állás közben megbarnul: a levegő hatására kobalt(III)-hidroxiddá oxidálódik. Hidrogén-peroxiddal az oxidáció azonnal lejátszódik. A kapott csapadékról öntsük le lehetőleg teljesen az oldatot, majd öntsünk rá tömény sósavat: klór fejlődik, savas oldatban a kobalt(II)-klorid a stabilabb, a kobalt(III)-klorid elbomlik kobalt(II)-kloridra és klórra. Egyébként a kobalt(II)-hidroxid oxidációja hypoval is végezhető. □

2.20.37 Kísérlet. Szalmiákszesszel is bázisos kobaltsó válik le, ha nincs sok ammónium-só az oldatban. A feleslegben piszkossárga színnel oldódik. Levegő hatására a kobalt(II) lassan kobalt(III)-má oxidálódik és az oldat barnásvörös színűvé válik. Oxidálószerekkel a reakció pillanatszerű. □

2.20.38 Kísérlet. Híg sósavas oldatban kobaltsóból nincs csapadékkiválás kénhidrogénnel, ammónium-szulfiddal azonban fekete csapadék válik ki. Érdekes, hogy frissen ez a csapadék feloldódik híg sósavban, de állás közben gyorsan átalakul (kristályszerkezete megváltozik) és híg sósavban oldhatatlanná válik. □

2.20.39 Kísérlet. A titán vegyületei elég ritkán kerülnek a vegyész kezébe, pedig a titán igen gyakori elem. Manapság szinte minden fehér festék, sőt, szinte minden festék TiO_2 -ot, *titán-dioxidot*, ásványtani nevén *rutilt* tartalmaz. Nagy népszerűségét annak köszönheti, hogy fénytörése még a gyémánténál is nagyobb, így finom pora nagyon jól szórja és visszaveri a fényt. Ráadásul nem oldódik semmiben, még forró tömény kénsavban is nehezen. Vásárolhatunk is rutilt, vagy valamilyen falfestéket szárítsunk be és izzítsunk ki! Ha fehér maradékot kapunk, ami nem oldódik sósavban, akkor az valószínű TiO_2 . Mindenesetre kipróbálhatjuk az alábbi reakciókat, és kiderül, hogy az-e?

Por alakú rutilt keverjük össze négyszeres mennyiségű KHSO_4 -tal, mégjobb, kálium-diszulfáttal. Porcelán edényben, esetleg kémcsőben SZABADBAN olvasszuk össze a keveréket, hagyjuk kihűlni, és oldjuk fel hideg, híg kénsavban, amibe jégkockát is tettünk! Az oldat melegítését kerüljük, hogy miért, az a következő kísérletből világos lesz. Amit kaptunk, az $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$, titán(IV)-szulfát, persze, kálium-szulfáttal keverve, de ez nem fog zavarni. Amit csináltunk, az a *feltárás* egy fajtája, a *savanyú feltárás*. □

2.20.40 Kísérlet. A titán(IV)-szulfát bármilyen lúgos anyaggal, vagy akár csak semlegesítve is, sőt sok vízzel is titán(IV)-hidroxid csapadékot ad. Ez kicsit oldódik a nátronlúg feleslegében vagy ammónium-karbonátban, de az oldatot forralva teljesen leválik. Egyébként a leválasztott csapadék az oldatot forralva átkristályosodik, és utána már híg kénsavban sem oldódik. □

2.20.41 Kísérlet. Adjunk a titán(IV)-szulfát sósavval megsavanyított oldatához egy darabka cinket! Az oldat ibolyaszínű lesz, mert a titán(IV) titán(III)-má redukálódik. Egy részét főzőpohárba öntve és rázogatva gyorsan elszíntelenedik: a levegő oxigénje visszaoxidálja négyvegyértékűvé. □

2.20.42 Kísérlet. A titán(IV)-szulfát enyhén megsavanyított oldatához adjunk kevés hidrogén-peroxidot (hyperol-tabletta darabka oldatát)! Az oldat narancsszínű lesz. Ez a reakció jellemző a titánra és a hidrogén-peroxidra is. □

2.20.43 Kísérlet. Ez előző kísérletben leírt reakció nagyon érzékeny. Fejlesszünk hidrogént kémcsőben alumíniummal sósavból, és ha már oxigénmentes, gyűjtjük meg egy kihúzott üvegső végén! A lánggal olvasszunk meg egy tölcsérbe tett jégkockát. A lecsurgó vízhez adjunk kevés titán-szulfátot: sárga szín mutatja, hogy némi hidrogén-peroxid keletkezett. Egyébként gyakran ez a helyzet oxidációs reakcióknál: úgy tűnik, az oxigén molekulának előbb csak az egyik kötése nyílik fel, és így könnyen képez peroxidokat. □

2.20.44 Kísérlet. Egy nyitott üvegben adjunk híg jódkeményítő (készítését lásd később) oldathoz kevés terpentint! Rázzuk össze, majd hagyjuk levegőn állni. Lassan megkékül. A színt a terpentin oxidációjakor keletkező hidrogén-peroxid oxidáló hatása okozza. Hasonlóan hidrogén-peroxid keletkezik egyes fémek, foszfor, stb., levegővel való oxidációjakor. Ma a hidrogén-peroxid gyártása is így történik: alkalmas szerves anyag levegővel való oxidációjakor keletkezik a hidrogén-peroxid. □

2.21 Áram saját forrásból

2.21.1 Kísérlet. Már tudjuk, hogy ha két különböző fémeket valamilyen vezető oldatba (sav, só, lúg) teszünk, akkor feszültségkülönbség alakul ki közöttük. Ez rendszerint abból adódik, hogy az egyiknek nehezebb válni le a hidrogén, a másiknak pedig könnyebben. Ezen alapultak a Volta-féle elemek. Például gyümölcsöket és zöldségeket is használhatunk. Egy darab krumpliból szúrjunk egy rézdrótot! A közelében egy horganyzott vasdrótot szúrjunk át teljesen a krumpli! Használhatunk horganyzott csavart vagy valamilyen horganyzott lemezt is, a lényeg az, hogy a horganyzott rész érjen csak a krumplihoz. Mérjük meg a feszültséget! Ez nem függ attól, hogy mekkorák az elektródok, csak az anyaguktól. A horganyzott vas cink elektródként működik. Krumpli helyett használhatunk almát, citromot, narancsot, hagymát, paradicsomot, stb. A feszültség 1 V körüli, nem függ lényegesen a zöldségtől-gyümölcstől. Mérjük meg az áramot: hamar lecsökken, és függ az elektródok felületétől, meg az elektródok távolságától is. Ha a távolságot növeljük, az elem saját, belső ellenállása nő. Mérjük meg a feszültséget vas és cink, valamint réz és vas elektródok között is! A két feszültség összege nagyjából a cink-réz pár által adott feszültség. Én almát használtam és horganyzott csavart. A cink és a vas között 360 mV, a vas és a réz között 579 mV, a cink és a réz között 950 mV feszültséget mértem. Az áram a cink és a réz között 95 μA -ról indult és lassan csökkent. Vas helyett próbálkozhatunk ónnal, ólommal, stb. □

2.21.2 Kísérlet. Egy-egy kémcsőbe tegyünk pár ujjnyi kicsit sós csapvizet! Az első kémcsőbe tegyünk egy szeget. A másodikban tekerjünk a szegre egy darabka forrasztóónt. Végül a harmadik kémcső vizébe szeg helyett egy horganyzott (vas) csavart vagy horganyzott drótdarabkát dobjunk. Mindegyik kémcsövet tegyük el egy-két napra, majd vizsgáljuk meg, melyikben mennyire rozsdásodott meg a vas. Azt tapasztaljuk, hogy a horganyzás védi a vasat. A forrasztóónnal érintkezve viszont erősebb a rozsdásodás. Pedig az ónozás védi a vasat, de csak addig, amíg összefüggő az ónbevonat; ha megsérül, erősebb a rozsdásodás. A magyarázat az, hogy galvánelem képződött: a horganyzott drótnál vagy csavarnál a cink a negatív sarok, ez oldódik, a forrasztóónnal szemben viszont a vas, ez oldódik. □

2.21.3 Kísérlet. A *Volta-elemet* legjobban úgy közelíthetjük, ha rézlemezről és horganyzott bádogból egyforma darabokat vágunk, és közé vastag papírt teszünk, amit ecettel

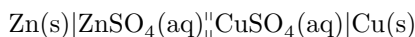
megnedvesítünk. Sima vaslemezzel is sikerül a kísérlet, de úgy kisebb a feszültség. Egy műanyag ruhacsipesszel összefoghatjuk, mindjárt az áramvezető drótokat is hozzászorítva. A horganyzott lemez horganyzott oldala nézzen az ecetes papír felé! *Volta-oszlopot* is készíthetünk, ha két vagy több ilyen fémlemez-párt a közöttük lévő ecetes papírral egymás fölé helyezünk, és úgy fogjuk össze: az elemeket sorba kapcsoltuk, a feszültség összegződik. Egyébként megfigyelhetjük, hogy ha a papír már szinte száraz, akkor is van még feszültség, de ilyenkor az áram már gyenge: nagy a belső ellenállás. Nekem egyetlen lemezpárral horganyzott lemezzel 805 mV és (rövidzárbán) 3,50 mA adódott, vaslemezzel 590 mV és 450 μA áram. Az áram csökkent. Majdnem száraz papírral a vaslemezzel 14 μA -t adódott és az áram nagyon gyorsan csökkent. *Volta* megfigyelte, hogy legjobb elektród pár a cink és az ezüst. Egyszerűbben is készíthetünk *Volta-oszlopot* réz (sárgaréz is jó) pénzekből és alumínium fóliából sós vizes papírral. Minden pár kb. fél voltot ad. Én sárgaréz 5 forintossal 588 mV-ot mértem és 640 μA -t. \square

2.21.4 Kísérlet. A *Volta-féle korona-lánc* kis poharakból áll. Mindegyikben híg kénsav van, és egy réz meg egy cink elektród merül bele. Az elsőnek a cink elektródjához van kötve a második réz elektródja, a másodiknak a cink elektródjához a harmadiknak a réz elektródja, stb. Cink elektródnak például horganyzott csavarokat használhatunk, vagy \cup alakban meghajlított horganyzott vasdrótot, aminek így csak a horganyzott felülete ér a kénsavba. Három pohárkát használva horganyzott csavarokkal és rézdrótokkal 2,55 V-ot mértem és 1,33 mA-t. Nagyobb felületű elektródokat használva nagyobb áramot kaphatunk.

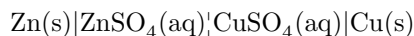
Két probléma van az így létrehozott elemmel. Az egyik, hogy ha nem használjuk is az elemet, a kénsav lassan oldja a cinket. Ezt láthatjuk is. Úgy lehet elkerülni, hogy kivesszük az elektródot, ha nem használjuk az elemet, ami persze kényelmetlen. Egy másik módszer, hogy valamilyen Hg-só oldatába mártjuk a cinket, és aztán tesszük az elembe. Ekkor Hg válik ki a felületen, ami a cinkkel amalgámot képez. A higanyon még nehezebben válik ki a hidrogén, így a hidrogénfejlődés nagyon lelassul.

A másik probléma, hogy működés közben az elem pozitív sarkán hidrogén válik ki, ami bevonja az elektródot, és az hidrogén elektródként működik. Ettől az áram lecsökken. Ez „polarizálódásnak” szokás nevezni. Az az ötletünk támadhat, hogy valamilyen oxidálószerrel pusztítsuk el a hidrogént. Ez működik is, de ilyenkor már tulajdonképpen egy redox elektródot használunk. \square

2.21.5 Kísérlet. Az első olyan elem, amiben a „polarizálódás” nem okozott komoly gondot, a *Daniell-elem* volt. Már találkoztunk is vele (bár ott kloridok szerepeltek, ami nem lényeges). Szerkezetét röviden a



képlettel írhatjuk le. A függőleges vonalak a különböző anyagok, például elektródok, oldatok határát jelzik. A $||$ kettős szaggatott vonal áramkulcsot jelent. Ha teljesen pontosak akarnánk lenni, oda kéne írni az oldatok koncentrációját is. Természetesen az áramkulcsnak csak akkor van jelentősége, ha pontos mérést akarunk. Ráadásul nagy az ellenállása. Ezért a valódi Daniell-elem szerkezetét inkább a



képlettel írhatjuk le. A | szaggatott függőleges vonal a különböző oldatok érintkezését jelzi. Készítsünk magunknak egy ilyen elemet! Egy kis pohárkába tegyünk cink-szulfát oldatot (ha nincs, keserűs oldat is megteszi), abba cink elektródot (horganyzott csavar vagy félbehajtott horganyzott drót is megteszi). Diafragmát fogunk használni, mégpedig tojáshéjat. Tegyük egy fél tojáshéjat az oldatra, abba réz-szulfát oldatot, amibe réz elektród jön. Az így készült elem hosszú ideig képes (igaz, nem túl erős) áramot adni. Feszültsége 1 V felett van valamivel. Én horganyzott csavarral 999 mV-ot és 98 μ A-t, horganyzott dróttal 1054 mV-ot és 130 μ A-t mértem. Az áramtermelő folyamat az, hogy a cink elektródon cink ionok mennek oldatba, hátrahagyva két-két elektront. Ezek az elektronok átmennek a réz elektródra, és ott réz ionoknak adódnak át. A keletkező réz kiválik a réz elektródra. A réz nélkül maradt szulfát ionok a másik elektród felé úsznak, ott folyamatosan ZnSO_4 termelődik. Az áramtermelő folyamat tehát összegezve $\text{Zn} + \text{CuSO}_4 = \text{Cu} + \text{ZnSO}_4$. A diafragma szerepe csak az, hogy megakadályozza az oldatok keveredését. \square

2.21.6 Kísérlet. Még erősebb áramot adó elemet is készíthetünk ezen az elven. A diafragma ellenállása elég nagy, ezért elhagyjuk. Egy alul keskeny műanyag edénybe alulra tömény réz-szulfát oldatot teszünk. Ebbe jön a rézelektrod: vastag rézdrót, amiről elég hosszú darabon leszedjük a szigetelést és feltekerjük. Ez a feltekert rész merül a tömény réz-szulfát oldatba. Vigyázzunk, a réz-szulfát oldatból kiálló részen már hagyjuk meg a szigetelést! A réz-szulfát oldatba nagyon rövid szárú tölcser kerül műanyagból, amit réz-szulfát kristályokkal töltünk meg. A tömény réz-szulfát oldat fölé óvatosan hígabb keserűs oldatot rétegezzük. Közben időnként a tölcserkében töltünk utána tömény réz-szulfát oldatot is. A keserűs oldatba jön az anód. Talán furcsa, hogy anódnak nevezzük, hiszen ez lesz az elem negatív sarka. Azonban gondoljunk arra, hogy az elemben az áram fordított irányba folyik, mint elektrolíziskor, és azt mondtuk, hogy az az elektród az anód, ahol az áram belép az elektrolitba. Miből lehet az anód? Lehet cink, magnézium vagy kadmium. Ez utóbbi drága, mérgező, és kisebb feszültséget ad, mint a másik kettő, úgyhogy nem ezt választjuk. (Sokat kísérleteztek alumíniummal, de a rajta képződő oxidréteg miatt elég bizonytalan anód.) Amit készítettünk, az a *Meidinger-elem*. Az eredeti cink anóddal működött, mert amikor készült, a magnéziumot és az alumíniumot még nem ismerték. Persze, egy ilyen elem csak néhány napig működőképes: előbb-utóbb a diffúzió összekeveri az oldatokat, és az anódra réz válik ki áramtermelés nélkül. \square

2.21.7 Kísérlet. Mai elemeink nagy részében az anód cink, ritkán magnézium, kadmium vagy ólom. Katódnak viszont valamilyen oxidálószer alkalmaznak. Ez lehet valamilyen változó vegyértékű fém oxidja vagy hidroxidja, például MnO_2 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Ni}(\text{OH})_3$, PbO_2 , ami az anódról jövő elektronokat felvéve alacsonyabb vegyértékűvé redukálódik, lehet egy nemesebb fém vegyülete, ami fémmé redukálódik, például CuO , HgO , Ag_2O , AgO , AgCl , CuCl_2 , de lehet más oxidálószer is. Lehet akár a levegő oxigénje is, ha megfelelő katalizátorral sikerül reakcióra bírni.

Az első ilyen típusú elem a *Lechlanché-elem* volt. Az anód cink, az elektrolit szalmiáksó oldat. A katód szén vagy grafit rúd, amit grafittal és korommal kevert barnakő, MnO_2 vesz körül. Tulajdonképpen a barnakő a katód, a szén, grafit, korom legfeljebb katalizátor, és az áramvezetést szolgálja. Elég stabil 1,5 V-os feszültséget ad. Hamarosan elkészítették „szárazelem” formájában is. Ebben a grafit-korom-barnakő keverék egy vászonból készült „babában” van közepében a szénrúddal. A szalmiáksó oldat vízzel főzött lisztből készült

csírízben van felszívva, és az elem doboza cink henger, az anód. Ha szedtünk szét vitorlázáshoz használt 6 V-os telepet, hogy a cinket kiszedjük belőle, akkor megvizsgálhatjuk a „baba” körüli ragacsot: lúggal ammónia szagot áraszt. A szénrúd körüli „babában” lévő fekete keverék egy morzsája tömény sósavval klórt ad: jellemző a barnakőre, ami erős oxidálószer, a sósavat klórrá oxidálja.

Az elem által leadható töltést amperszer órában, Aó-ban szokták megadni (angolul Ah). Egy AA típusú rúdelem nagyjából 0,8 Aó töltést bír leadni, ha nem nagyon nagy árammal sütik ki, hanem például 25–100 ó alatt. A nagyobb méretűek arányosan több töltést bírnak leadni, ugyanennyi kisütési idő mellett □

2.21.8 Kísérlet. A ma legelterjedtebb elemek a lúgos elemek. Az anód legtöbbször cink. A katód sokféle lehet, különösen a kis gombelemeknél. A nagyobb méreteknél szinte mindig barnakő. Az elektrolit lehet nátronlúg, de legtöbbször kálilúg. Töltésük nagyobb, egy AA méretű rúdelem töltése 1,2 Aó vagy még több is lehet. Ezt a töltést majdnem teljesen képes leadni 2 ó alatt is, tehát jól terhelhető. Felépítésük lényegében a régi szárazelemek „kifordítása”. A külső acélház nem vesz részt az áramtermelésben, így nem is lyukad ki. A katód egy belső acél ház, a kettő között egy biztonsági felszívó réteg van. Ez a belső ház felül zárt, ez érintkezik a barnakő-grafit-korom réteggel. Ezen belül van a tömény kálilúg oldat, kocsonyásítva. Műanyag szigeteléssel elválasztva a katódtól legbelül van a cinkporból sajtolt anód, amibe alulról egy cinktű nyúlik be. Ez az elem aljához csatlakozik, és alul is műanyag szigeteli el a külső és a belső háztól. Óvatosan (VÉDŐSZEMÜVEG) szedjük szét egy ilyen „alkáli-elemt”! A külső részből kimutathatjuk a barnakövet, a belső részből a cinket, közülük az erős lúgot. □

2.21.9 Kísérlet. Az *akkumulátor* egy kémiai úton működő töltéstároló. Kisütéskor, amikor áramot veszünk ki belőle, úgy működik, mint egy galvánelem. Töltéskor fordított irányban áramot vezetve át rajta, a kémiai folyamatok megfordulnak, és az eredeti galvánelem helyreáll. Az első használható töltéstároló a *Planté-féle ólomakkumulátor* volt. Ma is az ólomakkumulátor az egyik legfontosabb akkumulátorfajta, gondoljunk csak a gépkocsik akkumulátorára. Az elv elég egyszerű és könnyen kipróbálhatjuk. Tegyük egy híg kénsavat tartalmazó pohárba két ólomlemez, és vezessük át az egészen előtétellenállással áramot. Legalább 4–5 V-ra lesz szükségünk. A negatív sarokhoz kapcsolt lemez szépen letisztul, felülete fémes lesz, a másikat viszont barna réteg vonja be. Ez a réteg ólom-dioxid, ami a kénsavból képződő oxigénnel képződik az ólomból. Ha lekapcsoljuk az áramot, a lemezek között akár napokig is 2 V körüli feszültséget mérhetünk. Kapcsoljunk egy nagyobb ellenállást, például egy zseblámpaizzót a két elektród közé! Az akkumulátorunk lassan lemerül. Mindkét elektródon fehéres színű ólom-szulfát, $PbSO_4$ képződik. Ha újra tölteni kezdjük az akkumulátort, visszaáll a fémesszürke ólom és a barna ólom-dioxid réteg, sőt, kicsit meg is vastagszik. Többször feltöltve és kisütve az akkumulátort, kb. 2 mm-ig tudjuk növelni az PbO_2 réteg vastagságát, tovább nem, mert lepattogzik.

E helyett a hosszadalmas, formázásnak nevezett folyamat helyett a mai akkumulátorokat úgy készítik, hogy kb. 7% antimon tartalmú ötvözetből (ez keményebb, mint a tiszta ólom; ez az úgynevezett *keményólom*) rácsokat öntenek, és a rács hézagaiba tiszta ólom-oxid és kénsav keverékéből készült pasztát kennek. A két anyag reagálva ólom-szulfátot ad. Ezeket a rácsokat akkumulátorsavba téve, lényegében egy kisütött akkumulátort kapunk, amit csak fel kell tölteni.

A személygépkocsik akkumulátorai általában 12 V-osak, azaz hat sorba kapcsolt cellá-

ból állnak, és 40–50 Aó töltést vesznek fel. Legjobb, ha a kisütő és a töltő áram is olyan, hogy 10 ó (vagy több) alatt süsse ki, illetve töltse fel az akkumulátort. Rövid időre egy gépkocsiakkumulátor (például gépkocsi indításakor) akár több száz amper áramot is le bír adni. Az ólomakkumulátor nem szereti a töltetlen állapotban való tárolást. Ha nem használjuk is, 1–2 havonta töltsük fel, különben tönkremegy! □

2.21.10. Lúgos akkumulátorok. Vannak olyan akkumulátorok is, amelyek lúgot, rendszerint káliklúgot tartalmaznak elektrolitként. Ezek első típusa az Edison által kifejlesztett NiFe akkumulátor. A negatív elektród vas, amely kisütéskor $\text{Fe}(\text{OH})_2$ -dá alakul, a pozitív pedig nikkelpelhellyel kevert $\text{Ni}(\text{OH})_3$, amely $\text{Ni}(\text{OH})_2$ -dá redukálódik. 1,3 V feszültséget ad, amely kisütéskor csökken. Eléggő „nyúzásálló”. Lényegében ennek a továbbfejlesztése a NiCd, azaz nikkél–kadmium akkumulátor. Mára már nincsen forgalomban, mert a kadmium mérgező, esetleg elektromos szerszámokban találkozhatunk vele. (Ha találunk még, tegyük félre, majd később leírjuk, hogyan nyerhetjük ki belőle a kadmiumot.) Annyi a különbség, hogy a negatív elektród Cd. Kibirnak 1 ó, egyes típusok 2–3 perc alatti kisütést, és kisütött állapotban célszerű őket tárolni. Feszültségük 1,2 V. Helyüket a NiMH, azaz nikkél–metall-hidrid akkumulátorok vették át. Itt a negatív elektród olyan fémötvezet, amely rendkívül sok hidrogént bír elnyelni. A feltöltéskor keletkező hidrogén adja az elektronokat. Feszültsége szintén 1,2 V. Számos lúgos elem is készül vagy legalábbis készült akkumulátor változatban is.

2.21.11. Li elemek és akkumulátorok. Egészen különlegesek a lítium elemek illetve akkumulátorok. Feszültségük magas, 3–3,6 V. Mivel a lítium bontja a vizet, az elektrolit nem vizes oldat, hanem például szerves oldószerben oldott lítiumsó. A CR sorozatú, barnakővel készült lítium elemekkel már találkoztunk. Vannak olyan lítium elemek illetve akkumulátorok, amelyekben a pozitív elektród szulfuril-klorid azaz SO_2Cl_2 , tionil-klorid azaz SOCl_2 vagy jód. Ezek valóságos kis kémiai csodák. A szulfuril-klorid például vízzel sósavat és kén-trioxidot ad: $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_3 + 2\text{HCl}$. Azt várja az ember, hogy ha egy ilyen anyagot összehozunk egy alkálifémmel, abból robbanás lesz. Valóban ez is a helyzet, ha szétbontjuk az akkumulátort. A trükk egy vékony réteg a Li-on, amiben nincsenek szabad elektronok, tehát az áramot nem is vezeti, de a Li^+ ionok tudnak benne mozogni.

2.22 Elektrolízis

2.22.1 Kísérlet. Az elektrolízist már használtuk: elektrolízissel határoztuk meg a víz és a sósav összetételét. Egy látványos kísérletet is ismerünk: vaslemeze borítsunk fenolftaleines sóoldattal átitatott papír törőlkendő. Egy 9 V-os elem pozitív sarkát kössük egy tompa (kicsit lereszelt) hegyű szeghez, a negatív sarkát pedig a vaslemezhez. A szeggel pirosan írhatunk a papírra. Nos, ez a kísérlet más sóval is megy: a só savra (pontosabban savmaradékra) és féltre vagy hidrogénre és lúgra bomlik fel. □

2.22.2 Kísérlet. Gyerekkoromban a 4,5 V-os elemeket úgy ellenőriztük, hogy az elem két sarkát nyelvünk két széléhez értettük. Ha csipett, akkor még jó volt. Próbáljuk ki óvatosan 4,5 V-os, 9 V-os és 12 V-os elemmel! A 9 és 12 V már határozottan kellemetlen. Ha 12 V-os gépkocsi akkumulátorral próbálkozunk, vigyázzunk, a vezetékek össze ne érjenek! □.

2.22.3 Kísérlet. Tudjuk, hogy ha réz-szulfát vagy más rézsó oldatába vasszőget teszünk, a vasra réz válik ki. Hígabb rézsó oldatból tartósabb bevonatot kaphatunk, tömény oldatból a réz lekaparható por alakjában válik le. Bár ez még nem elektrolízis, próbáljunk így rézbevonatot létrehozni! Készítsünk 1 % kristályos réz-szulfátot tartalmazó oldatot annyi kénsavat adva hozzá, hogy kénsavra 1,4 %-os legyen. Ebbe az oldatba mártsunk egy vasszeget, vagy bármilyen kisebb vastárgyat! Nagyobb tárgyakat az oldatba mártott tiszta ruhával (GUMIKESZTYŰBEN) töröljünk át. Ezután öblítsük le és fűrészpornban szárítsuk meg! A bevonat fényes lesz, ha puha kefével átkeféljük. Gyengén bekenhetjük paraffinnal vagy méhviasszal. □

Valószínűleg akaratumkon kívül mindjárt tanulmányozhatjuk is a fémbevonásnál elkövethető összes hibát. Bár nem hiba, de a fémbevonat hűen követi a bevont tárgy alakját. Ha tehát fényes, sima bevonatot akarunk, akkor a tárgyat a bevonás előtt *csiszolni* és *polírozni* kell. A csiszolás csiszolópapírral történhet, kézzel vagy fűrógépbe fogott megfelelő számszámmal. Durvább felületnél 60-as, 80-as papírral kezdjük, majd felmehetünk egészen 320-as vagy 400-as papírig. (A csiszolópapír száma azt adja meg, hogy a felületét bevonó csiszolópor milyen szitán megy át, egy hűvelykre hány csomó esik a szitán. Így a nagyobb szám finomabb szemcséket jelez.) Ezután jön a polírozás: vagy készen kapható polírpasztával dolgozunk, vagy magunk állítjuk össze: 30 g vörös vasoxid porfestéket („*polírrúzs*”) vízfürdőn melegítve összekeverünk 25 g lecsapott kalcium-karbonáttal, 30 g sztearinnal, 5 g faggyúval és 10 g petróleummal. A keveréket öntsük egy fémdobozba és hagyjuk megdermedni! Kiváló polírpasztát kapunk. Kis mennyiséget filcre helyezünk, és kézzel vagy fűrógépbe fogott filckoronggal polírozunk. A vas polírozása elég lassan halad, rézé, sárgaréze, cinkké sokkal gyorsabb.

Komoly hibát okoz, ha a tárgy zsíros. A zsír nagy részét benzinnel mosva (ecsettel) oldhatjuk le, azonban ezután mindig marad egy finom zsírréteg. Ezt oltott mésszel távolíthatjuk el. Mészpéppel bekenjük a tárgyat (GUMIKESZTYŰBEN), majd gondosan leöblítjük a meszet vízzel. Természetesen ezután már nem szabad kézzel megfogni, mert a kezünk is mindig zsíros. Legjobb, ha rézhuzalra függesztjük. Még nem vagyunk készen, mert a tárgyat vékony oxidréteg vonja be. Ezt le kell maratni. Egyúttal a maratás kicsit durvítja a tárgy felszínét, és a fémréteg jobban tapad majd. A maratáshoz cinktárgyakhoz 3 %-os kénsavat használunk, tízegynéhány másodpercig merítve bele a tárgyat, vastárgyakhoz 40–50 °C-ra melegített 10 %-os kénsavat, amibe literenként 5 g asztalosnyvet vagy zselatint is tettünk. Legnehezebb a réz, bronz és sárgaréze tárgyak maratása. Akumulátorsavat használhatunk, 0,3 súlyrésznyi kálsalétromot és ugyanannyi konyhasót adva hozzá. A maratás után a tárgyat gondosan leöblítjük és mehet a bevonó elektrolitba katódként. Az áram már legyen bekapcsolva. Elektrolízissel sokkal vastagabb, apró lyukaktól (*pórusoktól*) mentes fémbevonatot lehet kapni, nem úgy mint az áram nélküli fémbevonással.

2.22.4. Fémkiválasztás elektrolízissel. A redukció elektron átadás. Akkor ezek szerint a legerősebb redukálószer az elektron. Ezzel mindenféle fémet redukálni lehet vegyületeiből: a katódról elektrolízisnél elektronok adódnak át a fémionoknak. Ez így is van, de vizes oldatban határt szab a dolognak, hogy nagyon kevéssé nemes fémeknél a fém helyett a víz redukálódik, hidrogén válik le. (Sóolvadékban minden fém előállítható elektrolízissel.) Kicsit segít, hogy a hidrogén a fémeken általában túlfeszültséggel válik le. A platinán, mint már tudjuk, ez gyakorlatilag nulla, más fémeken, általában az alacsony olvadáspontú, puha fémeken viszont jelentős lehet. A túlfeszültség az egységnyi felületre jutó

áramtól, az úgynevezett *áramsűrűségtől* is függ, az áramsűrűséggel nő, és jóval 1 V fölé is mehet. A fémek leválása általában majdnem megfordítható, kivéve a vasat, kobaltot és nikkelt, ezeknek jelentős a leválási túlfeszültsége. Nagy áramsűrűségnél az elektrolit a katód közelében elszegényedik a fémben, és ez növeli a leválási feszültséget.

Egy fém leválása a katódon tulajdonképpen kristályosodás, és mint minden kristályosodás két lépésből áll: kristálycsírák képződése és azok növekedése. Az egyik szélsőséges eset, amikor gyakorlatilag minden kristálycsíra tovább növekszik, a másik pedig, amikor minden kristálycsíra csak rövid ideig növekszik. A két szélsőség között van az az eset, amikor csak a csírák egy része növekszik hosszabb ideig. Kis áramsűrűségnél nagy kristályok keletkeznek, kevés kristálycsíra képződik. Növelve az áramsűrűséget a bevonat finomabb lesz, de igen nagy áramsűrűségnél a kristályok elkezdenek „fává” növekedni az oldat belseje felé, hidrogénleválás indulhat meg, az oldat lúgosodhat és hidroxidok vagy bázikus sók válhatnak le. A kristálycsírák növekedésének kedvez a fémion koncentráció növelése, hatása nagyjából ellentétes az áramsűrűség növelésével. Hasonló hatású az elektrolit keverése, a hőmérséklet növelése, az oldat vezetőképességének növelése, de ellentétes a kolloidok (például enyv, zselatin) hozzáadása az oldathoz, a viszkozitás növelése.

A réz hajlamos jól fejlett, nagy kristályok képzésére, de finom kristályos, fényes bevonat is előállítható, sőt, por is. Az ezüst különösen hajlamos hosszú, tűszerű, szétágazó kristályok képzésére. Hasonló a helyzet az ónnál, bár a kristályok kevésbé bonyolultak. A cink és a kadmium, néha az ólom és az ón is hajlamosak szivacsos bevonatok képzésére, amik tűszerű kristályok halmazából állnak, de megfelelő körülmények között apró kristályos, fényes bevonatot is lehet kapni. A vas, nikkelt és kobalt mindig apró kristályos, sima és tömör bevonatot képez. A platina apró kristályos, bársonyos bevonatot ad (platina-korom). Látjuk, hogy nehéz pontosan megállapítani a kedvező körülményeket, amelyek mellett elég apró kristályos, finom, tömör bevonatot kapunk, de nem túl lassan. A fémek leválasztásánál az elektrolitot *fürdőnek* szokás nevezni. Receptekben pontosan meg szokták adni a fürdő összetételét, a pH-ját, hőmérsékletét, a katód és az anód anyagát, a katódos (és ha lényeges, az anódos) áramsűrűséget, kell-e keverni a fürdőt (legtöbbször levegővel), hogy van-e diafragma, és miből, mennyi a kapocsfeszültség. A szükséges feszültséget és áramerősséget a feszültségosztónkkal vagy előtétellenállással állítjuk be. A fémek kiválasztása többféle célból történhet:

- Fém előállítása vegyületéből;
- Fém tisztítása;
- Fém elválasztása más fémektől;
- Fém porítása;
- Fémről valamilyen tárgy vagy másolat előállítására;
- Más tárgy bevonása a fémrel.

Az anód lehet az illető fémről — ami feloldódik — vagy lehet oldhatatlan, ekkor a fémelt vegyülete alakjában visszük be a fürdőbe. Kloridoknál oldhatatlan anódnak grafitot használunk, egyébként az anód lehet grafit, de szulfátos oldatokban rendszerint ólom vagy keményólom.

2.22.5 Kísérlet. A réz kiválasztása elektrolízissel igen egyszerű. Általában 22–55 g/l rezet tartalmaz a fürdő réz-szulfátként és 7–220 g/l kénsavat. Több réz-szulfát is megengedhető, csak ki ne kristályosodjék az oldatból. A kénsav szerepe az áramvezetés javítása. Ha nem a réz tisztítása a cél, hanem a réz kiválasztása az oldatból, akkor az oldhatatlan anód keményólom vagy egyszerűen ólom. Az áramsűrűség 130–320 A/m², a hőmérséklet

20–62 °C. A szennyezések megengedett maximális koncentrációja g/l-ben: Ni 22, As 10, Fe 2, Sb 0,5, Cl 0,03.

Az elektrolízishez egy *elektrolizáló kádat* fogunk használni. Ez egy négyszögletes műanyag, célszerűen PE vagy PP edény, amire *áramvezető sín*nek keresztbe három vastag rézdrótot fektetünk. Célszerű a síneket megmelegítve belenyomni kicsit az edény anyagába, hogy a fedőt is vissza lehessen helyezni. A középső sín a katódsín, a másik kettő az anódsín.

Első kísérletként készítsünk egy vastag réz lemezt, amit a későbbi kísérleteknél anódnak fogunk használni. Az elektrolit literenként 320 g kristályos réz-szulfátot és 45 g kénsavat tartalmaz. A hőmérséklet 20–25 °C, az áramsűrűség elérheti a 800 A/m²-t. A katód alumínium lemez, aminek széleit körberagasztjuk szigetelő szalaggal, és a másik oldalát is bevonjuk szigetelő anyaggal (ragasztószalaggal vagy lakkal). Azért választunk alumíniumot, mert mint tudjuk, azt oxidréteg vonja be, és így a réz nem fog jól tapadni hozzá. Az anód réz drótokból vagy bármilyen más réz darabokból (küszöbsín, rézcső) áll. A szükséges feszültség csak néhány tized volt. Hosszú ideig kell elektrolizálnunk. Ha az anód részben elfogyna, pótoljuk ki új darabokkal. Ha már elég réz vált le az alumíniumra, szedjük szét a berendezést, a katódot és a maradék anóddarabokat mossuk le, a fürdőt tegyük el, és a katódról válasszuk le a levált rezet! Ha nem válna el, lúggal leoldhatjuk az alumíniumot. □

2.22.6 Kísérlet. Az előző kísérlet alapján tudunk rézlemez elektródokat készíteni. Segítségükkel készíthetünk egy *rézcoulombmért*: középre katódnak kerül egy vékony rézlemez, ami egy vastagabb rézdróton lóg az elektrolitba (csak a rézdrót álljon ki a folyadék-ból), két oldalt két rézanód van. Az elektrolit literenként 125 g kristályos réz-szulfátot, 50 g kénsavat és 50 g alkoholt tartalmaz. Az alkohol azért kell, hogy megakadályozza az elektrolízis közben keletkező réz(I) ionok levegő általi oxidációját. Az áramsűrűség 100–200 A/m². A mérés kezdetén a katódot szárazon megmérjük. A mérés végén a katódot leöblítjük vízzel majd alkohollal, gyorsan megszáritjuk, és újra megmérjük. 1 C elektromos töltés 0,3294 mg rezet választ ki. □

2.22.7 Kísérlet. Most már el tudunk készíteni apróbb réztárgyakat, például rézcsővecskét, vagy le tudunk másolni egy pénzérmét. A másolandó érmét vékonyan, de gondosan olajozzuk be és tegyük egy fa vagy akár papír dobozkába. Öntsük le olvasztott forrasztóónnal. Ha jó volt az olajozás, az érme könnyen elválik a forrasztóóntól. Ez lesz a negatív. Tisztítsuk meg alaposan az olajtól, és a hátoldalát, ahol nem kell réznek kiválnia, vonjuk be áramot nem vezető anyaggal. Függesszük fel az anódkészítésnél használt oldatba és vagy 10 óráig galvanizálva vonjuk be vastag rézréteggel. Megmelegítve a forrasztóónt leolvasható. Az érme helyét töltsük ki gipsszel vagy ólommal! □

2.22.8 Kísérlet. Az előző eljárás nem adja vissza a finom részleteket. Erre jobb viaszformát használni. A legegyszerűbb formázó anyag 85 rész méhviasz (a karácsonykor kapható sárga viaszgyertyák anyaga), 13 rész terpentín (festékboltból) és 3 rész grafit keveréke. Ha nem kapunk grafitport, puha (2B, sötét 4B jelű) ceruzabelet reszeljünk le. A másolandó tárgyat — érmét, egy tollat vagy falevelet, bármit — belenyomjuk a puha viaszba. Ha szép a lenyomat, vezetővé kell tenni a negatívot. Ez úgy történik, hogy a felületét becseljük grafitporral, kb. 1 cm-es margót is beleértve. Az egész viaszformát vastagabb rézdróttal vagy vékony rézlemezzel tekerjük körbe, amiről vékony rézdrótokkal vezetjük az áramot a grafit margóhoz, ha kell, másutt is a grafithoz. 10–15 perces elektrolízis után

ellenőrizzük, hogy a réz mindenütt lerakódik-e? Ha nem, javítjuk az érintkezéseket. Ha ez nem segít, öblítsük le és szárítsuk meg a formát, majd újra grafitozzuk be. Ha kész az elektrolízis, ugyanúgy, mint az előző pontban ólommal vagy gipszsel merevíthetjük a másolatot.

Ha sokkal több grafitot teszünk a viaszhoz, akkor vezeti is az áramot, és nem kell grafitozni, csak vékony rézlemezzel körbetekerni. Keverjünk össze 20 g hegedűgyantát 20 g méhviasszal, 13 ml terpentinnel és 50 g grafittal. □

2.22.9 Kísérlet. A vas leválasztása nem olyan egyszerű, mint a rézé. Szulfátos fürdő is használható, de jobb a kloridos fürdő. Olyan fürdő használatos, amely 800 g nagyon tiszta $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ -ot tartalmaz literenként, szulfátmentes, nem tartalmaz több, mint 0,05% Fe(III) -at, de tartalmaz 1,5–2,0 g/l $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -ot. A fürdő vas sósavas oldásával készül. Az anód vas. Szabad sósav koncentráció 0,01–0,02 M, így a pH 2 körül van, és nem mehet 3 fölé. Ha szükséges, sósavat kell adagolni. A vas elég nagy túlfeszültséggel válik le, viszont a vason a hidrogén túlfeszültsége kicsi, így mindig fejlődik hidrogén is, ami a vasban feloldódik és rideggé teszi. A hőfok emelésével a vas túlfeszültsége gyorsabban csökken, mint a hidrogéné, így a hidrogéntartalom a 18 °C-on mért 0,085%-ról 90 °C-on nagyon kicsire csökken. Egy alumínium edényre vasat leválasztva vas edényt készíthetünk; az alumíniumot lúggal kioldhatjuk. A kapott vas igen tiszta, könnyen rozsdásodik, viszont a lúgnak jobban ellenáll. □

2.22.10 Kísérlet. Nem biztos, hogy sikerült cinkhez jutnunk. Most leírjuk, hogyan nyerhetjük ki a cinket sárgarézből. Elektrolizáló kádunkba tegyünk olyan elektrolitot, amely literenként 320 g kristályos réz-szulfátot és 7 g kénsavat tartalmaz. Mindkét anód sárgarézt, a katód rézlemez. Elektrolizáljuk az oldatot kis feszültséggel. A sárgarézt oldatba megy, de csak a réz válik le a katódon, a cink nem. Így az oldat színe egyre világosabb lesz. Vigyázzunk, vas ne érjen az oldatba, mert feloldódik és igen káros az elektrolízisre: nem válik ugyan le, de az anódon három vegyértékűvé oxidálódik, a katódon pedig visszaredukálódik két vegyértékűvé, így fogyasztja az áramot, annyira, hogy végül a rézkiválás megáll. Ha netalántán ez bekövetkezne, a fürdőt meg kell tisztítani: tegyünk bele réz-karbonátot vagy cink-karbonátot, levegőbefúvással oxidáljuk a vasat, és a vas(III)-hidroxidot szűrjük le, majd a fürdőt savanyítsuk meg kénsavval. Ezután folytathatjuk az elektrolízist. Ha már elég világos az oldat vagy a sárgarézt elfogyott, oldhatatlan anóddal és új katóddal folytatjuk az elektrolízist, míg végül az oldat teljesen színtelen lesz. Az eközben kivált réz már nem elég tiszta, átelektrolizálással tisztíthatjuk. Az elektrolitban maradt a cink-szulfát némi kénsavval. Ha a cink-szulfátot vagy a cinket ki akarjuk nyerni a cink-szulfát oldatból, akkor azt alaposan meg kell tisztítani, ahogy azt a cink-szulfátnál már leírtuk. Egyébként ha réz-szulfátot elektrolizálunk oldhatatlan anóddal, akkor (nem valami tiszta) kénsavat kaphatunk. □

2.22.11 Kísérlet. Ha a célunk fém cink előállítását elektrolízissel (az iparban is állítanak így elő cinket), a cink-szulfát oldatot ugyanúgy megtisztítjuk, mint az előző kísérletben, de a cinkporos tisztítás helyett használhatunk alumínium fóliát is, mert a cink-szulfát elektrolízisének az alumínium nem káros. Ezután az oldat nagy részéből válasszuk le a cinket szódával karbonátként! A maradék oldatot fogjuk elektrolizálni, 40–60 g/l Zn koncentrációval. A katód alumínium lemez (a széle körbe ragasztva), az anód oldhatatlan tiszta ólom vagy kemény ólom (jobb lenne az 1% ezüstöt tartalmazó ólom, mégjobb a platina). Az áramsűrűség 100–300 A/m², a kapcsolófeszültség 3,2–3,8 V, a hőfok 35–40 °C,

de semmi esetre sem több, mint 60 °C. Az anódot selyem taft zacskó veszi körül, amibe cink-karbonátot vagy cink-oxidot adagolunk az anódon keletkező sav közömbösítésére. □

2.22.12 Kísérlet. Tudjuk, hogy a galvánelemekben van cink. Nem tudnánk-e kinyer- ni a használt elemekből? Elég piszkos munka lesz, de ne sajnáljuk a fáradságot, mert a melléktermékként kapott barnakővel is fogunk kísérletezni. Mint tudjuk, a lúgos ele- mekben kálilúg van, lényegében egy dupla falú csőben. Feszegessük le az elem alját, és VÉDŐSZEMÜVEGBEN szedjük ki az elem belsejét! Legegyszerűbb, ha az elemet két fa közé fűrt lyukba szorítva satuba fogjuk és egy megfelelő méretű fűróval kaparjuk ki a belse- jét. A PE elektrolizáló edénybe (dobozba) anódnak én egy üres halkonzerves vas dobozt kapcsoltam. A tetejét csak felhajtottam, de meghagytam csatlakozásnak. A halkonzerves dobozba jött az elemek belseje. A két katód két vas konzervdoboz tető, kétoldalt a do- bozba, alacsonyra vágott műanyag zsacszkóba állítva. Töltsük fel vízzel a dobozt, fedjük le a tetejével és indítsuk be az áramot! A cink a katódokon por alakban válik ki. Ha már nem válik ki több cinkpor, csak gáz fejlődik, akkor szedjük ki az anóddobozt, öntsük le a kálilúgot, alaposan mossuk ki a cinkport, és tegyük el. Az anóddobozban barnakő és más mangán-oxidok valamint korom és grafit keveréke maradt. Ezt is alaposan mossuk ki, szárítsuk ki és tegyük el. □

2.22.13 Kísérlet. Nikkellel még nem kísérleteztünk. Nikkelötvözetből van az aprópén- zek egy része, például a tízforintos. Legjobb, ha ilyen színű, már nem használt, forgalom- ból kivont pénzt használunk. Azt a 2–3 g nikkelvegyületet, amire szükségünk lesz, már 2 darab tízforintosból is kinyerhetjük. Ezek az ötvözetek általában negyedrészt nikkel- ből, háromnegyed rész rézből állnak. (Később leírjuk, hogyan nyerhetjük ki rozsdamentes acél nikkeltartalmát.) A nikkelt elválasztása a réztől lényegében úgy megy, mint a cinké. Annyi a különbség, hogy a nikkelsók nem színtelenek, hanem zöld színűek. Csak keve- sebb réz-szulfátot rakjunk az oldatba, és ha az anódok még nem fogytak el, de az oldat zöldesbe vált, akkor adjunk még hozzá réz-szulfátot. A pénzérmék szélét fűrjük át, és úgy függesztjük fel anódnak. Végül ha az anódok elfogytak, vagy az oldat már elég tö- mény és kékesből zöldesbe vált, ideje elektródot cserélni. Oldhatatlan ólom anóddal és réz katóddal folytatjuk az elektrolízist $\approx 2,3$ V feszültséggel. Az oldat egy cseppjét fényes vaslemezre cseppentve ellenőrizhetjük, van-e még benne réz. Ha már minden réz levált, az oldat elég tiszta nikkelt-szulfát némi kénsavval. □

2.22.14 Kísérlet. Bár már ezzel az oldattal is elvégezhetnénk néhány kísérletet, érdemes megtisztítani. Vezessünk bele kén-hidrogén: több szennyező fém, köztük a maradék réz is leválik. Forraljuk ki a kén-hidrogént, az oldat egy részéből nátronlúggal válasszunk le a nikkelt-hidroxidot (almazöld, kocsonyás csapadék, a nátronlúg feleslegében nem oldódik) vagy szódával válasszunk le a zöld bázisos nikkelt-karbonátot. Ezt jól kimosva és visszarakva az oldatba, azt semlegesíthetjük. Levegőt fuvatba bele, oxidáljuk a vasat, ami így levá- lik. Most már kikristályosíthatjuk a nikkelt-szulfátot hexahidrátként. Tisztítása 0,25 ml/g meleg vízből hűtéssel kristályosítva történik. Egyébként a nikkelt-hidroxid vagy karbonát sósavas oldásával nikkelt-kloridot állíthatunk elő, ami híg sósavból kristályosítva tisztít- ható. □

2.22.15 Kísérlet. A nikkelt-szulfát oldatából ammóniával kevés nikkelt-hidroxid vá- lik le, ami a kémszer fölöslegében kék színnel oldódik. A nátronlúggal leválasztott nikkelt-hidroxid hypotól megfeketedik — nikkelt(III)-hidroxid keletkezik — de hidrogén- peroxidtól nem, hanem katalizálja a hidrogén-peroxid bomlását. □

2.22.16 Kísérlet. Kén-hidrogénnel savas oldatban, egészen kb. pH = 5-ig nem válik le csapadék, azonban az ammónium-szulfiddal leválasztott fekete NiS csapadék hamar átalakul, és ugyanúgy, mint a CoS, híg sósavban oldhatatlanná válik. □

2.22.17 Kísérlet. Nikkel elektrolízissel való leválasztásához az elektrolitot nagyjából ugyanúgy tisztítjuk meg, mint a nikkel-szulfát előállításához. A pH-t 3–4-re állítjuk be (nem többre, mert a nikkel is leválik) szóda adagolásával. Levegő befúvásával leválasztjuk a vasat, majd kén-hidrogént vezetünk az oldatba. Ilyen körülmények között még a cink is leválik. A kapott oldatból kiforraljuk a kén-hidrogént. Az oldat nagy részéből nikkel-hidroxidot választunk le nátronlúggal vagy bázisos nikkel-karbonátot szódával.

Az egyik recept szerint az elektrolit 50–60 g/l nikkelt tartalmaz szulfátként, 10–20 g/l bórsavat és az anódtérben nikkel-hidroxidot szilárd anyagként. Diafragmának legjobb a terilén, de más szövet, például vászon is megfelel. Az elektrolízisnél a hőmérséklet 50–60 °C, az anód oldhatatlan keményítő, a katód vaslemez, a távolságuk 80 mm, az áramsűrűség 100 A/m², a pH 6,5, a feszültség 2,3–2,7 V. (Alacsonyabb pH-nál dolgozva kevesebb bórsavat és 150 g/l nátrium-szulfátot adagolnak.) Az iparban a nikkelt réz- vagy vaskatódokra választják le, amit grafitoznak vagy nátrium-szulfid oldatba mártanak, hogy könnyen leválasztható legyen a bevonat; ezt mi is megtehetjük. Nem kapunk nagyon tiszta nikkelt, főleg kobalt fordulhat elő benne, ha volt az eredeti oldatban.

Egy másik recept szerint az elektrolit hasonló, nikkel-szulfátot és bórsavat tartalmaz, de ezek koncentrációja, a pH és a hőmérséklet nem túl lényeges. A katód alumínium, az anód ólom, a katódos áramsűrűség 120 A/m². Az anód körül bázisos nikkel-karbonát oldunk az elektrolitban. Az oldás akkor megy a legjobban, ha a pH 4, a hőmérséklet 65 °C, a nikkel 20 g/l, a bórsav 40 g/l. Levegő bevezetése az oldáshoz csökkenti a kobalt oldódását. □

2.23 Báriumvegyületek

2.23.1 Kísérlet. A szulfátokat kimutathatjuk gipszként, gyengén sósavas oldatban, CaCl₂-dal. Ez nagyon jó reakció, de nem valami érzékeny. A kalcium egy rokona, a *bárium* (szintén alkáli földfém, vegyjele Ba, olvadáspontja 729 °C, forráspontja 1805 °C, móltömege 137,3277 g/mol) sokkal oldhatatlanabb vegyületet ad a szulfátokkal, tehát a szulfátok érzékeny kémszere. A bárium elég erős mérég, halálos adagja felnőtteknek 0,5–4 g. Még az egyébként oldhatatlan BaCO₃, bárium-karbonát is mérgező, mert a gyomor sósavjában feloldódik. A báriummérgezések ellenszere valamilyen szulfát, például glaubersó, mert oldhatatlan bárium-szulfátot ad a báriumvegyületekkel. Várható, hogy nem könnyen jutunk báriumvegyületekhez. Szerencsére bárium-nitrátot tartalmaz a csillagszóró. Azt a kevés báriumvegyületet, amire szükségünk van, elégett csillagszóróból fogjuk előállítani. Gyűjtsük össze az elégett csillagszórókat, kaparjuk le a maradékot a vasdrótról! Egy pár el nem égettre is szükségünk lesz. Az égéskor BaO, bárium-oxid képződik. Ez vízzel, hasonlóan, mint az égetett mész, bárium-hidroxidot, Ba(OH)₂-ot képez. Ez sokkal jobban oldódik vízben, mint az oltott mész, és valamivel erősebb lúg is. Ha az elégett csillagszóró levegőn áll, akkor BaCO₃ képződik, amely hasonlóan oldhatatlan vízben, mint a mész-kő. Első kísérletként határozzuk meg a régi csillagszórómaradék kémhatását. Dörzsöljük porrá, és egy keveset rázzunk össze vízzel. Semleges, legfeljebb gyengén lúgos kémhatást kapunk. Ismételjük meg ugyanezt frissen elégett csillagszóróval: lúgos oldatot kapunk, ez a *baritvíz*. Ha belefújunk, megzavarosodik a képződő BaCO₃-tól, mint a mészvíz. □

2.23.2 Kísérlet. Lássunk hozzá a BaCl_2 készítéséhez! Porrá dörzsölt csillagszóró-maradékból tegyünk félre vagy tizedrésznyt, a többihez adjunk apránként, melegítés közben kb. 3%-os sósavat. Azért használunk ilyen híg sósavat, hogy a szennyezések lehetőleg ne oldódjanak fel. Ha nincs pezsgés, ellenőrizzük a pH-t. Ha közel semleges, adhatunk még kevés sósavat, ha savas, akkor csak melegítsük. Ha hosszabb melegítés után is savas marad az oldat, akkor adjuk hozzá a félretett csillagszóró-porát, és melegítsük az oldatot. A pH-nak fel kell mennie közel semlegesre. Végül adjuk az oldathoz egy (ha kell, több) frissen elégetett csillagszóró porát, amíg az oldat lúgos lesz. Fújjunk az oldatba levegőt pár percig! Végül egy nap állás után szűrjük meg az oldatot, és pároljuk be felére. Ha a bepárlás alatt zavaros lesz, még egyszer szűrjük meg. Hagyjuk lehűlni, a kristályokat üveggolyón szívassuk le, és az anyalúgot bepárolva, ismét kristályosítjuk. Az egyesített kristályokat 2 ml/g vízből kristályosítjuk át, az oldatot tiszta sósavval enyhén megsavanyítva. A tiszta só előállításához többszöri átkristályosítás kell. A termék dihidrát. Sütőben szárítva elveszti a kristályvizét. Arról, hogy mit csináljunk a melléktermékekkel, a következő kísérletben lesz szó. □

2.23.3 Kísérlet. Az előző kísérletben a szűrőn fennmaradt csapadékban van még bárium. Öntsünk rá hígított sósavat! A lecsepegő folyadékot öntsük vissza a szűrőre kétszer-háromszor. Ellenőrizzük, hogy savas-e? Ha erősen savas, egyesíthetjük az anyalúgokkal. Ezzel a hulladékkal is kipróbálhatjuk, milyen jó kémszere a bárium a szulfátoknak. Ha egyetlen cseppet adunk kénsav vagy akármilyen szulfát akár híg oldatához, azonnal fehér csapadékot kapunk, BaSO_4 -ot. Ez a csapadék nem oldódik semmiben, csak tömény kénsavban egy kissé, mert azzal $\text{Ba}(\text{HSO}_4)_2$ képződik. Próbáljuk ki például a gipszes vizet: azonnal fehér csapadék képződik, pedig a gipsz elég rosszul oldódik, így nem sok SO_4^{2-} ion van az oldatban. A BaSO_4 -nak ez a nagy oldhatatlansága lehetővé teszi például, hogy akármilyen savat előállítsunk a bárium-sójából: Az oldat kis részletét félretesszük, a többihez kénsavat adagolunk, amíg képződik csapadék. Ha már nem képződik, a kissé túladagolt kénsavat a félretett részlettel csapjuk le, amíg az oldat sem a félretett oldattal, sem kénsavval nem ad csapadékot. Teljesen hasonlóan kaphatunk meg akármilyen oldható lúgot a fém szulfátjából $\text{Ba}(\text{OH})_2$ -dal, vagy akármilyen oldható sót a benne lévő sav Ba-sójából és a benne lévő fém szulfátjából.

Hogyan történhet *báriumvegyületek ártalmatlanítása*? Ha még vissza akarjuk nyerni a báriumot, legegyszerűbb kénsavval, vagy savas, például sósavas közegben valamilyen jól oldható szulfáttal lecsapni a BaSO_4 -ot. Később leírjuk, ebből hogyan kaphatjuk vissza a Ba-ot. Ha végleg ártalmatlanná akarjuk tenni a Ba-vegyületet, akkor bőséges mennyiségű gipszpeppel is összekeverhetjük. □

2.23.4 Kísérlet. Ha BaCO_3 -hoz, ásványtani nevén *witherit*hez jutunk, hasonlóan kaphatunk belőle BaCl_2 -ot, mint a csillagszóróporból. Mivel a karbonát csak semleges közeget állít be az oldáskor, a semleges oldathoz klóros vizet (0,5 ml/g witherit) adunk (ez savas közegben is oxidálja a vasat), majd némi witheritet. Persze, frissen égetett csillagszóró porával lúgos közeget is beállíthatunk. □

2.23.5 Kísérlet. Ha BaS_x -hoz jutunk, feloldhatjuk SZABADBAN sósavban. Itt azonban savas kémhatásig kell a sósavat adagolni, hogy kiforraláskor minden H_2S távozzon! Utána a leszűrt oldat tizedrészből szódával BaCO_3 -ot választunk le, jól kimossuk, és a továbbiakban úgy járunk el, mint az előző kísérletben. □

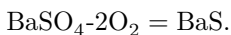
2.23.6 Kísérlet. Tegyük egy kis kiterőt. Li_2CO_3 -ot is lehet vásárolni. Ebből teljesen hasonlóan állítható elő — a megfelelő savat használva — bármilyen lítiumsó, mint a witheritből a BaCl_2 . A lúgosítással sincs gond, mert a Li_2CO_3 kicsit oldódik vízben, hidrolizál, és lúgos. □

2.23.7 Kísérlet. Bárium-nitrátot könnyen kaphatunk cserebomlással, mert oldódik ugyan, de hidegen nem jól. Készítsünk telített BaCl_2 oldatot, és addig adagoljunk bele telített NH_4NO_3 oldatot, amíg kristálykiválást tapasztalunk. Üveggolyón leszívátjuk a kristályokat. Tisztítani 4 ml/g vízből átkristályosítva lehet, 110 °C-on szárítható. Ez a legjobban tisztítható bárium-só. □

2.23.8 Kísérlet. 15 g $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ -ot porítsunk jól el! Keverjük össze 12 g vasporral, 1,5 g alumíniumporral és 2 g keményítőből 1 ml vízzel készült csirizzel. Töltsük egy papírtekercsbe, amit egyik végén leragasztunk. Jól szárítsuk ki radiátoron. Úgy ég, mint a csillagszóró: az is, saját készítésű csillagszóró. □

2.23.9 Kísérlet. Ismerkedjünk meg a bárium egy közeli rokonával, a *stronciummal* is! Ez is alkáli földfém. Vegyjele Sr, olvadáspontja 769 °C, forráspontja 1382 °C, móltömege 87,621 g/mol. Vegyületei nem mérgezőek. Kapható a *stroncianit* nevű ásványa, ami stroncium-karbonát, SrCO_3 . Ebből kloridja ugyanúgy állítható elő, mint báriumé witheritből. Tisztítható 0,5 ml/g forró vízben oldva és 0 °C-ra hűtve. Nitrátját úgy kaphatjuk, hogy ammonitrát oldatot főlöslégben lévő stroncianittal SZABADBAN szárazra párolunk. Cserebomlás játszódik le, a keletkező ammónium-karbonát pedig elbomlik. A maradékból kioldjuk a stroncium-nitrátot, szűrjük, és kristályosítjuk. Tisztítható 0,5 ml/g forró vízben oldva és 0 °C-ra hűtve. Ez a legkönnyebben tisztítható stronciumvegyület. A stronciumvegyületek tulajdonságai a kalciumvegyületek és a báriumvegyületek között állnak. Például a stronciumvegyületek is csapadékot adnak gipszes vízzel, de nem azonnal: a stroncium-szulfát oldhatatlanabb, mint a gipsz, de nem annyira, mint a bárium-szulfát. Oldata csapadékot ad báriumvegyületekkel. A stronciumvegyületek egyik fő felhasználása tűzijátékok előállítására. □

2.23.10 Kísérlet. Nyilván a stronciumot és a báriumot is szép lángfestése miatt használják tűzijátékok készítésére. A lángfestés könnyen ki is próbálhatjuk bárium-kloriddal: fűzőld lángot látunk. A reakció nem nagyon érzékeny. A bárium-szulfát nem adja a lángfestést: először vigyük a láng redukáló részébe (esetleg gyertyalángba):



A keletkezett BaS-ot egy csepp sósavval megcseppentve, a klorid már adja a lángfestést. A stroncium a lángot szép bíborpirosra festi. A lángfestési próbája elég érzékeny, nagyságrendben 10 µg kell. Jóval érzékenyebb, mint a báriumé és a kalciumé, amelyekből mg nagyságrend kell. A stroncium-klorid nem annyira illékony, mint a lítiumsók, ennek alapján megkülönböztethetjük a lítiumtól. Egy másik lehetőség, hogy a stroncium sók lángfestését a bárium sóké elfedi, míg a lítiumét nem. A szulfátot itt is előbb redukálni kell, majd sósavval megcseppenteni. □

2.23.11 Kísérlet. A bárium-oxidot az iparban bárium-karbonát izzításával állítják elő. Alacsonyabb hőfokon bomlik a bárium-nitrát. Egy agyagtégelyben (virágcserépben) melegítsünk bárium-nitrátot lassan vörösizzásig. Porózus, szürke, kemény massa képződik,

amit kihűlés után azonnal aprítsunk fel! Még mielőtt vizet szívna, felhasználható bárium-peroxid előállítására (lásd később). Kipróbálhatjuk, hogy vízzel — mint az égetett mész — lúggá egyesül. □

Vajon hogyan állítják elő a báriumot, stronciumot és a kalciumot? Az egyik módszer az olvasztott sók (rendszerint kloridok) elektrolízise (így Li-ot, Na-ot, K-ot, Mg-ot, Al-ot és sok más fémeket is meg lehet kapni). A másik módszer nagyon erős vákuumban Al-mal redukálni az oxidokat: a kapott fém elpárolog. Egyik se házi kísérletezésre való módszer.

2.23.12 Kísérlet. A bárium-oxidból kapott bárium-hidroxid nem valami tiszta. Tisztabban és egyszerűbben kaphatjuk úgy, hogy 15%-os, fővésben lévő nátronlúgba kevergetés közben számított mennyiségű szétdőrsölt $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -ot szórunk. A lehűléskor kiváló oktahidrát kristályokat 1 ml/g forró vízből átkristályosítva tisztíthatjuk, egyúttal leszűrve a nátronlúg szódatartalmából képződött karbonátot is. □

2.23.13 Kísérlet. A bárium-oxid érdekes tulajdonsága, hogy 550 °C körül megköti a levegő oxigénjét és *bárium-peroxid*dá alakul. (A Na levegőn elégetve szintén peroxiddá ég el: $2\text{Na} + \text{O}_2 = \text{Na}_2\text{O}_2$, a káliumból pedig egyenesen KO_2 képződik. A bárium-peroxid és a nátrium-peroxid a hidrogén-peroxid sóinak tekinthetők.) A bárium-peroxid magasabb hőfokon elbomlik, 800 °C-on már teljesen bárium-oxiddá alakul. Ezt a reakciót valamikor oxigéngyártásra használták. ** Ha bárium-peroxidot akarunk előállítani, a nedvességet még nem szívott bárium-oxidot tegyük egy lemezt, nehezen olvadó üvegcsőbe és mérjük le! A csövet éppen kezdődő vörösszázsra hevítve két–három órán keresztül vezessünk át a csövön levegőt. Hogy a levegő szén-dioxid- és vízgőzmentes legyen, először lúgoldaton, majd szárítóanyagon kell átvezetni. Ha kihűlt a cső, mérjük meg a súlynövekedést! Ha tizedrésznél kisebb, a levegőátvezetést meg kell ismételni. Az anyagot a következő néhány kísérlethez használhatjuk fel. ** □

2.23.14 Kísérlet. Bárium-peroxidból készítették régen a hidrogén-peroxidot. Legjobb olyan savval elbontani a bárium-peroxidot, amely a báriummal oldhatatlan sót alkot. Ha csak éppen ki akarjuk mutatni a keletkező hidrogén-peroxidot, akkor még a bárium-peroxidot sem kell tisztán előállítanunk, elég ha 1–2 g bárium-oxidot egy tégelyben éppen kezdődő vörös izzáson izzítunk pár percig, majd vízzel eldörzsöljük és kénsavval meg-savanyítjuk vagy szén-dioxidot vezetünk bele. Titán-szulfáttal kimutatható a hidrogén-peroxid. Így a kitermelés alacsony, a régiek kerülő utat használtak. A híg oldatot vákuumdesztillációval töményítették. Ezt nem ajánlatos házilag kipróbálni, mert a tömény oldat robbanásszerűen széteshet. □

2.23.15 Kísérlet. Darált jégbe állítsunk két kémcsövet. Az egyikbe 1/2 g bárium-peroxidot teszünk, amit az előző pont szerint készítettünk, a másikba 1–2 ml tömény kénsavat. Ha lehűltek, a kénsavas kémcsövet töröljük kívülről szárazra, és öntsük a kénsavat a bárium-peroxidra! Ózon keletkezik, amit szagáról felismerhetünk, és ezüsttel kimutathatunk, amint már tudjuk. □

2.24 Salétromsav

2.24.1 Kísérlet. Az *ásványi savak* (ásványokból nyerhető savak) közül a három legfontosabb a sósav, kénsav és a salétromsav. Az első kettőt már ismerjük, ideje, hogy

megismerkedjünk a salétromsavval is. Kémcsőben pár ml akkumulátorsavba tegyünk néhány vékony rézdrótot! Semmi nem történik, a réz nem oldódik kénsavban. Adjunk hozzá néhány szemcse valamilyen nitrátot, és ha kell melegítsük! A kémcsőből barna gázok szállnak fel, és a folyadék lassan kék lesz a rézvegyületektől. Ezen a módon mindenféle nitrátot kimutathatunk, bár nem valami érzékeny a próba. (Ha töményebb kénsavat használunk, érzékenyebb.) Az történt, hogy a kénsav a salétromból felszabadította a salétromsavat, ami viszont feloldja a rézet, ugyanis erős oxidálószer. A hígított vagy a tömény salétromsav minden fémeket megtámad, kivéve a tantálat és néhány nemes fémeket (Ir, Rd, Pt, Au). Nem oldja ugyan, de oxidokká alakítja az As, Sn, Sb, W és Mo elemeket.

A barna gázok az úgynevezett *nitrozus gázok*, főleg NO és NO₂. Elég mérgezőek (a salétromsav gőzeivel együtt), csak kb. ötször kevésbé veszélyesek, mint a klór, így nagyobb mennyiséget csak jól szellőző helyen vagy szabadban állítsunk elő!

A salétromsav oxidáló hatása a töménységgel egyre nő. Egészen híg, 3–5%-os salétromsav már nem oxidál. Mivel általában az oxidáló hatást is használni kívánjuk, a laboratóriumban a 25%-os savat nevezik hígított salétromsavnak. □

2.24.2 Kísérlet. Magunk is előállíthatunk salétromsavat, mindjárt a legtöményebb, úgynevezett *füstölő salétromsavat*. Legjobb lenne retortában dolgozni, de helyette a meghajlított kémcsövet fogjuk használni. Kálium-nitrátot öntsünk le ugyanannyi súlyú tömény kénsavval, és SZABADBAN homokfürdőben desztilláljuk a másik, jeges vízzel hűtött kémcsőbe. Az anyagokat úgy tegyük a kémcsőbe, hogy a felső fele ne szennyeződjön, mert a szennyezést a desztilláló sav a másik kémcsőbe mossa! Ha pár ml sárgás desztillátum (≈ 90%-os salétromsav, sűrűsége 1,50 kg/l, 21,5 M) összegyűlt, végezzük el a következő néhány kísérletet! Vigyázzunk, A SALÉTRÓMSAV NE CSEPPENJEN KEZÜNKRE VAGY RUHÁNKRA, MERT A SZÖVETET GYORSAN ELRONCSOLJA, A BŐRÖN PEDIG SÁRGA FOLTOT IDÉZ ELŐ ÉS ÉGÉSI SEBET OKOZ!

A sav sárga színét az okozza, hogy könnyen bomlik, és a keletkező nitrozus gázok részben oldódnak a savban. A teljesen tiszta salétromsav szintelen, de részben bomlik a $2\text{HNO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2\text{O}_5$ egyenlet szerint. A keletkező nitrogén-pentoxid, a salétromsav savanhidridje bomlik, elsősorban napfény hatására a gázfázisban: $2\text{N}_2\text{O}_5 = 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$. Ezért a tömény salétromsavat barna üvegdugós üvegben kell tartani. A sárga szín általában nem káros, sőt, sokszor azért használunk tömény salétromsavat, mert a nitrozus gázok hatására is szükségünk van. Sok nitrozus gázt tartalmaz a *vörös füstölő salétromsav*. Ilyet úgy kaphatunk, hogy az előállításakor egész kevés keményítőt adunk a salétromhoz, ami a sav egy részét redukálja nitrozus gázokká. Ha viszont zavarnak a nitrozus gázok, 60–80 °C-on száraz levegőt vezetve át a savon, kiűzhetjük őket. Füstölő salétromsavat kaphatunk — elég rossz kitermeléssel — ha retortában az olcsón kapható NaHSO₄ és a KNO₃ keverékét desztilláljuk. A keletkező salétromsav a magasabb hőfokon, ahol a reakció beindul, mindjárt el is bomlik vízre, oxigénre és nitrogén-dioxidra, és a lehűtőskor ezekből keletkezik újra a salétromsav.

Bár nem valószínű, de előfordulhat, hogy vásárolhatunk is salétromsavat. Tömény salétromsav néven általában 65%-ost (14,5 M) kapunk (a vízzel alkotott azeotrópos elegy 68%-os, ennek a forráspontja 120,5 °C), a legtöbb célra ez teljesen megfelelő. Ha nagyobb mennyiséget akarunk előállítani, akkor retorta helyett frakcionáló lombikot használhatunk üvegdugóval. Ezt később részletesen leírjuk. Mielőtt veszünk vagy nagyobb mennyiséget állítunk elő, feltétlenül olvassuk el a következő néhány kísérletet! Ha kiömlene a sav, mészkőporral, oltott mész porával vagy homokkal itassuk fel, de SEMMI ESETRE SE SZERVES

2.24.3 Kísérlet. Pár csepp füstölgő salétromsavat melegítsünk kémcsőben, és dugjunk a kémcsőbe izzó gyújtópálcát; A KEZÜNKRE VIGYÁZZUNK! A fejlődő oxigén és nitrózus gázok táplálják az égést. □

2.24.4 Kísérlet. Pár csepp füstölgő salétromsavat melegítsünk morzsányi faszénnel! Oxidálja, nitrózus gázok keletkeznek. □

2.24.5 Kísérlet. Pár csepp füstölgő salétromsavat melegítsünk morzsányi kénnel! Kénsavvá oxidálja, nitrózus gázok keletkeznek. A kénsavat felhígítás után kalcium-kloriddal vagy bárium-kloriddal mutathatjuk ki. □

2.24.6 Kísérlet. Pár csepp füstölgő salétromsavhoz cseppentsünk terpentint! A sav olyan gyorsan oxidálja, hogy lánggra lobban. A salétromsav erős oxidálószer, ha éghető anyagokkal (szalma, forgács, alkohol, stb.) érintkezik, TŰZET OKOZHAT! □

2.24.7 Kísérlet. Ejtsünk gyapjúszövet darabkára salétromsav cseppet! A gyapjú gyorsan megsárgul, majd szétesik. □

2.24.8 Kísérlet. A réz mellett az ólmot is, amit eddig nem tudtunk könnyen feloldani, oldja a salétromsav: nitrózus gázok keletkeznek és $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Az, hogy mennyi NO és mennyi NO_2 keletkezik, és keletkeznek-e más melléktermékek, attól függ, milyen tömény a salétromsav és milyen erősen redukáló a fém. Nagyjából azt mondhatjuk, hogy minél töményebb a sav és minél kevésbé erősen redukál a fém, annál magasabb oxigéntartalmú a melléktermék. Erősen redukáló fémekkel N_2 , sőt, akár NH_3 is keletkezhet! □

2.24.9 Kísérlet. Az előző kísérletnél említett tényen alapul a nitrátok egy érzékeny kimutatása. Az ismeretlen oldathoz adjunk nátronlúgot és főzzük fel! Ha van benne ammóniumvegyület, akkor az ammónia szagát érezhetjük. Most adjunk hozzá egy darabka alumíniumot! Ha van nitrát az oldatban, akkor ammóniává redukálódik, amit a szagáról felismerhetünk, vagy a szokott módon kimutathatunk. Ne Al fóliát használjunk, hanem egy tömör alumínium darabot: ha esetleg az Al felületén nitríd képződött, lúggal melegítve az leoldódik. Az így lúggal megmaratott Al darabbal végezzünk vakpróbát, és ha az negatív, ezt a darabot használjuk! Próbáljuk ki akármilyen nitráttal! A reakció érzékeny, de a nitritek is adják. Ha egy alkalmas műanyag eszközből, például fecskendőből kis elnyelető harangot fabrikálunk, és az ammóniát ismert faktorú és súlyú híg savban fogjuk fel, a maradék savat megitrálva meg is mérhetjük a nitrogéntartalmat. □

2.24.10 Kísérlet. Ha van salétromsavunk, a fém oldásával általában könnyen előállíthatjuk a fém nitrátját. Persze a fém oxidijából, hidroxidijából vagy karbonátijából is kiindulhatunk. Ha nincs salétromsavunk, a legtöbb fém nitrátját előállíthatjuk, ha főlőlegben vett karbonátját vagy hidroxidját ammónitrát oldattal melegítjük, persze, mivel ammónium-karbonát illetve ammónia képződik, SZABADBAN. A legtöbb így kapott nitrát vízből átkristályosítva tisztítható. Az ammónium-nitrát oxidálja és oldja a következő fémeket: Mg, Zn, Cd, Co, Ni, Pb, Bi, Cu, különösen, ha a fém finom eloszlású, illetve ha az ammonsalétrom megolvad. Nem reagálnak az Al, Mn, Cr, Fe, Sn, Sb, Hg. Fém-oxidokkal hevítve általában nitrát keletkezik, így reagál a MgO, CaO, SrO, BaO, CdO, ZnO, PbO, CuO, NiO, HgO, UO_3 , de nem reagál a BeO, Al_2O_3 , Cr_2O_3 , Sc_2O_3 , Fe_3O_4 , SnO_2 , MoO_3 és WO_3 .

Az előállításakor vigyáznunk kell, mert a nitrátok melegítésre könnyen elbomlanak. A magnéziumnál kevésbé nemes fémek nitrátjai oxigént adnak le és nitritekké alakulnak. A magnéziumtól egészen a rézig terjedő fémek nitrátjai nitrozus gázok leadásával oxidokká bomlanak. A réznél is nemesebb fémeknek még az oxidjai is elbomlanak és a fém keletkezik. □

2.24.11 Kísérlet. Hűtsünk le jégben pár ml nátrium- vagy kálium-nitrit oldatot, és adjunk hozzá ecetsavat! A folyadék megkékül. Felette barna nitrozus gázok láthatók. A kék színt a salétromossav anhidridje, a dinitrogén-trioxid okozza. A salétromossav gyenge sav, még az ecetsav is szabaddá teszi sóiból. Vízesztéssel az anhidridjévé alakul: $2\text{HNO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2\text{O}_3$. Ez könnyen elbomlik NO-vá és NO₂-vé. A salétromossav képes oxidálni is (az NO₂ is oxidál), de erős oxidálószerrel tovább oxidálják a stabilabb salétromsavvá. □

2.24.12 Kísérlet. Hat csepp vízhez adjunk négy csepp füstölő salétromsavat! A kapott, ≈ 50 %-os savat felezzük meg. Az egyik feléhez adjunk morzsányi hyperol tablettát, majd mindkét oldatba dobjunk rézdrót darabkát! A hyperolos savban kezdetben az oldódás sokkal lassabb. Ennek az oka, hogy a salétromsavban való oldódást a salétromossav katalizálja. A mindig jelen lévő salétromossav nyomokat a hidrogén-peroxid salétromsavvá oxidálja, így egy darabig nincs katalízis. □

2.24.13 Kísérlet. Vékony vasdrótot pár csepp híg salétromsavba mártunk: a fém gázfejlődés közben oldódik. Mártunk pár csepp füstölő salétromsavba: nincs oldódás. Ha most visszatesszük a híg savba, akkor sem pezseg. A jelenséget *passzíválódás*nak hívjuk. Az okozza, hogy a felületen összefüggő oxidréteg alakul ki. Ha a felületet akár csak megkarcoljuk, a passzíválódás megszűnik. Ez a jelenség már többször segítségünkre volt. Például lúgos oldatban vas anódot a fejlődő oxigén passzívál, és az tovább nem oldódik. Sók a vas anódnak ezt a passzivitását általában megszüntetik.

2.24.14 Kísérlet. Tiszta *nitrogén-oxidot*, NO kaphatunk, ha 3:1:2:3 molarányban vegyítünk KNO₂-et, KNO₃-ot, Cr₂O₃-ot és Fe₂O₃-at; az utóbbi kettő krómoxidzöld porfesték, illetve vasoxidvörös porfesték. A keveréket gondosan dörzsöljük össze porcelán mozsárban, majd melegítjük kémcsőben! A folyamat lényege, hogy a kálium-nitrit és a kálium-nitrát a króm(III)-oxid krómját 6-os oxidáció fokúvá oxidálja, miközben NO szabadul fel. A kapott gáz színtelen és nem oldódik vízben. Fogjunk fel egy kémcsőben víz alatt! Ha a kémcső negyedéig megtelt, egy szívószállal fújjunk a vízbe a gázhoz levegőt! A színtelen gáz megbarnul, és egy része elnyelődik a vízben. A reakció $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$, az NO₂ nitrogén-dioxid okozza a barna színt. Ez már oldódik vízben. Ha kezdetben a fejlődő gáz a kémcsőben barna színű, várjunk egy kicsit és SZELLŐZTESSÜNK, amíg a fejlődő gáz kiüzi a levegőt.

Kevésbé tiszta gázt kapunk, ha hígított salétromsavban (vagy hígabb kénsav-salétrom keverékben) rezet oldunk fel, de ezzel is sikerül a kísérlet. A nitrogén-oxid nehezen bomlik el nitrogénre és oxigénre, csak 1000 °C felett, ezért az égést nem táplálja, hacsak nem rendkívül magas hőfokú égésről van szó. □

2.24.15 Kísérlet. Tiszta nitrogén-dioxidot kaphatunk, ha teljesen száraz ólom-nitrátot kémcsőben melegítünk: $2\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{PbO} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$. Barna gázok keletkeznek (ez a nitrogén-dioxid színe), amelyeket só-jég keverékkel lehűtve a nitrogén-dioxid a $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ megfordítható reakcióban átalakul a halványabb színű dinitrogén-tetroxiddá és

ceppfolyósodik. Ezt elpárologatva tisztán kapjuk a gázt. Mivel nem lesz szükségünk a tiszta gázra, vezessük a keletkező gázkeveréket kevés vízbe! A víz nemsokára savas lesz. A reakció: $2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$. A keletkező salétromossav persze elbomlik NO és NO_2 keletkezésével. Az NO_2 újra reagál a vízzel, az NO pedig akkor, ha a levegő oxigénje NO_2 -vé oxidálja. Végül is ha van elég oxigén, az összes nitrogén-oxid és nitrogén-dioxid salétromsavvá alakul.

Mivel a kísérlethez nincs szükségünk tiszta gázra, úgy is eljárhatunk, hogy 50%-os vagy töményebb salétromsavban rezet oldunk. A keletkező nitrózus gázok főleg NO_2 -ből állnak, mivel a keletkező NO-ot is a tömény sav dioxiddá oxidálja. □

2.24.16. Salétromsav gyártása. Az előző kísérletből látjuk, hogy ha sikerül NO-ot kapnunk, abból a levegő oxigénjével már kaphatunk salétromsavat. Első ötletünk az lehet, hogy levegőt nagyon magas hőfokra hevítünk. Valóban gyártottak is így salétromsavat, 3000–4000 °C-os ívfényen fújva át a levegőt. A probléma az, hogy elég kevés NO keletkezik, és az is elbomlik, ha nem hűtjük nagyon gyorsan 1000 °C alá a gázt. Mivel az oxidáció nitrogén-dioxiddá és az elnyelés salétromsavként egyensúlyi reakció, így csak híg salétromsavat lehet kapni. Ezt műtrágyagyártásra használták.

A ma használatos eljárásban ammóniát égetnek el platina háló katalizátoron NO-vá. Ha a gázkeverék csak nagyon rövid ideig érintkezik a katalizátorral, akkor nem víz és nitrogén keletkezik, hanem közbelső termékként NO és víz. A gázkeveréket lehűtve a víz lecsapódik, a maradék elég tömény NO-ból 50–60%-os salétromsavat lehet kapni. Ezt tömény kénsavval (vízelvonószer) desztillálva majdnem 100%-os salétromsavat kaphatunk. Egy másik lehetőség, hogy oxigénnel égetjük el az ammóniát, így tiszta NO-t kaphatunk, amiből oxigénnel közel 100%-os salétromsav gyártható. □

2.24.17 Kísérlet. Az ammónia katalitikus oxidációját NO-vá úgy, ahogy a vegyi üzemekben történik, nehéz bemutatni. Először azt vették észre a vegyészek, hogy a barnakő katalizálja ezt a folyamatot. Ezt ki tudjuk próbálni; bár még nem minden vegyszerünk van meg hozzá, később visszatérhetünk rá. Keverjünk össze 1 g száraz ammónium-dihidrogén-foszfátot 2 g kálium-kloráttal és 0,2 g TISZTA barnakővel! A keverék 1/10-ét szórjuk kémcsőbe és melegítsük! Barna nitrózus gázok keletkeznek. Az ammónium-dihidrogén-foszfát bomlik, ammóniát ad le. A kálium-klorát oxigén ad le. Az oxigén oxidálja az ammóniát. A barnakő ezt az oxidációt és a klorát bomlását is katalizálja. □

2.24.18 Kísérlet. Még egy oxidja van a nitrogénnek, amivel elég gyakran találkozunk, ez pedig a dinitrogén-oxid, N_2O vagy *kéjgáz*. Nevét onnan kapta, hogy érzéstelenítésre és altatásra használják, kellemes érzést okoz. Mivel a légzést nem táplálja, oxigénnel keverve kell használni. Édeskés ízű és szagú, vízben nagyjából annyira oldódik, mint a szén-dioxid. Könnyű ugyan előállítani, mert az ammónium-nitrát hevítésénél keletkezik: $\text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$, de mellékfolyamatokban más nitrogén-oxidok is keletkeznek, amelyektől meg kell tisztítani. Ezért inkább készen vesszük: a habszifon patronok dinitrogén-oxidot tartalmaznak. Egy tejszínhab készítő szifonból — nem felfordítva — vezessük a gázt gumicsővel egy befőttes üveg aljára, ahol összegyűlik, mivel nehezebb a levegőnél. Izzó gyújtópálcával, égő kénnel, vékony vasdróttal megvizsgálva, úgy viselkedik, mint az oxigén. Ez azzal magyarázható, hogy könnyen szétesik nitrogénre és oxigénre és szétesése még hőtermelő is. A légzést azonban nem táplálja, megfulladunk benne! Az ízén kívül egy eltérés az oxigéntől, hogy a nitrogén-oxidot nem oxidálja. □

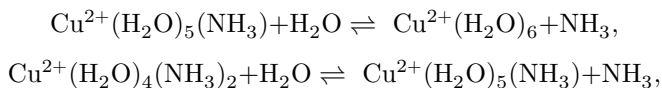
2.25 Komplex vegyületek

2.25.1 Kísérlet. Tudjuk, hogy a kristályos réz-szulfát melegítéskor elveszti víz tartalmát és kifehéredik. (Izzításkor elbomlik, kén-trioxidot ad le és fekete réz(II)-oxid marad vissza.) Mi okozza a színváltozást? A kristályos réz-szulfát képletét tulajdonképpen $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ -nak kellene írni. Mi ez a furcsa szögletes zárójel? A vízben oldott rézvegyületek kék színét az okozza, hogy a rézionokat hat vízmolekula veszi körül, $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ kation képződik. Két vízmolekula gyengébben kötődik, a kristályban már csak négy marad. Ennek a *komplex*, magyarul összetett ionnak a színét látjuk a kristályban. A komplex ionokat szögletes zárójelbe szoktuk tenni; ennek a komplex ionnak a töltése +2. Ha kiszárítjuk a kristályokat, távozik a víz és elvész a kék szín.

Kevés réz(II)-szulfát oldathoz adjunk kémcsőben tömény sósavat! Sárga oldatot kapunk, aminek a színét a $\text{H}_2[\text{CuCl}_4]$ komplex sav okozza. A vízmolekulák helyét klorid ionok foglalták el, $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ komplex anion képződik. Ha felhígítjuk az oldatot, zöld, majd kék lesz, ahogy a kloridionok helyét fokozatosan vízmolekulák foglalják vissza. A zöld szín a sárga és a kék keveréke. \square

A komplex ionok tulajdonképpen nagyon gyakoriak. Nagyon sok fémiot 4 vagy 6 vízmolekula vesz körül vizes oldatban, de a szám lehet más is az ion méretétől függően. Ezeket nem szoktuk kiírni, mert minden vizes oldatban ez van.

2.25.2 Kísérlet. Már kipróbáltuk, hogy ammónia oldatot adva egy rézsóhoz, előbb világoskék réz(II)-hidroxid keletkezik, ami azúrkék színnel feloldódik az ammónia feleslegében. A réz(II)ion körüli vízmolekulákat az ammónia molekulák fokozatosan szorítják ki, előbb egyet, majd kettőt, hármat, végül négyet. Ha sok az ammónia, akkor öt majd hat ammónia molekula is elhelyezkedhet a központi rézion körül: tömény ammóniaoldatban öt, cseppfolyós ammóniában hat. Ha a szabad ammónia koncentráció 0,1 mol, akkor gyakorlatilag minden rézion tetramin komplexként van jelen. ** A komplex ionok disszociálnak:



stb. Sokszor a vízmolekulákat nem tüntetik fel. Mi is ezt fogjuk tenni. Az első bomlás állandóját jelöljük K_1 -gyel, a másodikét K_2 -vel, stb., azaz legyen

$$\begin{aligned}\frac{[\text{Cu}^{2+}] \cdot [\text{NH}_3]}{[\text{Cu}^{2+}(\text{NH}_3)]} &= K_1, \\ \frac{[\text{Cu}^{2+}(\text{NH}_3)] \cdot [\text{NH}_3]}{[\text{Cu}^{2+}(\text{NH}_3)_2]} &= K_2,\end{aligned}$$

stb. Ha az első négy egyenletet összeszorozzuk, akkor a tetramin komplex teljes bomlási állandóját kapjuk:

$$\frac{[\text{Cu}^{2+}] \cdot [\text{NH}_3]^4}{[\text{Cu}^{2+}(\text{NH}_3)_4]} = K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4.$$

A konkrét esetben 18 °C-on $K_1 = 10^{-4,25}$, $K_2 = 10^{-3,61}$, $K_3 = 10^{-2,98}$ és $K_4 = 10^{-2,24}$, így $K = 10^{-13,08}$. Gyakran a bomlási állandók negatív logaritmusát adják meg:

$pK_1 = 4,25$, $pK_2 = 3,61$, $pK_3 = 2,98$ és $pK_4 = 2,24$, így $pK = 13,08$. A pentamin és hexamin komplexek K_5 és K_6 bomlási állandója nagyobb, mint 1, így ezek csak nagyon nagy ammónia tartalomnál képződnek.

Míg a réz ion legjobban a ≈ 800 nm hullámhosszú fényt nyeli el, a mono-, di-, tri- és tetramin komplexek maximális elnyelése rendre ≈ 740 , ≈ 680 , ≈ 630 és ≈ 580 nm hullámhossznál van (25°C -on, 2 M-os ammónitrátban), ezért változik a szín. A pentamin komplex fényelnyelésének maximuma ≈ 645 nm, tehát a színváltozás iránya megfordul.

A szín nemcsak változik, hanem mélyül is, több fényt nyel el az oldat. A rétegvastagsággal az átmenő fény erőssége exponenciálisan csökken. Legegyszerűbb ezt a szabályosságot logaritmussal kifejezni:

$$\lg \frac{I_0}{I} = \varepsilon \cdot \ell \cdot c,$$

ahol I az átmenő fény erőssége, I_0 a beeső fény erőssége, c a koncentráció (rendszerint mol/l-ben), ℓ a fényút hossza az oldatban (rendszerint cm-ben), ε pedig az anyagra jellemző állandó. A kifejezés közelítés, szigorúan véve ε csak híg oldatokra állandó, természetesen függ a fény hullámhosszától és kisebb mértékben a hőmérséklettől, más ionoktól, stb. Például a réz tetramin komplexére $\varepsilon_{578 \text{ nm}} \approx 55 \text{ l}/(\text{mol}\cdot\text{cm})$. **

A búzavirágkék színű réz(II)-tetramin-szulfátot kristályosan is megkaphatjuk, bár nem lesz rá később szükségünk. Oldjunk fel nagyobb kémcsőben melegítve 2,5 g kristályos réz-szulfátot ugyanannyi súlyú vízben. Az oldatot lehűtve finom kristálypor válik ki. Adjunk az oldathoz annyi tömény ammónium-hidroxidot (kb. 3,75 ml), hogy a keletkező csapadék éppen feloldódjék! Rétegezzünk pipettából 2 cm vastag rétegben 50%-os denaturált szeszt fölé, majd arra 3,75 ml denaturált szeszt. Lefedve hagyjuk pár napig állni! Szép kék színű monohidrát kristályok válnak ki. Leszűrve és szűrőpapír között szárítva a kristályok elállnak egy darabig, de lassan ammóniát veszítenek. Az anyalúgot felhasználjuk a következő kísérlethez. □

2.25.3 Kísérlet. Tegyük az előző kísérletben kapott anyalúgba fényes vasszeget. Nem válik ki rá réz, mert a réz ionok koncentrációja túl kicsi, ha elég sok az ammónia. □

Sokszor egy váratlan viselkedés komplexképződésre vezethető vissza. Például az ólom azért oldódik fel aránylag könnyen ecetben, mert komplex ionok képződnek. Még az egyébként vízben gyakorlatilag oldhatatlan ólom-szulfátból is feloldódik 1–2% tömény nátrium-acetát oldatban, és 3% tömény ammónium-acetát oldatban.

2.25.4 Kísérlet. Egy gyakran használt rézkomplex a *Fehling-reagens*. 100 ml-ben a Fehling-A oldat 6,93 g kristályos réz(II)-szulfátot tartalmaz, a Fehling-B oldat pedig 34,6 g kálium-nátrium-tartarátot és 10,0 g nátrium-hidroxidot. A Fehling-oldat úgy áll elő, hogy a kettőből egyenlő térfogatot elegyítünk; ez már nem tartós. A nátrium-hidroxid réz(II)-hidroxidot választana ki, amit azonban a tartarát mélykék komplexként felold. A központi ion körüli molekulákat vagy ionokat a komplex ionban latin eredetű szóval *ligandum*oknak hívjuk. Minden tartarát ion két ponton kapcsolódik a központi ionhoz, azt mondjuk, hogy ez a ligandum *kétfogú*. A víz és az ammónia egyfogú ligandumok voltak. Egy réz(II) ionhoz két tartarát ion kapcsolódik. A kapcsolódó ligandumok fogainak összes száma a központi ion *koordinációs száma*, ami itt négy. Láttuk, hogy vízzel szemben a réz(II) ionok koordinációs száma hat, ammóniával szemben négy, de ha sok az ammónia, felmehet ötre, sőt, hatra is.

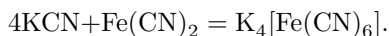
** Gyakran használ komplexképző az etilén-diamin-tetraecetsav (rövidítve EDTE, angol rövidítése EDTA) anionja. Ez hatfogú ligandum: két kapcsolódási pont a két amin csoport, négy pedig a négy acetát csoport. Nagyon sok fémvel képez különböző, de általában nagy stabilitású komplexet: ha ugyanis az egyik „foga” már „bekötött” a fémionhoz, a többi közel van, és könnyen bekötnek azok is. A legkülönbélebb fémionok titrálására használják. Indikátornak olyan komplexképzőt használnak, amely az adott fémionnal gyengébb, de színes komplexet képez. Ha a fémion fogytán van, az EDTE kiszorítja az indikátort a komplexéből és a szín megváltozik. Nagy előnye az EDTE-nek, hogy a pH-val szabályozható az anion koncentrációja. Ha $\text{pH} > 10$, akkor minden EDTE anionként van jelen. Kisebb pH-nál a disszociációja visszaszorul, az anion koncentrációja csökken, így a komplexképzés nehezebb. Olyan, mintha a komplex bomlási állandója nőtt volna. Egyébként általában a dinátrium-sóit használják. **

A Fehling-reagenst redukáló szerek kimutatására használják a szerves kémiában. Ha például szőlőcukrot adunk hozzá és felmelegítjük, akkor vörös csapadék, Cu_2O válik ki: a szőlőcukor a réz(II)ionokat réz(I)ionokká redukálja, ami már nem képez komplexet, és oxidként kiválik. Egy másik hasonló reagens a *Benedict reagens*. Ez úgy készül, hogy 17,3 g trinátrium-citrátot és 10,0 g vízmentes nátrium-karbonátot feloldunk 80 ml meleg vízben, majd lassan hozzáöntjük 1,73 g kristályos réz(II)-szulfát 10 ml vízzel készített oldatát. A reagens tartósabb, mint a Fehling-oldat, és ugyanúgy használható. Itt a citrát anion, mint kétfogú komplexképző tartja oldatban a réz(II) ionokat. Valamelyiket próbáljuk ki!
□

2.25.5 Kísérlet. Az egyik legfontosabb komplex vegyület a *sárgavérلۇgسۇ*. Tulajdonképpen már találkoztunk is vele, amikor a magunk készítette kálium-karbonátot az úgynevezett *berlini kék* reakcióval ciánra vizsgáltuk. A képlete $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Mint látjuk, megtalálható benne a CN^- cián-csoport. Ennek ellenére a sárgavérلۇgسۇ nem mérgező, a cián a szögletes zárójelbe tett komplex anionban meg van kötve, és nem adja a szokásos cián-reakciókat. Ugyanígy nem adja a sárga vérلۇgسۇ a szokásos vas reakciókat sem, például meglúgosítva nem válik le vas(II)-hidroxid csapadék, a komplex nagyon stabil. Azért ne vicceljünk a sárga vérلۇgسۇval, mert erősebb behatásra felszabadulhat a cián, például töményebb kénsavval! Tulajdonképpen először felszabadul a $\text{H}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ komplex sav, a hidrogén-ferro-ciánsav, majd melegítve az elbomlik $\text{Fe}(\text{CN})_2$ vas(II)-cianidra és HCN *hidrogén-cianidra*. Erősen felhevítve is szétesik a sárga vérلۇgسۇ:



EZEKET NE PRÓBÁLJUK KI! A HIDROGÉN-CIANIDBÓL ÉS SÓIBÓL MÁR 50–100 mg HALÁLOS, RÁADÁSUL AZONNAL BEÁLL A HALÁL! Ez a folyamat lényegében a berlini kék reakció részeként lejátszódó reakció fordítottja. Ott a KCN tartalmú oldathoz adott vas(II)-sóval első lépésben $\text{Fe}(\text{CN})_2$ keletkezett. Ezt a csapadékot a KCN feleslege feloldja sárgavérلۇgسۇ képződése közben:



A sárgavérلۇgسۇ hevítésénél ennek a folyamatnak a fordítottja játszódik le: az anyag szétesik kálium-cianidra és vas(II)-cianidra, ami tovább bomlik vas-karbidra és nitrogénre. Még erősebb hevítésre a vas-karbid is elbomlik vasra és szénre.

A sárgavérűlűsöt 1700 körül Berlinben fedezték fel. Ha nitrogén tartalmú szerves anyagokat (vér, köröm, bőr, szaru, gyapjú) hamuzsírral és vasporral keverve hevítünk, majd az olvadékot kilúgozzuk, sárgavérűlűs kristályosítható ki. Észrevették, hogy ez az anyag vas(III) sókkal sötétkék színt ad. Kezdetben $KFe[Fe(CN)_6]$ keletkezik, ez az *oldható berlini kék*. Kolloid oldatot ad, de oxálsavban oldódik. A vas(III) só feleslegével az oldhatatlan berlini kék, $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ csapódik ki. A berlini kék híg savakban nem oldódik, de lúgok elbontják. Ezt a reakciót használtuk fel a cián kimutatására. Egyébként erősebb kénsavval a berlini kék is elbomlik: először felszabadul a hidrogén-ferro-ciánsav, majd szétesik. EZT SE PRÓBÁLJUK KI! Innen a hidrogén-cianid régi neve, a *kéksav*.

Próbáljunk meg sárgavérűlűsöt vásárolni! A borászatban használják, mert a bort esetleg szennyező réz- és vassókkal csapadékot képez. A régi eljárással is előállíthatjuk, de per-se SZABADBAN, mert nagyon bűdös füst képződik. A kitermelés nagyon rossz, de annyi biztosan keletkezik, hogy a berlini kék reakciót megkapjuk. Egyébként 0,025 M-os oldatát szokás használni, trihidrátként kristályosodó sárga anyag, többször átkristályosítva tisztítható, de ne melegítsük 60 °C fölé!

Adjunk bármilyen vas(III) só oldatához sárgavérűlűsű oldatot: ha kevés a vas, sötétkék kolloid oldat keletkezik, ha több, sötétkék berlini kék csapadék. Vas(II) sókkal fehér $K_2Fe[Fe(CN)_6]$ csapadék válik ki, ami levegőn gyorsan oxidálódik $KFe[Fe(CN)_6]$ -tá, de annak egy oldhatatlan formájává. Egyébként a sárgavérűlűsű más fémionokkal is csapadékot ad: rézzel zöldesbarnát, ólommal barnát, cinkkel, mangánnal és kalciummal fehérét, kobalttal zöldet, nikkellel világoszöldet. A berlini kék híg salétromsavval zöld csapadékká oxidálható, ez a a *berlini zöld*. □

2.25.6 Kísérlet. Mennyire jó egy reakció egy anyag kimutatására? Ezt többféleképpen is lehet érteni. Az egyik, hogy mennyi a legkisebb anyagmennyiség, amit a reakcióval ki lehet mutatni. Ezt *azonosítási határnak* hívjuk, és a latin ‘limes’ határ és ‘identifikáció’ azonosítás szavak nyomán L.I.-vel jelöljük. Sokszor a grammban mért azonosítási határ pI-vel jelölt negatív logaritmusát adjuk meg. Például a lángfestés azonosítási határa nátriumra L.I. = 4 ng, így pI = 8,4. Még rövidebben lángfestés Na (8,4).

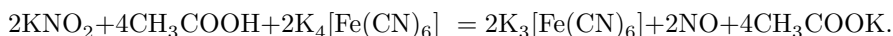
Oldatoknál az azonosítási határ általában függ attól, hogy mekkora anyagmennyiségben próbáljuk meg az adott anyagot kimutatni. Például gipsz csapadék híg oldatokból nem fog kiválni. Így fontos a *határkoncentráció* is. A koncentráció szó latin alakja nyomán ezt L.C.-vel jelöljük, a negatív logaritmusát pedig pC-vel. A berlini kék reakciónál ez 32‰‰, azaz pC = 4,5. Célszerű az azonosítási határral együtt megadni, ez rövid alakban a berlini kék reakcióra (5,8–4,5), azaz az azonosítási határ 1,6 μg. Elöl áll az azonosítási határ, utána a határkoncentráció. A kötőjel arra emlékeztet bennünket, hogy a különbséget képezve megkapjuk az oldat (grammban mért) tömegének negatív logaritmusát. Ez itt most 1,3, azaz a tömeg kb. egy vízcsepp tömege, tehát cseppreakciónál van szó. Egyébként ha például 1 μl térfogatból szűrőpapíron végezzük a kimutatást, az azonosítási határt tovább javíthatjuk.

Egy harmadik jelentése annak, hogy egy reakció jó: hogy más anyagok nem adják a reakciót, azaz *szелеktiv*. Kicsit mást jelent az, hogy más anyagok zavarják-e a reakciót. Azt is meg fogjuk tehát adni, hogy a *határhányados* mennyi. A latin eredetű ‘proporcio’ hányados szó nyomán ezt L.P.-vel jelöljük. Például L.P. = 1% azt jelenti, hogy ha a keresett ion a másik ion századrésze, akkor már ki tudjuk mutatni. A negatív logaritmust itt pP-vel jelöljük. Ezt az érzékenységet leíró két szám után adjuk meg az egyes ionokra. Például a berlini kék reakcióra ezt írhatjuk: (5,8–4,5; alkáli földfémek, Be, Y, Ln, Nb,

Ta, Pd, Au, Al, As, Sb^{3+} , Te: 2); (5,3–4,0; Cr, Th, Mn, Ni, Pt, Rh, Ag, Zn, Cd, Bi, Pb, Se: 1,5; Ti, Zr, V, W, Co, Hg, Tl, Sb^{5+} : 1,3); (4,1–2,8; MoO_4^{2-} : 0,7; UO_2^{2+} : 0,3); fluorid, foszfát és szerves hidroxí savak nem lehetnek jelen, mert a vasat komplexbe viszik. Ebből leolvashatjuk hogy cseppreakcióban a vas(III)iont a szokásos érzékenységgel mutathatjuk ki sok ion, például kalcium és alumínium mellett. Kicsit kisebb érzékenységgel, de kimutathatjuk cink 32-szeres és kobalt 20-szoros mennyisége mellett is, még kisebb molibdát ionok 5-szörös mennyisége mellett, stb.

2.25.7 Kísérlet. Visszanyerhetjük-e a berlini kékből a sárgavérلúgsót? Elég könnyen: mésszel melegítve vízben jól oldódó $\text{Ca}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ keletkezik, mert a berlini kék elbomlik vas(III)-hidroxid kiválásával. Ha az oldathoz tömény KCl-ot adunk, rosszul oldódó kettős só, $\text{K}_2\text{Ca}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ válik ki. Ezt hamuzsír kis fölöslegével főzve a kalcium leválik karbonátként, és a sárgavérلúgsó kikristályosítható. □

2.25.8 Kísérlet. A sárgavérلúgsó közeli rokona a *vörösvérلúgsó*. Ugyanúgy komplex vegyület, de benne vas(III)ion van, képlete $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Nem lesz rá feltétlenül szükségünk. Kicsit bomlékonyabb, mint a sárgavérلúgsó, így mérgezőnek számít. Sárgavérلúgsóból oxidálószerrel állítható elő. Például oxidálhatunk nitrittel ecetsavas közegben SZABADBAN:



A nitritet és az ecetet kis feleslegben vegyük. A vörösvérلúgsót aztán kikristályosítjuk. Rubinvörös kristályokban, kristályvíz nélkül válik ki. Tisztítani 1,3 ml/g forró vízből többször átkristályosítva lehet. Elég erős oxidálószer. Vas(II)ionokkal berlini kéket ad: oxidálja a vas(II)-t vas(III)-má, miközben maga sárgavérلúgsóvá redukálódik. Vas(III)ionokkal nem ad csapadékot, csak barna színeződést. Ez a barna oldat lassan bomlik mérgező $(\text{CN})_2$, *cián* vagy *dicián* felszabadulásával. Redukálószer, például cink vagy ón(II) vegyületek hatására a barna oldatból berlini kék válik ki. A vörösvérلúgsó is ad színes csapadékot más fémionokkal is: nikkellel sárgásbarnát, kobalttal barnásvöröset (ammónias-ammóniumsós oldatban intenzív sárgásvörös színeződést). □

2.25.9 Kísérlet. Más módon is kimutathatjuk a vasat: vas(III) só enyhén sósavas oldatába köpjünk bele vagy adjuk hozzá vöröshagyma (ne lila hagyma) levét! Vörös színeződés keletkezik. A reakciót a nyál illetve a hagyma rodanid tartalma okozza, a HSCN *rodán-sav* valamilyen sója. Ez sem reagál vas(II) ionokkal. Még valamivel érzékenyebb reagense a vas(III) vegyületeknek, mint a sárgavérلúgsó. Mint látjuk, a rodanidok is rokonai a ciánnak. Ha rodanidot veszünk, lehetőleg ammónium-rodanidot vegyünk, mert a kálium-rodanidot magunk is előállíthatjuk. □

2.25.10 Kísérlet. Kálium-rodanid előállítására porítsunk el 20 rész sárgavérلúgsót majd enyhe melegítéssel víztelenítsük! Jól keverjük össze 7 rész hamuzsírral és 14 rész kénporral. A keveréket tégegyben enyhe hevítéssel olvasszuk össze, míg folyóssá nem válik, és egy üvegbottal kivett próbája vízben oldva vas(III)-klorid oldattal már nem kék, hanem vérvörös színeződést ad. Az oldadékot öntsük vaslemezre, lehülés után törjük össze! Oldjuk alkoholban, szűrjük és hagyjuk kristályosodni! Egy napi állás után az anyalúgot leöntjük, és a következő adag oldására használjuk fel vagy lepárolva az alkoholt kristályosítjuk. Alkoholból átkristályosítva tisztítható. Ha sok kloridot tartalmazna, vízből kell átkristályosítani. □

2.25.11 Kísérlet. A rodanidokat 0,1 M koncentrációjú oldatban szokás használni. Adjunk vas(III) só kissé savas oldatához rodanid oldatot: vérvörös színeződést kapunk. A vas(II)ionokat előbb vas(III)-má kell oxidálni. Ez történhet 30–50 mg perszulfáttal, pár csepp kálium-permanganáttal, hidrogén-peroxiddal vagy lúgos oldatban akár levegővel is. A reakció érzékenysége (6,6–5,3) vagy (5,9–4,6 Co, Cr: 2,5) vagy (6,2–4,9 Ni, Cu: 2,8). □

2.25.12 Kísérlet. Sok szép színes reakciót ismerünk már. Felhasználhatjuk őket titkosíráásra. A halványabb oldattal írunk, majd a megszáritott, szinte láthatatlan írást a másik oldattal bepermetezzük! Használhatók például a sárgavérlúgsó színes reakciói. □

2.25.13 Kísérlet. Látványosan mutathatjuk be a vas színes reakcióit, ha sárgavérlúgsóval, csersavval, rodaniddal, szalicilsavval festünk feliratokat papírra, majd a megszáradt papírt híg vas(III)-klorid oldattal permetezzük be egy műanyag porlasztó palackkal. □

2.25.14 Kísérlet. A rodanidok felhasználhatók kobalt kimutatására is a *Vogel-reakció*val. A vizsgálandó erősen sósavas oldathoz adjunk szilárd kálium- vagy ammónium-rodanidot. Az oldat megkékül. A kék szín amilalkohollal vagy 1:10 arányú amilalkohol-éter eleggyel kirázható. Érzékenység (7,7–8,4). Hígításra a kék színű $\text{H}_2[\text{Co}(\text{SCN})_4]$ komplex elbomlik. A vas(III)ion persze zavar. Tioszulfáttal vas(II)-vé redukálható. □

2.25.15 Kísérlet. Van még egy fontos komplex vegyület, amely akár a kobalt, akár a kálium kimutatására használható, ez a $\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$. Ha semleges kobaltsó oldatához kevés ecetsavat, majd tömény kálium-nitrit oldatot adunk, bizonyos idő után vagy enyhe melegítésre sárga csapadék alakjában válik ki. A kobaltot a salétromossav oxidálja három vegyértékűvé. Mikroszkóp tárgylemezen az érzékenység (7).

Kálium kimutatására frissen készített $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ oldatot használunk. Ez úgy készül, hogy 1 g kobalt-nitrátot 3 ml vízben oldunk, hozzáadjuk 2 g NaNO_2 3 ml vízben készült és 3 csepp 20 %-os ecettel megsavanyított oldatát. A vizsgálandó oldat ecetsavas legyen. Érzékenység (3,5–4,3). Az ammónium és a lítium sók is adják a reakciót. □

2.26 Feloldjuk az ezüstöt és az aranyat

2.26.1 Kísérlet. Az ezüst-nitrát fontos reagens. Bármilyen ezüsttárgyból előállíthatjuk; ezek a tárgyak ezüst-réz ötvözetek. Oldjuk fel a tárgyat forró hígított salétromsavban SZABADBAN!. Azért tanácsos hígabb savat használni, mert a 25–30 %-os sav úgy oxidál, hogy NO keletkezik. Ha 50 %-os savat használunk, akkor NO és NO_2 egyformán keletkezik, míg tömény salétromsavnál NO_2 . Hígabb savból tehát kevesebb fogy, így a minimálisan szükséges töménységet érdemes használni. AgNO_3 mellett $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ is keletkezik. A kettőt úgy is elválaszthatnánk, hogy az oldatot szárazra pároljuk és a maradékot megolvasztjuk. A réz-nitrát elbomlik réz(II)-oxiddá, az ezüst-nitrát vízzel kioldható mellőle. Inkább egy másik utat fogunk követni, amellyel más fém szennyezésektől is megszabadulhatunk.

Adjunk az oldathoz 15–20 %-os sósavat! Az ezüst-klorid oldhatatlan vegyület, kiválik az oldatból, míg a többi fémet a sósav oldatban tartja. Szűrjük le a csapadékot és a szűrőn alaposan mossuk ki, amíg a lecsepegő szűrlet már nem savas! A csapadékot keverjük el vízzel és adjunk hozzá lehetőleg tiszta nátrium-hidroxidot! Szőlőcukorral (vagy formaldehiddel) redukálhatjuk a lúgos keveréket 60 °C-on ezüstté: apránként adjunk hozzá tiszta szőlőcukor oldatot. A felesleget kerülni kell! Úgy ellenőrizhetjük, hogy a reakció teljes-e, hogy a keverékből kiveszünk egy keveset, szűrjük, gondosan kimossuk a lúgos reakció

megszűnéséig, és kipróbáljuk, hogy tiszta salétromsavban tisztán oldódik-e? Ha nem, akkor még van benne AgCl. Ha már nincs, az egészet leszűrjük, és gondosan kimossuk. Egyébként a redukció szódaoldatban is megtörténik.

A kapott tiszta ezüstöt mézskőbe vagy még jobb, CaO-ba vajt mélyedésben fúvólánggal regulussá olvaszthatjuk össze. Ha csak az éppen szükséges ideig melegítjük, majd redukáló lángban hűtjük le, a kapott Ag nagyon tiszta. Hosszabb ideig hevítve oxigént old, ami lehűléskor kiválik, a regulus „fröccsen”. □

2.26.2 Kísérlet. Persze ha ezüst-nitrátot akarunk készíteni, akkor nem kell az ezüstöt megolvasztani, egyszerűen feloldjuk salétromsavban. Szárazra is párolhatjuk, akár meg is olvaszthatjuk. Vigyázzunk vele, mert erősen maró anyag! Nem véletlenül hívták régen pokolkőnek. Készítsünk belőle 0,1 M-os oldatot. AgNO₃-oldat *kimoshatatlan tintaként* is használható: szerves anyagok (ruha) redukálják, fekete Ag válik ki. □

2.26.3 Kísérlet. Az AgNO₃ kiváló kémszere a kloridoknak, az AgCl-ra $pK_o = 9,8$. Sósav feleslegével azonban az oldhatósági szorzat nő, és 1 M-os HCl-ben már 100-szor annyi AgCl oldódik, mint tiszta vízben, bár ez még mindig kevés. A jelenséget komplexképződés okozza. Próbáljuk ki: bármilyen klorid oldatához adjunk pár csepp ezüst-nitrát oldatot: fehér túrós csapadék képződik, amelyik erős napfényen lila, majd fekete lesz: fényérzékeny, a napfény hatására Ag válik ki. A kloridok rokonaival, a bromidokkal és a jodidokkal hasonló a reakció, oldhatatlan sárgás-fehér AgBr ($pK_o = 12,1$) illetve sárga AgI ($pK_o = 15,9$) válik ki. Ezek is fényérzékenyek.

A reakciót felhasználhatjuk Cl⁻ ionok mérésére. Az AgNO₃-ból egyszerű súlyméréssel pontos oldat készíthető. Addig adagoljuk a mérendő oldathoz cseppenként, amíg még képződik csapadék. Pontos méréseknél a már majdnem megtitrált oldat kis részletét kivesszük, és az egyik feléhez AgNO₃, a másikhoz NaCl oldatot adunk. A két oldat legyen egyformán híg és egyforma mennyiségű. Ha a két rész egyformán lesz zavaros, elértük a végpontot.

2.26.4 Kísérlet. A valamilyen kloridból kapott AgCl csapadékhoz adjunk ammónia oldatot! A csapadék komplexképződés miatt feloldódik, [Ag(NH₃)₂]Cl képződik. Nehezebben, de az AgBr is feloldódik ammóniában, az AgI azonban már nem. Az AgCl ammónium-karbonátban is oldódik, de a másik két, oldhatatlanabb csapadék nem. Savanyításra (sósav vagy salétromsav) újra leválik mindkét csapadék. A tiszta ezüst kinyerésénél is beiktathatunk még egy tisztítási lépést: az AgCl csapadékot feloldhatjuk tömény ammónia oldatban, amiben a szennyezések nem oldódnak, majd savanyítással újra leválasztjuk az AgCl-ot.

Az AMMÓNIA S AVANYÍTÁS OLDATOKAT NE HAGYJUK SOKÁIG ÁLLNI! Lassan durranó ezüst, Ag₃N képződik, erősen lúgos oldatokban gyorsabban. Ez igen robbanékony vegyület. Ha például ilyen anyagból kéreg válik ki az oldat tetején, rendszerint egyszerű összerázásra felrobban! Savanyítsuk meg az oldatot sósavval, és a levált csapadékot gyűjtjük össze az ezüst visszanyeréséhez. □

2.26.5 Kísérlet. Jól kimosott kémcsőben adjunk ezüst-nitráthoz cseppenként ammónia oldatot, amíg a kezdetben leváló ezüst-oxid csapadék feloldódik, majd öntsünk hozzá 10%-os szőlőcukor oldatot! Melegítsük vízfürdőn! Néhány perc múlva a kémcső belső felületét tükörfényes ezüst réteg vonja be. Más redukáló szer, például formaldehid is adja a reakciót. □

2.26.6 Kísérlet. Adjunk forró fél százalékos zselatin oldathoz kevés AgNO_3 -ot, majd pár csepp konyhasó oldatot! Nem válik ki csapadék, csak kolloid oldat képződik, amit helytelenül *emulzió*nak szokás nevezni. Ez a fotó emulzió kihűlve megdermed, de felmelegítve önthető. Régebben a fényképezéshez sötétben készült, AgCl -ot, AgBr -ot és AgI -ot tartalmazó, megfelelően kezelt fotó emulziót megolvasztva átlátszó műanyag filmre vagy sima, fényes papírra öntöttek igen vékony rétegben. Megvilágítva a filmet, azon rejtett kép keletkezett: ahol fény érte, ott nagyon kevés ezüst vált ki. A rejtett képet „kémiai erősítésnek” vetették alá: úgynevezett „előhívóval” kezelték sötétben. Az előhívó szerves redukálószer (rendszerint metol és hidrokinon) lúgos (szóda vagy hamuszír) oldata, amit belekevert nátrium-szulfittal védtek az oxidációtól. Az előhívó mintegy milliószorosan felerősítette az ezüstkiválást. Ahol a filmet sok fény érte, sötét lett a kivált ezüستől, azaz negatív kép jött létre. Az ezüstsók maradékának kioldása után („rögztítés”) a filmet gondosan kimosták és megszáritották. A kapott negatív képet fotópapírra kivetítve, és azzal megismételve az eljárást, kapták a pozitív képet.

Kezdetben a fotó emulziók csak a kék fényre voltak érzékenyek, de később találtak olyan anyagokat, amelyekkel zöld, illetve vörös fényre is érzékenyíteni lehetett őket. A színes fényképezéshez három emulzióréteget öntöttek egymásra: a legelső csak kékre volt érzékeny, alá jött egy sárga színszűrő réteg, amely a kék fényt elnyelte, az alá egy zöldre érzékenyített emulzió, legalulra pedig egy vörösre érzékenyített emulzió. Speciális előhívót használva, a szerves anyag oxidált formája kapcsolódott a rétegben elhelyezett színekkel, és megfelelő színezék jött létre. Például diafilm készítésénél a kékre érzékeny rétegbe kék színezéket létrehozó színeképzőt kevertek, stb. Így alakult ki a színes dia. Negatív–pozitív eljárásnál a kékre érzékeny rétegbe sárga színezéket létrehozó színeképzőt kevertek, stb. Az eljárás valóságos kémiai csoda, különösen a szemünk előtt percek alatt előhívódó színes képet adó úgynevezett polaroid eljárás. □

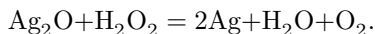
2.26.7 Kísérlet. Hogyan oldották ki a felesleges ezüst sókat (AgCl , AgBr , AgI) a fényképezésnél, hogyan történt a „rögztítés”, idegen szóval „fixálás”? Nátrium-tioszulfát oldattal, innen a „fixírsó” elnevezés. (Az oldat tartósabb, ha nátrium-diszulfidot is tartalmaz.) $\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ komplex só keletkezik. Próbáljuk ki kevés AgCl -dal! Az oldatba réz drótot téve, arra az Ag nem válik ki (AgNO_3 oldatból kiválik), mert a komplex nagyon kevésbé disszociál. Kiválik viszont Zn lemezre napok alatt. Ezt is kipróbálhatjuk. Végül kinyerhetjük az oldatból az ezüstöt lúgosítás után Na_2S oldattal leválasztva a nagyon oldhatatlan Ag_2S csapadékot ($\text{pK}_o = 48,8$).

2.26.8 Kísérlet. Hasonlóan stabil az $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ komplex. Ezt felhasználhatjuk a CN^- ion mennyiségi meghatározására. Az oldathoz adjunk cseppenként AgNO_3 oldatot! Az esetleg keletkező csapadék elkeverésre feloldódik, amíg van elég CN^- ion. Az első csepp feleslegtől AgCN csapadék képződik. Így határozta meg KNO_3 szén redukációjánál keletkező KCN szennyezés mennyiségét.

Az elemi ezüst is oldódik még híg, 1‰-es cianid oldatokban is, ha van levegő az oldatban az oxidációhoz. Ez a modern ezüstkinyerés alapja. A kapott híg komplex ezüstsó oldatából Zn -re kiválik az ezüst, vagy Na_2S oldattal leválasztható az Ag_2S . Ez utóbbit az iparban nátronlúgos zagyban Al rudakkal forgatva redukálják Ag -té. Ugyanez a reakció játszódik le, ha egy kéntől megbarnult ezüstitárgyat Al fóliára teszünk, és híg nátronlúggal öntjük le: a szulfid redukálódik. □

2.26.9 Kísérlet. Kevés ezüst-nitrát oldatához adjunk nátrium-hidroxidot! Barna ezüst-

oxid, Ag_2O csapadék keletkezik, amelyet a felesleg nem old, de ammónia oldatban könnyen feloldódik. Hidrogén-peroxid (hyperol oldat) a barna csapadékot fekete fémzüstté redukálja:



A reakcióban az a meglepő, hogy az általában oxidáló szerként szereplő hidrogén-peroxid redukál, mintha csak H_2 -re és O_2 -re esne szét. Kimutatták (majd később elmondjuk, hogyan) hogy a fejlődő oxigén mindkét atomja a hidrogén-peroxidból származik. Az ezüst a további hidrogén-peroxid bomlását katalizálja. □

2.26.10 Kísérlet. Ezüst tartalmú hulladék oldatokat sósavval megsavanyítva AgCl válik le. Ezt összegyűjtve visszanyerhetjük belőle az ezüstöt. Alaposan mossuk ki, gyúrjuk össze kevés híg sósavval vagy kénsavval, és rakjunk bele Zn darabokat! Az AgCl (és az AgBr és AgI is) redukálódik, fém ezüst marad vissza. Sósavval vagy kénsavval oldjuk ki belőle a Zn -et! A maradékot salétromsavban oldjuk. Tovább úgy tisztíthatjuk, ahogy már leírtuk. Zn helyett Al is használható a redukcióra, célszerűen híg sósavval. A szulfid tartalmú maradékokat Al fóliával redukálhatjuk híg nátronlúgos oldatban. □

2.26.11 Kísérlet. A higany hasonlóan nemes fém, mint az ezüst, csak salétromsavban oldódik. Ha a Hg van feleslegben, akkor Hg(I) -nitrát keletkezik. Valójában itt a Hg nem egy vegyértékű, hanem $-\text{Hg}-\text{Hg}-$ csoport van a Hg(I) vegyületekben. Ezek a sók klorid ionokkal Hg_2Cl_2 összetételű fehér csapadékot adnak, amit meglepő módon *kalomelnek* (jelentése szép fekete) hívnak. A név onnan ered, hogy a csapadékot ammónia oldattal leöntve megfeketedik: $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{NH}_3 = \text{Hg} + \text{NH}_2\text{HgCl} + \text{NH}_4\text{Cl}$. A keletkező higany-amido-klorid fehér, de a finom eloszlású Hg feketére festi. (A kalomel is, és ez a csapadék is oldódik királyvízben, klóros vízben és brómos vízben.) Más Hg(I) vegyületek is könnyen elbomlanak, hasonló fekete csapadékot adnak ammóniával. Így különböztethetjük meg a Hg(I) és a Hg(II) vegyületeket.

Sok salétromsavval a Hg mindjárt Hg(II) -nitrátot ad. Mivel a Hg -vegyületek nagyon mérgezőek, legfeljebb mg -os mennyiségben kísérletezzünk velük! Ha az eddigiek alapján néhány mg Hg -hoz jutottunk, oldjuk azt fel pár csepp, de fölös mennyiségű tömény salétromsavban, és hígítsuk fel vízzel! Ezzel az oldattal is elvégezhetünk néhány kísérletet. □

2.26.12 Kísérlet. Híg Hg(II) só oldathoz adjunk kén-hidrogént! Fekete HgS csapadék válik le, amely még tömény salétromsavban sem oldódik. □

2.26.13 Kísérlet. Híg Hg(II) só oldathoz adjunk nátronlúgot! Sárga HgO csapadék válik ki, amit a fölöslég nem old. Savakban a csapadék oldódik. □

2.26.14 Kísérlet. Kimosott HgO -ot sósavban oldva majd vízfürdön beszárítva *szublimátot*, HgCl_2 kapunk. Nevét onnan kapta, hogy szublimál. Nagyon kevésel zárt üvegcsőben kipróbálhatjuk. □

2.26.15 Kísérlet. A szublimát jól oldódik vízben, de kevésbé disszociál. Hasonló a helyzet a higany(II)-cianiddal. Kén-hidrogénnel azonban mindkét oldatból leválasztható a HgS .

A szublimát ammóniával fehér higany-amido-klorid, NH_2HgCl csapadékot ad. Ez is szublimál. Fényérzékeny, fénytől lassan megsötétedik. Más Hg(II) sókból bonyolultabb összetételű fehér bázisos higany-amido sók válnak le. □

2.26.16 Kísérlet. Zárt csőben hevítve valamennyi Hg vegyület szublimál. Ha háromszor annyi szódát adunk hozzá, vízfürdőn kiszárítjuk ha kell, majd úgy hevítjük, akkor Hg keletkezik, és az üvegső hidegebb részein apró, nagyítóval jól látható cseppek alakjában csapódik le. □

2.26.17 Kísérlet. Akármilyen Hg só oldatába fényes rézlemez, rézpenzt vagy rézdrótot mártva arra Hg válik ki és szűrőpapírral megdörzsölve kifényesedik. Hevítve a Hg elpárolg, a réz színe előtűnik. Az amalgámózódott rézdrótot zárt üvegsőben hevítve láthatjuk az elpárolgott Hg-ból kiváló Hg cseppeket. □

2.26.18 Kísérlet. Fényes Al fólián Hg sók oldatából Hg válik le, amely oldja az Al-ot, és a képződött amalgám oxidálódni kezd, nagy térfogatú $\text{AlO}(\text{OH})$ bevonat keletkezik. Az amalgámózott Al lassan bontja a vizet H_2 fejlődéssel. □

2.26.19 Kísérlet. Ón(II)-klorid oldat Hg-sók oldatából, különösen melegítésre először kalomelt, majd ezt redukálva szürke fém Hg-t választ le. □

2.26.20 Kísérlet. A tömény salétromsav az aranyat nem oldja, az arany–ezüst ötvözetből kioldja az ezüstöt, ha nem kevesebb, mint a harmada. Innen a salétromsav egyik neve: választóvíz. Hasonló a tömény, forró kénsav hatása is, de itt az ötvözet 2/3–3/4-ének ezüstnek kell lenni. Miben oldódik tehát az arany? Királyvízben! Ez 4 térfogatrész tömény sósav és 1 térfogatrész tömény salétromsav keveréke, amit néha 1–4 térfogatrész vízzel is hígítunk a céltől függően. Ez az oldat állandóan klórt és nitrozil-kloridot, NOCl fejleszt. Néha ezek oxidáló hatásával magyarázzák a hatását, de inkább azon múlik, hogy a salétromsav oxidál, a sósav pedig komplex savat képez az arannyal: $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ keletkezik. Az oldatról legtöbbször mint Au(III)-klorid oldatról beszélnek, de valójában ez a komplex sav van benne. A királyvíz oldja a platinát is, $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ komplex sav keletkezik. A palládiumot könnyen oldja a királyvíz, míg a többi platinafémeket nehezen vagy egyáltalán nem, ezeket magasabb hőmérsékleten való oxidációval kell „feltárni”.

Mindegyik nemes fém sóiból redukálható Zn, Al vagy Mg segítségével, és vegyületeik hevítve rendszerint elbomlanak, a fém marad vissza. Ha feloldunk valamennyi aranyat királyvízben, kipróbálhatjuk néhány reakcióját. Kén-hidrogénnel fekete vagy barna csapadék keletkezik: Au_2S_3 , amely gyorsan elbomlik S-re és Au_2S arany(I)-szulfidra. Melegítésre ez is elemeire bomlik. Nátronlúggal barnássárga $\text{Au}(\text{OH})_3$ válik le, amely a feleslegben oldódik. Ammóniával megszáritva könnyen robbanó *durranó arany* keletkezik, egyes összetétellel, fő alkotórésze $\text{NH}(\text{AuNH}_2\text{Cl})_2$. Redukálószerrel (gyengén savas oldatban FeSO_4 , SO_2 , oxálsav, lúgos oldatban H_2O_2) piros vagy kék színű oldat keletkezik, amiből lassan barna porként válik ki az arany. Érzékeny az ón(II)-kloriddal végzett redukció: bíborvörös kolloid oldat (*Cassius bíbor*) keletkezik, a kiváló ón(IV)-hidroxid védőkolloidként működik.

A fentiek alapján világos, hogyan kaphatunk tiszta aranyat: amennyire lehet, felaprítjuk az aranyötvözetet, tömény sósavval leöntjük és porcelántálban homokfürdőn melegítjük, időnként pár csepp salétromsavat adva hozzá. Ha feloldódott, annyira bepároljuk, hogy lehűlve megdermedjen. Portól védeni kell! Aranyra számítva 1%-osra hígítjuk vízzel, a kivált ezüst-kloridot leszűrjük, majd fölös mennyiségű frissen készült vas(II)-szulfát oldattal redukáljuk. Az esetleges Ir, Rh és Ru tartalom oldatban marad. Ha Pt vagy Pd lehet jelen, akkor oxálsavval redukálunk, hogy ezek is oldatban maradjanak. (A nemes fémek cinkkel vagy vassal redukálva kinyerhetők.) A tiszta aranyport ha kell,

királyvízben oldjuk, ahogy fentebb leírtuk. Az 1 %-os arany(III)-klorid oldattal a reakciókat kipróbálhatjuk. □

2.26.21 Kísérlet. Az arany (és a platinafémek) legegyszerűbb kinyerése *aranymosással* történik. A homokot, kavicsot vagy a megőrölt sziklát kicsit lejtős nyers deszkán vagy szövettel borított deszkán mossák le vízzel. A nagy sűrűségű aranypikkelyek megtapadnak a deszkán. Ezt aztán vízbe öblítik és — esetleges további dúsítás után — higanyal oldják ki az aranyat. Nagyjából 3 g Au/t a legkisebb koncentráció a homokban, amit már érdemes feldolgozni. Egykor a Dunából is mostak aranyat, itt a koncentráció ennek a harmada volt ott, ahol az egyéb nehézasványokkal együtt feldúsult.

Ma a bányászatban az arany és az ezüst kinyerése szinte kizárólag ciánlúgzással történik: az 1 %-es KCN oldat levegő jelenlétében az aranyat is oldja komplexként. Az oldatból a nemes fémek cementálhatók.

Néha az Au oldása klóros vízzel történik. Ezt mi is kipróbálhatjuk királyvízzel. (Ha a homokban nem találunk aranyat, egy kis részéhez adjunk kevés arany(III)-kloridot, izsítsuk ki, és ismételjük meg a kísérletet.) 10—100 g homokot alaposan nedvesítsünk át királyvízzel, és SZABADBAN időnként átkeverve hagyjuk 12-24 óráig állni. Ezután melegítsük fel vízfürdőn, míg a fejlődő klór nagy része távozik. Szűrjük és mossuk kevés tömény sósavval majd vízzel. Felhígítva az esetleges AgCl kiválik. Ezt leszűrjük és az oldatot vízfürdőn erősen bepároljuk. Kétféleképpen is kimutathatjuk az aranyat:

- Az oldathoz frissen készített vas(II)-szulfát oldatot adunk bőségesen. Ibolyászívrőrsre színeződik, majd megzavarosodik a kiváló aranytól.
- Az oldathoz ón(II)-klorid oldatot adunk. Előbb kékre, majd csakhamar barnásibolyászívrőrsre, később pirosra színeződik.

Mindkét módszerrel nagyjából 0,05 mg Au mutatható ki. A Pt ugyanígy nyerhető ki, de a kimutatása más (lásd később).

2.26.22 Kísérlet. Ércekben az ezüst és az arany mennyiségének meghatározása régen *kupellációval* történt. Ennek alapja, hogy az olvadt ólom oldja a nemes fémeket. Az eljárás természetes módon adódott, mivel sok ólomérc ezüst tartalmú. Lassan hűtve a megolvadt ólmot, tiszta ólom kristályok válnak ki. Ezeket kiszedve, az ezüst a maradékban dúsul. Végül oxidálva az ólmot, a többi nem nemes fém is oxidálódik, és végül csak a nemes fémek maradnak. Az eljárás három lépésből áll:

- Pörkölés. A kénes érceket először pörkölni kell. 5 g ércport abban a tégelyben, amiben majd olvasztani fogunk, izzítva addig kevergetünk egy vasdróttal, amíg érződik a kén-dioxid szaga.
- Olvasztás. 5 g ércből kapott pörköléssel — vagy ha nem kénes az érc, 5 g elporított ércel — elkeverünk 13 g ólom-oxidot, 5 g szódat, 1 bóraxot és 1,3 g borkövet. Olyan erősen szűkülő agyagtégelyt válasszunk, amelyet a keverék nagyjából kétharmadára tölt meg. Gáz vagy elektromos kemencében addig olvasztunk, amíg az olvadék feltisztul. A forró tégelyt szilárd alapzatra néhányszor keményen odacsapjuk, hogy az ólom lehetőleg mind az alján gyűljön össze. A lehűlt tégelyt összetörjük, és a regulust a salaktól elválasztjuk. Az Ag, Au, és platinafémek nagy része kioldódik az ércből. (A nemesfémek teljes kivonásához 2-3-szori olvasztás kellene.) Ha ötvözetet vizsgálunk, 2 g-ot 8 g ólommal olvasztunk össze.
- Űzés. A regulust egy összenyomott csonthamuval kibélelt tégelybe vagy egy mészkőbe vajt mélyedésbe tesszük, és fúvócsővel vagy fúvólánggal oxidáljuk az ólmot. Az ólom-

oxid beszívódik a pórusokba, a fémes ólom pedig egyre kisebb lesz. Az úzás akkor ér véget, amikor az ólmon látható szivárványos oxidhártya eltűnik, és a nemesfém „felszillan”. Kevés nemes fémmel ne úzzunk eddig, csak addig, amíg az ólomgolyó átmérője 1 mm-re csökken, és a maradékot oldjuk fel. Az ozmium teljesen, a ruténium részben oxidálódik (OsO_4 illetve RuO_4 képződik). □

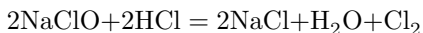
2.26.23 Kísérlet. Az ezüst- és aranybevonat készítése az iparban komplex cianid-oldatokból történik. Vannak ugyan nem mérgező galvánfürdők is, de ezeket jobb, ha megvesszük: elektronikai boltokban kaphatók. □

2.27 A klór és az oxigén

2.27.1 Kísérlet. A legkönnyebben kapható oxigént és klórt is tartalmazó vegyület a *hipoklórossav*, már találkoztunk vele. Képletét gyakran HClO -nak írjuk, de a szerkezeti képlete H-O-Cl , tehát benne a klór egyvegyértékű. Csak híg oldatban áll el egy darabig, de desztillálható. Szaga édeskés, különbözik a klórétól. Anhidridje a klór-monoxid, Cl_2O , barnás-sárga gáz, melegítve robban. Leggyakrabban a hipoklórossav nátriumsójával találkozunk, ez a közismert hypo. Bár tudjuk, hogy elektrolízissel is elő lehet állítani, inkább úgy gyártják, hogy klórt nátronlúgba vezetnek:



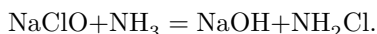
A konyhasót benne hagyják, sőt, 1–2% nátrium-hidroxidot is tartalmaz az oldat, mert a lúgos oldat lassabban bomlik. A háztartási hypo kicsit több, mint 4% nátrium-hipokloritot tartalmaz. Néha a hipokloritoknál az *aktív klór tartalom* van megadva. Ez azt adja meg, hogy az anyag sósavval a tömege hány százalékának megfelelő mennyiségű klórt fejleszt. Mivel sósavval a



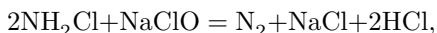
reakció játszódik le, 74,5 g nátrium-hipoklorit 71 g klórt fejleszt. Így az aktív klór tartalom nagyjából 95%-a a nátrium-hipoklorit tartalomnak.

A nátrium-hipoklorit nem állandó, oldata beszárítva elbomlik, és a tömény oldatok még bomlékonyabbak mint a hígak. A háztartási hypo 2–3 hónap alatt elbomlik. Az egyik bomlási folyamat az $\text{NaClO} \rightarrow \text{NaCl} + \text{O}$. A keletkező oxigén fertőtlenít és fehérit (elroncsolja a színező anyagokat). Adjunk akár jól felhígított hypo oldathoz egy csepp káposzta indikátort: az indikátor lúgot jelez, majd elszíntelenedik. □

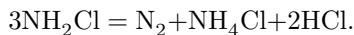
2.27.2 Kísérlet. Kevés friss hypo oldathoz kémcsőben adjunk ugyanannyi mól ammóniát tartalmazó reagens ammónia oldatot. Kellemetlen szag érezhető, ami a keletkező *klóramin* szaga:



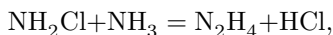
A klóramin a hypo feleslegével elbomlik,



ezért kell ugyanannyi mól ammóniát használni. A klóramin egyébként vizes oldatban magától is elbomlik:



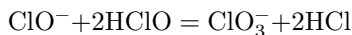
Ezt a bomlást fémionok erősen katalizálják. A fémionokat enyvvvel vagy zselatinnal köthetjük meg. Így a feleslegben vett ammóniával reagál a klóramin:



hidrazin keletkezik. A hidrazin két aminocsoport összekapcsolódásával jön létre. Erős redukálószer. Képződési szabadentalpiája pozitív, így égéshője igen magas. Tömény salétromsavval azonnal meggyullad. Nagyon kellemetlen szagú és mérgező. Lúgos kémhatású, a hidrogén ionokat hasonlóan köti meg, mint az ammónia, de gyengébb bázis. Savakkal sókat képez, például ilyen az elég oldhatatlan hidrazin-szulfát, $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$. A klóraminból képződött hidrazint ezért nagy fölöslegben vett kénsavval lehet leválasztani. Sajnos, a kénsav reagál a hypo bomlástermékeivel is, amelyek oxidálószeres. Veszélyes robbanás jöhet létre, ezért nátronlúgból és klórból frissen készült hypoból kell kiindulni, így nem készítünk hidrazin-szulfátot. □

Van némi hasonlóság a $-\text{Cl}$ klorid, az $-\text{OH}$ hidroxil, az $-\text{NH}_2$ amin (vagy amino) és a $-\text{CH}_3$ metil egyvegyértékű csoportok között. Más csoportokkal, saját magukkal és egymással is kapcsolódhatnak. Azokkal a vegyületekkel, amelyekben metil csoport szerepel, a szerves kémiában fogunk foglalkozni. A másik háromból mindegyik kapcsolódhat például alkáli fémekkel. Az amidok (mint például az NaNH_2 nátrium-amid) alkáli fémekből ammóniával keletkeznek. Két amin csoport kapcsolódásával keletkezett a hidrazin. Az amin csoport a hidroxil csoporttal kapcsolódva adja a *hidroxilamint*. Ez is redukálószer és bázis, de gyengébb, mint az ammónia.

2.27.3 Kísérlet. Fontos anyagok a *klorátok*, ezek a HClO_3 *klórsav* sói. A klórsav vizes oldatban elég állandó, de töményen nem. Benne a klór öt vegyértékű. A klorátképződés lényege a



autooxidációs reakció: két hipoklórossav molekula oxidál egy hipoklorit ion, miközben maguk redukálódnak. A reakció sebessége arányos a hipoklorit ionok koncentrációjának és a hipoklórossav koncentrációja négyzetének szorzatával. A sebességi állandó gyorsan nő a hőmérséklettel. Legkedvezőbb a $75\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$. Amíg van hipoklorit, a sósav azonnal hipoklórossavat tesz szabaddá, és a reakció tovább folyik. Legkedvezőbb a semleges vagy egész gyengén savas közeg. Erősen savas közegben klór keletkezik.

Legegyszerűbben kalcium-klorátot tudunk előállítani. Az iparban mésztejet klóroznak addig, amíg a klórfeleslegtől gyengén savas lesz. Mi klórmészből indulunk ki. Ezt porrá oltott mész klórozásával kapják, és a CaClOCl képlettel szokták leírni. Valójában marad benne kalcium-hidroxid is, és a keletkező $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ -ből és CaCl_2 -ből képződő kristályvíz-tartalmú bázisos sók elegye. Aktív klór tartalma $35\text{--}40\%$. (A tiszta kalcium-hipoklorit 99% aktív klórnak felel meg.) Kicsiben úgy készíthetünk belőle klorátot, hogy 10-szer annyi vízzel elkeverjük, majd vízfürdőn szárazra pároljuk. A levegő széndioxidja semlegesíti a felesleges meszet, és a hipoklorit kloráttá alakul. Kicsit nagyobbban klórmész oldatba langyos helyen például erjesztéssel készült szén-dioxidot vezetünk. Ha az oldat már nem lúgos, felmelegítjük $75\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$ -ra. Ha hyposzagú vagy elszínteleníti a káposztaindikátort,

akkor még maradt benne hipoklorit. Ha ez pár óra után is fennáll, akkor a hipoklorit nyomait SZABADBAN kevés ammóniával roncsolhatjuk el. Utána kevés oltott mésszel kiűzzük az ammóniát, ülepítjük, levegőt fúvunk bele, felforraljuk, hogy a kalcium-hidrogén-karbonát elbomoljon, és szűrjük. Ha nem kell hipoklorit nyomokat roncsolni, akkor az ammónia, az oltott mész és a levegőbefúvás elmaradhat. A kapott oldat persze minden mól kalcium-klorátra legalább 5 mól kalcium-kloridot tartalmaz. Ennek nagy részétől megszabadulhatunk, ha szirupsűrűre pároljuk, és lehűtjük. A kalcium-klorid nagy része kikristályosodik. □

2.27.4 Kísérlet. A legtöbbet használt klorát a kálium-klorát. A kalcium-klorát oldatból — amiben akár benne lehet az összes kalcium-klorid is — cserebomlással készítjük. Győződjünk meg róla, hogy az oldatból hidegen sem kristályosodik ki semmi! Melegítsük fel, és oldjunk fel benne a számítottnál vagy 20 %-kal több kálium-kloridot. Lehűtve a kálium-klorát, amely forrón jól, hidegen sokkal rosszabbul oldódik, kikristályosodik. Tisztítani 1,8 ml/g vízből 100 és 0 °C között átkristályosítva lehet. A maradék szennyezett kalcium-klorid oldat, kiönthetjük.

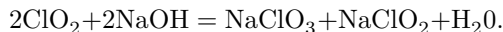
Nátrium-klorát készítésére inkább a kevesebb kalcium-kloridot tartalmazó kalcium-klorát oldatot használjuk. Addig adunk hozzá szóda oldatot, amíg válik le csapadék. A kalcium sók nátrium sókká alakulnak. Bőséges kristálykiválásig bepárolva minél forróbban leszűrjük a kiváló konyhasót. Lehűléskor válik ki a nátrium-klorát. Tisztítani 0,5 ml/g forró vízből átkristályosítva lehet. □

2.27.5 Kísérlet. Ezt a reakciót és a következő hármat is elvégezhetjük gyufából kapott kálium-kloráttal is, mert nagyon kis mennyiségekről van szó. Külön-külön porítsunk el kevés cukrot vagy keményítőt és kálium-klorátot. Mindkettőből 1/10 g-ot véve papíron ide-oda öntögetve keverjük őket össze, és a keverékből egy tányérban formázzunk kis kúpot. A tényért tegyük tűzálló alapra. Üvegbottal nyomjunk a kúp tetejébe kis bemélyedést, majd az üvegbotot megtisztítva vigyünk vele egy csepp tömény kénsavat a bemélyedésbe. A keverék meggyullad. Így működött valamikor a *mártó gyufa*. A magyarázat, hogy a kénsav reagál a kálium-kloráttal:

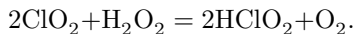


A klór-dioxid, amivel már találkoztunk, meggyullad az éghető anyaggal. □

Egyébként a klór-dioxid lúgba vezetve reagál:



A nátrium-klorát mellett *klorit* keletkezik, a *klórossav* sója. A klórossavban a klór három vegyértékű. Kevésbé állandó, mint a klórsav. A kloritokat is oxidálószerként használják, hiszen bennük kétszer annyi oxigén van, mint a hipokloritokban. Tisztán úgy gyártják a kloritot, hogy hidrogén-peroxidot adnak az oldathoz, ami itt enyhe redukálószerként működik:



2.27.6 Kísérlet. Ha egy kristályka kálium-klorátra kémcsőben híg savat, például híg sósavat öntünk, nem látunk reakciót. Tömény sósavval viszont klór-dioxid és klór elegye

képződik. A robbanásveszély miatt ugyanúgy végezzük a reakciót, mint a tömény kénsav és a gyufafej reakcióját. Ezért nem jó ötlet hypoból vagy klórmészből sósavval fejleszteni a klórt: ha sok klorát van benne, robbanás következhet be. □

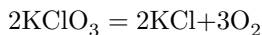
2.27.7 Kísérlet. 1/10 g KClO_3 -ot és ugyanannyi ként külön-külön porítsunk el, majd dörzsöljünk össze előbb gyengébben majd erősebben! Éles csattanásokat hallunk és kisebb szikrák lobbannak. A keverék ütésre is felrobban. **NAGYOBB MENNYISÉGGEL NE KÍSÉRLETEZZÜNK!** Ezért veszélyes kálium-klorátot éghető anyaggal együtt porítani vagy pláne melegíteni. Ez a dörzsgyufa alapja: kálium-klorát valamilyen éghető anyaggal keverve. □

2.27.8 Kísérlet. Tömény NaHSO_3 oldatba dobjunk egy kristályka kálium-klorátot! Először semmi sem történik, majd az oldat hirtelen felhabzik. A magyarázat, hogy a savanyú szulfit nyomnyi klórsavat tesz szabaddá, ami a savanyú szulfitot savanyú szulfáttá oxidálja. Ez több klórsavat tesz szabaddá, a reakció egyre gyorsul. A reakció példa az autokatalízisre: a reakció terméke gyorsítja fel a reakciót. □

2.27.9 Kísérlet. A *bengáli* tüzek oxidálószeres és éghető anyagok keverékei, a puszkaporhoz hasonlóan. Hasonló keverékek vannak a tűzijátékokban. A **MEGADOTT MENNYISÉGNÉL TÖBBET NE KÉSZÍTSÜNK, MERT VESZÉLYES!** Minden anyagot külön-külön porítsunk el, majd papírlapon műanyag kanállal összekeverve őket szórjuk egy porcelán tányérra kis kúpba. Védőszemüvegben gyújtópálcával tűzbiztos helyen gyújtjuk meg a keveréket!

- Sárga: 6 g KClO_3 , 3,2 g S, 3 g Na_2CO_3 ;
- Zöld: 6 g KClO_3 , 6,6 g S, 2,4 g BaCO_3 ;
- Vörös: 1 g KClO_3 , 2,5 g S, 0,2 g C, 7 g $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$;
- Ibolya: 6 g KClO_3 , 2,5 g S, 2,5 g K_2CO_3 ;
- Fehér: 3,2 g KNO_3 , 0,8 g S, 1,2 g Sb, 1 g Pb_3O_4 ;
- Kékesfehér: 4,8 g KNO_3 , 1,6 g S, 0,4 g Sb_2S_3 ;
- Rózsaszín: 2,3 g CaCl_2 , 6,1 g KClO_3 , 1,6 g S;
- Sárga: 4,8 g NaNO_3 , 1,6 g S, 0,4 g Sb_2S_3 , 0,1 g C;
- Zöld: 4,5 g $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, 1 g KClO_3 , 1 g S, 0,1 g Sb_2S_3 ;
- Kék: 1,2 g $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, 2,8 g KClO_3 , 1,5 g S, 1,5 g K_2SO_4 , 2,7 g KNO_3 ;
- Sötétviola: 1,2 g $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$, 6 g KClO_3 , 1,6 g S.

2.27.10 Kísérlet. 20 g tiszta, szerves szennyezésektől mentes kálium-klorátot melegítünk egy új porcelán tégelyben megolvadásig. 400 °C-on két reakció játszódik le egymás mellett:



és



Az első a klorát bomlása. Ezt fém-oxidok, például vas-oxid, mangán-dioxid, stb. katalizálják, ezért kell az új tégely, hogy a bomlást lehetőleg elkerüljük. A második reakció szerint képződő KClO_4 , kálium-perklorát érdekel bennünket. A tégelyt hosszabb ideig tartjuk ugyanazon a hőfokon! Az olvadék egyre sűrűbb, végül félig szilárd lesz. Ne melegítsük túl, mert a perklorát is elbomlik! Lehűlés után öntsünk hozzá 20 ml vizet, és hagyjuk állni. A fel nem oldódott maradékban van a perklorát. Kristályosítsuk át 80 ml vízből. A kálium-perklorátból hidegen csak mintegy 1,5 g oldódik 100 g vízben. További tisztítása 5 ml/g forrásban lévő vízből hűtéssel kristályosítva történik.

Hasonlóan készíthetünk nátrium-perklorátot is, de annak elválasztása a melléktermék konyhasótól sokkal nehezebb.

A perklorosav vízben a legerősebb sav, bár vízben nincs nagy jelentősége az erős savak erőssége közti különbségnek. (Ennek nem vizes közegben, szerves vegyületekkel szemben van jelentősége, amelyekre csak nagyon erős savak képesek a H^+ iont „rátukmálni”.) Kénsavval sóiból felszabadítható és desztillálható, de EZT NE PRÓBÁLJUK KI! Célszerűen vákuumban szokás desztillálni, mert egyébként robbanásszerűen elbomolhat. A tiszta sav erős oxidálószer, de vizes oldatban nem oxidál, a sói sem. Viszont éghető anyagokkal keverve a sav is, sói is robbanhatnak. A perklorátokban a klór hét vegyértékű. \square

2.28 A klór rokonai

Három elemmel fogunk megismerkedni. Ezeket a klórral együtt „halogéneknek” hívják, ami sóképzőt jelent (görög hals ‘só’), mert a fémekkel közvetlenül sókat alkotnak.

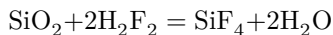
2.28.1 Kísérlet. A klór „legvadabb” rokona a fluor. Csak a XIX. század vége felé sikerült előállítani elektrolízissel, pedig vegyületeit régóta ismerték. Már a régi kohászok is használták a legfontosabb ásványát, a *fluoritot*, magyar nevén *folypátot* (ásványbörzén kaphatunk). Ez az ásvány onnan nyerte a nevét, hogy olvasztásnál a salakot higan folyóvá tette (latin fluo ‘folyni’). Az elem aztán megörökölte a nevet. (Egyébként a fluorit erősen fluoreszkál, erről kapta a jelenség a nevét. Foszforszkál is, akár két percig is világít.) Az elem vegyjele F, atomtömege 18,99840329 g, olvadáspontja $-219,6\text{ }^\circ\text{C}$, forráspontja $-188,1\text{ }^\circ\text{C}$. Az egyik legreakcióképesebb elem, hidrogénnel már $-253\text{ }^\circ\text{C}$ -on és sötétben is robbanásszerűen egyesül. Mivel még az oxigéntől is képes elvonnai az elektronját, vegyületeiben oxidációs száma mindig -1 , és az F_2O difluor-monoxidban az oxigéné kivételesen $+2$.

Magával a fluorral nem kísérletezünk. Oldható vegyületei mind mérgezőek, már 125 mg is mérgezést okoz. A fluorit kalcium-florid, CaF_2 , nem oldható, és így nem is mérgező. (Ebben, hogy a kalcium- és bárium-sója nehezen oldódik, az ezüstsója viszont jól oldódik, a fluor eltér a többi halogénektől.) Oldható fluorvegyületeket kalciumvegyületekkel tehetünk ártalmatlanná: csapadékként CaF_2 keletkezik, amely azonban nehezen látható, mert fénytörése csaknem megegyezik a vízével.

A hidrogén-fluorid gáz és vizes oldata, a *folysav* is igen veszedelmes anyag: volt, aki több ujját elvesztette, mert két percig tömény hidrogén-fluorid érte a kezét! Fluor tartalmú vegyületekből tömény kénsavval lehet felszabadítani. Legtöbbször fluoritot használnak. A szuperfoszfát műtrágya nyersanyaga, a fluorapatit is tartalmaz fluort. A szuperfoszfát gyártásánál kénsavat használnak, és a hidrogén-fluorid nagyjából fele távozik. Tömény kénsavval melegítve már $200\text{ }^\circ\text{C}$ körül távozik a maradék hidrogén-fluorid is. Egész kicsiben végezzük a kísérletet, és a keletkező hidrogén-fluoridot legjellemzőbb tulajdonságával mutatjuk ki: oldja az üveget.

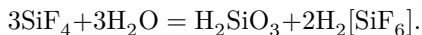
Legegyszerűbb a *nedvesítési próba*. Egy kémcsőbe 10 csepp tömény kénsavat teszünk, és meggyőződünk róla, hogy nedvesíti a kémcső falát. Ezután 10 mg vizsgálandó anyagot szórunk a kénsavba, és vízfürdőn néhány percig melegítjük. Fluoridok jelenlétében a kénsav a kémcső falát nem nedvesíti többé, mintha zsíros lenne, mert a kénsav hatására felszabaduló fluor-hidrogén a kémcső falát megmarja. (Sok foszforsav hasonló jelenséget idéz elő, bár sokkal kisebb mértékben.) Ha negatív a próba, kénsavfüst megjelenéséig melegítjük a kémcsövet, mert néhány fluorid nehezen bomlik.

Az alábbi üvegmaratást a foszforsav sem zavarja. Készítsünk egy kis ólomtégelyt! Legegyszerűbb, ha mintának egy valódi tégelyt használunk, a formát pedig gipszből készítjük. A tégelybe tegyünk néhány tizedgramm szuperfoszfátot vagy más vizsgálendő anyagot, és öntsük le fél ml tömény kénsavval! A tégelyt óraüveggel fedjük le, amelynek domború oldalát viasszal vagy paraffinnal vonjuk be, és jelet karcolunk bele. Az óraüvegre vizet vagy jeget teszünk, és a tégelyt enyhén melegítjük. Az üveg fő alkotórésze a kvarc, a szilícium-dioxid. Az üvegmaratás lényege a



reakció. Azért írtunk H_2F_2 -t, mert a HF molekulákat kettessel elég erős hidrogénhid-kötés köti össze. Emlékezzünk: minél erősebben köti egy atom az elektronokat, annál könnyebben képez hidrogénhidat. A szilícium-tetrafluorid, SiF_4 , gáz és távozik. A meg-mart felület érdes, homályos. Néha ez az *üvegmaratási próba* és a nedvesítési próba sem sikerül, ha az anyag maga is tartalmaz kvarcot (homokot). Ekkor a hidrogén-fluorid azonnal reagál a homokkal, és nem jut az óraüvegre. Ekkor is működik azonban a következő próba. (Bőrvegyületek is elhasználják a hidrogén-fluoridot, BF_3 képződik. Ilyen esetekben tömény kénsavval nedvesítve az anyagot és porcelán cserép sarkán lángba tartva, a bőr zöld lángfestését észlelhetjük. Ez egyben mindkét elemet jelzi.) □

2.28.2 Kísérlet. A *szilícium-tetrafluorid próbát* úgy hajtjuk végre, hogy tizedgramm anyagot kétszer annyi elég finomra (0,1–1 mm) tört üveggel keverünk össze, majd egy kémcsőben 3 ml tömény kénsavat adunk hozzá. A kémcsövet egy átfúrt dugóval dugjuk be, amin egy vékonyabb üvegcső megy keresztül és a folyadék felszínétől kb. 1 cm-re végződik. Az üvegcsövet vízbe mártjuk. A peremén marad egy kevés víz. A kémcsövet enyhén melegítjük. Ha van fluor az anyagban, a víz megzavarosodik, ami fekete háttér (kormozott lap) előtt jól látszik. Ezt az okozza, hogy a SiF_4 a vízzel hidrolizál:



A keletkező *kovasav*, H_2SiO_3 , fehér csapadék, amely fekete háttér előtt jól látszik. Üvegpör legyen bőven, mert ha a H_2F_2 van feleslegben, $\text{H}_2[\text{SiF}_6]$ desztillál, ami nem hidrolizál! □

2.28.3 Kísérlet. A klórnak a fluornál kevésbé veszedelmes rokona a *bróm*. Nevét a görög bromosz 'büdös' szóból kapta, szaga még a klórénál is rosszabb, bár kicsit hasonló. Vegyjele Br, olvadáspontja $-7,26\text{ }^\circ\text{C}$, forráspontja $59,5\text{ }^\circ\text{C}$, tehát folyadék. Sűrűsége 3,187 kg/l, atomtömege 79,904 g. Sötét vörösbarna, majdnem fekete. Gőze barna, kétatomos. Vegyületei nyugtató hatásúak, ezért régebben gyógyszerként használták őket. Ma már csak egy gyógyszer ismerek, amely brómvegyületet tartalmaz, egy köptetőt. Neve „Elixirium thymi compositum”. 6,75 g 33,3%-os nátrium-bromid oldatot tartalmaz egy üveg, azaz 2,25 g nátrium-bromidot. Ezt szeretnénk kinyerni. Mivel különböző szerves anyagok vannak az oldatban, legegyszerűbb egy jó nagy (mert erősen felhabzik a benne lévő cukor) porcelán tálban szárazra párolni és kiizzítani. Ha netán marad benne elégtelen szén, kevés vízzel oldjuk ki a nátrium-bromidot (nagyon jól oldódik vízben) és szűrjük meg. □

2.28.4 Kísérlet. Akár magunk állítottunk elő nátrium-bromidot, akár vettünk például kálium-bromidot, szeretnénk kinyerni belőle az elemi brómot. Legegyszerűbb lesz elektrolízissel. Adjunk a minél töményebb oldat egy részletéhez akkumulátorsavat egy kisebb

centrifugacsőben vagy rövid kémcsőben, kisebb üvegben. Az elektródok grafitból készülnek. Az egyik hosszabb, majdnem leér a cső aljáig, de az alsó 1 cm kivételével polietilénnel (ráolvasztott csík vagy melegragasztó) van bevonva. A másik rövidebb, csak az oldat tetejébe ér bele, ez lesz a katód. Elektrolízisnél az anódon bróm képződik, amelynek egy része oldódik a vízben, másik része lefolyik a cső alá. Mérjük meg a bontási feszültséget! Ez lényegében a hidrogén-bromid bontási feszültsége, amit a kénsav szabaddá tett. Kisebb, mint a sósav bontási feszültsége, tehát a bróm kevésbé negatív, mint a klór.

Ha szemcseppentővel kiveszünk a brómból, nagyon vigyázzunk! A BRÓM UGYANOLYAN MÉRGEZŐ, MINT A KLÓR, ÉS RENDKÍVÜL MARÓ, FELTÉTLENÜL VISELJÜNK GUMIKESZTYÚT! Ha kicsit megmelegítjük az edénykét, vörösbarna bróm gőzök töltik meg a légtérét. A bróm nagyon jó oxidálószer, ha az edénykét egy üveglemezzel leborítjuk, amin egy csepp függ, a cseppben lévő anyagot oxidálhatjuk a gőzökkel. □

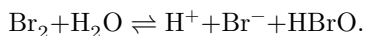
2.28.5 Kísérlet. Ha egy kevés keményítőt ragasztunk egy kis csepp vízzel egy üveglapra, és ezzel fedjük le a brómgőzös üveget, akkor a keményítő narancs színű lesz. Hasonló reakciót ad a jód is, majd ott részletesebben foglalkozunk a reakcióval. Használhatunk keményítő oldattal átitatott és megszáritott papírcsíkot is. A keményítő oldat úgy készül, hogy 0,2 g burgonyakeményítőt 1 ml vízzel összerázzunk, majd 10 ml forró vízhez öntjük. Nem áll el sokáig az oldat.

2.28.6 Kísérlet. Még érzékenyebb a bróm kimutatása *fluoreszceinnal*. Ez egy szerves színezék, amely oldatban visszavert fényben nagyon élénk zöldessárga színű, szinte világít. A nagyon élénk színt az okozza, hogy fluoreszkál, azaz a más színű fényt is zöldessárgává alakítja. Ezzel a színezékkel színezik például a *glykosept* gyógyszer oldatát. Egyes jelzőtollakat is ezzel színeznek. Fessünk be ilyen jelzőtollal egy papírt, majd tartsuk a brómgőzbe! A fluoreszcein a brómtól *eozi*ná alakul, amely élénk rózsaszínű, fluoreszkáló színezék. □

2.28.7 Kísérlet. Ha tettünk félre a KCl tisztítás anyalúgijából, most kimutathatjuk benne a brómot. Egy cseppet tegyünk fluoreszcein papírra, és tarsuk klórgázba! Ha van bróm az anyalúgiban, a fluoreszcein papírral megkapjuk a bróm reakcióját.

Klórgázzal vagy elektrolízissel szokták kiválasztani a brómot a bróm tartalmú anyalúgokból. Levegővel kifúvatják és lúggal elnyeletik, a következő kísérletben leírt reakció alapján. □

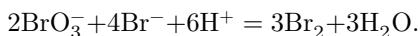
2.28.8 Kísérlet. Mivel a bróm veszélyes anyag, nem biztos, hogy azt a keveset, amit előállítottunk, tárolni akarjuk. Ha az üvegcsébe lúgot (nátronlúgot, káliklór, szódat, hamuzsír) adunk, amíg a bróm színe eltűnik, „brómkonzervet” készíthetünk. Ugyanúgy, mint a klór, a bróm reagál a vízzel:



A lúg megköti a hidrogén-bromidot és a hipobrómosavat is, a reakció jobbra tolódik el, bromid és *hipobromit* keletkezik. A hipobromit azonban még erősen lúgos közegben is oxidálja saját magát:



A reakció hasonló a hipokloritok reakciójához. A keletkezett *brómsav* erős sav, sói a *bromátok*. A nagy különbség, hogy a bromátok savas közegben — nem csak erősen savas közegben — oxidálják a bromidokat brómmá:



Ha tehát a lúggal kapott oldatot kénsavval megsavanyítjuk, visszakapjuk a brómot. A játék néhányszor lejátszható, amíg az oldat nagyon fel nem hígul. Elektrolízissel újabb brómot szabadíthatunk fel, amíg még van bromid az oldatban. Túl sok áram hatására bromát képződik. □

** Egyébként a kálium-bromátot úgy szokás előállítani, hogy 62 g kálium-hidroxid 50%-os oldatához addig adnak brómot, amíg sárgás lesz (80 g, kis felesleg, mert a lúg vizet tartalmaz). Lehűléskor KBrO_3 válik ki, amit 130 ml forró vízből átkristályosítunk. Az anyalúgokból KBr -ot kaphatunk: egyesítve félszilárdra pároljuk be őket, 5 g szitált fa-szenet keverünk hozzá, majd kiizzítjuk. A szén a maradék bromátot redukálja bromiddá. Az összeolvadt tömeget 120 ml forró vízben oldjuk, a maradékot 20 ml vízzel mossuk. A szűrletet bepárolva kristályosítjuk. 26–27 g bromátot és 90–95 g bromidot kapunk. Meg-savanyítva egyik anyag vizes oldata sem sárgulhat meg, mert akkor tartalmaz a másiktól. **

2.28.9 Kísérlet. ** Ammónium-bromidot úgy állítunk elő, hogy ammónia oldathoz ad-dig csepegtetünk brómot, amíg sárga nem lesz. Az ammónia redukálja a brómot, nitrogén fejlődik. A brómfelesleget ammónia oldat óvatos adagolásával tüntetjük el. ** □

2.28.10 Kísérlet. A bróm hevesen reagál fémekkel. Általában a bróm és az alumínium tüztüneteménnyel járó reakcióját szokás bemutatni. Persze sok bróm elpárolog. Mivel nem akarjuk magunkat megmérgezni, inkább nézzünk meg egy videót a hálózaton a reakcióról! □

2.28.11 Kísérlet. A hidrogén-bromid előállítására az lehet a tervünk, hogy nátrium-vagy kálium-bromidhoz tömény kénsavat adunk. Van azonban egy probléma: a tömény kénsav oxidál is, ezért a keletkező hidrogén-bromid egy részét brómmá oxidálja. Próbáljuk ki egész kicsiben!

** A brómszennyezés úgy kerülhetjük el, hogy 120 g porított KBr -ot 200 ml vízben oldunk, jéghidegre hűtjük, hűtés közben apránként hozzáadunk 90 ml tömény tiszta kén-savat. A hőmérséklet nem emelkedhet $75\text{ }^\circ\text{C}$ fölé! Szobahőmérsékletre hűtve a KHSO_4 kiválik. Ezt leszűrjük. A szűrletet ledesztilláljuk. A hidrogén-bromid azeotrop elegyet ké-pez a vízzel. Ennek forráspontja 740 torr nyomáson $122,5\text{ }^\circ\text{C}$, normál nyomáson $126\text{ }^\circ\text{C}$ és $47,8\%$ HBr -ot tartalmaz. Előbb víz desztillál. $1\text{ }^\circ\text{C}$ -kal az azeotrop forráspontja alatt kezdjük gyűjteni a párlatot, és abbahagyjuk, ha a hőmérséklet emelkedni kezd. SZABAD-BAN DOLGOZZUNK, A HIDROGÉN-BROMID A SÓSAVHOZ HASONLÓ! ** □

2.28.12 Kísérlet. ** A bróm szokásos előállítása hidrogén-bromidból ugyanúgy tör-ténik, mint klór előállítása sósavból. Felesleges azonban külön előállítani a hidrogén-bromidot: kálium- vagy nátrium-bromidhoz adjunk barnakövet kétszeres feleslegben, és töményebb kénsavat szintén feleslegben. A keveréket ugyanúgy desztillálhatjuk, mint a füstölő salétromsav előállításakor, persze CSAKIS SZABADBAN. ** □

2.28.13 Kísérlet. A klór legkevésbé veszedelmes rokona a jód. Nevét a görög $\omega\delta\eta\zeta$ 'lila' szóból kapta színe alapján. Vegyjele I, sűrűsége $4,940\text{ kg/l}$, móltömege $126,904473\text{ g}$, olvadáspontja $113,6\text{ }^\circ\text{C}$, forráspontja $185,2\text{ }^\circ\text{C}$. Oldatát fertőtlenítésre használják, de csak külsőleg. Manapság *jodosept* vagy *betadine* néven kerül forgalomba ilyen oldat. Mindkettő ugyan az és semleges vagy savas közegben lényegében 1% -os jód oldatnak tekinthető.

A jód nagyon kevésbé oldódik vízben. Oldatot úgy szoktak készíteni belőle, hogy 4% kálium-jodidot, KI és 5% jódot oldanak fel 90% -os alkoholban, ez a *jódtinktúra*. Lehet 5%

I-ot és 10% KI-ot is oldani vízben: előbb kevés vízben, majd hígítjuk. Mindkét módszer azon alapul, hogy a I^- ion reagál a jóddal, trijodid ion képződik: $I^- + 2I \rightleftharpoons I_3^-$. A jodosept és a betadin oldat is hasonló reakción alapul: a vízben oldódó *polivinil-pirrolidon*, PVD megkötí a HI_3 molekulát, és ez a megkötött molekula is könnyen bomlik a $HI_3 \rightleftharpoons HI + 2I$ egyenlet szerint. Több kísérlethez közvetlenül jodosept vagy betadine oldatot használhatunk.

A jód fertőtlenítő hatása oxidáló tulajdonságán alapszik. Adjunk egy kevés jodosept oldatot kevés nátrium-biszulfít vagy kénessav oldathoz: a jód színe eltűnik. □

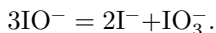
2.28.14 Kísérlet. A jód színe még elég híg oldatban is látható. 5 ml vízhez adjunk egy csepp jodosept oldatot. A szín még halványan látszik, pedig ez az oldat már csak 1‰ I-ot tartalmaz. (A jód még ilyen híg oldatban is fertőtlenít.) Keményítő oldattal sötétkék színt kapunk: addíciós vegyület képződik, aminek színe még 1‰‰ hígításban is látszik. A reakciót felhasználhatjuk arra is, hogy a keményítőt kimutassuk: a híg I-oldattól megkékül a liszt, krumpli, papír, kenyér, kétszersült. Nem kékül meg a sajt, cukor, alma. □

2.28.15 Kísérlet. Redukáló anyagok kimutatására és mennyiségének mérésére kiváló a I oldat. Ilyen redukáló anyag az *aszkorbinsav* vagy más néven *C vitamin*. Gyógyszertárban tisztán is kapható, szilárd anyagként tartós. Egyszerű beméréssel pontos oldatot lehet belőle készíteni. Móltömege 176,06 g, semleges és gyengén savas oldatban két elektron ad le egy molekula. 0,05 M-os oldatban szokás használni. Sajnos, az oldat nem tartós, hamar megváltoztatja faktorát, ezért a pontos oldatot mindig frissen kell készíteni. Adjunk aszkorbinsav oldathoz 10-szeresre hígított jodosept oldatot: a jód színe eltűnik. A reakció vége pontosabban is észlelhető, ha keményítőt is adunk az oldathoz, ekkor azonban a reakció lelassul. Citromlében például eltűnik a jód színe. Más anyagokat is megvizsgálhatunk: savanyú káposzta, paprika, stb. Ha a jód oldat megfogott valamit, a folt C vitaminnal eltüntethető. □

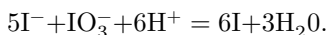
2.28.16 Kísérlet. Ideje, hogy tiszta jódot állítsunk elő. Ahogy a Br, a I is hidrolizál vízzel:



A reakció alig játszódik le, de erősen jobbra tolódik, ha lúgos az oldat. Már szénsav hatására megfordul. Azonban a IO^- hipojodit ion erős oxidálószer, és — különösen melegen és erősen lúgos oldatban — gyorsan oxidálja saját magát:



A IO_3^- jodát ion ugyan képes oxidálni a I^- jodid ionokat, de csak határozottan savas oldatban:



Minél erősebb nátronlúgot melegítünk fel vízfürdőben (hogy ne fröcsköljön) forróra, és adagoljunk bele jodosept oldatot! Ha a I színe már nem tűnne el, adjunk még lúgot az oldathoz, és melegítsük újra forróra, majd folytassuk a jodosept adagolását! Érdemes kevés lúggal kezdeni, hogy megtudjuk, az mennyi jodosept-tel reagál, és ebből kiszámolni a szükséges lúg mennyiségét. A PVD gyúrható, gumyszerű műanyagként kiválik. Halásszuk ki! Az oldatot erősen pároljuk be! Ha PVD válik ki, időnként halásszuk ki. Az oldat jodidot

és jodátot tartalmaz. Sósavval erősen megsavanyítva, ha konyhasó válna ki, szűrjük le. Az oldatból hidrogén-peroxiddal vagy perkarbonáttal kicsapható a jód, de tisztábban úgy is kinyerhetjük, mint más jód tartalmú hulladékokból: lásd a következő kísérletet. □

2.28.17 Kísérlet. Jodid és jodát tartalmú jód hulladékokat pároljunk szárazra, és kevés faszénnel keverjük össze alaposan! Porcelán tálban kiizzítva a jodát oxigénleadással elbomlik jodiddá és a szerves szennyezések is elbomlanak. Vízzel kioldjuk a jodidokat és vas(III)-kloridot, vas(III)-szulfátot vagy vas-ammónium-timsót adunk az oldathoz feleslegben. Sósavval vagy kénsavval megsavanyítva frakcionáló lombikba tesszük. Melegítjük és vízgőzt vezetünk az aljáig. A lombik oldalcsövéhez bő üvegső csatlakozik, hogy el ne duguljon. A szedőben jód és víz gyúlik össze. Üvegolyón leszívátjuk, és exszikkátorban szárítjuk CaCl_2 felett. A művelet alapja, hogy a vas(III)-sók a jodidokat oxidálják, míg a kloridokat és bromidokat nem, és a I vízgőzzel desztillálható. A jód gőzei szép lilák és kétatomosak, ezért I helyett szokás I_2 -t is írni akkor is, ha nem gőzről van szó. Oxidálószerként apránként adagolt nitrit is használható. □

Az iparban a jodát tartalmú nyersanyagot szulfittal redukálják. A jodidos oldatokban klórral oxidálják a jodidot jóddá, és kiforralják az oldatból, vagy levegővel fúvatják ki, ugyanúgy, mint a brómot. A kapott klórral és brómmal szennyezett anyagot tisztítják. Lehet grafit anóddal elektrolizálni is a jodid tartalmú oldatot, és a kivált jodot aktív szénnel megkötni. A szénről lúggal leoldható.

2.28.18 Kísérlet. * Jódot úgy szokás tisztítani, hogy kevés kálium-jodiddal és égett mésszel jól eldörzsölve szublimáljuk: lehetőleg kiöntő nélküli kristályosító csészébe tesszük, és homokfürdőn lassan hevítjük. A kristályosító csészére hideg vízzel töltött gömblombikot teszünk. Ha elég lassú a melegítés, a jód nem olvad meg, hanem szublimál a gömblombik aljára. A KI szerepe hogy a ICl illetve IBr szennyezés Cl illetve Br tartalmát jódra cserélje, az égett mész más szennyezéseket köt meg.* □

2.28.19 Kísérlet. Egy szemcse jódhoz adjunk kémcsőben pár ujjnyi vizet és rázzuk össze! A víz alig színeződik, a jód rosszul oldódik vízben. A vizet öntsük át egy másik kémcsőbe, és öntsünk a jódra tömény alkoholt. Barna színnel oldódik. Másik kémcsőben öntsünk egy szemcse jódra benzint. Lila színnel oldódik. Ismételjük meg ezt kevés nitróhígítóval: töményebb, lila oldat keletkezik. Adjunk a híg vizes jóddoldathoz egy csepp nitróhígítót! Összerázza a jód nagy része átmegegy a nitróhígítóba lila színnel. Szerves oldószeres jód oldatot ne öntsünk a jódhulladék gyűjtőbe! Az oldószert párologtassuk el, a maradékot lúggal oldjuk fel és úgy öntsük a gyűjtőbe! □

2.28.20 Kísérlet. Kálium-jodidot jódból állíthatunk elő. 7–8 g nem rozsdás vasreszelékhez 50 ml vizet adunk. Apránként hozzáadunk 25 g durván porított jódot. Az edényt fedjük le, és az oldatot a beadagolás előtt, ne utána keverjük fel! A hőmérséklet nem emelkedhet 45°C fölé. Az adagolás befejezése után a keveréket megmelegítjük. A vasnak végig feleslegben kell maradnia! Az oldatot leöntjük a vasról, amit kevés vízzel leöblítünk. Ezt is az oldathoz adjuk és még 5 g jódot adunk hozzá, majd a jód oldódásáig melegítünk. 17 g kálium-karbonát vagy ekvivalens mennyiségű kálium-hidrogén-karbonát 50 ml vízzel készült, forrásban lévő oldatához a vas-jodid oldatot lassan hozzáfolyatjuk. Az oldat állandóan lúgos legyen, egyébként jódvesztés követhet be. A kezdetben sűrű folyadékot felforraljuk, hogy a $\text{FeCO}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4$ csapadék összeálljon, majd szűrjük. A csapadékot kimossuk, a mosóvizet a szűrlethez adjuk. A szüredék enyhén lúgos, szintelen és vasmentes

legyen! Ha nem így lenne, még kálium-karbonát oldatot adunk hozzá. A szűrletet erősen bepároljuk, újra szűrünk, és kezdődő kristálykiválásig bepároljuk az oldatot, majd lassú lehűtéssel kristályosítjuk. A kristályokat leöblítjük, a mosóvizet és az anyalúgot bepárolva újra kristályosítjuk. A kristályokat 60–70 °C-on, majd 100 °C-on szárítjuk. A második anyalúg a jódhulladékokhoz adható. A KI-ot 0,1 M oldatban szokás használni.

Hasonlóan készíthető NaJ, NaBr és KBr is. □

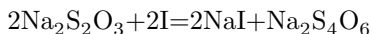
2.28.21 Kísérlet. Az az ötletünk támadhat, hogy NH₄J oldatot az NH₄Br-nál leírtak szerint készítünk. NE TEGYÜK! A jód tömény ammónia oldattal NI₃·NH₃ összetételű csapadékot képez, amely nedvesen ugyan nem, de szárazon már egy madártoll érintésére is fellobban! A I hulladék gyűjtőjébe ne kerüljön ammónia, vagy adjunk hozzá szulfidot, hogy a I-ot jodiddá redukálja! NH₄I oldatot hidrogén-jodid oldat ammónia oldattal való elegyítésével kaphatunk. □

2.28.22 Kísérlet. Oxidáló anyagok, például Cl₂, Br, nitrozus gázok kimutatására használható a KI-os keményítő papír. 0,5 g keményítőt oldjunk fel 100 ml vízben, és adjunk hozzá 0,5 g KI-ot. Szűrőpapír csíkokat itatva át az oldattal, majd megszáritva, a kapott papír oxidáló anyagoktól megkékül: I válik szabaddá, és reagál a keményítővel. Próbáljuk ki! □

2.28.23 Kísérlet. Adjunk valamilyen ólomsó oldatához kevés KI oldatot. Sárga csapadék válik le, amely hideg vízben rosszul, forró vízben lényegesen jobban oldódik. Tömény KI feleslege oldja. Forrón telített szintelen oldatból aransárga lapokban válik ki. □

Más jodidok, amelyek rosszul oldhatók a sárga AgI, zöld Hg₂I₂, amely a kémszer feleslegében megsűrkül, vörös HgI₂, a kémszer feleslegében szintelenül oldódik, fehér CuI (jód is keletkezik), sárga TII. A többi jodid vízdoldható. A jód híg oldatból AgI (vagy CuI) alakjában is leválasztható, amiből az ezüst vassal cementálható, így is kinyerhető a I.

2.28.24 Kísérlet. ** Kálium-jodid és tiszta jód segítségével egyszerű beméréssel pontos I-oldatot készíthetünk, amivel redukáló anyagokat titrálhatunk. Oxidáló anyagok mérése úgy történhet, hogy KI-ot adunk feleslegben az oldathoz, és a felszabaduló I-ot frissen készített pontos aszkorbinsav oldattal titráljuk semleges vagy enyhén savas közegben. Aszkorbinsav helyett nátrium-tioszulfát is használható, amit a jód semleges vagy gyengén savas közegben a



egyenlet szerint tetrationáttá oxidál. (Lúgos közegben a hipojodit túl erősen oxidál, az aszkorbinsavat roncsolja, a tioszulfát oxidációja is tovább megy.) Sajnos, a tioszulfátból nem készíthető beméréssel pontos oldat, és a faktora is változik. ** □

2.28.25 Kísérlet. Hidrogén-jodid gáz keletkezik, ha jódot vörös foszforral vagy fenyőgyantával melegítünk. Oldata használatos. Ennek készítése úgy történhet, hogy 12 g I 15 ml vízzel vett szuszpenziójába kén-hidrogént vezetünk erős keverés mellett. A szuszpenzió megköti a kén-hidrogént. A meg nem kötött kén-hidrogént nátrium-hidroxid oldat fölé vezetjük, ami megköti. Ha az oldat gyakorlatilag szintelen, üvegszűrőn szűrjük. Rövid forralással elűzzük a kén-hidrogén feleslegét, majd desztilláljuk, a 125–127 °C között desztilláló részt gyűjtve össze. Ez azeotrópos elegy, 126 °C-on forr és 57% HI-ot tartalmaz. Ha hígabb oldattal is megelégszünk, több vízzel is dolgozhatunk, és a desztillálás elmaradhat. A hidrogén-jodid erősebb sav, mint a sósav. Napfény hatására hidrogénre és jódra bomlik, így barna, üvegdugós üvegben érdemes tartani.

2.28.26 Kísérlet. ** Kálium-jodát egy érdekes reakcióval készíthető. Egy lombikban 3 g kálium-klorátot oldjunk fel 6 g meleg vízben és adjunk hozzá 3,5 g jódot. A heves reakció 2–4 csepp forró tömény salétromsav hozzáadásával indítható be SZABADBAN. Klór képződik, ami kevés jódot is visz magával. Ha a klórfejlődés alábbhagyott, forraljuk fel az oldatot a klór elűzésére! Amikor már majdnem minden klór távozott, adjunk az oldathoz még 0,1 g jódot. További befőzés után hagyjuk az oldatot kihűlni. Majdnem minden KIO_3 kikristályosodik. Üveggolyón leszívadjuk. Az anyalúgból újabb adag nyerhető ki. A nyers-terméket, amely majdnem mindig némi $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ savanyú sót is tartalmaz, 15 ml forró vízben oldjuk, kálilúggal, hamuzsírral vagy KHCO_3 -tal pontosan semlegesítjük. Lehűlés-kor jó kitermeléssel kristályosodik ki a tiszta só. Hevítve a só elbomlik, de nem képződik perjodát, bár az másként előállítható.

A reakcióban az a meglepő, hogy a jód klórt tesz szabaddá. Itt azonban az számít, melyik milyen erősen kötődik az oxigénhez: a jód jobban, mint a klór. A kálium-jodátból egyszerű beméréssel pontos, faktorát tartó M/60 mérőoldat készíthető. Ez kálium-jodid oldattal együtt megsavanyítva jódot tesz szabaddá. ** □

2.28.27 Kísérlet. ** Jódsav készítéséhez szublimált jódot SZABADBAN vízzel hűtött gömblombikkal lefedett Erlenmeyer lombikban füstölgő salétromsavval melegítünk, amíg a keverék világos sárga lesz. Ezután a keveréket vízfürdőn szárazra pároljuk. A maradékot vízben oldva ismét szárazra pároljuk. Ezt néhányszor ismételve tisztább lesz. A jódsavat 240–250 °C-on hevítve jód-pentoxid, I_2O_5 keletkezik. Ennek nevezetes tulajdonsága, hogy a hidrogénnel nem reagál, de a CO-ot CO_2 -dá oxidálja, így CO kimutatására, meghatározására használható. ** □

2.28.28 Kísérlet. A halogénekhez hasonlóan viselkednek bizonyos atomcsoportok, ezeket *pseudohalogéneknek*, azaz *álhalogéneknek* nevezzük. Jellemzőikben hasonlítanak a halogénekhez:

- Hidrogénnel kapcsolódva illékony savakat alkotnak, amelyek sói stabilak;
- Az Ag, Hg_2 , Pb és Cu(I) sók oldhatatlanok vagy rosszul oldódnak;
- Kettesséval kapcsolódhatnak, pl. $(\text{CN})_2$, dicián, valamint egymással és a halogénnel is, pl. ICN, jódcian;
- Hármassával kapcsolódva saját magukkal vagy egymással és a halogénnel a I_3^- ionhoz hasonló hármast alkotnak.

Egy jellemző pseudohalogen a cián, $-\text{CN}$ csoport, már találkoztunk vele. Oxidálásával képződik az $-\text{OCN}$, *ciánát* csoport. Ha ebben az oxigént kén helyettesíti, kapjuk a *tiociánát* vagy *rodanid*, $-\text{SCN}$ csoportot, ezzel is találkoztunk. Végül az $-\text{N}_3$, azid csoport és a $=\text{CN}_2$ vagy $=\text{NCN}$, ciánamid csoport is ide tartozik. Mindegyik csapadékot ad ezüst-nitráttal. Ezt például KSCN-dal ki is próbálhatjuk. Egyébként a kén helyett szelén illetve tellur is helyettesítheti az oxigént.

A helyzetet tovább bonyolítja az *izoméria* (*ίσοϛ* ‘egyenlő’, *μέροη* ‘hely’), mégpedig itt szerkezeti izoméria: az atomok többféle sorrendben is kapcsolódhatnak. Így például *ciánsavon* kívül van *izociánsav* és *fulminsav* is, mindegyikben egy-egy H, C, N, O atom van, csak másként kapcsolódnak. □

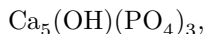
2.28.29 Kísérlet. A Cl, Br és I kimutatása vegyületeikben történhet lángfestéssel, ez a *Beilstein-próba*. Egy 0,5–1 mm átmérőjű rézdrót végét esetleg kalapáljunk lapos spatulává, majd lángban oxidáljuk a felületén! Érdemes dugóba szűrni, mert jól vezeti a hőt.

Tegyünk rá egy keveset a vizsgálandó anyagból, vagy cseppentsük rá és óvatosan szárítsuk meg. A forró drótvéggel is felvehetünk egy szemcsét. Ezután elég erősen melegítsük éppen csak nem világító lángban, de ne olvadjon meg a drót! A zöldtől kékig terjedő lángfestést réz-halogenidek okozzák. A réz-fluorid nem illékony, nem festi a lángot. A próbát pszeudohalogenidek is adhatják, amelyek a lángban keletkezhetnek nitrogén tartalmú szerves vegyületekből, így nem teljesen biztos. Az érzékenység $\approx (7)$. A nátrium lángfestése zavaró. Próbáljuk ki sósavval, NH_4Cl , KCl és NaCl szemcsével. Sósavval kiváló lángfestést kapunk, és szalmiáksóval is. KCl -dal éppen csak látható a réz-klorid és a kálium lángfestése. A NaCl -nál már csak a nátrium lángfestése látható. A próba segítségével általában szerves anyagokat szoktunk vizsgálni. Megvizsgálhatunk például műanyagokat, hogy tartalmaznak-e klór? A leggyakoribb klórtartalmú műanyag a *poli-vinil-klorid*, *PVC*; sok műanyag zacskó ebből készül. PVC a rézdrótok szigetelése: ha közel van a lánghoz, megkapjuk a lángfestését. Próbáljuk ki a damilt is, amelynek anyaga poli-amid, PA , nem tartalmaz halogént, de tartalmaz nitrogént! Én nem tapasztaltam lángfestést. \square

2.29 Égessünk el egy csontot

Van még egy fontos ásványi sav, ami nélkülözhetetlen az élethez. Ismerkedjünk meg vele!

2.29.1 Kísérlet. Egy nyers vagy főtt illetve sült csontot égessünk el tűzben, kályhában vagy SZABADBAN! A nyers csont előbb megfeketedik, jelezve, hogy szerves anyag van benne, majd lassan kifehéredik. Főtt csontnál is hasonló a folyamat, de ott a csontban lévő szerves anyag, az *enyv* vagy *zselatin* nagy része már kioldódott. Ha a csont szépen kifehéredett, vegyük ki a tűzből, a rajta lévő hamut fújjuk le, és a *csonthamut* gondosan porítsuk el. Ez az anyag kémiailag majdnem tiszta



a háromértékű H_3PO_4 *ortofoszforsav* vagy röviden csak *foszforsav* bázisos sója; ásványként is előfordul, ásványtani neve *apatit*. Benne egy olyan elem van, amivel még nem találkoztunk, a *foszfor*. Vegyjele P , nemzetközi (latin) neve a görög phos ‘fény’ és phero ‘hordozni’ szavakból ered, mert levegőn sötétben világít. Magával az elemmel később foglalkozunk, egyelőre csak annyit, hogy atomtömege 30,9737624 g. \square

2.29.2 Kísérlet. A foszforsav középerős sav, így a csonthamuból kénsavval fel tudjuk szabadítani. Csonthamuhoz adjunk vizet és kénsavat (például akkumulátorsavat) úgy hogy 1 rész kénsav és 5 rész víz jusson 1 rész csonthamura. Lehet, hogy pezseg, a csonthamu tartalmazhat kalcium-karbonátot. Meleg helyen gyakran megkeverve hagyjuk állni 2–3 napot. A csapadékot szűrjük le, majd 2 rész forró vízzel felkeverve újra szűrjük, a szűrleteket egyesítjük. Pároljuk be a szűrletet 2 részre, és néhány napig hagyjuk állni, hogy a gipsz teljesen leváljon. Amit kaptunk, foszforsav, de nem valami tiszta. Maradhatott benne kalcium, amit ugyan kénsavval nagyjából le tudnánk választani, de akkor meg kénsavval lenne szennyezett. Teljes megtisztítása igen bonyolult. Ha tiszta savat akarunk, akkor legegyszerűbb, ha veszünk: elég olcsó, élelmiszeripari célokra árulják. Savanyításra, például üdítőkhöz használják.

A híg foszforsavat porcelán tálban bepárolva addig, amíg a folyadék 180 °C-os lesz, majd igen erősen lehűtve, foszforsav, H_3PO_4 kristályokat lehet kapni. Tovább hevítve

223 °C felett két molekula foszforsavból kilép egy molekula víz, és $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, *difoszforsav* keletkezik. További vízkilépéssel kapjuk a *trifoszforsavat*, *tetrafoszforsavat*, stb. A foszforsavat 316 °C fölé hevítve — legjobb egy arany táliban, mert minden mást megtámad — végül $(\text{HPO}_3)_n$, metafoszforsav marad vissza üvegszerű tömegként. Ebben a foszforatomok — oxigénatomokon keresztül — hosszú láncná vagy gyűrűvé kapcsolódnak össze. Ezek a *polifoszforsavak* vízben változatlanul oldódnak ugyan, de lassan átalakulnak ortofoszforsavvá. Sóik sokkal állandóbbak vizes oldatban is. □

2.29.3 Kísérlet. Kezdjük valamit foszforsavunkkal, akár magunk készítettük, akár vettük. Forrón semlegesítsük 10 %-os szódaoldattal addig, amíg fenolftaleinre éppen lúgos lesz. Ha saját készítésű foszforsavat használtunk, hagyjuk pár napig állni, majd szűrjük le. Vízfürdőn bepárolva és kristályosítva $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, nátrium-hidrogén-foszfát dodekahidrát kristályosodik ki. Tisztítása meleg vízből való átkristályosítással történik. Ha saját készítésű foszforsavból csináltuk, legalább kétszer kristályosítsuk át. Levegőn vizet veszít. Laboratóriumban 1/15 M koncentrációjú oldatát szokás használni pufferoldat készítésére.

A harmadik hidrogénatomot nem bírjuk szódaoldattal lecserélni, csak nátronlúggal. Így *trinátrium-foszfátot* kaphatunk. Nem érdemes azonban készíteni, mert *trisó* néven olcsón kaphatunk. Hidrolízis miatt erősen lúgos anyag. Mosóporok alkotórészeként, illetve vízlágyításra használják. □

2.29.4 Kísérlet. Kétszer savanyú foszforsav-sók is léteznek. Ezek közül a káliumsót, a kálium-dihidrogén-foszfátot szokás használni, mert ez jól kristályosítható. Előállítására tiszta, híg és forró foszforsavba adagoljunk kálium-hidrogén-karbonátot addig, amíg a pH 4,5 nem lesz (univerzál indikátorral vagy káposztaindikátorral és pufferoldattal vizsgálva). Vízmentesen kristályosodik. Tisztítása 2 ml/g forró vízből való átkristályosítással történik: az oldatot óráig forró vízfürdőn tartjuk, szűrőpapírpépet adunk hozzá és szűrjük, hogy minden zavarosságot eltávolítsunk, keverve gyorsan lehűtjük, kétszer vízzel majd 50 %-os alkohollal leöblítjük és 90 °C alatt szárítjuk. Laboratóriumban 1/15 M koncentrációjú oldatát szokás használni pufferoldat készítésére. □

2.29.5 Kísérlet. Gyakran használjuk az úgynevezett *foszforsót*. Ebben a foszforsav egy hidrogénjét nátrium, egy másikat ammónium helyettesíti. Készítésére 1 mól dinátrium-hidrogén-foszfát-dodekahidrátot és 1 mól ammónium-kloridot 300 ml forró vízben oldunk. A lehűlő oldatból kiváló $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$ -tetrahidrátot szűrjük és szűrőpapír között szárítjuk. Tisztítása 1 ml/g forró vízből való átkristályosítással történhet. Persze úgy is készíthetünk foszforsót, hogy foszforsavunkhoz csak feleannyi szódát adunk, mint amennyi a dinátrium-hidrogén-foszfát készítésénél kellett, majd ammónia oldattal meglúgosítjuk. □

2.29.6 Kísérlet. A foszfátok reakcióit dinátrium-hidrogén-foszfát oldatán próbálhatjuk ki. Semleges oldatból kalcium- illetve báriumsókkal fehér csapadék válik ki, amely savakban — ecetsavban is — oldódik kétszer savanyú só képződése közben. Lúgos — akár ammóniás — oldatban trikálcium-foszfát válik ki: ezért használható a trisó vízlágyításra, mosásra, mert a keménységet adó sókat leválasztja. A nehéz fémekkel is csapadékok képződnek, némelyik oldható ecetsavban, némelyik nem. Ezüst-nitráttal sárga csapadékot kapunk, amely salétromsavban és ammóniában oldódik.

Műtrágyának nagy mennyiségben gyártanak *superfoszfátot*. Ez nagyjából úgy készül, ahogy mi kezeltük a csonthamut. Benne van a gipsz is, és egyszer illetve kétszer savanyú

kalcium-foszfát, CaHPO_4 és $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. A kétszer savanyú kalcium-foszfát oldható vízben, az egyszer savanyú kalcium-foszfát pedig növényi savakban, például citromsavban, így a növény számára mindkettő felvehető. Az alapanyag azonban nem apatit, másnéven *hidroxilapatit*, hanem *fluorapatit*, benne az OH csoportot F helyettesíti. (Van még *klórapatit* is.) Ha szuperfoszfátot akarunk foszfátok előállítására felhasználni, akkor először fel kell hevitenünk SZABADBAN 600 °C-ra. Ekkor a benne marad fluor — ami az eredetinek nagyjából a fele — 99%-a távozik HF illetve a szennyezésekkel képződő SiF_4 alakjában.

□

A foszforsav első disszociációs állandójának, K_1 -nek a negatív logaritmus a $\text{p}K_1 = 2,15$, a másodiknak $\text{p}K_2 = 7,20$, a harmadiknak pedig $\text{p}K_3 = 12,37$. Az várható, hogy a disszociációs állandó egyre kisebb lesz, hiszen a H^+ ionnak először egy semleges molekulát, majd egy elektronnyi negatív töltésű iont, végül két elektronnyi negatív töltésű iont kell elhagynia, de van-e valami számszerű összefüggés? Oxosavak — elem oxidjából képződő savak — esetén van: a negatív logaritmus mindig nagyjából öttel nő. Nem oxosavaknál — például kénhidrogénnél — a második hidrogénnek sokkal kisebb iont kell elhagynia, így ez az érték ≈ 8 . A difoszforsavnál viszont a $\text{p}K$ értékek rendre 1,5, 2,4, 6,6 és 9,2. A magyarázat, hogy a sav kétmagvú, a második hidrogén távolabbi helyről válik le (a harmadik viszont ugyanonnan, ahonnan az első). Hasonló a helyzet többértékű szerves savaknál.

Hát az első disszociációs állandóra van-e valami összefüggés? Van: az $\text{XO}_m(\text{OH})_n$ képletel megadható oxosav első disszociációs állandója jelentősen függ m -től, de nem nagyon függ attól, hogy mi az X és mennyi n , éspedig $\text{p}K_1 \approx 8 - 5m$. Példák az $\text{X}(\text{OH})_n$ összetételű gyenge savakra:

X	Cl	Br	J	B	As	Sb	Si	Ge	Te
n	1	1	1	3	3	3	4	4	6
$\text{p}K_1$	7,2	8,7	10,0	9,2	9,2	11,0	10,0	8,6	8,8

Példák az $\text{XO}(\text{OH})_n$ összetételű gyenge savakra:

X	N	Cl	C	S	Se	Te	P	As	I
n	1	1	2	2	2	2	3	3	5
$\text{p}K_1$	3,3	2,0	3,9	1,9	2,6	2,7	2,1	2,3	1,6

(A szénsavra megadott érték korrigált, figyelembe veszi, hogy csak a széndioxid kis része képez savat.) Példák az $\text{XO}_2(\text{OH})_n$ összetételű erős savakra:

X	N	Cl	J	S	Se
n	1	1	1	2	2
$\text{p}K_1$	-1,4	-1	0,8	< 0	< 0

Példák az $\text{XO}_3(\text{OH})_n$ összetételű nagyon erős savakra:

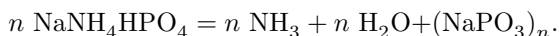
X	Cl	Mn
n	1	1
$\text{p}K_1$	-10	

2.29.7 Kísérlet. Adjunk 2 M koncentrációjú MgCl_2 oldathoz ammónium-hidroxidot, majd annyi ammónium-kloridot, hogy a keletkezett csapadék feloldódjon! Az így készült

oldat a *magnesia mixtura*, magyarul magnéziakeverék. Kiváló kémszere a foszfátoknak: még nagyon híg foszfát oldatokból is fehér kristályos $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ csapadék válik ki, amely 2%-os ammóniában nem oldódik, de savakban könnyen. Híg oldatokból a csapadék kiválása lassan indul meg. A csapadék kristályai mikroszkóp alatt jellegzetesek.

2.29.8 Kísérlet. Ha a difoszforsav reakcióit akarjuk tanulmányozni, a nátriumsóját könnyen előállíthatjuk, ha dinátrium-hidrogén-foszfátot porceláncserépen kiizzítunk. Vízesztéssel a difoszforsav nátriumsója, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ keletkezik. (A savat emiatt az előállítási mód miatt szokás *pirofoszforsavnak* is nevezni.) Az anyagból készítsünk egy kevés nagyjából 1/8 M-os oldatot. Az oldat BaCl_2 -dal fehér csapadékot ad, amely azonban töményebb ecetsavban sem oldódik, de erős savak oldják. Ezüst-nitráttal nem sárga, hanem fehér csapadékot kapunk. Magnézia mixtúrával is csapadékot kapunk, de a fémionokkal kapott csapadékot a pirofoszfát feleslege komplexképződés közben oldja. Ezért a polifoszfátokat mosóporokban szokták használni: kemény vízzel sem ad csapadékot, ha feleslegben van. □

2.29.9 Kísérlet. A metafoszforsavak káliumsóit úgy készítik, hogy kálium-dihidrogén-foszfátot izzítanak. Vízesztéssel a metafoszforsavak sóinak keveréke képződik. Nagyjából ugyanide jutunk, ha foszforsót izzítunk porceláncserépen:



A reakció úgy fogható fel, hogy a foszforsó előbb ammóniát, majd vizet veszít. Amit kaptunk, az nagyjából megfelel a *calgon* nevű mosóporadaléknak. Készítsünk belőle olyan oldatot, amely az eredeti foszforsóra 0,5 M koncentrációjú lenne, hogy kipróbálhassuk néhány reakcióját. A BaCl_2 -dal és AgNO_3 -tal az eredmény ugyanaz, mint a difoszfátoknál. Magnézia mixtúrával nem kapunk csapadékot. A tojásfehérje oldatot viszont kicsapja, míg az orto- és pirofoszfátok nem. □

2.29.10 Kísérlet. A *foszfor* felfedezése nagy szenzáció volt a XVII. században, mivel legközönségesebb módosulata, a *fehér foszfor* vagy *sárga foszfor* világít a sötétben. Ez viaszszerű anyag, fénytörése erős, sárgásfehér színű, jó szigetelő, 44,25 °C-on olvad. A folyadék P_4 molekulákból áll, forráspontja 280,5 °C. A fehér foszfor nagyon tűzveszélyes, már 35 °C-on meggyulladhat. Víz alatt tartják el, mert vízben gyakorlatilag oldhatatlan. Oxigént vezetve hozzá itt is meggyullad 60 °C-on. Nagyon mérgező, halálos adagja mintegy 50 mg. Rendkívül jól oldódik szén-diszulfidban, és elég jól oldódik több szerves oldószerben is. Ha ilyen oldatot papírra öntünk, az oldószer elpárolog és a visszamaradó finom eloszlású foszfor meggyullad. A fehér foszfor erős lúgokkal főzve diszproporcionálódik:



A keletkező ammóniához hasonló szerkezetű PH_3 , *foszfin* rendszerint meggyullad, de ezt mellékreakcióban keletkező magasabb foszfortartalmú foszforhidrogének, például P_2H_4 okozzák, amelyek öngyulladóak. A nátriumsó a H_3PO_2 *hipofoszforsav* nátriumsója. A sav a látszattal ellentétben nem háromértékű, hanem csak egyértékű sav: két hidrogénje közvetlenül a foszforhoz kapcsolódik. Ezt támasztja alá disszociációs állandója is: $\text{p}K_1 = 2,0$. Rendkívül jó redukálószer.

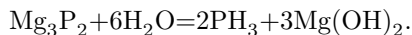
Másik gyakori módosulat a sokkal stabilabb amorf *vörös foszfor*. Ez akkor keletkezik a sárga foszforból, ha levegőtől elzártan 270–300 °C-ra hevítik. Nem oldható és így nem

is mérgező, nem világít, és nem olyan gyúlékony, mint a fehér. Hőkezeléssel más módosulatok (van legalább öt kristályos és több amorf) keletkeznek belőle. Kb. 600 °C-on olvad. Levegőn minden foszformódosulat fehér porszerű foszfor-pentoxidá, P_2O_5 , ég el, de keletkezik foszfor-trioxid, P_2O_3 is. A foszfor-pentoxid az egyik legerősebb vízelvonó anyag, még a tömény kénsavból, salétromsavból, perklórsavból is elvonja a vizet, és a megfelelő oxidok felszabadulnak. Első lépésben metafoszforsav keletkezik belőle. Kisebb nyomáson végezve az elégetést, el lehet érni, hogy a fő termék foszfor-trioxid legyen. Ez a foszforosav, H_3PO_3 anhidridje. A látszattal ellentétben a sav kétbázisú, mert az egyik hidrogén közvetlenül a foszforhoz kapcsolódik. Ezt támasztja alá disszociációs állandója is: $pK_1 = 1,8$.

Természetesen szeretnénk kipróbálni a foszfor világítását sötétben. A régi gyufák fejében fehér foszfor volt. Ezek mindenben meggyulladtak (néha maguktól is), és mérgezőek voltak. A mai gyufák fejében nincs foszfor, csak éghető anyag és oxidálószer. A gyufásdoboz oldalán azonban üvegliszt (súrlódásnövelő), nagyjából 50% vörös foszfor és ragasztóanyag van. A súrlódástól a vörös foszforból egy kevés elpárolog, és lecsapódva belőle kevés fehér foszfor keletkezik. Ez gyullad meg, és gyújtja meg aztán a gyufa fejét. Tegyük a gyufásdoboz oldaláról leszedett darabkát egy kémcsőbe, és cseppentsünk rá 1–2 csepp vizet. Sötétben, a sötéthez hozzászokott szemmel melegítsük borszeszlángon a kémcsövet, majdnem vízszintesen tartva. Előbb a víz párolog el, megtölti a kémcsövet. Ezután elszenesedik a papír és a ragasztó, meg elpárolog a vörös foszfor. Ahol a foszforfogózik érintkezésbe kerülnek a levegővel, világítás észlelünk. □

2.29.11 Kísérlet. Vörös foszforhoz úgy juthatunk, hogy bevizezzük gyufásdobozok oldalát, és lekaparjuk róluk a masszát. Ennek nagyjából a fele vörös foszfor, a többi üvegpor, ragasztó és más adalékanyag. Forró vízzel alaposan mossuk ki és szűrjük le, hogy amennyire lehetséges, eltávolítsuk belőle a ragasztót. Vaslapon gyűjtsük meg. Fehér füst képződésével elég. Ha egy vas sapkával, tégellyel vagy dobozzal leborítjuk, de úgy, hogy a levegő azért hozzáférjen, a fehér anyag — ami foszfor-pentoxid, P_2O_5 — összegyűlik a vason. Lekaparva egy óraüvegen hagyjuk levegőn állni. Elfolyósodik, foszforsav keletkezik. Vizsgáljuk meg! Egyébként iparilag így gyártják a tiszta foszforsavat, de fehér foszfor égetésével, amit foszfátok szénrel való redukációjával kapnak ívkemencében. Nagyrészt a foszfor és a kén égésének vizsgálata vezette Lavoisier-t arra, hogy a nemfémek oxidjaiból kapjuk vízzel a savakat: a halogénsavak és más hasonló savak összetételét csak később ismerték fel.

2.29.12 Kísérlet. Valamilyen vízmentes, kizsított foszfátból keveset melegítsünk egy kis kémcsőben magnéziumporral. A magnézium foszfiddá redukálja a foszfátot. A csövecskét kevés vízbe ejtve érezhetjük a „karbidszagot”, a foszforhidrogén jellegzetes fokhagymaszerű szagát:



A kalcium-karbidot kalcium-foszfid szokta szennyezni, ami szintén foszforhidrogént fejleszt. □

2.30 Üveget csinálunk

2.30.1 Kísérlet. Próbáljunk homokot feloldani savakban! Híg sósavval leöntve nem tapasztalunk oldódást. Ha 20%-os sósavval főzzük, ugyanígy nem oldódik, bár valószínűleg

kioldódnak egyes szennyezések, például vasvegyületek, és a homok kifehéredik. A tiszta tengeri homok, kvarchomok ilyen fehér. Fő alkotórésze, a szilícium-dioxid vagy kvarc, magyarul kova, csak hidrogén-fluoridban oldódik és SiF_4 gáz keletkezik. Mivel a kvarc 7-es keménységű, a legkeményebb a közönséges (nem drágakő) ásványok közül, ez marad meg legtovább szemcsés alakban, miközben a folyó „őrli” a szállított kőzeteket. Mivel savas jellegű anyag, tömény lúgban forrón valamennyi feloldódna belőle, de érdemesebb a következő kísérlet szerint *feltárással*, mégpedig *lúgos feltárással* oldatba vinni. □

2.30.2 Kísérlet. 3 g K_2CO_3 és 3 g Na_2CO_3 keverékét elporítjuk. A keverékből szórjunk kb. 1 g-ot vastégely vagy vaskanál aljára, 4 g-ot pedig keverjük el 1 g finoman elporított kvarchomokkal és szórjuk a tégelybe vagy kanálba. (Kanalat magunk is kalapálhatunk vaslemezből.) Melegítsük eleinte óvatosan, majd ha már összesült, erősen fűvó lángon izzítsuk fel. Tartsuk izzásban az olvadékot 10 percig. Az olvadéokban buborékok szállnak fel: szén-dioxid képződik. A tégely vagy kanál alját mártsuk vízbe, forró vízzel a tartalmát oldjuk ki, és az oldatot szűrjük meg. A kapott anyag *vízüveg*, azaz vízben oldható üveg. Hideg vízben nagyon lassan oldódik. Ha nátronvízűveget akarunk készíteni, csak szódát, ha kálicsvízűveget, akkor pedig csak hamuzsirt használjunk. Azért használtunk keveréket, mert az könnyebben olvad. Vízüveg oldat olcsón kapható. A nátronvízüveg összetételét Na_2SiO_3 -nak szokták írni, de valójában a $\text{SiO}_2\text{:Na}_2\text{O}$ arány benne nem egy, hanem kettő vagy még több.

Általában gyémántmozsárban való aprítás után ilyen lúgos feltárással visszük oldatba a sósavval nem elbontható szilikátokat. Nagyon gyakoriak a természetben, mert a Föld kérgének mintegy 27%-a Si, így a második leggyakoribb elem az oxigén (50%) után. A szilikátok alapegysége az SiO_4 csoport, amelyben egy tetraéder középpontjában helyezkedik el a kicsiny Si atom, és azt veszi körül a tetraéder csúcspontjaiban a négy nagy oxigén atom. Az oxigének maradék egy-egy vegyértékét vagy valamilyen fémion köti le, vagy egy másik tetraéder részeként Si atomhoz kapcsolódik. A különböző kvarc módosulatok is így jönnek létre, a tetraéderek összekapcsolódásával. Sok van, és más-más a kristályalakjuk. A geológusok a kvarcot *földtani hőmérőnek* nevezik, mert a módosulatokból meg lehet állapítani, hogy milyen hőmérsékleten keletkezett. Amorf kvarc a *kvarcüveg*, igen kicsi a hőtágulása. A szilikátokban a tetraéderek például 3, 4 vagy 6 tagú gyűrűkké kapcsolódhatnak $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{6-}$, $(\text{Si}_4\text{O}_{12})^{8-}$ illetve $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$ ionokat létrehozva. Hosszú $(\text{SiO}_3)_n^{2n-}$ láncok is létrejöhetnek, de hatos gyűrűk is összekapcsolódhatnak láncná. Ilyen lineáris szerkezetű szilikát az *azbeszt* egyik fajtája, amely nagyon finom szálakká hasad. A kapcsolódás tehát mindig oxigéneken keresztül történik, $-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\dots$. A *szilikonokban* a láncban a szilícium maradék vegyértékét szerves csoportok kötik le.

Ha az SiO_4 tetraéderek síkhálónak kapcsolódnak össze, akkor sík mentén jól hasadó ásványok jönnek létre, ilyen például a *csillám*. Az agyagásványok is könnyen szétváló síkokról állnak. A legtöbb szilikát azonban térhálós szerkezetű. Amorf szerkezetű szilikát az *üveg*. Főleg Na és Ca van benne, de lehet K, Al, Pb, a Si egy része helyett B. Olvasztásához nem kell feltétlenül karbonátokat használni: mint nem illó sav, a SiO_2 magas hőmérsékleten a szulfátokat is könnyen megbontja.

A kvarc finom pora huzamosabb ideig (hónapokig, évekig) belélegezve betegséget, *szilikózist* okozhat. Köztudott, hogy az azbeszt rákkeltő. Ilyen anyagoknál a veszély helyes értékeléséhez tudnunk kell, hogy mekkora. Azbeszttel védőmaszk nélkül évekig dolgozó munkások egy része betegedett meg tüdőrákban. Egyszeri érintkezés azbeszttel talán ‰‰ nagyságrendű életveszély jelent. Ez annyi, mint egy cigaretta elszívása, vagy fél

óra séta a Margit körúton, és védőmaszkkal gyakorlatilag nullára csökkenthetjük. Porló azbeszt tartalmú vakolatú lakás azonban évek alatt komoly veszély. □

** A kőzetek legnagyobb része szilikát. A Föld mélyéből feltörő *magma* legnagyobb része szilikátolvadék. Ha a magma SiO_2 -tartalma $>63\%$, neve *savanyú magma*, ha $52\text{--}63\%$, akkor *semleges magma*, ez alatt 45% -ig *bázikus magma*, 45% alatt *ultrabázikus magma*. Az előkristályosodás során általában nagy fémtartalmú ásványok válnak ki, elsősorban az ultrabázikus magmákból. A főkristályosodás során sötétebb és világosabb ásványok válnak ki. A sötétebb ásványokból először válik ki az *olivin*. Ez kémiailag ortoszilikát, jellemzően $(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{SiO}_4$, de más fémek is lehetnek benne. Alacsonyabb hőfokon válnak ki a *piroxének*. Ezekben az SiO_4 -tetraéderek az oxigéneken keresztül hosszú láncú kapcsolódnak össze. A fémek lehetnek Fe(II) , Mg , Mn(II) , Ca , Na , Li , stb. Még alacsonyabb hőfokon válnak ki a két, minden második tetraédernél oxigéneken keresztül összekapcsolódó SiO_4 -tetraéderből álló (vagy másként, hatos gyűrűk láncú kapcsolódásával létrejövő), tehát $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_n^{6n}$ anionnal jellemezhető *amfibolok*. Mint már említettük, ide tartozik például az azbeszt egyik fajtája. Ezekben még magasabb a SiO_2 -tartalom a fémtartalomhoz képest. A *rétagszilikátok*ban az SiO_4 -tetraéder három csúcsával más, ugyanabban a síkban lévő tetraéderekhez kapcsolódik, és egy oxigén-vegyérték marad a fémeknek. Ide tartoznak a könnyen rétegekre hasítható *csillámok*, és az azbeszt egy másik fajtája. A kristályosodás során a magma összetétele a bázikusustól a semlegesen keresztül a savanyúig tolódik el.

A magmából képződő kőzetek másik fő csoportja a *földpátok*. Ezeknek a váza szilikát váz, összekapcsolódó SiO_4 tetraéderek alkotják az alapvázat, de némelyik tetraéder középpontjában Si helyett Al van. Persze, az Al csak három vegyértékű, a maradék O-vegyértéket fémnek kell lekötnie. Az Al középpontú tetraéderek soha nem kapcsolódnak közvetlenül egymáshoz, mindig csak SiO_4 tetraéderhez. Földpát például az *anortit*, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, az *albit*, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, és az *ortoklász*, KAlSi_3O_8 . Más földpátok is vannak persze. Az anortit a *kalciumföldpátok*hoz tartozik, a másik kettő *alkáliföldpát*, mégpedig az albit *nátronföldpát*, az ortoklász *káliföldpát*. Az alkáliföldpátok magasabb hőfokon korlátlanul elegyednek egymással, de alacsonyabb hőfokon szétválnak. Az anortit az albittal is korlátlanul elegyedik. Miközben a sötétebb ásványok kiválása zajlik, világos színű ásványként válnak ki földpátok is: kezdetben az anortit (az olivin kiválásának megfelelő hőmérsékleten), amihez egyre több albit keveredik. 5% -nál több albit tartalom esetén *plagioklászföldpátról* beszélünk. Végül a rétegszilikátok kiválásakor már csak albit válik ki, bár mindig tartalmaz némi káliumot is.

A főkristályosodás végén káliföldpátok, muszkovit (egy csillámfajta) és kvarc válik ki. Ha nincs elég SiO_2 a magmában a földpátok képződéséhez, akkor *földpátpótlók* válnak ki, ilyen például a *nefelin*, NaAlSiO_4 , és a *leucit*, KAlSi_2O_6 . Ezek soha nem fordulnak elő kvarccal együtt. A magmás kőzeteket osztályozása — legalábbis ha ezek mennyisége eléri a 10% -ot — a plagioklász, alkáliföldpát és kvarc vagy földpátpótló arány alapján történik. Más-más nevet használnak a kiömlési — a földfelszínre kijutó lávából képződő — kőzeteknél, amelyek a gyors kihülés miatt finom szemcsések, illetve a mélységi kőzeteknél, amelyek a mélyben való lassú lehülés miatt durva szemcsések. További olvasmánynak Pápay [134] könyvét ajánljuk. **

2.30.3 Kísérlet. Az előző kísérletben kapott vízűveg oldathoz — vagy készen vásárolt és nagyjából 6% -osra hígított — vízűveg oldathoz adjunk apránként sósavat. Miután a maradék karbonát elreagált, ortokovasav, H_4SiO_4 válik ki, ami azonban polimerizálódik, gélszerű csapadék képződik nagyjából $(\text{H}_2\text{SiO}_3)_n$ összetétellel. (Néhány ásvány az orto-

kovasav sója, például a *berill*, Be_2SiO_4 .) A kovasav eléggé jól oldódik vízben és savakban kolloid oldatként, ezért a leválása nem teljes. Erős lúgok oldják. Hígított oldatban vagy ha kevés vízüveget adunk sok sósavhoz, egyből kolloid oldat képződik. A teljes leválasztás csak úgy lehetséges, hogy az oldatot vízfürdőn szárazra pároljuk, tömény sávval (legjobb sósavval) megnedvesítjük, és újra szárazra pároljuk. Ezt szükség esetén megismételjük, majd a maradékot híg sósavval felvesszük. A fémek a sósavas oldatban vannak, amely legfeljebb 0,04% kovasavat tartalmaz. A maradék SiO_2 , ami kevés fém szennyezést tartalmaz. □

2.30.4 Kísérlet. Kísérleteinkhez célszerű készen vasárol vízüveg oldatot használni. Hidrolízis miatt erősen lúgos, mert a kovasav nagyon gyenge sav. A szilikagél tulajdonképpen kiszáritott kovasav gél. Bár nem érdemes készíteni, mert olcsó anyag, leírjuk a receptet, ami mutatja, hogy a gél állapota függ az előéletétől. 1,37 kg/l sűrűségű vízüveg 3,40 l-éhez adjunk erős keverés közben 1 l vizet, majd 10 ml percenkénti sebességgel 10 M-os sósavat, amíg a pH 2–3 lesz. 400 ml beadagolása után a keverék nagyon sűrűnfolyó és gumiszerű lesz. Ekkor a savadagolást megszüntetjük és a masszát megtörjük. Ezután kézzel keverjük, és a savat cseppenként adagoljuk. A keverés addig folytatjuk, amíg híg szuszpenziót nem kapunk. Ezután az eredeti sebességgel adagoljuk a savat, amíg a kívánt pH-t el nem érjük. További két óráig keverünk szobahőmérsékleten, majd leszívátjuk a masszát és addig mossuk, amíg a mosóvíz már nem savas. 200 °C-on 12 óráig szárítjuk, a kívánt méretre aprítjuk, és Cl^- ion mentesre mossuk. Ezután 250 °C-on 24–40 óráig szárítunk. Nagyjából 1,5 kg szilikagélt kapunk, a felület 500 m²/g. □

A szilikagél nagyjából üveg keménységű, víztartalmú amorf SiO_2 . Jó szárítóanyag. Erős lúgban főzve lassan feloldódik. Hasonló, de természetes anyag a *kovaföld*. Ez elhalt, apró kovamoszatok váza, nagy felszívó képességgel. Erős lúgban főzve lassanként szintén feloldódik. Ezt használta fel Nobel a dinamit előállítására: a veszélyes folyékony robbanóanyagot, a *nitroglicerint* kovafölddel itatta fel, így már sokkal kevésbé veszélyes.

2.30.5 Kísérlet. Hosszabb gyújtópálcát áztassunk 10–15 percig 10%-os vízüveg oldatban, majd szárítsuk meg. Ha megpróbáljuk meggyújtani, azt tapasztaljuk, hogy nem ég, csak izzik. Így használható a vízüveg tűzmentesítésre, például színházi díszleteknél. □

2.30.6 Kísérlet. 10%-os vízüveg oldatba vezessünk szén-dioxidot. Néhány perc alatt kolloid kovasav válik ki. A kovasav még a szénsavnál is gyengébb sav. Tojást szoktak úgy tartósítani, hogy vízüveg oldatba mártják. A levegő szén-dioxidjától kiváló kovasav eltömi a pórusokat. □

2.30.7 Kísérlet. Öntsünk egy pohárba 1–2 dl 20%-os vízüveg oldatot, és dobjunk a pohárba oldható Cu, Co, Ni, Mn, Zn és Fe sókristálykákat. Színes képződmények nőnek ki belőlük, amelyek vízinövényekre hasonlítanak. A jelenséget az magyarázza, hogy csak az alkálifémek szilikátjai vízoldhatóak, a többi fémé nem. Féligáteresztő fémszilikát hátrtyák képződnek, amelyeket az ozmózis újra meg újra felszakít. □

2.30.8 Kísérlet. Vízüveggel ragasztót is készíthetünk. Ha CaCO_3 port vízüveggel keverünk, a keverék porcelán ragasztására is felhasználható. Hátránya, hogy nem vízálló. Ha talkum (természetes magnézium szilikát) porral sűrű péppé keverjük a vízüveget, olyan ragasztót kapunk, amely néhány óra alatt megszilárdul, rövid ideig vízálló és más vegyszereknek is ellenáll, és tartósan bírja az izzítást is. Kaolint 10% boraxszal és vízzel vagy lenolajkencével keverve olyan kittet kapunk, amelyet ha az adott helyre kenünk és

hagyunk megszáradni, majd világos vörös izzásig hevítünk, 1600 °C-ig tűzálló. Ez már átvezet az üvegek területére. □

2.30.9 Kísérlet. Rövid üvegcső darabot fogóval lángba tartva izzítsunk fel. Ha VÉDŐ-SZEMÜVEGBEN vízbe mártjuk, apró szilánkokra esik szét. Kvarcüveggel ezt megismételve, az kibírja a vízbe mártást. Kvarcüvegből van a jódkvarc izzók búrája, mert 300 °C-ra kell felmelegednie, ha az izzó működik. Kvarc kavics (7-es keménységű, erről ismerjük meg) felizzítva és vízbe mártva darabokra törik: a kristályos kvarc hőtágulása nem kicsi, nem bírja ki a hőfokváltozást. A vassal szennyezett részek izzításkor megsárgulnak, így azokat a törmelékből kiválogathatjuk. □

2.30.10 Kísérlet. Ablaküveg darabot VÉDŐSZEMÜVEGBEN melegítsünk fel fokozatosan vas lapon. Ha már forró, borítsuk vízbe. Szilánkokra esik szét. Törjük finom porrá, a porhoz adjunk kémcsőben vizet és egy csepp fenolftalein oldatot, és forraljuk egy ideig. A fenolftalein rózsaszín lesz az üvegből kioldódó nátronlúgtól. Kémiai eszközök üvege ellenállóbb, de például forrásban lévő tömény kénsav ml-enként 1 µg kalciumot, magnéziumot, alumíniumot illetve szilícium-dioxidot old ki belőle óránként. Lúgoknak (ammóniának is) sokkal kevésbé áll ellen az üveg. □

2.30.11 Kísérlet. Egy vasdrót hurokba szorítsunk egy darabka szilikongumit. Bár 250–300 °C-ig ellenáll a hőnek, izzítva szétesik és szilícium-dioxid marad vissza. □

2.30.12 Kísérlet. Elemi szilícium előállítására a szilícium-dioxidot magnéziummal redukáljuk. A reakciót kis virágcserepben hajtjuk végre, aminek az alsó nyílását cserépdarabbal letakarjuk. A cserepet megtöltjük 4 g finom SiO₂ porból és 6 g magnéziumból álló keverékkel. A keveréket csillagszóróval gyújtjuk meg. A terméket szétdörzsöljük és literes pohárban 2 dl 20 %-os sósavval öntjük le. A magnézium-oxid és a levegő nitrogénjével keletkezett magnézium-nitrid feloldódik. A melléktermékként keletkezett magnézium-szilicid, Mg₂Si szilícium-hidridet, SiH₄ fejleszt, ami a levegőn kis pukkanással magától meggyullad és fehér SiO₂ füstöt fejlesztve elég. Visszamarad a savakban oldhatatlan barna, amorf Si. Ezt szűrjük le és mossuk ki. □

2.30.13 Kísérlet. A kapott Si-ot reagens nátronlúgban feloldhatjuk. Hidrogént fejlesztve oldódik, mint az Al. Napelemből „kibányászott” Si lappal is kipróbálhatjuk ugyanezt. A napelemben nem amorf, hanem kristályos Si van. Nagyon kemény, savakban nem oldódik, még H₂F₂-ban sem. □

2.30.14 Kísérlet. Az üvegeket nehézfém sókkal lehet színezn. Ezt könnyebben olvadó üvegszerű anyaggal egyszerűbb bemutatni. Azok a savas oxidok jönnek itt szóba, amelyek könnyen képeznek polianionokat (poli ‘sok’). Mint tudjuk, ilyen a foszforsav is. A foszforsó, NH₄NaHPO₄ izzításkor metafoszfátok keletkeznek. Vasdróton nem jó az olvasztást végezni, mert megfesti a keletkező foszforsó gyöngyöt. Használhatunk azonban magnéziapálcikát. A végét izzítsuk fel és mártsuk a foszforsó porba. Az olvadt gyönggyel további sötét vehetünk fel, ha kell. Nagyjából 4 mm átmérőjű gyöngyöt készítsünk. Végül a gyöngyöt hozzáértetjük a vizsgálandó anyag porához. Ha olvasztás után túl világos, további vizsgálandó anyagot vehetünk fel vele, ha túl sötét lett, felvehetünk vele további foszforsót. A gyöngy olvasztásához azt kell tudni, hogy az olvadék a hidegebb rész felé húzódik, tehát ne a végét melegítsük a pálcikának. Igen erősen színeznek sötétkékre a kobaltsók. Más oxidoknál a gyöngy színe lehet, hogy más oxidáló és redukáló lángban.

A vassók redukáló lángban zöld, oxidáló lángban melegen narancssárga, hidegen világos sárga gyöngyöt adnak. Rézsók oxidáló lángban melegen zöld, kihűlve kékeszöld, redukáló lángban melegen színtelen, kihűlve átlátszatlan vörös gyöngyöt adnak, de ha a gyöngyhöz kevés ónt is adunk, kihűlve rubinvörös lesz. Mangánsók redukáló lángban színtelen, oxidáló lángban melegen ibolya, kihűlve barnás ibolya gyöngyöt adnak. A szilikátok nagy része oldatlan „csontvázat” ad a gyöngyben, de jobb nem port, hanem egy szilánkot használni. Savban oldható szilikátok általában nem adnak „csontvázat”. Néhány más anyag, például ón-dioxid sem oldódik a gyöngyben. A használt magnéziapálca végét egyszerűen letörjük.

□

2.30.15 Kísérlet. Hasonló eredményeket ad a bóraxgyöngy, de nem folyik olyan könnyen, nagyobb gyöngyöt lehet belőle készíteni. A szilikátokat oldja, nem ad „csontvázat”. Szükség esetén az olvadékot esetleg porcelán cserép szélén is elkészíthetjük.

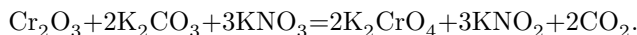
□

2.31 Fémből sav?

2.31.1 Kísérlet. A fém krómot ismerjük, mert krómozott tárgyakkal gyakran találkozunk. Híg sósav vagy híg kénsav (lassabban) oldja, salétromsav viszont nem, mert a felületén összefüggő oxid réteg képződik, amely megvédi az oldódástól. Tömény salétromsav egyenesen passzíválja, utána már semmilyen savban sem oldódik. Ezt használják ki saválló acélok gyártására: a legismertebb a V2A acél, amely 18% krómot és 8% nikkelt tartalmaz. Háztartási edényeket is készítenek belőle. A felületén képződő Cr_2O_3 réteg megvédi a rozsdásodástól és a savaktól, főleg az oxidáló savaktól. Valamilyen krómozott, már hulladék tárgyra cseppentsünk híg sósavat, esetleg híg kénsavat: megtámadja. Krómozott tárgyat tehát nem szabad sósavval tisztítani! □

Magát a krómot nemigen használják fémként, legfeljebb vékony bevonatként. A krómbevonat nagyon kemény, 9-es keménységű. A leggyakoribb ércéből, a *krómvaskő*ből, FeCr_2O_4 , króm-vas ötvözetet, *ferrokrómot* állítanak elő ívfénykemencében, és ezt használják ötvözetek készítésére. A legkönnyebben hozzáférhető krómvegyület a *krómoxidzöld* vagy *krómoxidhidrátzöld* porfesték. Nem oldódik könnyen savakban. Arra gondolhatnánk, hogy savas feltárással oldatba vihetnénk, de a keletkező vízmentes króm(III) sók nagyon lassan oldódnak vízben. Ezért kerülő utat választunk.

2.31.2 Kísérlet. Az iparban a krómérceket oxidáló olvasztással szokás oldatba vinni. Ilyenkor lényegében króm-trioxid, Cr_2O_3 keletkezik, amely savanhidrid, és lúgokkal reagál. Egészen hasonlóan viselkedik, mint a kén-trioxid. Így tehát fémből savat kapunk! Míg a Cr(III) vegyületek nem mérgezőek, a króm(VI) vegyületek erős mérgek, és — hazamosabb ideig, ismétlődően érintkezve a bőrrel — rákkeltőek is. Ezért nem sokat fogunk előállítani, de azzal is óvatosan bánjunk! Az iparban a krómvaskövet használják kiindulási anyagnak. Például hamuzsírral lehet összeolvasztani, és a levegő oxigénjével oxidálni. Mi használhatunk krómoxidzöldet is, és oxidálószernek salétromot. Porcelán tégelyben olvassunk meg 2 rész hamuzsírt és 1 rész salétromot, és szórjunk rá 1 rész finoman elporított krómvaskövet vagy 0,7 rész krómoxidzöldet! Olvasszuk meg, és vasdróttal keverjük össze! 5–10 perc izzítás után a lehűlt zöld színű anyagot oldjuk fel vízben! A vas-oxidot (ha van) szűrjük le. A reakció:



(Egyébként már találkoztunk lényegében ugyanezzel a reakcióval, amikor KNO_3 , KNO_2 , Fe_2O_3 és Cr_2O_3 keverékének hevítésével NO -ot állítottunk elő. Írjuk fel az ottani arányokkal a reakcióegyenletet! Az ottani maradékot is felhasználhatjuk, ha SZABADBAN jól kihevítettük.) A sárga oldatot savanyítsuk meg kénsavval! Vörösre változik, és lehűtés-kor kálium-dikromát, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, kristályosodik ki. Üveggolyón szűrjük le és tegyük el! Ez a leggyakrabban használ Cr(VI) só, mert átkristályosítással könnyen tisztítható. Az iparban inkább az olcsóbb Na -sót állítják elő, ekkor a nátrium-szulfátot kristályosítják ki először. \square

Néhány kísérletet az anyalúggal is elvégezhetünk.

2.31.3 Kísérlet. Az anyalúg híg kénsavval hígított oldatához adjunk nagyon híg hidrogén-peroxidot és egy kevés étert vagy amid-alkohol (ha van). Összerázva a folyadék, különösen az éteres réteg sötétkék lesz: krómperoxid, CrO_5 keletkezett, ami jobban oldódik szerves oldószerekben, mint vízben. Ha elég a hidrogén-peroxid, egy idő múlva a vizes réteg zöld lesz a króm(III) vegyületektől, a hidrogén-peroxid redukálta. Lúgos oldatban viszont a hidrogén-peroxid króm(VI) vegyületekké oxidálja a króm(III) vegyületeket. \square

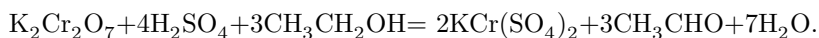
2.31.4 Kísérlet. Adjunk az anyalúg egy részéhez náronlúgot! Visszatér a CrO_4^{2-} ion sárga színe. \square

2.31.5 Kísérlet. Az anyalúg felhígíva is Ag sókkal vörös Ag_2CrO_4 csapadékot ad. Ez jóval oldhatatlanabb, mint a dikromát, ezért ez válik le. \square

2.31.6 Kísérlet. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ tiszta oldatában Pb sókkal sárga PbCrO_4 csapadék válik le, amit *krómsárga* néven régen festékként használtak. Ba -sókkal a csapadék sárga BaCrO_4 . Itt is a kromát jóval oldhatatlanabb, mint a dikromát, ezért ez válik le. \square

2.31.7 Kísérlet. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ telített vizes oldatához csepegtessünk tömény kénsavat! Az oldat megvörösödik (dikromát, trikromát majd tetrakromát képződik), végül lehűtve vörös tűk alakjában CrO_3 , króm-trioxid, hibásan *krómsav* válik ki. (A kiválásban a kénsav vízelvonó hatása is szerepet játszik.) Vigyázat, erős oxidáló anyag! Ha üveggolyón leszűrjük és pár csepp alkoholt cseppentünk rá, az alkohol meggyullad! Ha sósavval végezzük a kísérlet, klór kelekezik. Ha dikromát és konyhasó elegyéhez tömény kénsavat adunk, *kromil-klorid*, CrO_2Cl_2 , keletkezik. Vörösbarna folyadék, könnyen deszillálható SZABADBAN retortában, de nagyon veszélyes! A bromidok és jodidok nem adnak hasonló reakciót, bróm, illetve jód szabadul fel.

2.31.8 Kísérlet. 1 g finoman porított kálium-dikromát 10 ml vízzel készült oldatát savanyítsuk meg 1,5 ml tömény kénsavval, hűtsük le, és kevergetés közben adjunk hozzá 1 ml alkoholt! Az oldat megzöldül. A reakció:



Az alkohol mint redukálószer szerepel, acetaldehid kelekezik belőle, aminek a szagát érezhetjük is. A termék *krómtimsó*. Tegyük el kristályosodni! Lassan ibolyaszínű dodekahidrát kristályok válnak ki. A krómtimsó oldata hidegen kékesibolya, áteső fényben vörös, de melegíve zölddől. A színváltozás hasonló a Cr(III) -szulfátnál is. A magyarázat, hogy a $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ komplex ionban a vízmolekulák melegen részben vagy teljesen szulfát ionokra cserélődnek ki. Hasonló a helyzet más Cr(III) -sóknál is. Az átalakulás nem valami gyors.

2.31.9 Kísérlet. Krómtimsó oldatának pár cseppjéhez ammónia oldatot adva szürkészöld króm(III)-hidroxid képződik. Más Cr(III) sók ennek a feloldásával készíthetők. A felesleg komplexként oldja, tehát kerüljük a felesleget! □

2.31.10 Kísérlet. Az előző kísérletben nátronlúgot használva, annak a feleslege CrO_2^- kromit képződése közben oldja a csapadékot. Az oldatot hidrogén-peroxiddal kromáttá oxidálhatjuk. A króm egyébként lehet két vegyértékű is, de a Cr(II) vegyületek erős redukáló szerek, például a $\text{Cr}(\text{OH})_2$ vízből hidrogén fejlesz. □

2.31.11 Kísérlet. A króm rokonai a molibdén és a volfram. Mindkettőnek a hat vegyértékű, savképző alakja a legstabilabb. A molibdén híg salétromsavban feloldható, ha nem passziválódik, de legegyszerűbb mindkettőt olvadt salétrommal oldatba vinni. Próbáljuk ki! □

2.31.12 Kísérlet. Molibdátok közül legkönnyebben nátrium-molibdátot vásárolhatunk, Na_2MoO_4 , nyomelem műtrágyaként árulják. Leggyakrabban viszont az ammónium-molibdátot használjuk. Az iparban ez úgy készül, hogy a molibdén leggyakoribb ércét, a *molibdenitet*, MoS_2 , nem túl magas hőfokon pörköljük, és a keletkező trioxidot (600 °C felett szublimál) ammónia oldattal kioldják. A kalcium-, bárium- és ólom-molibdátok rosszul oldódnak. Ha akármelyik molibdát oldathoz forrón bárium-kloridot adunk, leválik a bárium-molibdát. Dekantálva jól kimossuk, megszáritjuk és lemérjük. Vízrel péppé keverve számított mennyiségű kénsavat adunk hozzá. Molibdénsav oldat keletkezik. Lehetőleg sem kénsavval, sem sósavval és bárium-kloriddal ne adjon csapadékot. Ebből ammónia oldattal semlegesítve megkapjuk az ammónium-molibdátot, amit kikristályosítunk.

$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ csak erősen lúgos oldatból kristályosodik, gyengébben lúgos oldatból dimolibdát. Ha a pH 6 alá csökken, $[\text{Mo}_7\text{O}_{24}]^{6-}$, heptamolibdát, ionok képződnek, és ennek sója kristályosodik, amit általában *paramolibdát*nak szokás nevezni. (Tisztítása 2,5 ml/g vízből exszikkátorban részben bepárolva történhet.) Még összetettebb ionok is léteznek. Teljesen hasonló a helyzet a volframátoknál. Egyetlen különbség, hogy míg molibdátoknál az egyensúly percek alatt beáll, volframátoknál ez hetekbe telik. Salétromsavval savanyítva végül $\text{MO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, molibdénsav válik ki, ami azonban a savfeleslegben feloldódik és csak egy-két hét alatt kristályosodik ki. A volfrámsav, $\text{WO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ nem oldódik savfeleslegben (csak tömény sósavban), így rajta keresztül a volframátok könnyen elkészíthetők. A volfram legfontosabb ásványai a $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ *wolframit* és a CaWO_4 *scheelit*. Az első királyvízben, a másodikat sósavban oldva, visszamarad a volfrámsav, amit ammóniában feloldhatunk. Meleg vízből alkohol hozzáadásával kristályosíthatjuk. □

2.31.13 Kísérlet. Molibdát oldatát savanyítsuk meg sósavval, és dobjunk bele egy darabka cinket! Előbb kék Mo(V), majd zöld Mo(IV), végül barna Mo(III) vegyületek képződnek. Hasonló a helyzet a volframátokkal. □

2.31.14 Kísérlet. Néhány ammónium-molibdát kristálykát hevítünk porcelánon! Elbomlik, és sárga MoO_3 képződik, amely kihülve fehér. Ammónium-volframáttal a reakció hasonló, a WO_3 hidegen sárga, melegen sötét narancs. □

2.31.15 Kísérlet. Molibdát oldatához adjunk néhány csepp töményebb kénsavat, majd pároljuk csaknem szárazra! Kék szineződés, „molibdénkék” képződik. Ez érzékeny és jellemző reakciója a molibdénnek. Vízrel hígítva a szín eltűnik. 5-ös és 6-os oxidációfokú Mo-t is tartalmazó vegyületek okozzák. □

2.31.16 Kísérlet. A volfram hasonló reakciójához redukálószerre is szükség van. Kevés anyagot 10–30 mg KHSO_4 -tal és két csepp kénsavval hevítünk porcelánon lassan olvadásig, engedjük lehűlni, és adjunk hozzá néhány mg fenolt. Kék színeződés keletkezik. Más redukálószerrel a színeződés más, például hidrokinnal vörösesibolya. A szint 5-ös és 6-os oxidációfokú W-ot és alkálifémet is tartalmazó „volframbronzok” okozzák. □

2.31.17 Kísérlet. A Mo és a W egymás mellett is kimutatható. Egy csepp tesztelendő oldatot cseppentsünk szűrőpapírra, adjunk hozzá egy csepp kétszeresre hígított tömény sósavat. A volfrám sárga foltot ad. Adjunk hozzá egy csepp 10%-os rodanid oldatot és egy csepp 5%-os SnCl_2 oldatot 3 M sósavban. A molibdén vörös foltot ad, ami tömény sósavval megcseppenve eltűnik, a W folt pedig kékre változik. W (5,4), Mo (7). □

2.31.18 Kísérlet. A molibdén savas oldatból kén-hidrogénnel, ha nehezen is, leválasztható. Először redukció folytán az oldat megkékül, majd lassan MoS_3 válik le, amely tiosavat képez. Ezért ammónium-szulfid oldattal nem válik le csapadék, de ha az oldatot megsavanyítjuk, leválik a MoS_3 . Érdekes módon a W nem válik le savas oldatból, csak ha az ammónium-szulfidos oldatot átsavanyítjuk. Hasonlóan viselkedik a vanádium is. □

2.31.19 Kísérlet. Laboratóriumban a Mo vegyületeket leggyakrabban a foszfátok kém-szerekén használjuk: savas oldatban foszfátokkal sárga csapadékot kapunk. A magyarázat, hogy P(V), de As(V), Si(IV), Ge(IV) és B(III) központi atommal is nagy $[\text{X}(\text{M}_3\text{O}_{10})_4]^{x-}$ heteropolianion képződik. A hetero szó arra utal, hogy a központi ion más, mint az őt körülvevő négy M_3O_{10} ion fémje, ami $\text{M} = \text{Mo}$ vagy $\text{M} = \text{W}$ lehet, hatos oxidációs számmal. Ezeknek a nagy heteropolianionoknak sokszor az ammónium- illetve káliumsója is rosszul oldódik, és rendszerint sárga, kristályos csapadékként kiválik. A reakció még érzékenyebbé tehető, ha a heteropolianiont redukáljuk: ha 5-ös és 6-os oxidációs számú Mo (vagy W) egyszerre van jelen, akkor sötétkék szín kapunk. □

2.32 Ásványi kaméleon

Fontos acélötvöző fém a *mangán*. Nevét legfontosabb ércéről a mangán-dioxidról, MnO_2 , nyerte, amit magyarul *barnakő*nek neveznek. Mivel kinézetre nagyon hasonlít a mágnesvaskőhöz, a rómaiak magnes-nek is nevezték, innen a mangán neve. Egyébként a barnakő nemzetközi ásványtani neve *piroluzit* (görög piro ‘tűz’, luo ‘mosni’) onnan ered, hogy az ásványt üvegek színtelenítésére használták. Scheele nevezte ásványi kaméleonnak, mert a mangánvegyületek színe redox reakcióknál könnyen változik egyikből a másikba. A mangán lehet 2, 3, 4, 6 és 7 vegyértékű, ritkán még 1 és 5 is.

2.32.1 Kísérlet. Ha mangán(II)-kloridot akarunk a barnakővel való klórfejlesztés maradékából előállítani, akkor nem árt előtte megtisztítani, mert a bányászott barnakő rendszerint alkáliföldfém-karbonátokat (főleg bárium-karbonátot) tartalmaz, és ezek szennyezik a maradékot. A tisztítás hígított salétromsavval vagy ecetsavval történhet.

A kísérlethez használhatunk galvánelemekből kibányászott fekete masszát is. Ha ezt meg akarjuk tisztítani, ammonsalétrom oldatával főzzük. Tudjuk, hogy a cink hevesen reagál az ammonsalétrommal, így kezdetben óvatosan adagoljuk! Minden lúg, cinkvegyület, stb., kioldódik, és grafit meg barnakő vagy mangán(III)-oxid keveréke marad vissza. Dekantálással mossuk. Ezt oldhatjuk aztán tömény sósavban.

A barnakő sósavban való oldásánál kellemetlen a fejlődő nagy mennyiségű klór, ha nem éppen ennek az előállítása a cél. A klór miatt feltétlenül SZABADBAN KELL DOLGOZNI.

Ezért jobb a mangán(II)-kloridot mangán(II)-karbonátból előállítani, vagy a következő kísérletben leírtak szerint eljárni. A kapott mangán(II)-kloridhoz mangán(II)-karbonátot adunk és levegőt vezetünk bele a vas leválasztására. Az oldatot hagyjuk betöményedni. Rózsaszín tetrahidrát válik ki. 0,3 ml/g vízből átkritályosítva tisztítható. Alkohollal zöld oldatot ad, a lángot zöldre festi. □

2.32.2 Kísérlet. A nagy mennyiségű klór fejlődését elkerülhetjük, ha a lehető legfinomabban elporított, megtisztított barnakövet feleannyi súlyú szalmiáksóval hevítjük SZABADBAN. Így a keletkező klór nagy része az ammóniát oxidálja nitrogénné és sósavvá. □

2.32.3 Kísérlet. Legegyszerűbben a mangán(II)-szulfáthoz jutunk hozzá, nyomelem műtrágyaként árulják. (A mangán fontos szerepet játszik a fotoszintézisben.) Oldatához kevés mangán-karbonátot (készítését a következő kísérletben leírjuk) adva levegőbevezetésre leválik a vas szennyezés. Ezután kén-hidrogénnel leválaszthatjuk az idegen fémeket, mint azt kicsit később részletesebben leírjuk. Ha hagyjuk bepárolódni, az oldatból tetrahidrát válik ki. 27 °C-on van az oldhatóság maximuma, itt nagyjából 65 g MnSO_4 oldódik fel 100 g vízben. 0,25 M koncentrációjú oldatban használjuk. □

Egyébként a fém mangánt mangán-szulfát elektrolízisével szokták készíteni, de ez elég nehéz, mert (hacsak nem teljesen tiszta) még a vizet is elbontja. Lehet szénnel (nehezen) vagy alumíniummal is redukálni. Az alumíniummal való redukcióhoz a barnakőben túl sok oxigén van, ezért előbb azt 800–900 °C-on való izzítással Mn_3O_4 -gyé alakítják. (Van MnO és MnO(OH) is.)

2.32.4 Kísérlet. Mangán(II)-só oldatához szódát vagy ammónium-karbonátot adva fehér MnCO_3 csapadék válik le, ammóniás oldatból is. Nátronlúg hatására piszkosfehér csapadék válik le, amit a felesleg nem old és levegő hatására lassan megbarnul. Először változó oxigéntartalmú vegyes oxidok-hidroxidok keletkeznek, de végül barna MnO(OH)_2 a végtermék. Oxidáló anyagok hatására (hidrogén-peroxid, hypo, stb.) azonnal megbarnul a csapadék. A reakciót víz oldott oxigéntartalmának mérésére lehet felhasználni. Ammóniaoldattal a reakció nem teljes, és ha sok ammóniumsó van jelen, nem is válik le csapadék. Felesleg oldja a csapadékot, viszont levegőn állva lassanként, oxidálóanyaggal azonnal kiválik a barna oxid-hidroxid. □

2.32.5 Kísérlet. Az előző kísérlet alapján készíthetünk mesterséges barnakövet mangán-szulfátból vagy más mangánsóból. A só oldatát feleslegben lévő szódaoldatba öntjük. Meggyőződünk róla, hogy az oldat lúgos. Lehetőleg friss hypo oldatot adunk az elegyhez feleslegben. Dekantálással gondosan kimossuk a csapadékot! Ecetsavval kioldjuk az esetleg még jelenlévő mangán-karbonátot. A kapott anyag MnO(OH)_2 . Óvatosan hevítve vízteleníthetjük. □

2.32.6 Kísérlet. Savas mangán(II)-só oldatból kén-hidrogénnel nem válik le csapadék, viszont ammónium-szulfiddal hússzínű MnS csapadék válik le, ami már ecetsavban is feloldódik. Feleslegben lévő ammónium-szulfiddal forralva kevesebb vizet tartalmazó zöld színű változat keletkezik. Oxidáció miatt levegőn lassan megbarnul. □

2.32.7 Kísérlet. Mangán-szulfát barnakőből tömény kénsavval szárazra párolva készíthető. Akár izzásig is hevíthetjük, a mangán-szulfát nem bomlik el, a szennyező vas-szulfát viszont igen. Az oldódáskor oxigén fejlődik. Tisztításához a hideg oldat tizedéből karbonátot készítünk, az oldatba visszatesszük, levegőt vezetünk bele, felforraljuk, forrón

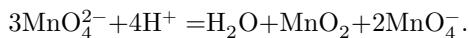
kén-hidrogénnel lecsapjuk a szennyező szulfidokat. Az oldat kis részletének ammónium-szulfiddal tiszta hússzínű csapadékot kell adnia. □

2.32.8 Kísérlet. Mangán-karbonát és ammónium-nitrát reakciójával vagy mangán-karbonátot salétromsavban oldva mangán-nitrátot készíthetünk. Bepárolva rózsaszín nedvszívó hexahidrát kristályok válnak ki. □

2.32.9 Kísérlet. A mangán-nitrát erősebb hevítésre NO_2 fejlődéssel elbomlik, és mesterséges barnakő marad vissza. □

2.32.10 Kísérlet. Akármilyen mangánvegyületet keverjünk össze 3–6-szoros mennyiségű 1:1 arányú szóda-salétrom keverékkel és magnéziapálcán vagy porceláncserépen izzítsuk erős vörösszárra. Zöld, esetleg kékeszöld (a kék színt mangán(V)-vegyületek okozzák) színű ömledék keletkezik, amit kevés vízben fel is oldhatunk. Ha nátronlúggal, mégjobb káli-lúggal ömlesztjük össze a mangánvegyületet, akkor is zöld ömledéket kapunk, de könnyebben megy a reakció oxidálószer (KNO_3 , KClO_3) jelenlétében. E nélkül a levegő oxigénje az oxidálószer. (Az iparban ezt használják.) A zöld vegyület K_2MnO_4 , *kálium-manganát* (a zöld színt *manganát* ionok adják). Vízben jól oldódik.

Ha ebből a vegyületből megpróbáljuk felszabadítani a savat és oldatát megsavanyítjuk vagy akár csak nagyon felhígítjuk, diszproporcionálódás játszódik le: három 6-os oxidációfokú mangánból két 7-es és egy 4-es oxidációfokú keletkezik, barna színű csapadék válik ki és az oldat ibolya színű lesz:



A színt a MnO_4^- *permanganát* ionok adják. A permangánsav elég erős sav. Próbáljuk ki a hígítást is, a savanyítást is például ecettel vagy akár csak szénsavval. Egyébként a manganát klórral (klóros vízzel) is oxidálható permanganáttá. Az iparban elektrolízist használnak az oxidációra.

Ez a reakció, a zöld és az ibolya szín jellemző a mangánra. □

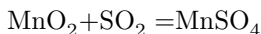
2.32.11 Kísérlet. Tudunk-e permanganátot kapni savas oldatban is mangánvegyületekből? Igen, de csak nagyon erős oxidálószerekkel, mert a permanganát maga is igen erős oxidálószer! Ezen kívül Cl^- ionok nem lehetnek jelen, mert ezeket a permanganát klórrá oxidálja (sósavból még hidegen is klórt fejleszt). Nagyon híg MnSO_4 oldat pár cseppjéhez adjunk tömény salétromsavat meg ólom-dioxidot és melegítsük. Kicsit felhígítva megkapjuk az ibolyaszínt, a maradék ólom-dioxid leülepedése után jól látszik. Érdeemes vakpróbát csinálni, hogy nem mangántartalmú-e az ólom-dioxid. A perszulfátok (ezüst-nitrát katalizátorral), perjodátok és a Bi(V) vegyületek is kellően erős oxidálószer a reakcióhoz. □

2.32.12 Kísérlet. A permanganátok közül a kálium-permanganát a leggyakrabban használt anyag. Ha nem kapunk, magunknak kell előállítani. 1 rész barnakövet 3 rész kálium-nitráttal olvasztunk össze, a zöld masszát kilúgozzuk, majd olyan sok vízzel (40 rész vagy több) főzzük, hogy lilászöld oldatot kapjunk. Az oldatot dekantálhatjuk is, de jobb ha gyorsan leszűrjük *üvegszűrőn* vákuumszűrőssel, mert a kivált barnakő katalizálja a permanganát bomlását. Gyorsan bepároljuk és hagyjuk kristályosodni. A kitermelés elég alacsony. Tisztítani 4 ml/g 65 °C-os vízből átkristályosítva lehet lehetőleg sötétben. A tömény meleg oldatot is *üvegszűrőn* szűrjük, a kivált vízmentes kristályokat pedig

üveggolyón, mert a papírt megtámadja. Exszikkátorban CaSO_4 felett szárítjuk. Sötét üvegben tároljuk. Laboratóriumban 0,02 M koncentrációjú oldata használatos. \square

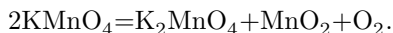
2.32.13 Kísérlet. A kálium-permanganát erősen oxidáló anyag. Oldatával papírt, vagy más szerves anyagot megnedvesítve azt oxidálja és barna foltokat hagy: mangán-dioxid válik ki. Néha kevés permanganátot kell kimutatni más színes vegyületek mellett. Csep-pentsünk szűrőpapírra egy cseppet, majd pár perc után a folt közepébe cseppenként vizet adva mossuk szét a színes foltot. Középen megmaradó barna folt jelzi a permanganátot.

Könnnyen lehet, hogy kísérleteink közben barna mangán-dioxid foltokat okoz a perman-ganát. Hogyan tüntethetjük el ezeket? A kulcs a



reakció, azonban kén-dioxid helyett egyszerűbb biszulfidot használni: rászórjuk a foltra és kicsit megnedvesítjük, majd ha eltűnt a folt, jól lemossuk. \square

2.32.14 Kísérlet. Melegítsünk néhány kálium-permanganát kristálykát! Oxigénfejlő-déssel elbomlik az alábbi egyenlet szerint:



A fekete maradékot vízben oldva zöld oldat keletkezik és barna csapadék válik le. \square

2.32.15 Kísérlet. Finoman elporított kálium-permanganátból tegyünk vaslapra 2–3 g-ot, és hosszú cseppentőből adjunk hozzá fél ml glicerint (gyógyszertárban kapható). A gyors oxidációtól rövid idő múlva meggyullad. \square

2.32.16 Kísérlet. 1/4–1/2 g (NEM TÖBB) jól elporított KMnO_4 -ra porcelántégelyben csepegtessünk 1–2 ml tömény kénsavat. A kénsav permangánsavat szabadít fel, amiből a vizet elvonja, és Mn_2O_7 , mangán-heptoxid keletkezik. Ez rendkívül erős oxidáló anyag, és néha minden látható ok nélkül robban. EZÉRT A TÉGELYT VEGYÜK KÖRÜL EGY ÁTLÁ-SZÓ MŰANYAG PALACKBÓL KÉSZÜLT HENGERREL, ÉS VISELJÜNK VÉDŐSZEMÜVEGET ÉS GUMIKESZTYŰT! Ha üvegbotot mártva a keverékbe azzal a hengeren belül elhelyezett vat-tát érintünk meg, az meggyullad. Ugyanígy többé-kevésbé robbanásszerűen meggyullad a terpentin, alkohol, kénport DE EZEKET NE PRÓBÁLJUK KI! Ha a hengert lefedve a té-gelyt előre odakészített drótkarikával felemelve a maradék keveréket SZÁRAZ hamuzsírra csepegtetjük, ibolyaszínű mangán-heptoxid gőzök szállnak fel, amelyek már a levegőben szétesnek mangán-dioxid pelyhekre és oxigénre. \square

2.32.17 Kísérlet. Ha permanganáttal akarunk valamit oxidálni, azt rendszerint sa-vas közegben tesszük. 1 ml 15–20%-os kénsavoldathoz kémcsőben adjunk ugyanannyi tömény cukoroldatot és morzsányi kálium-permanganátot. Nemsoká gáz fejlődik és az oldat felmelegszik. A gázzal kimutathatjuk, hogy szén-dioxid. Más szerves anyagokat, pél-dául oxálsavat, sőt papírt is szén-dioxiddá oxidál a permanganát, vas(II)-t vas(III)-má, jodidokat jóddá, bromidokat brómmá, nitritet nitráttá, kén-dioxidot kénsavvá, hidrogén-peroxidot oxigénné, stb. Gyengébben savas közegben gyengébb az oxidáló hatás, például a kloridok oxidációja klórrá lassú. Savas közegben két molekula permanganát öt atom oxigént ad le és a mangán(VII) mangán(II)-vé alakul. \square

2.32.18 Kísérlet. A permanganát erős oxidáló hatása lehetővé teszi, hogy mindenféle redukáló anyagot mérjünk vele. Nagy előnye, hogy indikátor sem kell, mert az első feleslegben lévő csepp rózsaszínre színezi az oldatot. Erre a célra 0,02 mol/kg koncentrációjú kálium-permanganát oldatot használunk. Mérjünk le 0,640 g-ot és oldjuk fel 200 g-ra vízzel. Tartsuk egy lombikban egy óráig forráspontja közelében, de ne forraljuk. Ha van, keverjünk hozzá kevés tiszta kaolint, majd üvegszűrőn szűrjük meg. Ennek a célja, hogy a kivált barnakövet eltávolítsuk. Az oldatot barna, üveg dugós üvegben kell tartani. Sajnos, a koncentrációja nem állandó. A faktorát 0,05 mol/kg koncentrációjú oxálsav-dihidrát oldattal lehet meghatározni, amit egyszerű beméréssel lehet elkészíteni. Ez eláll vagy 8 hónapig, de ha megpenészedik, dobjuk ki.

Ahogy a sav-bázis titrálásoknál tettük, mérjünk ki pontosan vagy 20 g oxálsav oldatot, adjunk hozzá 8–10 ml 20%-os kénsavat, melegítsük 70–80 °C-ra, majd lemért cseppentő üvegből csepegtessünk hozzá permanganát oldatot. A cseppek színe eleinte nagyon lassan tűnik el, de aztán gyorsabban, mert a keletkezett mangán(II) ionok katalizálják a reakciót. Egyébként ez is *autokatalízis*, a reakció termékei katalizálják a reakciót. Addig csepegtetjük a permanganát oldatot, amíg az oldat halvány rózsaszín lesz. Ha a faktor 1 lenne, pontosan annyi fogyna a permanganát oldatból, mint az oxálsav oldat. Egy osztással megkapjuk a faktort. Hetenként kell újra meghatározni, ha mérünk a permanganát oldattal. Redukáló anyagokat, például hidrogén-peroxidot teljesen hasonlóan mérünk. Oxidáló anyagokat is mérhetünk permanganáttal, ha oxálsavat adunk az oxidáló anyaghoz, majd a megmaradt oxálsavat permanganáttal visszatitráljuk. □

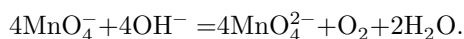
2.32.19 Kísérlet. Kémcsőben permanganát oldathoz adjunk pár csepp cukoroldatot és melegítsük fel! Az ibolya szín csakhamar elsötétedik, végül az egész folyadék megbarnul. Semleges és gyengén lúgos oldatban is oxidál a permanganát, de itt két molekulája három atom oxigént ad le, és barnakő keletkezik. Erről könnyen meggyőződhetünk, ha hagyjuk leülepedni a folyadékot. Elég nehezen ülepszik le, mert nagyon finom eloszlású a barnakő. A felette lévő oldatot lehetőleg teljesen öntsük le. Lúgos, és savval pezseg: hamuszír, a szén-dioxid a cukorból származik. A csapadékot dekantálással mossuk, és öntsünk rá tömény sósavat: klór fejlődik.

Hasonló jelenséget tapasztalunk lúgos közegben. Kálium-permanganát oldatot lúgosítunk meg nátronlúggal, és adjunk hozzá kevés szeszt! Acetaldehid szaga érződik, és barna csapadék válik le, mangán-dioxid.

Más anyagokat is oxidál a permanganát semleges és lúgos közegben. Mangán(II)-t mangán(IV)-gyé, hidrogén-peroxidot oxigénné, kén-hidrogént kénné, szulfítot szulfáttá, tioszulfátot majdnem teljes mennyiségében szulfáttá oxidál. □

2.32.20 Kísérlet. Ha tömény lúgot tartalmazó közegben redukáljuk a permanganátot, a töménységtől függ, hogy meddig megy a redukció. Például 7 M nátronlúgban szulfittal redukálva kék mangán(V) vegyület, Na_3MnO_4 keletkezik, higabb, 2 M lúgban manganát. Ehhez egyébként még redukálószer sem kell, lásd a következő kísérletet. □

2.32.21 Kísérlet. ** Ha kálium-manganátot akarunk kristályosan kapni, 2 rész kálium-permanganáthoz adjunk 6 rész kálium-hidroxidot és 10 rész vizet és főzzük be kb. felére. Oxigén fejlődik, a reakció

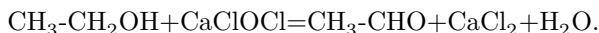


5 rész vizet adva hozzá és jég között lehűtve kálium-manganát válik ki. ** □

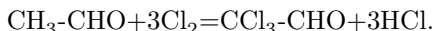
2.33 Kloroform és a kovalens kötés

2.33.1 Kísérlet. Kloroform készítéséhez vegyünk 200 g klórmészét. Dörzsöljük el apránként adagolt 500 ml vízzel. A finom szuszpenziót mindig öntsük le egy 2 l-es lombikba, adjunk hozzá további vizet és folytassuk a dörzsölést. A végén a mozsárban csak kevés durva szemcsés maradék lehet. Persze, az eldörzsölést részletekben is végezhetjük. A lombikot dugjuk be egy kétfuratú dugóval, aminek egyik furatába adagoló tölcser jön, vége kicsit a folyadékszint alá ér. A másik furatba leszálló hűtő jön, a szedőbe 20 ml víz. Jó hűtés szükséges! Az adagoló tölcserbe kerül 16 ml (12,8 g) alkohol, amit vízzel duplájára hígítottunk. A keverék 1/10-ét engedjük a lombikba, majd kezdjük kis lánggal melegíteni. Nehéz cseppek alakjában kloroform, CHCl_3 desztillál át. A folyadék habzik, ha kell, rázzuk meg. Ha ez nem segít, vegyük el a lángot és előre odakészített nedves kendővel hűtsük a lombikot. Fokozatosan engedjük az alkoholt a klórmészhez. Ha elfogyott, még vagy 10–15 ml vizet tegyünk az adagoló tölcserbe, és azt is engedjük a lombikba. A desztillálást addig folytassuk, amíg a lecsepegő desztillátum tiszta lesz. NYITOTT ABLAKNÁL dolgozzunk, mert a kloroform gőzei altató hatásúak! 22–23 g kloroformot kapunk.

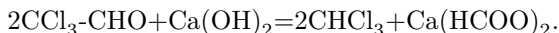
Hogyan játszódik le a reakció? Az első lépés egyszerű oxidáció, az oxidálószer az alkoholt aldehiddé oxidálja:



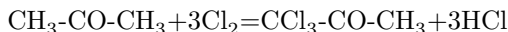
A második lépésben az acetaldehid $\text{CH}_3\text{-}$ csoportjában a hidrogének klórra cserélődnek, és úgynevezett *klorál* keletkezik:



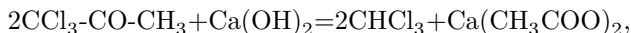
Végül a klorál reagál a mésszel, és kloroform keletkezik, kalcium-formiát mellett:



Honnan tudjuk, hogy így játszódik le a reakció? Ha acetaldehidbe klórgázt vezetünk, klorál képződik. Ez mésszel reagáltatva kloroform és kalcium-formiát keletkezik. Egyébként klórmésszel vagy bármely más hipoklorittal minden olyan szerves anyagból kloroform képződik, amelyben van — vagy oxidációval létrejön benne — $\text{CH}_3\text{-CO-}$ csoport. Például acetont is használhatunk:



és



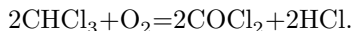
azaz a melléktermék kalcium-acetát. Még gazdaságosabb is acetont használni, hiszen a klórmész egy része nem használódik el oxidációra. Egyébként az eljárás ugyanaz, de az alkohol helyett 25 g (32 ml) acetont használunk. 30 g kloroform képződik. Megadunk egy másik eljárást is, amely nem használ desztillációt. □

A XIX. század első felében nagy vita bontakozott ki a vegyészek között a klorál képződéséhez hasonló reakciókkal kapcsolatban. Nem értették, hogyan lehetséges az, hogy

a hidrogén, ami a savakban pozitív töltésű alkotórész, egyszerűen kicserélhető klórra, ami pedig a sósavban és a sóiban negatív töltésű alkotórész. Milyen kötéssel kapcsolódik akkor a szén a hidrogénhez illetve a klórhoz? Végül a tapasztalatok alapján elfogadták, hogy ilyen kötés is van, nem csak ionos kötés, és elnevezték *kovalens kötésnek*. Ezután elfogadták Avogadro csaknem fél évszázaddal korábbi feltevését is, ami szerint az elemi gázok kétatomosak, a két egyforma atom kovalens kötéssel kapcsolódik egymáshoz. A kovalens kötés teljes megértése csak a kvantummechanika segítségével volt lehetséges. Itt csak egy pár szóban összefoglaljuk, mi történik. A szénatom négy vegyértékű, négy elektronnal tud kötetést létesíteni. Ezeket azonban rendkívül nehezen adja le, és nehezen vesz fel újakat is. A hidrogénatommal — aminek vegyértékét egy elektron adja — úgy létesít kötetést, hogy a szénatom egyik elektronját és a hidrogénatom egyetlen elektronját közösen használják. Így négy hidrogénatommal létesülhet kötés, és kapjuk a metánt, CH₄. Ha a metánt klórgázzal reagáltatjuk, először egy hidrogénatom cserélődik le, és metil-kloridot, CH₃Cl, kapunk. Itt a klór kovalens kötés létesít a szénnel: a szén egyik elektronját és a klór egyik elektronját közösen használja a két atom. A következő szénatomot is lecsereelve metilén-kloridot, CH₂Cl₂, kapunk, majd kloroformot, végül szén-tetraklorid, CCl₄ keletkezik. Mindegyikben kovalens kötések vannak. Így történik a kloroform ipari gyártása. Más halogénnel is hasonló a reakció. Egyébként a szén-szén kötés is kovalens kötés. A *valencia* szó vegyértéket jelent, a kovalenst tehát körülbelül “hasonlóval szembeni vegyérték”.

2.33.2 Kísérlet. Előállítottuk a kloroformot, de még nem fejeztük be az előállítását. El kell választani a víztől, amivel láthatóan nem keveredik: 20 °C-on vízben 0,82% kloroform oldódik. Forráspontja 61,2 °C, ezért kell a jó hűtés. Sűrűsége 1,49 kg/l, tehát alul helyezkedik el. Az elválasztás lehetséges úgy, hogy egy kis PE vagy PP palackba tesszük a keveréket, megvárjuk, amíg szétválik, majd a palackot addig nyomjuk össze, amíg a víz mind kifolyik. A palackot be is dughatjuk dugóval, amiben kihúzott üvegcső van, de alul nem áll ki belőle. Nem minden műanyag jó, mert a kloroform igen jó oldószer, oldja például a plexit! Fecskendő is használhatunk. Egy kúpos aljú centrifugacsőbe is önthetjük a folyadékot, majd pipettával vagy szemcseppentővel kiszívjuk az alsó réteget. A vegyészek *választótölcsért* használnak, de ez nem olcsó. Ha megvan az elválasztás, megszáritjuk a terméket: adjunk a kloroformhoz vagy 2 g vízmentes kalcium-kloridot, hagyjuk 15-20 percig állni, és szűrjük meg. A végső tisztítás desztillálás lehet, a 60–63 °C között desztilláló részt fogjuk fel, de a desztillálás el is hagyható.

Egy kellemetlen tulajdonsága a kloroformnak, hogy — különösen fény hatására — a levegő oxigénjével reagál:

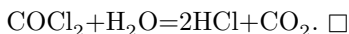


A keletkező *foszgén*, COCl₂ rendkívül mérgező, még a klórnál is valamivel mérgezőbb. Ezért a kloroformot majdnem tele töltött barna üvegekben, fénytől védve kell tárolni! Szoktak hozzá adni 1% alkoholt, ami a keletkező foszgénnel reagál és ártalmatlan anyaggá alakítja. Mi is így járunk el! Egyébként a foszgén szén-monoxidból és klórból is keletkezik fény hatására. A nevét is innen kapta: görögül phos‘fény’, gennao ‘képezni’. □

2.33.3 Kísérlet. Van, aki szívesen elkerülné a kloroform előállításánál a desztillálást. Ekkor hypoból indulhat ki. Meg kell viszont barátkozni némi veszteséggel: több, mint 8 g kloroform feloldódik a vízben literenként. Ha acetont használunk, a keletkező kloroform

mennyisége alig több, mint az aktív klór tartalom fele. Alkoholt használva ennek is csak a 3/4-e. A szokásos háztartási hyponál 40 g/l az aktív klór tartalom, így csak ≈ 7 g/l kloroformot kapunk. Ha csak lehet, ipari hyoból induljunk ki 90 vagy 150 g/l aktív klór tartalommal. Mivel a reakció erősen hőtermelő, néhány üres háztartási hypos palackban fagyasszunk le vizet, és ezekkel hűtsük az elegyet! Az alkoholt vagy acetont apránként adagoljuk. Ha a reakció lejátszódott (egy-két nap), a vizes réteg alatt találjuk a kloroform nagy részét. Ha kell, szűrjük le, vízzel többször mossuk és szárítsuk. \square

2.33.4 Kísérlet. Vízzel többször mosott kloroformhoz adjunk híg salétromsavat, majd pár csepp ezüst-nitrátot. Legfeljebb gyenge zavarosodást tapasztalunk: a kloroformban a klór kovalens, nem ionos kötésű, így nem ad csapadékot. A gyenge zavarosodást a kloroform oxidációjakor keletkező foszgén bomlásából származó sósav adja:



2.33.5 Kísérlet. A Beilstein-próbával a kloroformban is kimutatható a klór. \square

2.33.6 Kísérlet. Erélyesebb behatásra a kloroform elbomlik. Szilárd nátron- vagy ká-lilúgot öntsünk le alkohollal, és hagyjuk pár óráig állni. Az előző kísérletben használt kloroform pár cseppjét lassan melegítsük, végül főzzük fel az alkoholos lúggal. (Az alkohol azért jó, mert keveredik a kloroformmal.) Az oldatban most már kimutatható a klorid:



2.33.7 Kísérlet. Kémcsőben kevés vízhez adjunk pár csepp KI oldatot, vagy tíz csepp kloroformot, majd cseppenként klóros vizet. A klór kiszorítja a jódot a KI-ből, és össze-rázásra a kloroform lila lesz: a jód sokkal jobban (85-ször jobban) oldódik kloroformban, mint vízben. Több kisebb kloroform adaggal gyakorlatilag teljesen kinyerhetjük a jódot a vizes oldatból. Ezt az eljárást, a *kirázást* vagy *kioldást*, idegen szóval *extrakciót* gyakran alkalmazzák az iparban: így kényelmesen nyerhetők ki egyes, főleg szerves anyagok vizes oldatokból valamely vízzel nem elegyedő oldószerrel.

Térjünk vissza a kísérlethez, cseppenként adagoljuk tovább a klóros vizet. A kloroformos réteg fokozatosan elszíntelenedik, a klór a jódot jódsavvá oxidálja, amely színtelen és vízben jól oldódik. Oxidáló szerként klorogén (neomagnol) oldatot is használhatunk, de az oldatot sósavval savanyítsuk meg, hogy a hidrogén-jodid egy része szabadabbá váljék. A kloroform helyett benzolt is használhatunk. \square

2.33.8 Kísérlet. Ismételjük meg az előző kísérletet, de KI helyett KBr-dal vagy más bromiddal. A kloroform kioldja a Br-ot a vizes oldatból és barna lesz. További adagolásra a kloroformos réteg borsárga lesz: a Br reagál a Cl-ral, és BrCl keletkezik. Ez is oldódik a kloroformban, de nem barna, hanem sárga. Itt is használható benzol. \square

2.33.9 Kísérlet. Ha az oldatban jodid és bromid is van, ez a kísérlet jól mutatja a halogének jellemerőségét. A klóros víz első cseppjeire a kloroform lila lesz. További cseppekre elszíntelenedik, majd barna lesz, végül sárga. A negatívabb klór először a jódot szorítja ki, majd ezt oxidálja. Ha a jód elfogyott, a bróm válik szabadabbá. \square

2.33.10 Kísérlet. A *jodoform próba* a $\text{CH}_3\text{-CO-}$ csoportot, vagy ezzé oxidálható csoportot tartalmazó szerves vegyületek kimutatására szolgál. Lényegében ugyanaz a reakció

játszódik le, mint a kloroform képződésénél, de hipoklorit helyett hipojodittal. Oldjunk fel 0,1 g anyagot 3 ml vízben vagy más oldószerben. Adjunk hozzá 1,5 ml reagens nátrium-hidroxidot, majd rázogatózás közben cseppenként annyi kálium-jodidos jóddoldatot vagy jodosept oldatot, hogy a jód sötét színe megmaradjon. Hagyjuk állni 2–3 percet. Ha sárga kristályok alakjában nem válik ki jodoform, akkor vízfürdőben melegítsük a kémcsövet $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra. Adagoljunk még jódot, amíg a sötét szín két percig megmarad. Adjunk feleslegben kevés nátrium-hidroxidot, amíg a jód sötét színe eltűnik, hígítsuk az oldatot vízzel kétszeresre, és hagyjuk állni 10 percet. A teszt pozitív, ha sárga jodoform kristályok válnak ki. Olvadáspontjuk $119\text{ }^{\circ}\text{C}$. Egyébként brómmal bromoform, CHBr_3 , képződik, egy nehéz folyadék $2,9\text{ kg/l}$ sűrűséggel. \square

2.33.11. Kovalens kötésű szerves vegyületek. A kovalens kötés lépten-nyomon előfordul a szerves kémiában, hiszen a szén leggyakrabban ilyen kötést létesít, nem csak hidrogénnel és klórral, hanem fluorral, brómmal, jóddal, pszeudohalogenidekkel, $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$ csoportokkal is. Tévedés lenne azonban azt hinni, hogy a szerves kémiában nincs szerepe a kovalens kötésnek. Mindig előfordul, ha hasonló jellegű elemek vagy csoportok között jön létre kötés. Például a savakban az $-\text{OH}$ csoportokat lecserélhetjük halogénekre. A kénsavban az egyik $-\text{OH}$ csoportot klórra cserélve kapjuk a HSO_3Cl *klórszulfonsavat*. Ez sokkal erősebb sav, mint a kénsav; SO_3 és HCl reakciójával gyártják. Vízzel azonnal kénsavra és sósavra bomlik. Sósav helyett folyosavat véve HSO_3F *fluorszulfonsavat* kapunk, ami még erősebb sav. Ha mindkét $-\text{OH}$ csoportot klórra cseréljük, az SO_2Cl_2 *szulforilkloridot* kapjuk, SO_2 és Cl_2 reakciójával készül. A kénessavból származtatható az SOCl_2 *tionilklorid*. A kénsav egyik $-\text{OH}$ csoportját $-\text{NH}_2$ csoportra cserélve kapjuk a HSO_3NH_2 *amidószulfonsavat*. A szénsav mindkét $-\text{OH}$ csoportját $-\text{Cl}$ -ra cserélve adódik a *foszfén*, $-\text{NH}_2$ csoportra cserélve pedig a *karbamid*. Nagyon sok más példát is fel lehetne hozni.

Végig a periódusos rendszeren

3.1 A periódusos törvény

3.1.1. Az atom szerkezete. Az atom szerkezetének kiderítésében megkerülhetetlen Lénárd Fülöp szerepe. 1862-ben született Pozsonyban, német nemzetiségű családban. Ott járt magyar iskolába. Több más, alapvető fontosságú dolog mellett a katódsugarakkal kísérletezett. Ha egy légtüres üvegcsőben egy izzó katódot és tőle nagyobb távolságban egy rács anódot helyezünk el, a közzéjük kapcsolt nagy feszültség hatására az izzó katódból elektronok lépnek ki, és felgyorsulnak a pozitív anód felé repülve. Nagy részük áthalad a rácson (ha már jól felgyorsultak, nem tudnak „bekanyarodni”), és tovább repülve beleütköznek az üvegcső végébe, amely hatásukra gyengén világít. Az üvegcső végét Lénárd egy szitával megerősített vékony alumínium fóliával zárta le, amelyen a gyors elektronok áthaladnak, és ezzel kihozta a katódsugarakat a levegőre (1895). Megállapította, hogy a katódsugarak elektromos és mágneses térrel eltéríthetők, és negatív töltést hordoznak. Az elektron felfedezőjének csak azért tartjuk ma J. J. Thomson-t, aki később (1897) érte el ezeket az eredményeket, mert Lénárd — a Németországban általánosan elterjedt felfogásnak megfelelően — a katódsugarakat nem anyagnak, hanem sugárzásnak tekintette, bár az „elektromosság kvantumairól” beszélt. (A részecske-hullám kettősség akkor még nem volt ismert.) Egyébként egy Lénárdtól vásárolt „ablakos” katódsugárcsővel fedezte fel Röntgen a róla elnevezett sugarakat. Ezek a fényhez hasonlóan elektromágneses sugarak, de hullámhosszuk sokkal rövidebb, mint a látható fényé.

Thomson megmérte az m/e hányadost is, ahol m az elektron tömege. Hogyan tudnánk ezt mai eszközeinkkel megtenni? Gondolatkísérletünkben kapcsoljunk a katódsugárcső rácsára rövid t_0 időre nem túl nagy U_0 feszültséget. Az elektronok gyorsulva elindulnak a rács felé, és tovább repülnek az ablak felé a feszültség kikapcsolása után is. A feszültség bekapcsolásától számított t_1 idő múlva feszültséglökést észlelhetünk az ablakon: odaérték az elektronok. (Ha nem túl gyorsak, nem hatolnak át az ablakon.) A t_1 időből kiszámíthatjuk a v sebességüket, figyelembe véve azt is, hogy t_0 ideig egyenletesen gyorsultak, így csak $v/2$ átlagsebességgel repültek: Ha s_1 az ablak távolsága a katódtól, akkor $s_1 = (t_1 - t_0) \cdot v + t_0 \cdot v/2$. A t_0 idő alatt $v/2$ átlagsebességgel valamilyen s távolságra jutottak el az elektronok. Itt a feszültség U . Ha s_0 a rács távolsága a katódtól, akkor $U/U_0 = s/s_0$, amiből U kiszámítható. Az energiájuk tehát $e \cdot U$. Mivel ez egyenlő $m \cdot v^2/2$ -vel, az m/e hányados kiszámítható. Tudjuk, hogy e a Faraday-állandó osztva az Avogadro-számmal, így megkaptuk az elektron tömegét is. Mint már mondtuk, ez a hidrogén atom tömegének nagyjából $1/2000$ -ed része.

Lénárd abból, hogy a lassú elektronok nem hatolnak át a Lénárd-ablakon, a gyorsak viszont igen, arra jutott, hogy az atomnak csak kis része anyag, a többi erőtér. Ezt ki is fejtette Nobel-előadásában (1905). Egy m^3 -ben egy mm^3 -re becsülte a tényleges anyagot. Kis méretű, kemény szóró centrumokat — *dynamidok* — tételezett fel az atomokban. Kétségkívül a századforduló táján neki volt a legpontosabb képe az atom szerkezetéről.

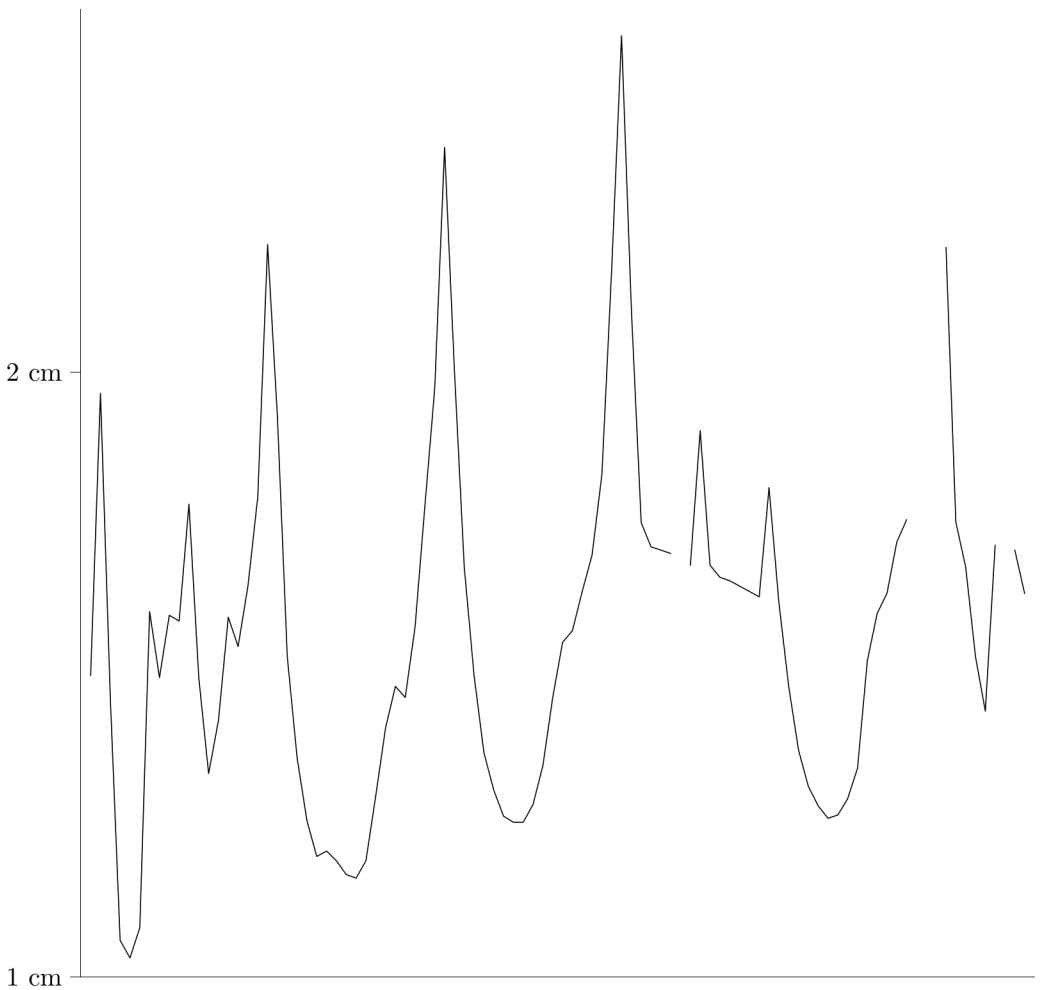
Rutherford 1911-ben úgynevezett α -sugarakkal végzett kísérletei alapján mondta ki végül, hogy az atom atommagból és körülötte „keringő” elektronokból áll. A mag tömegét nagyjából kétszer annyinak találta, mint ugyanannyi töltésű hidrogén atommag — *proton* — tömege, méretét pedig pm nagyságrendűnek. A proton töltése pozitív, de egyébként ugyanannyi, mint az elektron töltése. Egy darabig azt gondolták, hogy az atommagban elektronok is vannak, és semlegesítik a protonok egy részének töltését. Később felfedeztek egy semleges, a protonnal nagyjából azonos tömegű részecskét, a *neutron*ot. Kiderült, hogy az atommagot protonok és neutronok — közös néven *nukleonok*, magyarul magrészcskék — alkotják, nagyjából egyenlő számban. Ezeket az úgynevezett *magerők* tartják össze. Durván szólva, a magerő nagyjából úgy működik, mint valami ragasztó: közel lévő nukleonok között nagyon erős, de a távolsággal gyorsan csökken. A magerő tulajdonképpen a nukleonokat is alkotó *kvarkok* közötti *erős kölcsönhatásnak* a nukleonokból „kilógó” része, mint ahogy a van der Waals-erők az elektromágneses kölcsönhatásé. Ezen alapul az atommag úgynevezett *cseppmodellje*: a mag egy folyadékcsepphez hasonlít, de a van der Waals erők helyett a sok nagyságrenddel erősebb magerők tartják össze. Van azonban a kvantummechanikának is szerepe, a mag az elektronhéjhoz is hasonlít. Ezen alapul a *héliummodell*. Bizonyos számú proton illetve neutron különösen stabil magot eredményez. Ilyen *mágikus számok* a 2, 8, 20, 28, 50, 82 és 126. Egyébként a szabad neutronok nem stabilak: átlag 10 perc alatt elbomlanak protonra, elektronra és egy antineutrínónak nevezett részecskére. Részletesebben lásd a fizika részben. Az atommagban a neutron általában stabil, hacsak nincs túl sok belőle.

Az atommag szerkezetének felderítésével megoldódott a kémia egy régi rejtélye is: néhány elem móltömege majdnem pontosan egész szám, ami nem lehet véletlen, másoké viszont nem. Például a klór móltömege 35,5 g. A megoldás az, hogy két féle klór atommag van: az egyik a klór-35, vagy $^{35}_{17}\text{Cl}$, ebben 17 proton és 18 neutron van, azaz összesen 35 nukleon, a másik a klór-37, vagy $^{37}_{17}\text{Cl}$, ebben 17 proton és 20 neutron van, azaz összesen 37 nukleon. A protonok száma a magban a *rendszám*, a nukleonok teljes száma a *tömegszám*. A közönséges klór a kétfélének nagyjából 3:1 arányú keveréke. Mivel az atom kémiaiáját az elektronfelhő határozza meg, azt pedig a protonok száma, kémiaiilag a kettő ugyanolyan, vagy legalábbis nagyon-nagyon hasonló. Ezért az alul lévő kis számot, a rendszámot, gyakran el is hagyják, mert minden Cl atommagban 17 proton van. Az egyforma rendszámú, de különböző tömegszámú atomokat *izotópoknak* (magyarul azonos helyű) nevezzük, mivel a periódusos rendszerben (lásd kicsit később) ugyanoda kerülnek, ugyanaz a vegyjelük. Külön vegyjele csak a ^2_1H és a ^3_1H izotópoknak van, a *deutériumnak*, D, és a *tríciumnak*, T. Ha egy izotópban túl sok vagy túl kevés neutron van, akkor radioaktív (mint például a trícium); erre kicsit később visszatérünk. Hogyan lehet az izotópokat szétválasztani, arányukat megmérni? Erre szolgál a *tömegspektroszkóp*. Egyik fajtája úgy működik, mint a katódsugárcső, amit az elektron tömegének mérésére leírtunk: Tegyük az izzó katód helyére egy ionforrást. Ez lehet például egy kis doboz, amibe a vizsgálandó elgőzöltetett atomokat, molekulákat, molekulatöredékeket beengedjük. Oldalról gyors elektronokkal bombázzuk őket. Egy részük ionizálódik: elveszít egy-két elektront. Kapcsoljunk a rácsra rövid időre negatív feszültséget a dobozhoz képest. Ugyanúgy, mint az elektronoknál, megkaphatjuk az ionok sebességét, abból pedig az $m/(z \cdot e)$ hányadost, ahol z az ionizációval eltávolított elektronok száma, leggyakrabban 1. Innen megkapjuk az ionok tömegét. Keverék is elemezhető, minden különböző $m/(z \cdot e)$ hányados eltérő repülési időt, így eltérő időben jelentkező és — az ionok mennyiségétől függően — különböző

erősségű áramlökést eredményez. A tömegspektroszkóp a vegyészek egyik legfontosabb, nagyon érzékeny eszköze atomok, molekulák és molekulatöredékek bármilyen keverékének elemzésére.

Azt gondolhatnánk, hogy bármilyen izotóp atomjának megkaphatjuk a tömegét, ha összeadjuk az őt alkotó protonok, neutronok és elektronok tömegét. Hogy ez nincs így, az a relativitáselméletből levezetett Einstein-féle *tömeg-energia ekvivalencia elvből* következik. A képlet nagyon egyszerű: $E = m \cdot c^2$, ahol c a fény sebessége. Próbáljunk gondolatban összerakni egy ${}^4_2\text{He}$ hélium atomot részeiből; mint tudjuk, a jelölés azt jelenti, hogy a magban 2 proton és összesen 4 nukleon van, azaz 2 neutron. Kezdetben nagyon nagy erőt kell legyőznünk, a protonok erősen taszítják egymást. Ha azonban sikerül elég közel hozni a nukleonokat, a magerők rendkívüli erővel összerántják a nukleonokat, és az eddig befektetett energiánál jóval több energia szabadul fel. A különbségnek megfelel a képlet szerint valamennyi tömeg. Nem sok, mert a fénysebesség négyzete óriási. Mégis elég sok ahhoz, hogy tömegspektroszkópos mérésekkel kimutatható legyen: a ${}^4_2\text{He}$ atommag tömege kisebb a két proton és a két neutron össztömegénél. A különbség nagyságrendben egy ezrelék. (A vas atommagjától kezdve az egy nukleonra jutó különbség csökken, és százalékosan egyre több neutron kell a mag stabilitásához.) Amikor a negatív elektronokat hozzáadjuk a pozitív maghoz, újabb energiamentiség szabadul fel. Ez már lényegében kémiai folyamat, a felszabaduló energiamentiség nagyságrendben több tízmilliószor kisebb, mint a mag létrejöttékor felszabaduló energia. A tömegváltozás olyan kicsi, hogy nem mérhető. Egyébként a Napban (és a csillagokban), de a hidrogénbombában is a ${}^4_2\text{He}$ atommagok keletkezése termeli az energiát. (A mol-t mint egységet egyébként úgy választották, hogy a ${}^{12}_6\text{C}$ atom egy mólya minél pontosabban 12 g legyen, mert ez a legfontosabb atom a tömegspektroszkópiában a szerves vegyületek miatt.)

Az atommag szerkezetének megismerése még egy jelenséget megmagyarázott, a *radioaktivitást*. Henry Becquerel uránsók foszforenciáját vizsgálta. 1896-ban felfedezte, hogy az uránsók fényérzékeny lemezre fekete papíron keresztül is hatnak, tehát valami olyan sugárzást bocsátanak ki, ami nem fénysugárzás. Mivel a sugár latinul radius, a jelenséget *radioaktivitásnak* nevezte el. Mágneses térrel a sugárzást három részre lehetett bontani, amelyeket α , β és γ sugaraknak neveztek el. Később kiderült, hogy az α -sugarak nagyjából 20 000 km/s sebességű ${}^4_2\text{He}$ atommagok, a β -sugarak 100 000 km/s-tól majdnem a fénysebességig terjedő sebességű elektronok, a γ -sugarak pedig a fényhez hasonlóan elektromágneses sugarak, de még a Röntgen-sugaraknál is rövidebb hullámhosszúságúak. Az α -sugarak azért jönnek létre, mert a természetben előforduló legnagyobb atommag, az urán atommagja nem stabil. Ritkán, de némelyik elbomlik egy ${}^4_2\text{He}$ atommag kibocsátásával. Ha ennek a részecskének sikerül kijutnia a magerők hatósugarából, az elektromos taszítás nagyon nagy erővel löki tovább, innen a nagy sebesség. A visszamaradó mag már nem urán atommag, mert kettővel kevesebb proton (és kettővel kevesebb neutron) van benne. Kicsit túl sok neutronja van, és némelyik néha elbomlik, innen a β -sugárzás (meg antineutrínó, amit nehéz észlelni). A β -bomláskor egy proton keletkezik, így itt is más elem magja jön létre, eggyel több protonnal, de ugyanannyi nukleonnal. A γ -sugárzásban a bomláskor visszamaradó rezgő atommag fölös energiáját adja le. Más radioaktív bomlási folyamatok is vannak, lásd a fizika részt. Egyet említünk meg, a *maghasadást*. Ez abban áll, hogy például a ${}^{235}_{92}\text{U}$ urán mag ha elnyel egy neutron, ketté hasad és 2–3 neutron is kiszabadul. Mivel a kisebb magokban nagyobb az egy nukleonra jutó tömeghiány, nagy energia szabadul fel. A keletkező neutronok láncreakciót okoznak. Ezen alapszik az *atom-*

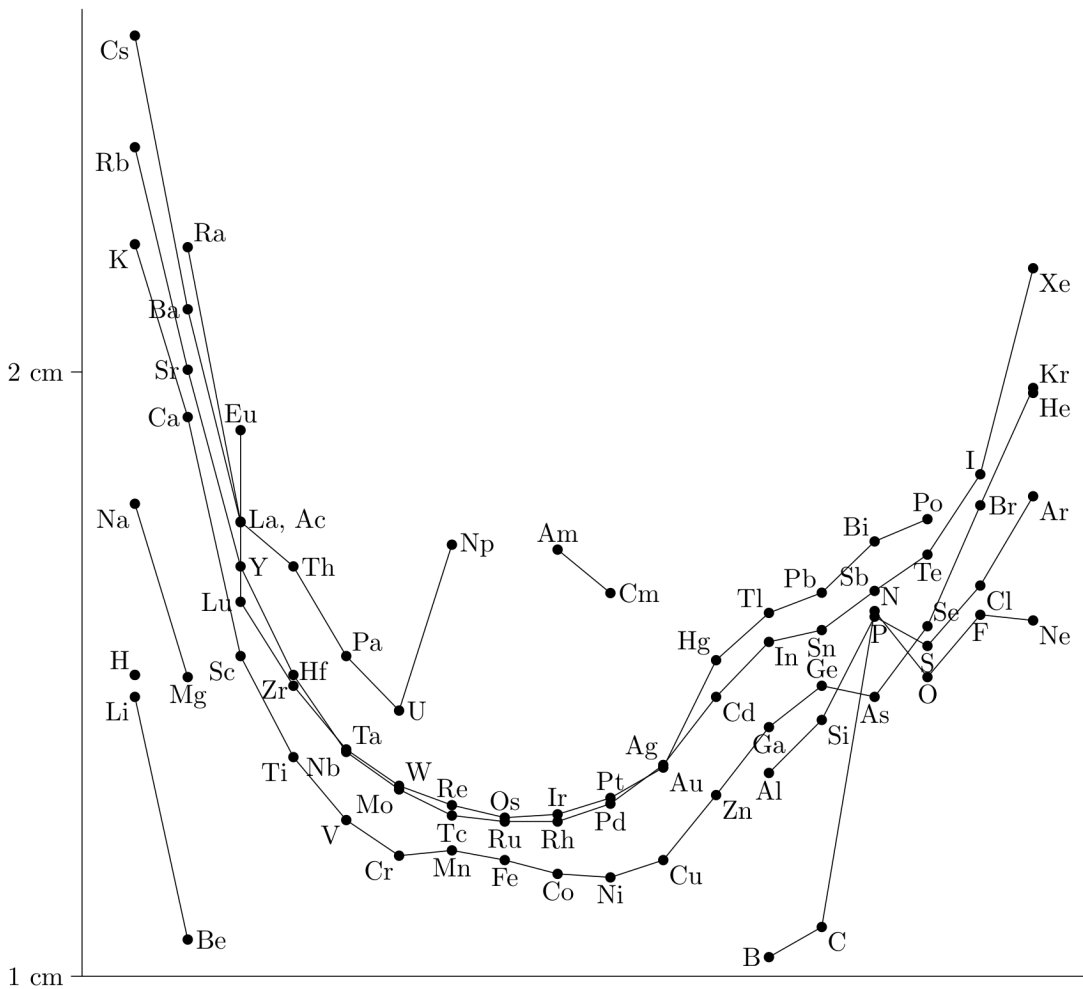


3.1.1 ábra: mólsugarak.

reaktor és az atombomba. Nagy magoknál — az U magjánál is — nagyon ritkán neutron behatás nélküli *spontán maghasadás* (magától bekövetkező maghasadás) is előfordul.

A radioaktivitást is használják a kémiában Hevessy György javaslatára. Radioaktív izotópokat használva, végigkövethető egy atom útja a kémiai reakciók során. □

3.1.2. A periódusos rendszer. A vegyészek régen észrevették, hogy bizonyos elemek, például a halogének vagy az alkálifémek, nagyon hasonlítanak egymásra. Több próbálkozás után végül néhány hónap különbséggel 1869-ben Dimitrij Ivanovics Mengyelejev és Lothar Meyer készítette el az első *periódusos rendszert*, amely ezekre a hasonlóságokra épül. Meyer gondolata volt az elemek móltérfogatát (egy mól térfogatát) ábrázolni a móltömeg függvényében. Egy hasonló grafikont láthatunk a 3.1.1 ábrán, de nem a móltömeg, hanem a nagyjából feleannyi rendszám függvényében. (Mengyelejevék idejében a rendszámról még nem tudhattak.) Nem a móltérfogatot ábráztuk, hanem a *mólsugarat*,



3.1.2 ábra: mólsugarak periódusonként.

egy mól folyékony vagy szilárd anyagból készíthető gömb sugarát. Ez nagyjából az atom sugarával arányos. Az első csúcs a héliumnál van, amit akkor még nem ismertek, az összes többi alkálifémeknél. A periódusok nem egyenlő hosszúak. Hasonló periódikus viselkedést tapasztalunk az elemek nagyon sok más fizikai tulajdonságánál, sőt, vegyületeik, például kloridjaik, oxidjaik, stb. fizikai tulajdonságainál is. A periódusos rendszernek nagyon sok változata van, a 3.1.3 ábra Mengyelejev 1871-es rendszere alapján készült. Mindenütt az elem vegyjele felett szerepel a rendszám és az elektronvonzó képesség, ezek későbbi felfedezések. A vegyjele alatt van az móltömeg. Mengyelejev bátrabb volt mint Meyer és néhány atomméteget kijavított. Ha kellett, a kémiai hasonlóságok alapján megcserélt elemeket a móltömeg sorrendjéhez képest, ilyen például a tellur és a jód. Ezeket a cseréket később az izotópok felfedezése alapján lehetett indokolni. Nagyon sok üres helyet hagyott a táblázatban később felfedezendő elemeknek. Ezek közül többnek a tulajdonságait zseniális

I.		II.		III.		IV.		V.		VI.		VII.		VIII.				
a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	b		
RH R ₂ O		RH ₂ RO		RH ₃ R ₂ O ₃		RH ₄ RO ₂		RH ₃ R ₂ O ₅		RH ₂ RO ₃		RH R ₂ O ₇		R RO ₄				
1 2,20 H 1,008												2 He 4,003						
3 0,98 Li 6,941		4 1,57 Be 9,012		5 2,04 B 10,81		6 2,55 C 12,01		7 3,04 N 14,01		8 3,44 O 16,00		9 3,98 F 19,00		10 Ne 20,18				
11 0,93 Na 22,99		12 1,31 Mg 24,31		13 1,61 Al 26,98		14 1,90 Si 28,09		15 2,19 P 30,97		16 2,58 S 32,07		17 3,16 Cl 35,45		18 Ar 39,95				
19 0,82 K 39,10		20 1,00 Ca 40,08		21 1,36 Sc 44,96		22 1,54 Ti 47,87		23 1,63 V 50,94		24 1,66 Cr 52,00		25 1,55 Mn 54,94		26 1,83 Fe 55,85		27 1,88 Co 58,93		28 1,91 Ni 58,69
29 1,90 Cu 63,55		30 1,65 Zn 65,41		31 1,81 Ga 69,72		32 2,01 Ge 72,64		33 2,18 As 74,92		34 2,55 Se 78,96		35 2,96 Br 79,90		36 3,00 Kr 83,80				
37 0,82 Rb 85,47		38 0,95 Sr 87,62		39 1,22 Y 88,91		40 1,33 Zr 91,22		41 1,60 Nb 92,91		42 2,16 Mo 95,94		43 1,90 Tc [98]		44 2,20 Ru 101,07		45 2,28 Rh 102,91		46 2,20 Pd 106,42
47 1,93 Ag 107,87		48 1,69 Cd 112,41		49 1,78 In 114,82		50 1,96 Sn 118,71		51 2,05 Sb 121,76		52 2,10 Te 127,60		53 2,66 I 126,90		54 2,60 Xe 131,29				
55 0,79 Cs 132,91		56 0,89 Ba 137,33		57–71 Ln		72 1,30 Hf 178,49		73 1,50 Ta 180,95		74 2,36 W 183,84		75 1,90 Re 186,21		76 2,20 Os 190,23		27 1,88 Ir 192,22		28 1,91 Pt 195,08
79 2,54 Au 196,97		80 2,00 Hg 200,59		81 1,62 Tl 204,38		82 2,33 Pb 207,2		83 2,02 Bi 208,98		84 2,00 Po [209]		85 2,20 At [210]		86 Rn [222]				
87 0,70 Fr [223]		88 0,90 Ra [226]		89–103 An		104 Rf [261]		105 Db [262]		106 Sg [266]		107 Bh [264]		108 Hs [277]		109 Mt [268]		110 Ds [281]
111 Rg [272]		112 Cn [285]		113 Uut [284]		114 Fl [289]		115 Uup [288]		116 Lv [292]		117 Uus		118 Uuo [294]				

3.1.3 táblázat: a rövid periódusos rendszer.

kémiai érzékére támaszkodva elképesztő pontossággal jósolta meg. Rendszere akkor lett igazán elfogadott, amikor a megjósolt tulajdonságú elemek közül néhányat felfedeztek.

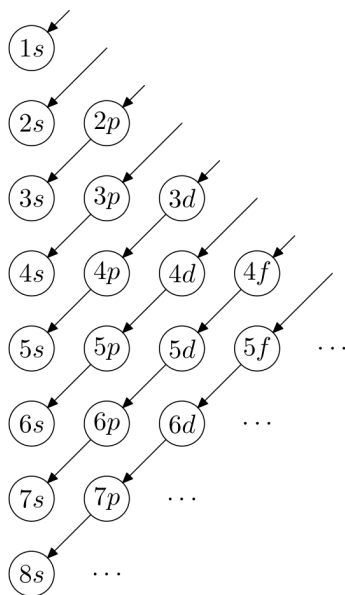
1,10 La 138,9	1,12 Ce 140,1	1,13 Pr 140,9	1,14 Nd 144,2		1,17 Sm 150,3		1,20 Gd 157,3		1,22 Dy 162,5	1,23 Ho 164,9	1,24 Er 167,3	1,25 Tm 168,9		1,27 Lu 175,0
1,10 Ac [227]	1,30 Th 232,0	1,50 Pa 231,0	1,38 U 238,0	1,36 Np [237]	1,28 Pu [244]	1,30 Am [243]	1,30 Cm [247]	1,30 Bk [247]	1,30 Cf [251]	1,30 Es [252]	1,30 Fm [257]	1,30 Md [258]	1,30 No [259]	

3.1.4 táblázat: a lantanidák és az aktinidák.

Vizsgáljuk meg a 3.1.3 ábrán szereplő úgynevezett *rövid periódusos rendszert*. Minden oszlop felett ott a jellemző hidrogén és oxigén vegyület. Minden oszlopban két csoport van, az „a” főcsoport és a „b” mellékcsoport. A két csoport közötti kémiai hasonlóság az I. oszlopban gyenge, majd erősebb lesz a III. oszlopig, utána újra gyengül, de valamennyi megmarad azért. A csoportokon belüli hasonlóság nagyon erős, de a kémiai viselkedés fokozatosan változik, lefelé a fémes jelleg nő, a nemfémes csökken. Ugyancsak nő lefelé az atom sugara. Ez akkor tűnik ki igazán, ha egymás fölé toljuk a periódusokat, ekkor a 3.1.2 ábrát kapjuk. Lépcsőzetes változás tapasztalható egy soron belül is. A mellékcsoportok elemei mind fémek, az úgynevezett *átmeneti fémek*. A főcsoportok fémeit a *bór-volfram vonal* választja el a nemfémeiktől. A vonal mentén vannak a *félfémek*: ide sorolják a B, Si, Ge, As, Sb, Te, Po elemeket. A vonaltól távolodva balra a fémes jelleg erősödik, jobbra pedig a nemfémes jelleg. A hidrogén a legjobb helyen valahol középen lenne, de egyvegyértékűsége miatt az első oszlopba került. Egyetlen másikkal együtt egy „nagyon rövid periódust” alkot. Ezután jön két rövid periódus 8–8 elemmel, amelyek mind a főcsoportokban vannak. Minden oszlop első eleme (az Ia oszlopban a lítium) erős hasonlóságot mutat a következő oszlop második elemével. Ezután két hosszú periódus jön 18–18 elemmel, majd két „nagyon hosszú periódus” 32–32 elemmel.

Mengyelejev eredeti táblázatán néhány kisebb változtatás mellett három nagyobb változtatást kellett csak végrehajtani. Az egyik a nemes gázok felfedezésekor történt, amelyeket egy új főcsoportba, a VIIIa főcsoportba kellett besorolni. Egy másik a ritka földfémek vagy *lantanidák* részletes megismerésekor történt. Mengyelejev egy egész üres sort hagyott nekik, de kiderült, hogy kémiai tulajdonságaik annyira hasonlóak, hogy inkább egyetlen helyre kell őket besorolni, így a táblázatban Ln áll a helyükön. Ugyanez történt az *aktinidák* felfedezésekor, amelyek az Ln alá sorolandók be An összefoglaló néven. Mindkét csoportot külön részletezzük a 3.1.4 táblázatban.

Manapság gyakrabban használják a *hosszú periódusos rendszert*. Ez egyszerűen úgy adódik a rövidből, hogy az első hosszú periódus elemeit sorban eggyessel külön-külön oszlopokba írjuk, a felettük és alattuk álló elemeket pedig föléjük illetve alájuk. Így az Ia főcsoportból az 1. oszlop lesz, a IIa-ból a 2. oszlop, a IIIb-ből a 3. oszlop, stb., a VIIIb-ből a 8., 9. és 10. oszlop, az Ib-ből a 11. oszlop, a a IIB-ből a 12. oszlop, a IIIa-ból a 13. oszlop, stb., a VIIIa-ból a 18. oszlop. Könnyen találhatunk a hálózaton ilyen hosszú periódusos rendszert, az elemek minden adatával, különböző színezésekkel, stb. Videosorozat is készült az elemekről. A 3.1.2 ábra is a hosszú periódusoknak megfelelően ábrázolja a mólsugarakat. Mivel a lantanidák egy oszlopba kerülnek, mólsugaraik egy függőleges vonalra. Mivel a mag töltése egyre nő, az elektronburok egyre kisebb lesz: az utolsó lantanida elemnek a legkisebb a mólsugara. Ez a *lantanida kontrakció*, magyarul összehúzódás. E miatt a lantanidák utáni elemek sugaraik majdnem akkorák, mint az



3.1.5 ábra: a felépítési elv.

előző periódus megfelelő elemeinek sugarai, és így nagyon nagy mértékben hasonlítanak azokhoz. □

3.1.3. A felépítési elv. Jó közelítéssel az atommag körül az elektronok *héj*akba rendeződnek, azon belül *alhéj*akba. Az első héjhoz egy alhéj tartozik, úgynevezett *s*-alhéj, ennek jele *1s*. A második héjhoz két alhéj tartozik, a *2s* és a *2p* alhéj, a harmadikhoz három, a *3s*, a *3p* és a *3d* alhéj, a negyedikhez négy alhéj, a *4s*, a *4p*, a *4d* és a *4f* alhéj, és így tovább. Az *s*, *p*, *d* és *f* típusú alhéjakon kívül többre nem lesz szükségünk. A különböző típusú alhéjakhoz különböző számú *pálya* tartozik: az *s* típusúhoz 1, a *p* típusúhoz 3, a *d* típusúhoz 5, az *f* típusúhoz pedig 7. Minden pályán 0, 1 vagy 2 elektron lehet. A pályán elhelyezkedő elektront „szétkenve”, mint elektronfelhőt lehet elképzelni. Ez az elektronfelhő az *s* típusú pályák esetén gömbszimmetrikus: akárhogy forgatjuk, mindig ugyanúgy néz ki. A *p* típusú pályákat piskóta alakúnak szokás nevezni, egy irányba elnyúltak. A három pálya egymásra páronként merőlegesen (de akármilyen három merőleges irányba) helyezkedik el, szokás p_x , p_y és p_z pályákról is beszélni. Ha azonban mindegyik pályán van egy-egy (vagy két-két) elektron, a *p*-elektronok teljes felhője ismét gömbszimmetrikus. Az öt *d* pálya illetve a hét *f* pálya is merőleges egymásra valamilyen értelemben, és itt is ha mindegyik pályán van egy-egy (vagy két-két) elektron, a teljes felhő gömbszimmetrikus.

Ha a maghoz egyenként adunk protonokat és a szükséges mennyiségben neutronokat, akkor a semleges atomhoz ugyanannyi elektron kell, mint ahány proton van a magban. Milyen pályákra lépnek be az elektronok? A pályák betöltése nagyjából a 3.1.5 ábrán felülről lefele a ferde nyilak szerint történik. Pontosabban, de nem teljesen pontosan írja

le a betöltést az

$$1s \ll 2s < 2p \ll 3s < 3p \ll 4s < 3d < 4p \ll 5s < 4d < 5d < 5p \\ \ll 6s < 4f \approx 5d < 6p \ll 7s < 5f \approx 6d < 7p \ll 8s$$

rendezés, ahol \ll jóval kisebb, $<$ valamivel kisebb, \approx pedig nagyjából egyforma energiát jelent. Figyeljük meg, hogy akárhol szakítjuk meg a sort, a legkülső héjon, a *vegyértékhéjon* s és p elektronok vannak. Ez nem jelenti azt, hogy az alsóbb héjakon lévő elektronok nem játszhatnak szerepet a vegyületképződésben. Például a szkandiumnál 2 elektron van a $4s$ héjon, és 1 a $3d$ héjon, mégis jellemzően 3 vegyértékű. Az átmeneti fémeknél a vegyértékhéj alatti d alhéj betöltése folyik. A vanádiumnál itt 3 elektron van, és lehet 2, 3, 4, 5 vegyértékű. A vasnál 6, de jellemzően 2 és 3 vegyértékű; az utóbbi esetben innen is felhasznál egy elektront, és a d alhéj félig betöltött lesz. Érdekes a réz, ezüst és arany esete: 9 elektron jutna a d alhéjra, de inkább lemegy még egy elektron a vegyértékhéj s alhéjáról, hogy a d alhéj telített legyen; persze ez könnyen vissza is jöhet. Érdekes a lantanidák és az aktinidák esete: előbb egy elektron a vegyértékhéj alatti d alhéjra lép be, aztán kezdődik meg a majdnem egyenlő energiájú f alhéj betöltése. Az elektronok konfigurációjáról, magyarul elhelyezkedéséről részletesebben a periódusos rendszerből tájékozódhatunk.

Hogyan jelöljük az elektron-konfigurációt? Például a szén $1s^2 2s^2 2p_x 2p_y$: a kitevők adják meg az elektronok számát az adott pályán, így az $1s$ pályán és a $2s$ pályán két-két elektron van. Ahol egy elektron van, ott nem írjuk ki a kitevőt. Látjuk, hogy a két utolsó elektron a $2p$ alhéjon két különböző pályára lépett be. Ez mindig így van, ez a *Hund-szabály*: amíg az adott alhéjon van pálya, amin még nincs elektron, az elektron oda lép be, csak ha már mindegyiken van elektron, akkor lép be olyan pályára, amin már van elektron. Ennek alapján a szén elektronkonfigurációját így is írhatjuk: $1s^2 2s^2 2p^2$, ez nem okoz félreértést. Magas rendszámú atomoknál nagyon sokat kellene írni, ezért a legközelebbi nemesgáztól indulunk. A szénél ez így nézne ki: $[\text{He}]2s^2 2p^2$, a réznél pedig így: $[\text{Ar}]3d^{10} 4s$.

3.1.4. Plank feltevése. Ha egy fémgömböt vagy akármilyen üreges fémtestet készítünk, és arra egy kis lyukat fúrunk, az gyakorlatilag abszolút fekete: minden belé eső fénysugarat elnyel. Ha izzítjuk az üreges fémtestet, a lyukon fénysugárzás jön ki, aminek a színe a hőmérsékletet emelve fokozatosan eltolódik az infravöröstől kezdve a vörösön, sárgán, stb. át a kék felé. Ezt a klasszikus fizika alapján nem bírták megmagyarázni. Végül Max Planck adott magyarázatot 1900-ban, annak a feltevésnek az alapján, hogy az üregben lévő ν rezgésszámú fény energiája csak

$$E = h \cdot \nu$$

adagokban, idegen szóval *kvantumokban* növekedhet, ez a *Planck-féle feltevés*, h a Plank-állandó. ** A Planck-féle feltevés azért segít, mert az üregben végtelen sokféle rezgésszámú fényhullám lehet ugyan, de adott ν_0 frekvenciánál kisebb rezgésszámú csak véges sok. Ha ν_0 elég nagy a hőmérséklethez képest, a fal hőmozgást végző atomjainak energiája csak elenyésző valószínűséggel lehet nagyobb, mint $h\nu_0$, így ilyen fény csak elenyésző valószínűséggel keletkezik. **

Még 1900 előtt Lénárd Fülöp egy megdöbbentő dolgot fedezett fel a fényelektromos jelenséggel kapcsolatban. Maga a jelenség az, hogy fémekből fény hatására vákuumban elektronok lépnek ki. Lénárd felfedezése az volt, hogy csak egy (a fémtől függő) rezgésszámnál nagyobb rezgésszámú fény hatásos. A kilépő elektronok száma arányos a fény

erősségével, a (maximális) energiájuk viszont a rezgésszámmal lineárisan nő. Az elektronok kilépése a besugárzásakor azonnal megindul. ** A jelenség a klasszikus fizika alapján teljesen megmagyarázhatatlan: ha a fény hullám, az elektron pedig részecske, csak napok alatt gyűlne össze egy atomban a fényből annyi energia, ami ki bír szabadítani egy elektront.** Végül Einstein adott egy — akkor még eléggé bizonytalan lábakon álló, de végül igaznak bizonyult — magyarázatot: a fény részecskéként, *fotonként* is viselkedhet, amelynek energiáját a Planck-képlet adja meg. Ez az energia adódik át az elektronnak. Több-kevesebb, a fém fajtájától függően, a fémből való kiszabadulásra használódik el, a maradék a kilépő elektron energiája. A feltevés csak lassan vált elfogadottá, de végül ez hozott Nobel-díjat Planck-nak (1918) és Einsteinnek (1921). □

3.1.5. Ionos és kovalens kötés. A vegyületképződés hajtóerejét röviden de elég pontatlanul úgy lehetne összefoglalni, hogy az atomok telített külső elektronhéj létrejöttére törekednek. Az első és második periódusban lévő elemek példáján nézzük ezt meg. A Li vegyértékhéján csak egy elektron van, telített külső elektronhéjat legkönnyebben úgy kapunk, ha leadja ezt az elektront. A F külső héja viszont majdnem telített, a gömb-szimmetrikus külső héjból csak egy elektron, egy „piskóta” hiányzik. Telített héjat úgy kapunk, ha a F atom felvesz egy elektront. A Li és a F reakciójakor ez történik: a Li atom lead egy elektront, a F atom felveszi: ionvegyület képződik.

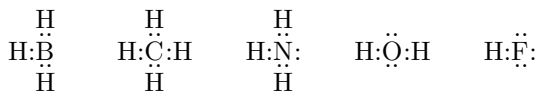
Mi történik a H_2 molekula képződésekor? A közeledő H atomok elektronfelhői összeolvadnak, az atomi elektronpályákból egy közös *molekulapálya* jön létre. Mindkét elektron ezen tartózkodik, legnagyobb eséllyel a két proton között. A protonok közeledésével az energia egy darabig csökken, majd elkezdi gyorsan növekedni, mert az elektronok kiszorulnak a protonok közül. Ahol a legkisebb, ott van a magok egyensúlyi távolsága. A létrejövő képződményt úgy jelölhetjük, hogy H:H, a pontok az elektronok, a H itt a vegyértékelektronjától megfosztott hidrogén atommag. Mindkettő jól járt: két elektronja van a vegyértékhéján, így az telített. Ez a *kovalens kötés*.

Nézzük most a LiH-et. Itt is az atomok közeledésekor a vegyértékelektronok felhői összeolvadnak, a képződmény úgy írhatjuk, hogy Li:H. Az Li ebben a jelölésben a vegyértékelektronjától megfosztott Li atom, a H pedig a vegyértékelektronjától megfosztott H atom. A hidrogén jól járt, megvan a zárt elektronhéja, a Li-nak nincs. Kovalens-e ez a kötés? Ezt az atomok I ionizációs energiájából (ami egy elektron leválasztásához kell) és az atom A elektronaffinitásából dönthetjük el; az utóbbi az atomból képzett negatív ion disszociációs energiája elektronra és semleges atomra. Képzeld el, hogy egy X atomból és egy Y atomból egy XY molekula képződik. Ha egy elektron átmegy az X atomról az Y atomra, akkor a felszabaduló energia $A_Y - I_X$, ha fordítva, akkor $A_X - I_Y$. Tiszta kovalens esetben a kettő egyenlő, amiből

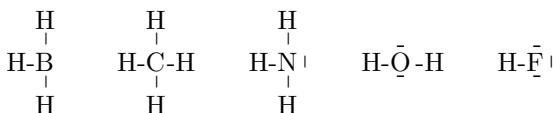
$$A_X + I_X = A_Y + I_Y.$$

Tehát az $A_X + I_X$ mennyiség jellemzi az X atom *elektronvonzó képességét*, ez az *elektronnegativitás*. Történeti okokból a *Pauling-féle elektronnegativitást* szokás inkább használni, ami kicsit bonyolultabban van megadva, de talán pontosabb. A fluor elektronnegativitása 3,98, a lítiumé 0,98. Ha az elektronnegativitások különbsége 0, a kötés tiszta kovalens. Ha 1, akkor kb. 20%-ban ionos, ha 2, akkor kb. 70%-ban, ha 3, akkor gyakorlatilag tisztán ionos. A H elektronnegativitása 2,2, tehát a kötés vagy 30%-ban ionos, az elektron „többet van” a hidrogén közelében.

Nézzük most a BeH_2 -et. A szerkezet $\text{H}:\text{Be}:\text{H}$ alakba írható. A Be-nak nincs telített külső elektronhéja, ehhez túl kevés az elektron, de a hidrogéneknek van. Milyen szöget zárnak be a kötő elektronpárok? Taszítják egymást, így a lehető legnagyobb szöget, 180° -ot. A második periódus többi hidrogénvegyületének elektronszerkezete a



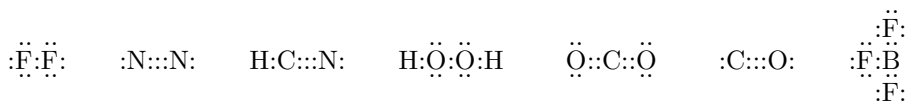
képletekkel adható meg. A betűk közé írt elektronpárok *kötő elektronpárok*, a többi *nem kötő elektronpár*. Az elektronpárok taszítják egymást, tehát úgy helyezkednek el, hogy minél messzebb legyenek. Úgy lehet ezt elképzelni, mintha a szájánál összefognánk néhány felfújt lufit. A BH_3 bór-hidridnél a kötések közötti szög, a *kötésszög* 120° , a lehető legnagyobb. A protonok és a bór atommagja egy síkban vannak. A CH_4 metánnál a kötések úgy helyezkednek el, mint egy szabályos tetraédernél a középpontból a csúcsokba mutató szakaszok, a kötésszög $109,5^\circ$. Az NH_3 ammóniánál a nem kötő elektronpárnak is kell hely, méghozzá kicsit nagyobb, mint a kötő elektronpároknak, hiszen nincs az elektronfelhőben proton, így nagyobb a negatív töltése, nagyobb a lufi. A kötésszög $107,8^\circ$. A víznél két nem kötő elektronpár is van, a kötésszög 105° . A hidrogén-fluorid természetesen poláros: a nagyon elektronnegatív fluor maga felé húzza a kötő elektronpárt. Az elektronszerkezetek a



képletekkel is megadhatók: a kötő elektronpároknál a betűk közé minden elektronpár helyett egy-egy vegyértékvonalat rajzoltunk. A nem kötő elektronpárnál a betű mellé rajzoltuk a vegyértékvonalat.

Érthető, hogy az ammónia molekula könnyen megköt egy protont: a molekula „készen adja” a protonnak az elektronpárt. A H_2O és a HF molekula is meg tud kötni egy protont. A F (és a Cl) atom hasonlósága az OH, NH_2 és az CH_3 atomcsoporthoz is érthető: mindegyikben egy elektron hiányzik a teli elektronszférahoz. Ugyanez az alapja az O, NH, CH_2 , valamint az N és a CH hasonlóságának. Ez ilyen atomcsoportok, amelyekben párosítatlan elektronok vannak, általában nagyon reakcióképesek; *gyök*nek (latinból radikál, R) szoktuk őket nevezni. Általában rövid életűek, de nagyon fontosak a reakciók lejtésében. Emlékezzünk vissza a klórdurranógázra, amelynek robbanása láncreakció. A durranógáz robbanása is láncreakció, amelyben egyes lépésekben több gyök is keletkezik egyből: a láncreakció elágazik, így még hevesebb.

Néhány egyszerű vegyület elektronszerkezetét a



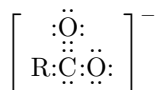
képletek adják meg. A BF_3 bór-trifluoridnál hiányzik egy elektronpár: nincs elég elektron. Nyilván könnyen reagál az ammóniával, amely készen adja az elektronpárt. Meglepetés a

szén-monoxid szerkezete: hármás kötés van benne, amelybe 4 elektront az oxigén ad, 2-t a szén. Az N_2 molekulában ugyanennyi elektron van, hasonló az elektronszerkezet. Az etán, etilén és acetilén szerkezetét a



képletek adják. Az etánban lévő egyes kötés körül a szénatomok foroghatnak, a kettős és hármás kötés körül nem. Ennek akkor van jelentősége, ha bonyolultabb a molekula. Egyébként kettős, pláne hármás kötés a további periódusok atomjainál nemigen fordul elő, már túl nagy az atom, így a kettős és hármás kötésnek elsősorban a szerves kémiában van jelentősége.

Milyen az elektronszerkezete egy szerves savmaradéknak? A

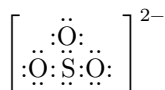


képlettel adhatjuk meg, ami teljesen megfelel a klasszikus, az oxidációs számon alapuló szerkezetnek. Az R betű akármilyen gyököt jelenthet; csak a kötő elektrópárt írtuk ki.

Miért írtuk az egészet szögletes zárójelbe, talán komplex? Hát, a komplex vegyületekben is kovalens vagy többé-kevésbé ionos kötések vannak, amelyekben a kötő elektrópárt gyakran a ligandum adja. Általában a vegyértékhéj alatti héjon elhelyezkedő d elektronok is szerepet játszanak a komplexképződésben. Az oxisavak (oxigénnel képzett savak) anionjai formailag olyanok, mintha O^{2-} ionok vennék körül a központi atomot. Lényeges különbség azonban, hogy soha nem disszociálnak O^{2-} ionok leadásával.

Visszatérve a szerves savakhoz, a képletből úgy néz ki, mintha a két O atom között különbség lenne: az egyik egyes, a másik kettős kötéssel kapcsolódik, az első kisebb, a másik nagyobb atommag-távolsággal. Valójában a két oxigén között semmi különbség sincs. Szokták úgy mondani, hogy a molekula két ekvivalens szerkezet közötti *rezonancia*-szerkezet. Ez a szóhasználat sok félreértésre adott okot. Az elektronszerkezet nem változik, kialakul egy szerkezet, amit a két szerkezet 1:1 arányú keverékével közelíthetünk. Más esetben több szerkezet megfelelő arányú keverékét használhatjuk közelítésre. A valóságban egy elektrópár olyan pályán mozog, ami az egész COO csoportot befutja. Még ez sem teljesen igaz, ha az R gyökben elektronvonzó atom, pl. Cl is van, akkor a COO csoporton csökken az elektronsűrűség, könnyebben elengedi a protont, a sav erősebb lesz.

Milyen a szulfít ion elektronszerkezete? Az alábbi:



Figyeljük meg, hogy a kénnek maradt egy szabad elektrópárja, amihez könnyen csatlakozhat egy O atom. Ezért a szulfít ion jó redukálószer. Az O csatlakozásával a szulfát ionhoz jutunk, ami sokkal stabilabb. Teljesen hasonló a perklorát ion szerkezete, ami szintén nagyon stabil, közönséges hőmérsékleten nem is oxidál.

Fontos megérteni, hogy a zárt héjra való törekvés csak tendencia, ami a harmadik periódussal kezdve egyre gyengébben érvényesül. Például az SF₆ kén-hexafluorid nagyon stabil vegyület, pedig a S atom külső héján 12 elektron van (minden F atommal való kovalens kötés egyet szolgáltat). Fontos az atomok, atomcsoportok mérete, elhelyezkedése. Használjuk nyugodtan megszokott vegyértékvonalainkat, kivéve a komplex vegyületeket. A pontos elektronszerkezet csak a *kvantummechanika* alapján, csak számítógépekkel végezhető *kvantumkémiái* számításokkal közelíthető. Rövid ízelítőt az alábbi néhány pont ** és ** jelek között lévő részei adnak, de teljes megértés csak a megfelelő matematikai anyag birtokában érhető el, ami megtalálható a matematikai részben. □

3.1.6. A hidrogénatom. ** Hogyan mozog az elektron a legegyszerűbb atomban, a hidrogénatomban? Általában úgy helyezkedik el, mint valami elkent felhő. Helyezzük a protont az origóba! A felhőt egy $\psi(x, y, z)$ úgynevezett *hullámfüggvénnyel* tudjuk megadni, ezt tekinthetjük az elektron *pályájának*. A függvény értékei általában úgynevezett komplex számok, de szerencsére a minket érdeklő esetekben valós számok. Mi ennek a függvénynek a fizikai jelentése? Az abszolútértéke négyzetének — ami valós értékű esetben egyszerűen a négyzete — egyszerű fizikai jelentése van, ez egy sűrűségfüggvény. Egy pontra azt adja meg, hogy milyen valószínűséggel helyezkedik el az elektron az adott pont közelében. A pályák alakját három számmal tudjuk megadni: az n *főkvantumszámmal*, az ℓ *mellékkvantumszámmal* és az m *mágneses kvantumszámmal*. Durván szólva, a főkvantumszám adja meg, hogy milyen messze van az elektron az atommagtól. A főkvantumszám 1, 2, 3, ... lehet. A mellékkvantumszám adja meg, hogy mennyire „elnyúlt” a felhő. Ez lehet 0, ekkor nincs elnyúlás semerre, és felmehet egészen $n - 1$ -ig. A mágneses kvantumszám durván azt adja meg, hogy merrefelé elnyúlt a felhő. Ez lehet $-\ell, -\ell + 1, \dots, 0, \dots, \ell - 1, \ell$. A főkvantumszám — legalábbis a hidrogénatomban — megadja az elektron energiáját is, ez $-E_\infty/n^2$, ahol E_∞ egy energiaegység, az úgynevezett *rydberg*, értéke

$$E_\infty = \frac{m\mathbf{e}^4}{8\mathbf{h}^2\varepsilon_0^2} \approx 13,6 \text{ eV};$$

itt m az elektron tömege, $-\mathbf{e}$ az elektron töltése, ε_0 a vákuum dielektromos állandója (hogy mi ez, azt lásd a fizika részben, mindenesetre egy konstans), \mathbf{h} a Plank-állandó. A negatív előjel abból adódik, hogy a magtól nagyon messze lévő nagyon lassan haladó elektron energiáját tekintjük nullának. Mint már tudjuk, tetszőleges atomban az adott főkvantumszámhoz tartozó pályákat egy *elektronhéjnak* nevezzük. A héjakat szokás a K, L, M, N, O, ... betűkkel is jelölni, de legtöbbször csak az 1, 2, 3, 4, 5, ... számokkal jelöljük őket. Mielőtt tovább mennénk és megismernénk a pályák alakját, megmutatjuk, hogy már ennyiből is megmagyarázható a hidrogénatom színe, sőt, néhány más atom színe is. **

3.1.7. A hidrogénatom színe. ** Ha egy elektron valahogyan felkerül egy nagyobb, mondjuk n_2 főkvantumszámú pályára (például a hőmozgás okozta ütközések miatt), és onnan „leesik” egy kisebb, mondjuk n_1 főkvantumszámú pályára, akkor az energiák különbségét egy fotonként kisugározza. Ennek energiája a Planck-képlet szerint a két pályához tartozó energia különbsége:

$$\mathbf{h} \cdot \nu = E_\infty \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Ahogy n_2 nő, a foton energiája és így rezgésszáma egyre nagyobb lesz, de egyre kevesebbel nő. A színeképvonalak besűrűsödnek. A legnagyobb fotonenergia akkor adódik, amikor $n_1 = 1$ és $n_2 = \infty$, ez éppen E_∞ . Az $n_1 = 1$ esethez tartozó fotonok az ultraibolya tartományba esnek. Legelőször az $n_1 = 2$ -höz tartozó színeképvonalak egy részét fedezték fel, amelyek a látható és a közeli ultraibolya tartományba esnek. Az E_∞ jelölésben a végtelen az jelzi, hogy az atommagot végtelen nagy tömegűnek tekintettük, és így nem mozog. A mag mozgását könnyen figyelembe vehetjük: egyszerűen E_∞ helyére $E_\infty/(1 + m/M)$ -et kell írni, ahol M az atommag tömege. Például a hidrogénnél M a proton tömege, a deutériumnál viszont majdnem pontosan kétszer ekkora, ami kis változásokat okoz a színeképben. Ennek alapján fedezték fel a deutériumot. Még a „hidrogénszerű” atomok színeképe is meghatározható: az elektromos vonzás képletében e^2 helyére mindenütt Ze^2 kerül. Mindenütt ezt a helyettesítést kell elvégezni, így E_∞ képletében is.

Az alkálifémek színeképe valamennyire hasonlít a hidrogénééhez, de sokkal több színeképvonal van. A színeképvonalakat sorozatokba rendezték, a sorozatokat s, p, d, f betűkkel jelölték a sharp, principal, diffuse és fundamental szavakból. Később kiderült, hogy egy színeképvonal attól függően tartozik egy sorozatba, hogy milyen mellékkvantumszámú pályáról „esik le” az elektron. Ekkor a jelölést átvitték a mellékkvantumszám jelölésére: s, p, d, f rendre 0, 1, 2, 3. Ha több betűre van szükség, egyszerűen folytatjuk a sort: g, h, ... ** □

3.1.8. Az elektronpályák a hidrogénatomban. ** Az elektronpályákat először Schrödinger határozta meg az általa (és Heisenberg által) felfedezett kvantummechanika segítségével. A pályákat úgy kapjuk, hogy megoldjuk az úgynevezett *Schrödinger-egyenletet*. Az egyenlet olyan bonyolult, hogy itt fel sem írjuk. A matematikai részben megtalálható a teljes megoldásmenet. A megoldások megértését (és a megoldást is) elősegíti, hogy a pályák

$$\psi(x, y, z) = R(r) \cdot Y(x/r, y/r, z/r)$$

alakba írhatók, ahol $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ a távolság a magtól. Mint látjuk, az $R(r)$ tényező csak ettől függ, a másik tényező pedig csak az iránytól, hiszen akármilyen (x, y, z) vektorra $(x/r, y/r, z/r)$ egy egységnyi hosszú vektor, a *vektor iránya*. Pontosabban az igaz, hogy

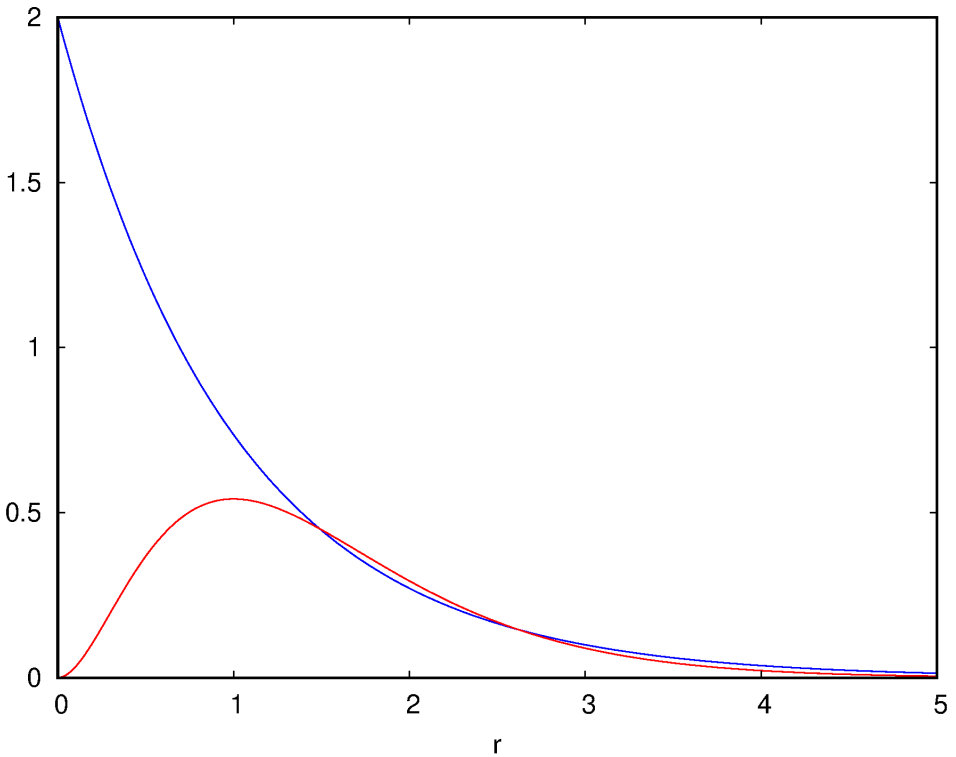
$$\psi_{n,\ell,m}(x, y, z) = R_{n,\ell}(r) \cdot Y_{\ell,m}(x/r, y/r, z/r),$$

azaz a csak a távolságtól függő rész a főkvantumszámtól és a mellékkvantumszámtól függ, a csak az iránytól függő rész pedig a mellékkvantumszámtól és a mágneses kvantumszámtól. Kezdjük a pályákkal való ismerkedést a legalacsonyabb energiájú pályával, az úgynevezett *alapállapottal*. Ekkor $n = 1$ és így szükségképpen $\ell = 0$ és $m = 0$. ** □

3.1.9. A hidrogénatom alapállapota. ** Az alapállapotban

$$R_{1,0}(r) = \frac{2}{r_0^{3/2}} \cdot e^{-r/r_0} \quad \text{és} \quad Y_{0,0} = \frac{1}{\sqrt{4 \cdot \pi}},$$

ahol $r_0 = \hbar^2/(4 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot e^2) \approx 52,9$ pm a *Bohr-féle atomsugár*. (Ha a mag mozgását is figyelembe vesszük vagy a mag töltése nem e hanem Ze , akkor ez is megváltozik: osztani kell $1 + m/M$ -mel, illetve e^2 helyére Ze^2 kerül.) A $\psi(x, y, z)$ hullámfüggvény a fenti két függvény szorzata. A tartózkodási valószínűséget ennek a négyzete adja meg. Milyen

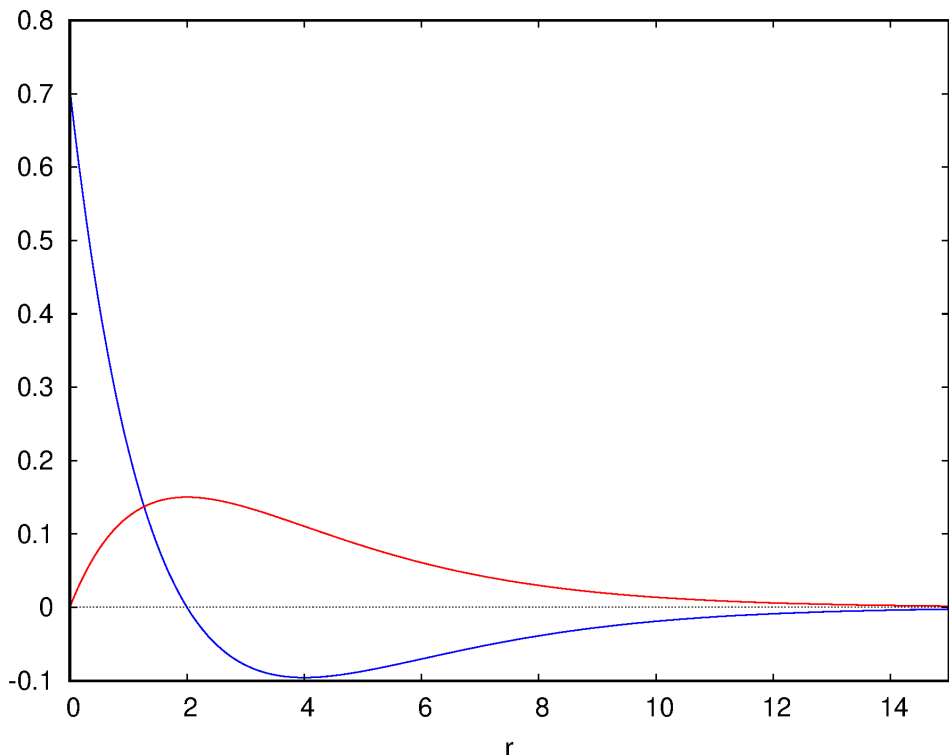


3.1.6 ábra: alapállapot, távolságfüggés.

egységekben érdemes mérni a magtól való távolságot? Legpraktikusabbnak tűnik r_0 -at használni egységnek. Mivel az elektron nagyságrendben r_0^3 térfogatban tartózkodik, és a $|\psi|^2$ függvény szorozva ezzel a térfogattal egy 0 és 1 közé eső szám kell legyen, így $|\psi|^2$ -et $1/r_0^3$, a ψ -t és így $R_{1,0}$ -at is $r_0^{-3/2}$ egységekben érdemes mérni. Ilyen egységekben ábrázolja a 3.1.6 ábrán $R_{1,0}$ -at a kék vonal. Határozzuk meg az elektron magtól vett távolságának (r_0 egységekben) az eloszlását! A $|\psi|^2$ függvény szoroznunk kell az r sugarú gömb felületével. Ezt az eloszlást mutatja a piros vonal. Látjuk, hogy az elektron legnagyobb eséllyel r_0 távolságban van a magtól.

Egyértelmű-e a hullámfüggvény? Nem: megszorozhatjuk akármilyen 1 abszolút értékű (komplex) számmal, a kapott függvény még mindig ugyanazt az állapotot jelenti. Például ha ψ helyett $-\psi$ -t vesszük, az ugyanaz az állapot. ** □

3.1.10. A hidrogénatom: a pályák függése a távolságtól. ** Vizsgáljuk most meg az $n = 2, 3, \dots$ esetekben az r -től való függést! Csak az $R(r)$ függvényeket ábrázoljuk, a fentiek szerint. Az $R_{2,0}$ és $R_{2,1}$ függvényeket a 3.1.7 ábrán láthatjuk. Az $R_{2,0}$ függvény — az ábrán kék — nulla lesz a magtól $2r_0$ távolságban, az ilyen sugarú gömbön tehát nem tartózkodik az elektron, viszont azon belül és kívül igen. Ezt a gömböt *csomógömb*nek nevezzük. Az $R_{1,0}$ függvény nem lesz nulla csak a magnál, nincs csomógömb. Olyan, mintha a csomógömb befutott volna a magba.



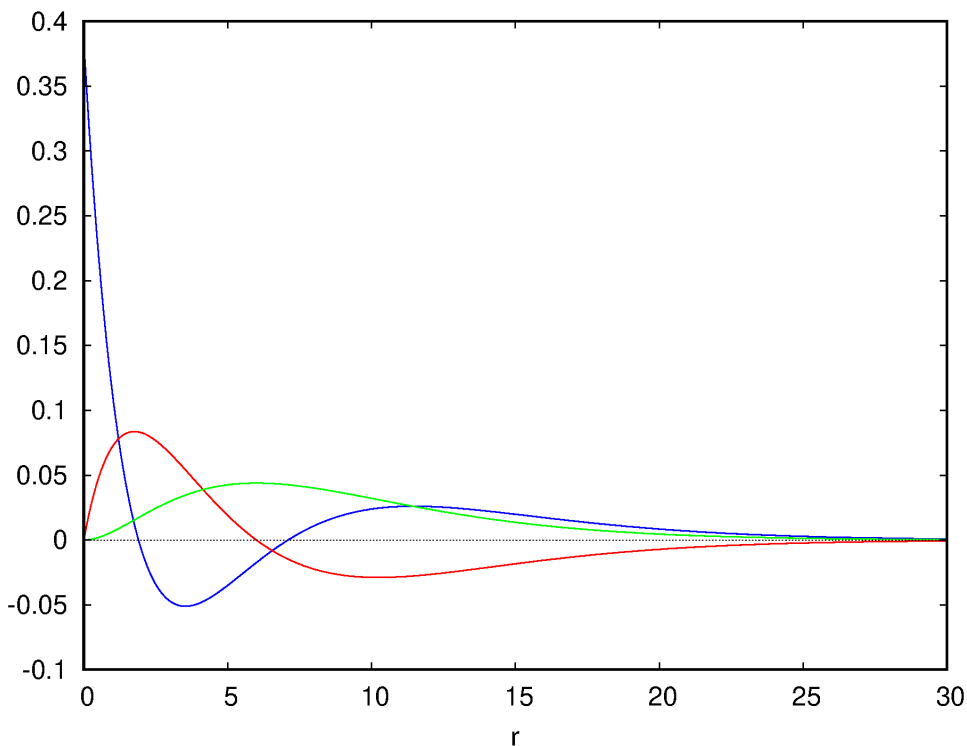
3.1.7 ábra: második, gerjesztett állapot, távolságfüggés.

Az $n = 3$ esetet a 3.1.8 ábra mutatja. Az $R_{3,0}$ függvény — az ábrán kék — két helyen is nulla lesz, két csomógömb van. Az $R_{3,1}$ függvény — az ábrán piros — egy helyen lesz nulla a magon kívül, az $R_{3,2}$ függvény — az ábrán zöld — pedig nem lesz nulla csak a magnál, nincs csomógömb. Olyan, mintha a csomógömbök sorra befutnának a magba.

Magasabb n -re hasonló a helyzet, az $R_{n,l}$ függvényhez $n - l - 1$ csomógömb tartozik. Ezeket a függvényeket is kirajzoltathatjuk a <http://compalg.inf.elte.hu/~ajarai/hobby.html> honlapon található wxMaxima programmal. ** □

3.1.11. A hidrogénatom: a pályák függése az iránytól. ** Az $Y_{0,0}$ függvényt már ismerjük, nem függ az iránytól, tehát az $1s, 2s, 3s, \dots$ pályák irányfüggetlenek. Nézzük a p pályákat! Az $Y_{1,0}$ függvényt kiszámítva a wxMaxima programmal, azt kapjuk, hogy $\sqrt{3/(4\pi)} \cdot z/r$, azaz csak az irány z koordinátájától függ. Nyilván arra mutat, amerre a z leggyorsabban nő, azaz a z tengely irányába. Az $Y_{1,1}$ függvényt kiszámítva mindjárt két függvényt kapunk vissza. Teljesen olyanok mint az előző, de z helyett x illetve y szerepel. A megfelelő pályákat p_x, p_y illetve p_z pályáknak szoktuk nevezni, például $2p_x$ pálya, $4p_z$ pálya, stb.

Álljunk meg egy percre! Honnan tudja a hidrogénatom, hogy mi milyen irányt választottunk az x, y és z tengelyeknek? Természetesen nem tudja, csak mi ezeket a pályákat választottuk számtalan más p pálya közül. Ha akármilyen c_x, c_y és c_z (akár komplex) számokkal kombináljuk a pályákat, $p = c_x \cdot p_x + c_y \cdot p_y + c_z \cdot p_z$ újra pálya lesz, természetesen

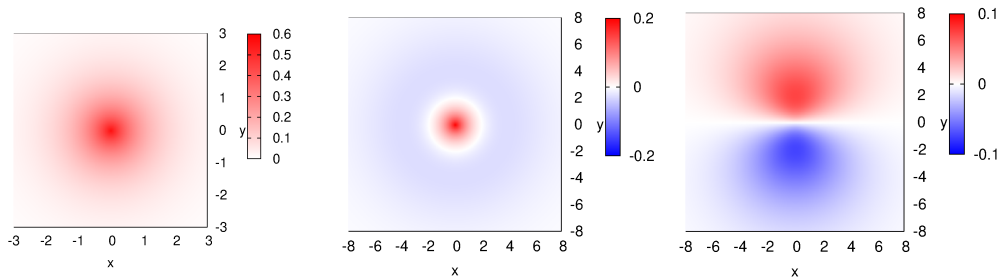


3.1.8 ábra: harmadik, gerjesztett állapot, távolságfüggés.

a közös R függvénnyel szorozva. Egy dologra azonban vigyáznunk kell! Erre a p pályára annak a valószínűségére, hogy az elektron van valahol a p pályán, $|c_x|^2 + |c_y|^2 + |c_z|^2$ adódna, ezért a p -t el kell osztani ennek az összegnek a négyzetgyökével, hogy a helyes 1 valószínűség adódjon. Ezt nevezik a pálya *normálásának*, a kapott pálya *normált*. Például a $p = p_x + p_y + p_z$ pálya normálásához $\sqrt{3}$ -mal kell osztani, és egy olyan pályát kapunk, amely az $(1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3})$ irányba mutat, de egyébként olyan, mint a p_z pálya. Ilyen kombinálással akármilyen három páronként merőleges tengelyhez elő tudunk állítani három normált pályát, amelyek az adott tengelyek irányába mutatnak.

Nézzük a d pályák irányfüggését. Programunk kiírja ℓ és m alapján a megfelelő függvényeket. Ezeket rendre d_{z^2} , d_{xz} , d_{yz} , $d_{x^2-y^2}$, d_{xy} pályáknak nevezzük. Végül az f pályák irányfüggését is kiírathatjuk. A kapott irányfüggésnek megfelelő pályákat a bennük szereplő jellemző (legnagyobb együtthatójú) tagokról rendre f_{z^3} , f_{xz^2} , f_{yz^2} , $f_{x^2z-y^2z}$, f_{xyz} , f_{x^3} , f_{y^3} pályáknak nevezzük. Többre nem is lesz szükségünk.

Az irányfüggést leíró függvényeket *gömbfüggvényeknek* nevezik. Hogyan tudnánk a gömbfüggvényeket ábrázolni? Az egyik lehetőség, hogy kiszínezzük a gömböt: ahol a függvény a legnagyobb — pozitív — értéket veszi fel, ott legyen tiszta piros, ahol pedig a legkisebb — negatív — értékét, ott legyen tiszta kék. A wxMaxima program generál egy ilyen képet az $Y_{0,0}$ gömbfüggvényre is, de ez elég unalmas, tiszta piros. Izgalmasabb a helyzet az $Y_{1,0}$ gömbfüggvénynél, ezt is kirajzolja a program. Az „északi” pólusnál a



3.1.9 ábrák: pályák síkmetszete.

gömb tiszta piros, a „déli” pólusnál pedig tiszta kék. A wxMaxima program generál egy ilyen képet. Más gömbfüggvényekre is találhatunk ilyen képeket a hálózaton.

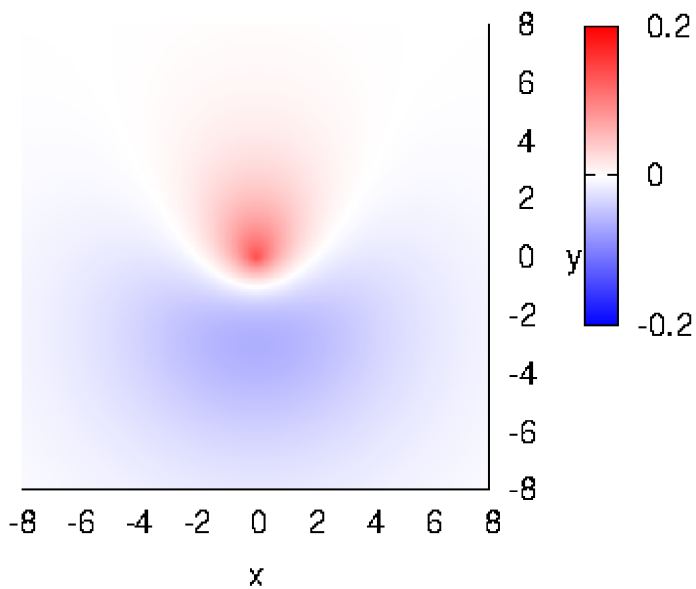
Egy sokkal látványosabb eljárás, ha minden irányba rajzolunk egy pontot olyan távolságban az origótól, amennyi a gömbfüggvény értéke abban az irányban. Hátránya ennek, hogy negatív távolság nincs, így a függvény egy részét nem kapjuk meg. Ezt elkerülendő, a függvény abszolút értékét vesszük. Ezt az eljárást használjuk más gömbfüggvény ábrázolására is. A wxMaxima programmal akármelyik gömbfüggvényt kirajzoltathatjuk. **

□

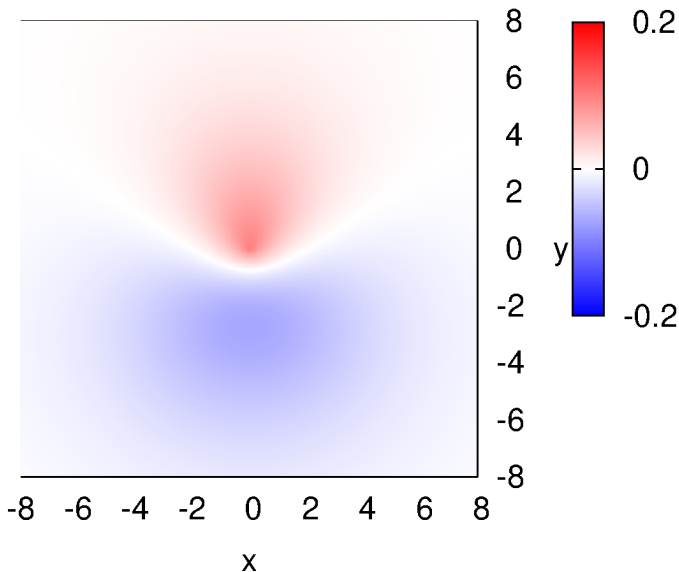
3.1.12. A hidrogénatom: teljes pályák. ** Hogyan tudnánk a teljes pályákat ábrázolni? Nyilván valami elkent határú felhőt kéne rajzolni. Egyszerűbb a helyzetünk, ha elvágjuk a pályát egy síkkal. A 3.1.9 ábrák balról jobbra az $1s$, a $2s$ és a $2p_y$ függvényeknek az xy -síkkal való metszetét a mutatják. A függvény értékét a szín mutatja. A teljes pályát úgy kapjuk, hogy az ábrát gondolatban megforgatjuk az y tengely körül. Azért a p_y pályát választottuk, hogy a betűk a szokásos x és y legyenek. ** □

3.1.13. Hibridizáció. ** Szabad-e nem csak p -pályákat „összekeverni”, idegen szóval *hibridizálni*? A hidrogén atomban minden azonos főkvantumszámú pálya energiája ugyanannyi, ezek bármilyen arányban összekeverhetők, persze utána normalizálni kell. A $2s$ és $2p_y$ pályákat összeadva majd normalizálva egy sp hibrid pályát kapunk, amit a 3.1.10 ábra mutat keresztmetszetben. Figyeljük meg alul a szép kövér elektronfelhőt, ami nyilván képes kötés kialakítására. Természetesen például egy proton teljesen eltorzítja az elektronfelhőt, úgy fog kinézni, mint valami lufi, amiben benne ül a proton. A H atom elektronja ugyerre a pályára kerül. Teljesen hasonló ábrát kapunk, ha a $2s$ pályából kivonjuk a $2p_y$ pályát és normalizálunk, de most felül lesz az elektronfelhő, az ábra tükröződik az x tengelyre. Tulajdonképpen már találkoztunk is ezzel a jelenséggel, a BeH_2 elektron-szerkezeténél. De hát ez hogyan lehetséges, mikor a Be-ban nincs is $2p$ elektron? Némi energiabefektetéssel az egyik $2s$ elektron felvihető a $2p_y$ pályára. További kevés energia befektetésével megkapható a két $2sp$ hibrid pálya, ami nem teljesen ugyanolyan, mint a H atomnál, de hasonló. Az energiabefektetést bőségesen visszkapjuk a vegyületképzéskor, a kötésszög 180° . Hasonló a helyzet a BeF_2 -ban.

Lehetséges-e egy s pálya és két p -pálya egyenlő arányú hibridizációja, azaz az sp^2 -hibridizáció? Minden további nélkül. Először képezzük két p -pálya, mondjuk a p_x és p_y összegét. A sugártól való függés azonos, így elég lesz az irányfüggést kirajzoltatni a wxMaxima programmal. Ez ugyan úgy néz ki, mint a p_y pálya irányfüggése, de 45° -kal el van forgatva és $\sqrt{2}$ -ször nagyobb. Ha ezt keverjük a $2s$ pályával, az ugyanaz, mintha



3.1.10 ábra: a $2sp$ hibrid pálya síkmetszete.



3.1.11 ábra: a $2sp^3$ hibrid pálya síkmetszete.

a $2s$ pályát a $2p_y$ pályával kevernék $1:\sqrt{2}$ arányban. Ezt az úgynevezett sp^2 (egy s , két p) hibrid pálya. Persze, az eddigiek alapján azt várjuk, hogy két másik $2sp^2$ hibrid pálya is van, amelyek ugyan így néznek ki, de ezzel 120° -os szöveget zárnak be. Ha a p_x

és p_y pályákat $\pm\sqrt{3}$: -1 arányban keverjük, olyan pályákat kapunk, amelyek az előző sp^2 hibrid pályával 120° -os szöget zárnak be, és normalizálás után pont olyanok, mint a p_y pálya. Ezeket $1:\sqrt{2}$ arányban keverve a $2s$ pályával majd normalizálva, megkapjuk a másik két $2sp^2$ hibrid pályát. Ezekkel a pályákkal magyarázhatjuk a BH_3 vagy a BF_3 vegyértékszögeit.

Nézzük egy s pálya és három p -pálya egyenlő arányú hibridizációját, azaz az sp^3 -hibridizációt. Először képezzük három p -pálya, a p_x , a p_y és a p_z összegét. A sugártól való függés azonos, így itt is elég lesz az irányfüggést kirajzoltatni a wxMaxima programmal. Ez ugyan úgy néz ki, mint a p_y pálya irányfüggése, de az $(1, 1, 1)$ vektor irányába mutat és $\sqrt{3}$ -szor nagyobb. Ha ezt keverjük a $2s$ pályával, az ugyanaz, mintha a $2s$ pályát a $2p_y$ pályával kevernénk $1:\sqrt{3}$ arányban. Ezt az úgynevezett sp^3 (egy s , három p) hibridet ábrázolja keresztmetszetben a 3.1.11 ábra. Persze, azt várjuk, hogy három másik $2sp^3$ hibrid pálya is van, amelyek ugyan így néznek ki, de másfelé mutatnak. Ha a p_x , p_y és p_z pályákat $\pm 1:\pm 1:\pm 1$ arányban keverjük, olyan pályákat kapunk, amelyek a $(\pm 1, \pm 1, \pm 1)$ vektorok irányába mutatnak. Ezek a vektorok az origóból egy kocka nyolc csúcsába mutatnak. Ha csak minden másodikat (a nem szomszédos csúcsokba mutatókat) vesszük, olyan vektorokat kapunk, amelyek az origóból egy szabályos tetraéder csúcsaiba mutatnak, de normalizálás után pont olyanok, mint a p_y pálya. Ezeket $1:\sqrt{3}$ arányban keverve a $2s$ pályával majd normalizálva, megkapjuk a másik három $2sp^3$ hibrid pályát. Ezekkel a pályákkal magyarázhatjuk a szén tetraédes vegyértékszögeit.

Az sp , sp^2 és sp^3 hibrid pályáknak elsősorban a szerves kémiában van jelentősége. Más hibrid pályák is felbukkannak néha, főleg a komplexek képződésének magyarázatánál. **

□

3.1.14. A határozatlansági reláció. ** Az eddigiek alapján azt gondolhatnánk, hogy az elektronok állnak az atomokban. Ez nem így van, mint a *Heisenberg-féle határozatlansági reláció*ból következik. Vezessük be a $\hbar = h/(2\pi)$ jelölést. A reláció szerint $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2$, ahol Δx az x koordináta bizonytalansága, Δp_x pedig az x irányú lendület bizonytalansága. Ugyanez igaz más irányokra, sőt több más fizikai mennyiség párra. A lendület bizonytalanságából megbecsülhetjük az elektron sebességének bizonytalanságát a H atomban, ha Δx -et a Bohr-sugárral becsüljük. Vagy 500 km/s adódik, más atomokban még nagyobb is, közel a fénysebesség nagyságrendjéig. ** □

3.1.15. Mágneses kvantumszám és spin. ** Keringő elektron perdületet jelent. Mennyi ez a perdület? Az ℓ mellékvantumszámmal adható meg, értéke $\sqrt{\ell \cdot (\ell + 1)} \cdot \hbar$. A kvantummechanika egy megdöbbentő állítása, hogy ha megmérjük, a perdület vetülete akármilyen tengelyre — rendszerint a z tengelyt vesszük — viszont mindig \hbar egész számú többszöröse, az egész szám $-\ell$ -től terjedhet $+\ell$ -ig, ez a mágneses kvantumszám, m . Hogy lehet ezt megmérni? Helyezzünk izzó gázt mágneses térbe! Keringő töltés köráramot jelent, amivel mágneses momentum jár. Ki is számítható, hogy mekkora:

$$\frac{e}{2m} \cdot J,$$

ahol m az elektron tömege, J pedig a perdülete. Mivel egy mágnes energiája mágneses térben a mágneses momentumnak a tér irányába eső vetületétől függ, a színképvonalak annyi vonalra hasadnak fel, ahány féle lehet a mágneses kvantumszám, azaz $1, 3, 5, \dots$ vonalra. Ez a *Zeeman-effektus*. Ez magyarázza a *mágneses kvantumszám* elnevezést is.

Vizsgáljuk meg a dolgot a p -pályákon! Itt $\ell = 1$. A wxMaxima program $m = 0$ -ra a p_z pálya irányfüggését adja, tehát ez tartozik az $m = 0$ mágneses kvantumszámhoz. Az $m = 1$ -re viszont a p_x és p_y pályák irányfüggését adja. Talán az egyik a $+1$ -hez, a másik a -1 -hez tartozik? Nem úgy néz ki, semmi különbség nincs köztük. Irassuk ki a wxMaxima programmal az $\ell = 1$, $m = 1$ gömbfüggvényt! Ez a $+1$ -hez tartozó irányfüggés, de komplex számokkal. A másik ennek az úgynevezett komplex konjugáltja, ezt is kiírathatjuk a programmal. A képletekben látszik a különbség: az e szám kitevőjében az egyikben $+$, a másikban $-$ előjel van. Ha kirajzoltatjuk az abszolút értéküket, mindkettőé tórusz alakú. Az abszolút érték képzés pont a különbséget szedi ki: az egyik valahogy „balra csavarodik”, a másik pedig „jobbra csavarodik”. Na de mi van, ha az elektron éppen p_x állapotban van és úgy tesszük mágneses térbe? A p_x állapot mágneses szempontból úgynevezett „kevert állapot”, a fenti két „tisztá állapot” 1:1 arányú keveréke. Észlelni az $m = +1$ vagy az $m = -1$ állapotok valamelyikét fogjuk, mindkettőt $1/2$ valószínűséggel.

A Zeeman-effektus tanulmányozásánál néha két vonalra való felhasadást észleltek. Ezt *anomális* (nem normális) Zeeman-effektusnak nevezték, amíg meg nem találták a magyarázatát: Az elektronnak magának is van perdülete, idegen szóval *spinje*, amelynek nagysága olyan, mintha $\ell = 1/2$ -hez tartozna. Ennek akármelyik tengelyre eső vetülete csak $\hbar/2$ vagy $-\hbar/2$ lehet. Olyan, mint egy $s = \pm 1/2$ *spinkvantumszámhoz* tartozó perdület; a spinkvantumszám hasonló a mágneses kvantumszámhoz. Az elektron perdületéhez is tartozik mágneses momentum, de ennek értéke kétszer akkora, mint a pályamomentumhoz tartozó mágneses momentum: az elektron perdületét \mathbf{e}/m -mel kell szorozni, ahol m az elektron tömege.

Most meg tudjuk magyarázni, miért pont két elektron lehet egyszerre egy atomban egy pályán: az n , ℓ , m és s kvantumszámok nem egyezhetnek mind meg a két elektronnal. Ez a *Pauli-féle tilalmi elv*. A spin létezése, az elektron mágneses momentuma és a tilalmi elv is a relativisztikus kvantummechanikából vezethetők le, de ebbe már végképp nem mehetünk bele. ** \square

3.2 Az igazi fémek

3.2.1. Az alkáli fémek. Az első oszlopba tartozó fémek legkülső elektronhéján egy s elektron van. A főcsoportba tartoznak az alkáli fémek, ezek közül a lítiumot, nátriumot és a káliumot már ismerjük. Mint tudjuk, a nátrium- és káliumvegyületeket ősidők óta ismerik. A lítiumot Arfvedson 1817-ben fedezte fel egy ásványban. Neve a görög $\lambda\iota\theta\varsigma$ 'kő' szóból származik. A következő két elemet, a rubídiumot és a céziumot színképelemzéssel fedezték fel Bunsen és Kirchhoff ásványvizekben. A rubídium nevét a színképében látható két rubinvörös vonalról, a cézium ugyancsak a a színképéről, a benne látható égszínkék vonalról kapta. Lángfestésük lila, kémiai tulajdonságaikban is a káliumhoz hasonlítanak. Gyakorlati jelentőségük nincs. Levegőn meggyulladnak, a cézium igen hevesen. A csoport utolsó tagja a francium radioaktív és igen gyorsan bomlik. Bár állandóan keletkezik rádióaktív bomlás során, mérhető mennyiségben nem lehet kinyerni. A nátrium és a kálium fémét Davy állította elő 1807-ben olvasztott hidroxidjaik elektrolízisével. Felfedezéseik után a többi alkálifémét is előállították így. Ma olvasztott kloridjaik elektrolízisével készítik őket. A *franciumot*, Fr, 1939-ben találta meg Perey az U-235 bomlási sorában; igen kis mennyiségben képződik és radioaktív.

Az ammónium ion méretben igen hasonló a kálium ionhoz, így vegyületei is igen hasonlóan a kálium megfelelő vegyületeihez. Bár NH_4 -et nem sikerült előállítani, a vajszerű amalgámja ammóniumsók higanykatódos elektrolízise során keletkezik. Az amalgám is bomlékony, felfúvódik és ammónia valamint hidrogén fejlődésével elbomlik.

3.2.2. Az Ib mellékcsoport. Az első oszlop mellékcsoportjában a réz, ezüst és arany van. Tulajdonságaik nagyon eltérnek az alkáli fémektől. Ezt az okozza, hogy a legfelső héj alatt egy 18-as héj van. Egyrészt nagyobb a külső elektronokra ható vonzóerő, ezért nem szabadulnak el olyan könnyen, másrészt a 18-as héj d elektronjainak kötési energiája alig kisebb, mint a vegyérték elektroné. Ezért 1–2 elektron könnyen felkerülhet a vegyértékhéjra. Így a réz és az ezüst lehet két vegyértékű, az arany pedig három vegyértékű is.

3.2.3. A IIa főcsoport. A *berillium*, Be felfedezése rendhagyó: Haüy ásványtantudós észrevette, hogy a berill és a smaragd drágakövek formája, keménysége és sűrűsége rendkívül hasonló. Javasolta Vaugelinnek, hogy elemezze meg őket, aki 1798-ban egy új „földet” talált bennük, és a smaragdban némi krómot. A név a berillre utal. Az elem rendkívüli mértékben mérgező, amit régebben nem tudtak, sóit gyakran megkóstolták. Nem fogunk kísérletezni vele. A magnézium és a kalcium vegyületei ősidők óta ismereteseek. A bárium vegyületeit is ismerték, de a három „földet” csak Scheele és tőle függetlenül Gahn különböztette meg világosan egymástól 1774–1779 között végzett munkájuk alapján. Egy skóciai, Strontian-hoz közeli ólombányából származó ásványban fedezte fel Crawford 1790-ben a stroncium „földjét”. A Mg, Ca, Sr és Ba előállítására Davy nevéhez fűződik, ő is nevezte el az elemeket 1808-ban. Módszere az volt, hogy a higany-oxidokkal kevert nedves földet Hg katóddal elektrolizálta, és a kapott amalgámból ledesztillálta a higanyt. Az utolsó, erősen radioaktív elemet, a *rádiumot*, Ra, a Curie házaspár fedezte fel, és fáradságos munkával kis mennyiségben állították elő több tonna uránszurokérből 1898-ban.

3.2.4. A IIb mellékcsoport. Az ide tartozó cink, kadmium és higany közül a higany már az ókorban is ismert volt, és a cink is elég régen, legalábbis Kínában. A kadmiumot Stromeyer fedezte fel 1817-ben cink-oxidokban. Ma is cinkércsből állítják elő, desztillációval elválasztható a cinktől. Nagyon mérgező, mérgezőbb, mint a higany, hogy mennyivel, az még vita tárgya. Felületvédelemre használták cink helyett és akkumulátorokban, de mára használatát beszüntették.

3.3 A földek fémjei

Mint tudjuk, a régi vegyészek minden anyagot, amely vízben nem oldódott és izzítva nem változott, földnek neveztek. Ruprecht Antal, a selmeci iskola tanára hirdette először 1790-ben, hogy a földek oxidok, és meg is próbálta őket szénrel redukálni. Lehet, hogy a magnéziumnál sikerrel is járt, mindenesetre kísérleteit nem tudták megismételni, és nem hittek neki. A III. és IV. oszlop földjeit nagyrészt Gay-Lussac és Thénard módszerével, káliummal vagy nátriummal történő redukcióval sikerül felbontani.

3.3.1. A IIIa oszlop. Bár a bór-trioxid nem kifejtett föld, hiszen vízzel savat képez, de legelőször a főcsoport első elemét, a bórt sikerült káliummal való redukcióval előállítani. A bórt oxidálva visszakapjuk a bór-trioxidot.

Az IIIa főcsoport második eleme, az alumínium, sokkal fontosabb. A timföldet már jól ismerték. Oersted 1825-ben timföldet szénnel izzítva klórgázban alumínium-kloridot kapott, amiből kálium amalgámmal talán sikerült némi alumíniumot kapnia. Módszerét Wöhler fejlesztette tovább, fém káliummal alumínium port, majd apró szemcséket tudott előállítani. Később sikerült a káliumot az olcsóbb nátriummal helyettesíteni. Az elektrolízissel való előállítás Európában Héroult, az USA-ban Hall vezette be a dinamó elterjedése után. Lényege, hogy grafit kádban megolvasztott kriolitban, $K_3[AlF_6]$, oldott timföldet elektrolizálnak szén anóddal. Ezzel az alumínium ára 1900-ra nagyon lecsökkent.

A következő három fém, a gallium, indium és a tallium előállításával nem volt semmi gond, mert mindegyik előállítható vizes oldatból is elektrolízissel. Mindhármát színképelemzéssel fedezték fel. Először a talliumot Crookes, még a rubídium felfedezésének évében, kénsavgyári iszapban, és kicsit később Ramy ugyanott. Színképeének élénkzöld vonaláról Crookes nevezte el, 'tallos' görögül zöld ágat jelent. Nagyon mérgező (egy darabig vegyületeit patkányméregnek használták), ezért nem is foglalkozunk vele. Az indiumot Reich és Richter 1864-ben freiberger cinkércben fedezték fel, és indigókék színképvonaláról nevezték el. Ez is mérgező, de csak nagyjából annyira, mint az ólom. Végül a galliumot is egy cinkércben találta meg 1875-ben Boisbaudran és Franciaországról nevezte el. Ez nem mérgező, 29 °C-on olvad. Tulajdonságai megegyeztek a Mengyelejev által megjósoltakkal.

3.3.2. A ritka földfémek. A periódusos rendszerben egy helyen lévő Ln lantanidákat értik ez alatt, de néha ide értik a IIIb mellékcsoportban felettük lévő ittriumot és szkandiumot is, amelyek hasonló tulajdonságúak. Felfedezésük nagyon kalandos. Először a mellékcsoport első elemét fedezték fel, az ittriumot. Ytterbi svéd városka mellett egy fekete ásványt találtak, amelyet itterföldnek neveztek el. Gadolin finn kémikus 1794-ben újra megelemezte ezt a követ és benne 38% ismeretlen földet talált. Az elemet *ittrium*nak nevezte el. 1803-ban Klaproth és tőle függetlenül Berzelius és Hisinger egy másik ásványban, a ceritben egy új elemet fedezett fel, a *cérium*ot. Nem sejtették, hogy a két ásványban még 14 új elem rejtőzik. Mosandernek vált gyanússá a dolog, és 1843-ig tartó munkával a ceritet három részre bontotta, a *cérium*ra, Ce, a *lantán*ra, La és a *didim*re, az itterföldet pedig *terbium*ra, Te, *erbi*umra, Er és *ittrium*ra, Y. Módszere a frakcionált lecsapás volt ammónia oldattal. Ezek közül az ő földjei a lantán és a cérium kivételével mind összetettnek bizonyultak. Később Nilson megtalálta Mosander *erbi*umában a *szkandium*ot, Sc, a mellékcsoport második elemét. A XX. század elejéig mindegyik lantanoidát megtalálták. Színképelemzést is használtak és az oldatok elnyelési színképét is vizsgálták. Az igen nehéz szétválasztás frakcionált kristályosítással történt, néha több ezer kristályosítást is végezve. Ma a könnyű lantanoidák közé soroljuk a főleg a ceritben található lantán, cerium, *prazeodim*, Pr, *neodim*, Nd, *szamárium*, Sm és *európium*, Eu elemeket. Sokáig keresték a szintén ide tartozó 61. elemet, a *prométeum*ot, Pm, de nem sikerült megtalálni. Atomreaktorban, az urán hasadási termékeként keletkezik, és minden izotópja radioaktív, így bár előfordul a természetben, de mérhetetlenül kicsiny mennyiségben. A nehéz lantanoidák közé soroljuk a főleg itterföldben előforduló lantanoidákat: *gadolinium*, Gd, *terbium*, Tb, *diszprózium*, Dy, *holmium*, Ho, *erbi*um, Er, *tullium*, Tm, *itterbium*, Yb és a *lutécium*, Lu. Ezekkel együtt található az ittrium és a szkandium.

Mára kiderült, hogy a lantanoidák nem is olyan ritkák, 66‰ és 0,5‰ közötti mennyiségben találhatóak a földkéregben. Főleg monacit homokból nyerik ki őket, ami nem olyan ritka. Másik ásványuk a basztnézit, csak könnyű lantanidákat tartalmaz, Kínában és az USA-ban bányásszák. Nagyon sokféle célra használják őket, például a NiMH ak-

kumulátorok rendszerint lantánt tartalmaznak. A laboratóriumi szétválasztás kromatográfiával történhet. Az ipari szétválasztáshoz a nitrátok oldatának petróleummal hígított tri-n-butil-foszfáttal való oldószeres extrakcióját alkalmazzák. A sokszor ismételt kirázás sokkal gyorsabb, mint a frakcionált kristályosítás: egy kirázási lépést nagyságrendben 1 perc alatt el lehet végezni, az elválasztás nagyságrendben ugyanolyan hatékony, veszteség pedig gyakorlatilag nincs. □

3.3.3. Az aktinidák. Az ide tartozó elemek mind radioaktívak. Jelentősebb mennyiségben csak a *tórium*, Th és az *urán*, U fordul elő a földkéregben, 8,1‰‰ illetve 2,3‰‰ mennyiségben. Mengyelejev kémiai tulajdonságai alapján a IVb illetve a VIb csoportba sorolta őket. A cériumot is a IVb csoportba sorolta, mivel könnyen oxidálható négyvegyértékűvé. Ezek a tévedések érthetőek. Az aktinoidák csoportja az aktíniummal, Ac, indul, amely jellemzően három vegyértékű. A következő elem a tórium, jellemzően négy vegyértékű, a *protaktínium*, Pa, jellemzően öt vegyértékű, majd jön az urán, jellemzően hat vegyértékű. Innen kezdve a jellemző vegyérték csökkenni kezd, egyesével lemegy háromig, és itt megáll.

Az uránt Klaproth fedezte fel 1789-ben. Magát a fémét csak 1841-ben Peligot állította elő urán-kloridnak fémkáliummal való redukációjával, addig az urán-dioxidot nézték fémnek. A tóriumot Berzelius fedezte fel 1829-ben, és a fémét is előállította kálium-tórium-fluorid fémkáliumos redukációjával. Mindkét fémnek minden izotópja radioaktív, de a Th-232, az U-235 és az U-238 felezési ideje összemérhető a Föld korával. α - és β -bomlások sorozatával végül is ólomá alakulnak, de közben erősen sugárzó elemek keletkeznek, többek között Ac és Pa is. Ilyen a Fr és Ra is, amelyekről már volt szó, a többi „leányelemről” a maga helyén fogunk beszélni.

A természetben jelentősebb mennyiségben előforduló izotópok közül csak az U-235 hasadóképes, így csak ezzel lehet közvetlenül atomreaktort működtetni. Az első atomreaktor 1942-ben lépett működésbe. Nagyon tiszta grafit téglákból egy „máglyát” építettek. Szabályos rendben egyes téglákat természetes urán téglákkal helyettesítettek. Ennek 0,7%-a U-235, a többi nem hasadóképes U-238. A — például a kozmikus sugárzás hatására keletkező — neutronok néha kettéhasítanak egy-egy U-235 magot. 2–3 új, gyors neutron is keletkezik. Ezek nagy valószínűséggel kijutnak az urán téglából és a grafit téglák C magjaival ütközve lelassulnak, majd előbb-utóbb visszajutnak az urán téglába és ott újabb U-235 atommagot hasítanak. (A lassú neutronok sokkal hatékonyabban hasítják az U-235 magokat, mert tovább tartózkodnak a mag közelében.) Láncreakció indul be, amit neutronelnyelő (például bóracél) rudak betolásával lehet szabályozni. Természetesen óriási hőmennyiség is felszabadul, amit gőztermelésre lehet felhasználni. Más reakciók is folynak: egyrészt a hasadási termékek általában radioaktívak, másrészt néha az U-238 mag is elnyel egy neutron és U-239 keletkezik. Ez átlag vagy 20 perc alatt elbomlik β -bomlással és *neptúnium*, Np keletkezik. Néhány nap alatt ez is tovább bomlik β -bomlással és *plutónium*, Pu-239 keletkezik. Atomreaktorokban $^{237}_{93}\text{Np}$ és Pu-240, P-241, és ennek β -bomlásával amerícium, Am, is keletkezik és kinyerhető. Plutónium-239 atomreaktorban hosszú ideig neutronokkal való besugárzásával további transzurán (uránon túli) elemeket is előállíthatnak, sorban *kúrium*, Cm, *berkélium*, Bk, *kalifornium*, Cf, *einsteinium*, Es és *fermium*, Fm. Ez a módszer a $^{258}_{100}\text{Fm}$ izotópnál megreked, mivel ez spontán hasadással néhány másodperc alatt elbomlik. További, még nehezebb atommagokat nehéz atommagoknak jól felgyorsított könnyű atommagokkal való „bombázásával” lehet előállítani. Így sok további elemet előállítottak, de csak néhány atomnyi mennyiségben. Ezekkel nem foglalkozunk.

Az eddig tárgyalt transzurán aktinoidák közül a Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf elemeket is így állították elő először, valamint a még nem tárgyalt *mendelévium*, Me, *nobélium*, No és *laurencium*, Lr aktinoidákat. Az Es és Fm elemeket először hidrogénbomba robbanás törmelékében találták meg.

Mivel a Pu minden izotópja hasadóanyag, kinyerik az atomreaktorok hulladékából, és atomreaktort működtetnek vele. Ha tóriumot atomreaktorba teszünk, akkor a gyakori Th-232 izotóp neutronelnyeléssel Th-233-má, az 20–30 perc alatt β -bomlással Pa-233-má, ami egy hónap alatt újabb β -bomlással U-233-má alakul. Ez is hasadóanyag, így Th-mal is lehet (közvetve) atomerőművet működtetni.

3.3.4. A IVa főcsoport. Ennek a főcsoportnak az elemei a szén, szilícium, germánium, ón és ólom. Egy kivételével mindet ismerjük, bár lehet, hogy elemi szilíciummal még nem találkoztunk. Így voltak ezzel a régi korok vegyészei is: a kovasavat ismerték, de a benne rejlő félfémet, az elemi *szilíciumot* csak 1824-ben állította elő Berzelius saját módszerével: kálium-szilícium-fluoridot redukált fém káliummal. Ma a félvezetőipar legfontosabb anyaga. Sokkal később fedezték fel az ugyancsak félfém *germániumot*, Ge, ami kezdetben a legfontosabb félvezető volt. (Némely gyémánt is félvezető, és sok vegyület is.) 1885-ben Freibergben egy új ásványban találta meg Clemens Winkler és Németországról nevezte el.

3.3.5. A IVb mellékcsoport. A negyedik oszlop mellékcsoportjának első elemét már ismerjük, ez a titán. Gregor fedezte fel 1791-ben. Klaproth újra felfedezte egy Magyarországról származó érceben 1795-ben és titánnak nevezte el. Csak 1910-ben sikerült 99,9%-os titánt előállítani. Az oszlop második eleme a cirkónium. Klaproth fedezte fel 1789-ben. Kálium-cirkónium-fluorid káliumos redukciójával Berzelius állította elő, de tisztán csak a XIX. század elején nyerték ki. Mindkettőt azért nehéz tisztán előállítani, mert könnyen reagál oxigénnel, nitrogénnel és szénnel is.

Ha egy fémet gyors elektronokkal bombázunk, azok gyakran a legelső, a K héjról ütnék ki egy elektront. Amikor ez pótlódik, a keletkező röntgensugárzás frekvenciája elég közvetlenül megfelel a K héjhoz tartozó elektronok energiájának. Ebből viszont a mag töltésére, tehát a rendszámra lehet következtetni. Ennek alapján fedezte fel Coster és a Nobel-díjas magyar Hevesy György 1922-ben a *hafniumot*, Hf. Hevesy 1925-ben a fémet is előállította nátriumos redukcióval. Felfedezésükhöz az is hozzájárult, hogy Bohr elmélete alapján jobban megértették a periódusos rendszer felépítését, és a 72. elemet nem a ritka földfémek között keresték, mint mások, hanem cirkónium érceken. Kiderült, hogy minden érc tartalmaz 2–6% hafniumot. A két elemet nehéz elválasztani, mert a lantanida kontrakció miatt kémiaiag nagyon hasonlóak.

3.4 Mérges és nem mérges rokonok

A periódusos rendszer ötödik oszlopából a főcsoport két első elemét, a nitrogént és a foszfort már jól ismerjük. A következő két elem az *arzén*, As és az *antimon* vagy *stibium*, Sb félfém. Ahogy lefelé haladunk, egyre erősebb lesz a fémes jelleg, a *bizmut*, Bi, már inkább fém. A mellékcsoport három eleme a vanádium, a niobium és a tantál, kifejezetten fémek.

3.4.1 Kísérlet. Az arzén közismerten mérgező, 60 mg már súlyos mérgezést okoz, ennek a 2–4-szerese halálos. Két elterjedt ásványa van, a narancssárga *realgár*, As_2S_2 és

az aranysárga *auripigment*, As_2S_3 . Ha a kén mosóvizéből sikerült kén-hidrogénnel majd sósavval sárga csapadékot kapnunk, akkor az az utóbbi vegyület. Sok más ásvány is tartalmaz arzént. LEGFELJEBB GYUFÁFEJNYI MÉRETŰ ARZÉN-SZULFIDDAL KÍSÉRLETEZZÜNK! A hulladékokat dobjuk a H_2S -fémek gyűjtőjébe.

3.4.2 Kísérlet. Tegyük a nyitott üvegcsőbe legfeljebb 2 mm méretű arzén-szulfidot, és pörköljük le. Pörkölve As_2O_3 , arzén-trioxid keletkezik, ami a cső hidegebb részein gyémántfényű, nagyítóval jól látható oktaéderek alakjában lecsapódik, közben fokhagymaszag érezhető. Arzén tartalmú ásványokból faszénen is ez képződik fehér verődék alakjában, és fokhagymaszag érezhető. Az ilyen ásványokkal vigyázzunk! 1 mm-es darabka trioxidot indikátorpapírra téve és vízzel megcseppentve, gyengén savas kémhatású. Vízben arzénessavat, H_3AsO_3 ad, amely megfelel a foszforossavnak. Lúgokban jobban oldódik, az arzénessav sói képződnek. Az arzén-trioxid amfoter, sósavban is feloldódik AsCl_3 képződése közben. Az arzénessavat hidrogén-peroxid és más oxidálószer *arzénsavvá*, H_3AsO_4 , oxidálják. Jóddal egyensúly áll be, tehát az arzénsav nagyjából olyan erős oxidálószer, mint a jód. Az arzén(V)-oxid is amfoter. Ezüst-nitráttal semleges oldatban az arzénessav sárga, az arzénsav csokoládébarna csapadékot ad. □

3.4.3 Kísérlet. Mivel az arzén-szulfidok nem oldódnak jól még tömény sósavban vagy kénsavban sem (oldódnak viszont lúgokban, tiosavak), reagens salétromsavat öntsünk rájuk. Ez kénkiválás közben oldja őket, egyúttal az As(III)-at As(V)-té oxidálja. Az As_2O_5 vízzel arzénsavat, H_3AsO_4 ad. Ez egészen hasonlóan viselkedik, mint a foszforsav. Magnezia mixturával leválaszthatjuk a $\text{MgNH}_4\text{AsO}_4$ összetételű csapadékot. A csapadék kis részlete AgNO_3 -tal megbarnul. □

3.4.4 Kísérlet. A csapadékot oldjuk fel sósavban, és egy kis részletéhez adjunk ötszörös mennyiségű *Bettendorff-kémszert*. Ez úgy készül, hogy kevés kristályos Sn(II)-kloridot feloldunk tízszer annyi legtöményebb sósavban. Melegítés hatására az As mennyiségétől függően fekete vagy barna csapadék illetve elszíneződés keletkezik. Ez a kiváló fémes arzén. (Az arzénnek van sárga, nem fémes kinézetű módosulata is, ez gőzeit hirtelen $-80\text{ }^\circ\text{C}$ -ra hűtve keletkezik.)

3.4.5 Kísérlet. Az arzén egy másik, még érzékenyebb reakciója a *Gutzeit-próba*. Ennek a lényege, hogy az arzén vegyületeket sósavas közegben cinkkel a kellemetlen szagú és nagyon mérgező *arzén-hidrogénné*, AsH_3 redukáljuk, és ezt mutatjuk ki. A vizsgálandó savas oldatot egy kis üvegbe tesszük, ugyanannyi 25%-os sósavat adunk hozzá, amelyhez ml-enként 1 csepp Bettendorff-kémszert és 1 csepp KJ-oldatot adtunk, hozzáadunk pár szemcse cinket, majd gyorsan lezárjuk egy átfűrt dugóval, amin egy vastagabb üvegcső megy át. Az üvegcsőbe vagy öt cm hosszan ólom-acetátos vattát rakunk. Ez úgy készül, hogy vattát fél óráig 5%-os ólom-acetát oldatba áztatunk, kinyomkodjuk, majd megszáritjuk. A vastagabb üvegcső végét szűrőpapírral zárjuk le, amire egy kristályka ezüst-nitrátot teszünk. A kristálykára rálehelünk. Egy óráig hagyjuk a hidrogént fejlődni. Az arzén-hidrogén sárga ezüst-arsenidet, Ag_3As , ad a kristályka felületén képződő tömény ezüst-nitrát oldattal. Vízzel megcseppentve a kristálykát a hígabb oldatban feketévé válik a sárga anyag, mert ezüst válik ki. Mivel már $1\text{ }\mu\text{g}$ As is adja a reakciót, végezzünk vakpróbát! Az ón-klorid az egyenletes gázfejlődést és az As(V) redukcióját segíti elő, amint a KJ is. Az ólom-acetátos vatta elnyeli az esetleg képződő kén-hidrogént, amely egyébként az ezüst-nitrátot feketítené meg.

Ennek a tesztnek egy változata a *Fleitmann-teszt*. Itt a hidrogént 2 mol-os nátrium-hidroxidból alumíniummal fejlesztjük. Az oldatot melegíteni kell. Az As(V) vegyületek nem reagálnak, azokat előzőleg három vegyértékűvé kell redukálni. Ez úgy történik, hogy az oldatot sósavval pH=1-ig megsavanyítjuk, de gondosan kerüljük a savfelesleget, majd kén-dioxidot vezetünk bele telítésig. Adjunk hozzá pár csepp KJ-oldatot, az katalizálja a redukciót! Vízfürdőben lassan forrásig melegítjük. Ha kihült, jöhet a teszt.

Egyébként az arzén-hidrogént a hidrogénben másként is ki lehet mutatni. Nehezen olvadó üvegsövet vékonyra kihúzzunk egy darabon, és a kalcium-kloriddal megszártott, ólom-acetátos vattán átvezetett gázt azon vezetjük át. A csövet a kihúzott rész előtt melegítjük, a kihúzott részt pedig hűtjük. Az arzén-hidrogén bomlik, és fényes arzén tükkör képződik a hűtött részen. Ez a *Marsh-próba*. □

3.4.6 Kísérlet. Sósavra 3-4 %-os arzén tartalmú oldatba rézlemez téve és melegítve szürke Cu_5As_2 képződik a réz felületén. Ez a *Reinsch-teszt*. Nem olyan érzékeny, mint az előző két teszt. Arzén(V) is adja a reakciót, de csak hosszabban forralva. Az alkímisták nagyra becsülték az arzénvegyületeket e miatt a reakció miatt, mert úgy gondolták, hogy ezüstté változtatták a rezet. Más fémek is kiválhatnak, például Sb, Ag, Hg. A rézlemezt lepörkölve arzén-trioxid képződik, amit az előző két próba valamelyikével tesztelhetünk.

3.4.7 Kísérlet. Az antimon, latinul stibium a periódusos rendszerben az arzén alatt helyezkedik el. Ez is erősen mérgező, ha nem is annyira, mint az arzén. Szintén félfém, három és öt vegyértékű lehet. Oxidjai amfoterek, savakkal és lúgokkal is sókat képeznek. Kén-hidrogénnel savas oldatban narancsvörös csapadékot ad a három és az öt vegyértékű antimon is, és mindkettő tiosav. Az antimon tartalmú hulladékokat a H_2S -fémek gyűjtőjébe dobjuk! Legfontosabb ásványa az *antimonit*, Sb_2S_3 , de nem a narancsvörös, hanem egy sötétszürke módosulat. Ezt már az ókorban is használták szemöldökfestésre.

3.4.8 Kísérlet. Antimon-szulfidból könnyen készíthetünk antimon-trikloridot, csak fel kell oldani tömény sósavban. Persze kén-hidrogén fejlődik, úgyhogy szabadban. Amikor már nem fejlődik kén-hidrogén, főzzük fel, hogy a nyomait is elűzzük! Az antimon-trikloridot tisztítani úgy szokták, hogy az oldatot desztillálják: először a víz és a sósav párolog el, majd az arzén-triklorid, végül az antimon-triklorid, amely 223 °C-on forr. 73 °C-on fehér, puha kristályokká dermed, ez az *antimonvaj*.

A desztillációval ne foglalkozunk, mert veszélyes. Az antimon-klorid sósavas oldatát öntsük sok (5-től 50-ször annyi súlyú, mint a triklorid) vízbe. Ami leválik az az *Algoth-féle por*. Fehér bázisos klorid. Ha narancsvörös színű, nem minden szulfid bomlott el, a sósavas oldást meg kell ismételni. Tiszta antimon-trikloridból kevesebb vízzel SbOCl összetételű oxiklorid válik le, a miénkben több az oxid.

Természetesen a bázisos klorid vagy az oxid sósavas oldásával is készíthető antimon-triklorid oldat. Klórral vagy királyvízzel kezelve a trikloridot pentaklorid képződig. Ez még veszélyesebb anyag, mert már 140 °C-on forr. Az antimon(V) vegyületek oxidálószer-ek. □

3.4.9 Kísérlet. Az antimon-klorid oldatába tegyünk egy fényes vas szeget! Fekete antimon bevonat vonja be, esetleg pelyhekben úszkál az oldatban. Ha ezüst lemezre egy csepp savas antimon só oldatot ejtünk, és az oldatba tett cink vagy ón darabbal megérintjük az ezüstöt, fekete antimon bevonat válik ki, de kizárólag az ezüstre. Jobb az ón, mert a cink az esetleg az oldatban lévő ónt is kiválasztja. A reakciókat az ötértékű antimon is

adja. Egyébként az antimon adja a Gutzeit-tesztet, de az ezüst-nitrát egyből megfeketedik. Nem adja a Bettendorff-tesztet és a Fleitmann-tesztet. A Marsh-próbát is adja, de a tükör sötétebb. □

3.4.10 Kísérlet. Az antimon(III)-oxid úgy készül, hogy bázisos kloridot feleslegben lévő szódaoldattal főzünk, majd alaposan kimossuk. Az oxid nem tartalmazhat klórt. □

3.4.11 Kísérlet. Ha az antimon(III)-oxidot tömény salétromsavval melegítjük, vagy antimon tartalmú ötvözetet, például keményólmot oldunk tömény salétromsavban, víztartalmú antimon-pentoxid keletkezik, amelyet antimonsavnak szokás nevezni. Hevítve antimon-pentoxid keletkezik. Erős hevítéskor levegőn a pentoxid és a trioxid is tetroxidá, Sb_2O_4 , alakul, amiben az egyik antimon atom három, a másik öt vegyértékű. □

3.4.12 Kísérlet. Az antimon-oxidok faszénen redukálva antimont adnak. A regulus rideg, porrá törhető, a verődék fehér. Persze szódával más antimonvegyületekből is kaphatunk faszénen antimont. □

3.4.13 Kísérlet. Az antimont régen gyógyszerként használták, főleg *hánytató borkő* formájában. Ma már nem használják, mert mérgező. A hánytató borkő képlete $\text{COOK}(\text{CHOH})_2\text{-COOSbO}\cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$. Úgy készül, hogy 1/10 mol borkövet 1/20 mol antimon-trioxiddal digerálunk vízfürdőn annyi vízzel, míg majdnem mind feloldódik. Szűrjük és kristályosítjuk. Savakkal és bázisokkal is elbomlik, antimon-trioxid válik ki. A reakció lényege, hogy a borkósav komplexet képez az antimonnal. Borkővel vagy borkósavval digerálva antimon-trioxid és antimon-pentoxid tartalmú hulladékokból is kinyerhetjük az antimont. A hánytató borkő izzítva tiszta antimont ad. □

3.4.14 Kísérlet. Finoman elporított hánytató borkövet és kálium-nitrátot 1:1 súlyarányban elkeverve adagoljunk izzó tégelybe! Ha elégett, hevítsük még egy negyed óráig. Vízzel oldjuk ki. Könnyen kijön a tégelyből, és nehéz fehér por válik ki. Az anyag az antimonsav káliumsója, összetétele érdekes, $\text{KSb}(\text{OH})_6$. Vízzel mossuk ki! Ha kell, tisztítani úgy lehet, hogy tömény salétromsavval főzzük, amíg nitrózus gázok fejlődnek. Ez leválasztja belőle az antimonsavat. Dekantálva gondosan kimossuk, majd 2 mol-os kálilúggal főzzük. Az 1:200 arányú vizes oldata a nátrium kémszere, mert az antimonsav nátriumsója egyike a kevés nátriumsónak, amely rosszul oldódik. A kémszer nem tartós. □

3.4.15 Kísérlet. Az antimon-szulfidok tiobázisok. Az antimon(V)-szulfid nátrium-tiosója a *Schlippe-féle só*, Na_3SbS_4 . Úgy készül, hogy 36 g Sb_2S_3 port (az ásvány porát vagy egyéb úton készült anyagot) eldörzsölünk 7 g kénporral és 12 g vízzel. Ezt a masszát apránként hozzáadjuk 26 g égetett mész megoltásával készült, vagy ekvivalens mennyiségű oltott mész 70 g kristályos szóda és 250 g vízben készült oldatának vasedényben fővésben lévő keverékéhez. Amikor kb. 1/4 óra főzés után a szulfid színe eltűnt, vásznon szűrjük, a maradékot 100–150 g vízzel kifőzzük, és a kristálytiszta szűrleteket egyesítjük. Porcelántálban kristályképződésig bepároljuk és kristályosítjuk. A kristályokat üveggyolón leszívátjuk és kevés alkohollal mossuk. A szűrletet újra kristályosítjuk. Az anyagot kevés nátronlúggal meglúgosított vízből átkristályosítjuk. Jól fejlett, halványsárga kristályok. Levegőn elmállik. Oldatát savanyítva Sb_2S_5 válik le. Sem az oldat, sem a kristályok nem tartósak, levegőn elbomlanak, így inkább csak érdekesség ez az anyag. □

3.4.16 Kísérlet. Az antimon alatt a periódusos rendszerben a bizmut van. Ez inkább fém, de porítható, már több fémes tulajdonsággal. Nem nagyon mérgező, és a gyógyszerként használatos bázisos bizmut-nitrátot kaphatunk is gyógyszertárban. Összetétele nagyjából $\text{Bi}(\text{OH})_2\text{NO}_3$. Faszélen szódával bizmuttá redukálható. Salétromsavban oldva $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ oldatát kapjuk. Sok vízzel az oldat hidrolizál, visszkapjuk a bázisos bizmut-nitrátot: próbáljuk ki. Még könnyebben hidrolizál a klorid oldata: ha sóoldathoz bizmut-nitrát oldatot adunk, BiOCl válik le. A bizmut(V) vegyületek olyan erős oxidálószer, hogy a mangán(II) vegyületeket savas közegben hidegen is permanganáttá oxidálják. A bizmutvegyületeket is a H_2S -fémek gyűjtőjébe dobhatjuk. □

3.4.17. Vanádium. Az ötödik oszlop mellékcsoportjában a legelső elem. Története elég különös: már 1801-ben megtalálta Del Rio egy ólomércben, de meggyőzték, hogy felfedezése hibás. Végül svéd acélokban fedezték fel. Mivel vegyületei szép színesek, szépség skandináv istennőjéről, Vanadis-ról nevezték el. Vegyületeiben 2, 3, 4 és 5 vegyértékű lehet. Fő felhasználása acélötvözés és a vanádium-pentoxid oxigénátvivő katalizátorként, például kénsavgyártásnál. Mivel vegyületei erősen mérgezőek, nem kísérletezünk velük.

3.4.18. Nióbbium és a tantál. A periódusos rendszerben a vanádium alatt helyezkednek el, ebben a sorrendben. Ezek története is elég különös. 1801-ben az USA Connecticut államában felfedeztek egy ércet és a benne lévő fémet *columbium*nak nevezték el. 1802-ben Ekeberg svéd és finn ércekből egy új elemet fedezett fel, és *tantálnak* nevezte el, mert az oxidja „képtelen felvenni a savakat”. (Tantalost a görög mítoszokban az istenek azzal büntették, hogy térdig vízben kellett állnia, de mikor lehajolt, hogy igyon, a víz visszahúzódott.) Egy darabig azt hitték, hogy a két fém azonos, de hosszas kutatás után Rose 1844-re kiderítette, hogy mindegyik ércekből két fém van, amelyek nagyon hasonlóak és nehéz szétválasztani őket. A könnyebbiket nióbbiumnak nevezte el Tantalos lányáról, Niobéról. Az USA-ban erre ma is a columbium név használatos. Elég ritka fémek, nemigen fogunk találkozni velük. A tantál mint rendkívül saválló anyag a vegyiparban használatos. Másik alkalmazása elektrolitkondenzátorok gyártása. A nagy hasonlóságot a lantanida-kontrakció okozza, az atomsugarak nagyon hasonlóak.

3.5 Ércképzők és sóképzők

A VIa főcsoport elemeit néha *kalkogéneknek* szokás nevezni, ami szó szerint rézképzőt jelent, de inkább *ércképzőnek* kell fordítani. Arra utal, hogy a fémek általában oxigénhez vagy kénhez kötve fordulnak elő. Ez hasonló a *halogén* szóhoz, ami *sóképzőt* jelent és a VIIa csoport elemeire utal.

3.5.1. A VIa főcsoport. Legfontosabb elemeit, az oxigént és a kén már ismerjük. A másik három elemből a középsőt, a félfém *tellurt*, Te, fedezték fel először. Reichensteini Müller Ferenc egy erdélyi „problémás aranyércet” vizsgált 1782-ben, és abban találta meg. Klaproth nevezte el (tellus latinul Föld). Közben Kitaibel Pál is megtalálta egy bürzsönyi ezüstércben. Közepesen mérgező, ritka elem, mozgó alkotórész nélküli elektronikus hűtőkben használják.

A felette álló félfém *szelént*, Se, Berzelius fedezte fel 1817-ben saját kénsavgyárának iszapjában, ahova a piritből került. A Hold görög nevééről nevezte el. Fontos nyomelem, de már 1 mg/nap mennyiségben mérgező, tehát kb. annyira, mint az ólom. A vele való munkának — ugyanúgy, mint a tellurnál — kellemetlen mellékhatása, hogy az ember

utána hetekig valami fohagymaszerű szagot áraszt. Egyébként mindkét elem kémiája eléggé hasonlít a kénéhez.

Az ötödik elem a polónium, Po. Marie és Pierre Curie fedezték fel: megfigyelték, hogy az uránérczek jobban sugároznak, mint maga a tiszta urán. Az uránelőállítás maradékának oldatából sikerült leválasztani egy csapadékot, ami a polóniumot tartalmazta. Rendkívül erősen sugároz, ennek megfelelően még mérhetetlenül kis mennyiségben is rendkívül veszélyes. Átlagosan 100–200 nap alatt elbomlik.

3.5.2. A VIb mellékcsoport. A három elemből a legfelsőt, a krómot, már ismerjük. Ezt találták meg utoljára, Vauquelin 1797-ben egy gyönyörű vörös szibériai ólomércben, a *krokoit*ban, ami kémiailag ólom-kromát. Pár évvel később a fémét is előállította faszenes redukcióval. Sokkal gyakoribb érce a *krómvaskő*, FeCr_2O_4 .

A *molibdént* Scheele fedezte fel 1778-ban a *molibdenit*, MoS_2 ásványban, ami ma is a legfontosabb érce. A fémmolibdént Hjelm állította elő az oxidot faszénnel redukálva. A neve a görög molibdos szóból ered: az ércet gyakran összekeverték a hasonló kinézetű grafittal és az ólommal is, mert mindegyik írásra alkalmas.

1781-ben Scheele és Bergman egy másik új oxidot is előállított az akkor *tungstennek* (svédül ‘nehéz kő’) nevezett ásványból, ami CaWO_4 . A fém német neve ‘wolfram’, szó szerint farkasnyálat jelent: a régi német bányászoktól ered, akik megfegyelték, hogy a kő habzás közben „elragadja az ónt”, mint farkas a bárányt. Ma is ez a kő a volfram egyik legfontosabb érce.

3.5.3. A halogének. Egy kivétellel mindet ismerjük: F, Cl, Br, J. A kivétel az utolsó, az *asztácium*, At, a jódhoz hasonlít, de alapos vizsgálatára nincs is lehetőség, mert még a leghosszabb élettartamú izotóp is pár óra alatt elbomlik. □

3.5.4. A VIIb mellékcsoport. Első elemét, a mangánt jól ismerjük. A harmadik elemét, a *réniumot*, Re, csak 1925-ben fedezte fel a Noddack házaspár. Ma a molibdén termelés melléktermékeként nyerik. Kicsit hasonlít a platinafémekre, de a legstabilabb vegyületeiben 7-es oxidációs számú.

A középső elemet nagyon sokáig keresték, de nem találták meg. Ennek oka, hogy a legstabilabb izotópja is csak kb. 200 000 év élettartamú, így csak mesterségesen állítható elő. Ezért nevezték el *technéciumnak*, vegyjele Tc. Atomeróművek hulladékából nyerik ki, bár nem így fedezték fel. □

3.6 A nemesek és rokonaik

A VIII. főcsoport és a mellékcsoport nagyon különböző: a főcsoport elemei gázok, a mellékcsoporté fémek.

3.6.1. A VIIIA főcsoport. A *nemes gázok* létezésének első jele Cavendish 1785-ös kísérletének eredménye volt: levegőhöz oxigént kevert, és a keveréken szikrát üttetett át. A keletkező nitrogén-oxidokat lúggal elnyelve megmaradt a levegőnek legfeljebb 1/120-ad része, ami nem reagált. Rayleigh a nitrogén sűrűségét mérte nagyon pontosan. Úgy találta, hogy a levegő-nitrogén sűrűsége mintegy 0,5%-kal nagyobb, mint az ammóniából nyert nitrogéné. Ramsay-vel elő is állították a levegő által majdnem 1%-ban tartalmazott egyatomos gázt, ami semmivel nem reagált, és *argon*nak, Ar, nevezték el; argosz görögül ‘lusta’. Közleményük 1895-ben jelent meg. Később Ramsay megtalálta a könnyebb *neont*,

Ne, (görög 'új') és a nehezebb *kriptont*, Kr, (görög 'rejtőzik') és *xenont*, Xe, (görög 'furcsa') gázokat is, amelyek szintén nem reagálnak. Innen a csoport neve: nemes gázok. Még 1895-ben derítette ki Ramsay színképelemzéssel, hogy az uránásványokban összegyűlt, korábban nitrogénnek vélt gáz a legkönnyebb nemesgáz, a *hélium*. Nevét a napisten görög nevééről kapta, mert korábban már észlelték a nátrium sárga vonalához közel álló, annál kissé kevésbé narancsos sárga vonalát a Nap színképében. Végül a csoport legnehezebb tagja, a *radon*, Rn, radioaktív bomlás során keletkezik és maga is tovább bomlik.

Újabban a Xe-nak előállították a legnegatívabb elemekkel, az F-ral és az O-nel képzett vegyületeit. Ezekben 2, 4, 6 vagy 8 vegyértékű. A Kr-nak is sikerült néhány hasonló vegyületét előállítani. A Rn is képez ilyen vegyületeket, de azok a radioaktivitás miatt nem stabilak. A másik három nemesgáznak nem ismeretesek vegyületei.

3.6.2. A VIIIb alcsoport. Az alcsoportban triádok vannak hasonló elemekkel. Az első triád elemei a Fe, Co és a Ni, ezeket már jól ismerjük. A másodiké a Ru, Rh és a Pd, a harmadiké pedig az Os, Ir és a Pt. A platinafémeket a nyers platinában találták meg. Először Wollaston választotta el a palládiumot a platinától. Feltűnt neki az is, hogy bizonyos nyers platinák oldatai rózsaszínűek. Leválasztva a platinát és a palládiumot, rózsaszín kristályokat kapott. Az elemet ródiumnak nevezte el a rózsaszínről. A nyers platina királyvizes oldásakor visszamaradt egy fekete rész, amit eleinte grafitnak hittek. 1804-ben Tennant számolt be róla, hogy a maradékban nem is egy, hanem két fém van. Az egyiket irídiumnak nevezte el a szívérványról, mert sói változó színűek, a másikat pedig ozmiumnak, mert szaga van. A szagot egyébként a rendkívül mérgező OsO_4 okozza, ami kis mennyiségben levegőn mindig keletkezik. 1825-ben Osann újra megvizsgálta a maradékot, és három új fémot vélt benne találni. Az egyiknek a ruténium nevet adta Oroszországról. 1845-ben Klausz kiderítette hogy csak egy új fém van benne, de megtartotta a ruténium nevet. A platinafémeket főleg katalizátorként használják. □

4

Szerves kémia

4.1 Alifások

4.2 Aromások

4.3 Heterociklikusok

Ami nincs, azt csinálunk

5.1 Tisztább vegyszereket!

Már az alapkísérleteknél számos trükkel találkoztunk, amivel tisztább vegyszereket állíthatunk elő. Vegyük sorra ezeket:

1. Fémek oldásánál a fémet feleslegben vesszük, hogy a nála pozitívabb fémek ne menjenek oldatba;

2. A fém hidroxidját vagy karbonátját az oldat egy részéből leválasztjuk, alaposan kimossuk és visszatesszük az oldatba, majd felfőzzük az oldatot, ezzel semlegesítve a felesleges savat. Semleges oldatból nagyon sok fém leválik hidroxidja alakjában, de nem válik le a Zn, Cd, Pb, Co, Ni, Mn, Mg és a többi alkáli földfémek, valamint a Fe(II). Ezek hidroxidjait ammóniumsók oldatából sem tudjuk leválasztani, mert a pufferhatás miatt az ammónium-hidroxidtól sem lesz elég lúgos az oldat.

3. A Fe leválasztására három vegyértékűvé oxidáljuk semleges vagy lúgos oldatban levegőbefúvással vagy akármilyen oldatban egy erős oxidálószerrel, például hidrogén-peroxiddal. A vas(III)-hidroxid még gyengén savas oldatból is leválik. Ráadásul oldhatatlan sókat képez a P, As, V, Mo, W, U vegyületeivel, így ezek is a csapadékba kerülnek. Nagy felületű anyag, és adszorpcióval is megköt szennyezéseket. Ezért néha külön is adunk vasvegyületeket az oldathoz.

4. Karbonátként az alkálifémeket kivéve minden fém leválik, amelyik nem amfoter.

5. Szulfidként gyengén savas vagy semleges közegből a H_2S -fémek leválnak, és a hidroxidként le nem váló Zn, Cd, Pb, Co, Ni és Mn is. Az As még hideg 20%-os sósavból és hideg tömény kénsavból is leválik, üvegszűrővel leszűrhető.

6. A szulfát ionokat báriummal tudjuk leválasztani.

7. Általánosan használt tisztítási eljárás az aktív szénrel való derítés.

8. A legáltalánosabban használt tisztítási eljárás az átkristályosítás, viszont mindig jelentős anyagvesztéssel jár. Sok anyagnál eleve megadtuk, hogyan érdemes átkristályosítani.

9. A desztillálás illetve szublimálás igen hatásos tisztítási eljárás; sajnos, nem mindig használhatók. Desztillálással tisztítják a szalmiákszeszt. Mi mindjárt desztillálással készítettük, így igen tiszta. Arzénmentesítés után üvegekészüleből desztillálják a sósavavat és a kénsavat. A tömény salétromsavat kevés $AgNO_3$ -ról desztillálják, hogy megkössék a sósavat. Természetesen ezek veszélyes eljárások, inkább vegyük meg a tiszta tömény savakat. Szublimáltuk az NH_4Cl -ot, és vízgőzzel desztilláltuk az $(NH_4)_2CO_3$ -ot. Mindkét eljárást gyakran használják szerves vegyületeknél.

5.1.1 Kísérlet. Venni vagy tisztítani? Aki végigcsinálta a szalmiáksó és a káliumnitrát előállítását és tisztítását, az tudja, hogy a tiszta vegyszerek előállítása elég sok veszéllyel jár. Ráadásul meg is kell vizsgálni a kapott anyag tisztaságát. Meg kell tehát gondolnunk, hogy valamit magunk tisztítunk, esetleg állítunk elő, vagy tisztán megvásároljuk. Céljainknak általában a „finomvegyyszer” kategóriájú vegyszerek felelnek

meg. Általában ennek megfelelő tisztaságúak a gyógyszerként vagy élelmiszerként árukt anyagok is. Minőségük lehet purum ('tisztá'), a.r. ('analitikai reagens') vagy purissimum ('legtisztább'). Ebben a sorrendben egyre tisztábbak. Nekünk általában megfelel a tisztá minőség, és biztosan minden célra megfelel az a.r. tisztaságú anyag. Ebben az alfejezetben néhány gyakoribb anyag tisztítását írjuk le egy gyógyszergyártásról szóló könyv nyomán.

□

5.1.2. Hidroxidok és karbonátok leválása. A leggyakoribb tisztítási lépés a szennyezések lúggal vagy karbonáttal való leválasztása. Erről tájékoztat az 5.1.1 táblázat. Mivel hasonló, megadtuk a foszfátok leválását is. A legtöbb rövidítés értelemszerű.

- Csapadék leválását ↓ jelzi, ha szín nincs, a csapadék fehér. A színt egy vagy két betű adja meg, esetleg betűk kötőjellel: ö = sötét; b = barna; f = fekete; s = sárga, c = citromsárga; k = kék, i = ibolya, z = zöld, ü = szürke, r = rózsaszín, v = vörös, n = narancs. Vesszővel -es, például v' = vöröses.
- Sokszor megadtuk a csapadék kinézetét: gé. = gél, kr. = kristályos, am. = amorf, ny. =nyálkás.
- x-y alakban megadtuk a leválási pH intervallumot, 1 % mol-1 % % mol koncentráció tartományra.
- ↑:oldódik; éspedig az oldószer + = a lecsapószer feleslege; am = ammónia; ta = tartarátok, citromsav sói, stb.; ac = acetátok; ec = ecetsav; H = ásványi sav; OH = erős lúg; x-y = pH intervallum. Az oldat színét is megadjuk, ha jellemző.
- (x) : csak tömény oldatból/oldatban.

A Nb, Ta, W és részben a Mo már erősen savas közegben is leválnak, és az első kettő csak erős lúgban, az utóbbi kettő már gyengében is feloldódik. Lúggal nem válnak le a Sr, Ba, Tl⁺ és az alkáli fémek. Ammóniával Hg²⁺ ↓, Cu²⁺ ↓z, Pd²⁺ ↓rv a Pt⁴⁺ pedig nem ad csapadékot. □

5.1.3 Kísérlet. A kálium-klorid főbb szennyezései kalcium és magnézium sók, szulfátok. Tisztítására 1 súlyrésznyit 3 súlyrésznyi vízben oldunk. 0,02 súlyrésznyi oltott mész port keverünk hozzá. Ez lecsapja a magnézium sókat. (A magnézium-hidroxidból 10 mg oldódik egy liter vízben, a karbonátból 840 mg. A gipsz túl oldható ahhoz, hogy kiváljon.) Apránként 0,024 súlyrész báriumklorid vizes oldatát adjuk hozzá. A tisztáját megvizsgáljuk, hogy ad-e még báriumkloriddal csapadékot. Ha igen, adunk még hozzá báriumkloridot, majd újra vizsgálunk. Ez lecsapja a szulfátokat. Egy éjjelen át állni hagyjuk, ülepítjük, és ha kell, szűrjük. Ezután 0,03 súlyrész tiszta kálium-karbonát oldatát adjuk hozzá. Ez lecsapja a kalciumot és a maradék báriumot. Hosszabb ideig levegőt fúvatunk bele. Ez a lúgos oldatban a vasat három vegyértékűvé oxidálja, így vas(III)-hidroxidként leválik. Ülepítjük, szűrjük, és vegytiszta sósavval egyhén savanyúra állítjuk be. Ahány kilogramm kálium-kloridból indultunk ki, annyi literre pároljuk be. A kivált kristályokat szűrjük, sütőben időnként átkeverve szárítjuk. További tisztítása 90–95 °C-os tömény oldat –5 °C-ra hűtésével történhet. A báriumtartalmú csapadékokat báriumkloridra dolgozhatjuk fel: lásd később. □

5.1.4 Kísérlet. A nátrium-klorid tisztítása ugyanúgy történhet, mint a kálium-kloridé, csak természetesen kálium-karbonát helyett nátrium-karbonátot használunk. Nátrium-perkarbonátot használva az oxidálás is megtörténik. Kristályosítása a tömény oldat fele térfogatra való bepárlásával történik. Persze, élelmiszert nem szokás így tisztítani, mert a szulfát nem zavar, de a Ba mérgező. □

Ion	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	HPO ₄ ³⁻
Ag ⁺	↓b8,5-9,4 ↑am	↓s ↑H,am	↓s ↑ec
Pb ²⁺	↓7,4-8,8 +Br→bf ↑:9,8-12,7	↓ ↑H,OH	↓ ↑H,OH
Hg ₂ ²⁺	↓f	↓sg-f	↓ ↑H
Hg ²⁺	↓s7,3-9,1	↓vb	↓ ↑H
Cu ²⁺	↓k ny.≈5,4 ↑am,ta:ik	↓kz +hő→f	↓kz ↑H,am
Bi ³⁺	↓≈4,0 +hő,ClO→b	↓	↓ ↑H
Cd ²⁺	↓ 6,4-7,8 ↑am	↓ ↑am	↓ ↑ec
Pt ⁴⁺	↓öb-f ↑≈ 14	?	?
Pd ²⁺	↓b≈6,5 ↑≈ 14	?	?
Rh ³⁺	↓s≈6,5 ↑≈ 14	?	?
Ir ³⁺	↓z≈5	?	?
Os ⁴⁺	↓?≈1,5	?	?
Au ³⁺	↓vb ↑?	?	?
Sb ³⁺	↓am.≈ 3 ↑≈10,ta	↓	?
Sn ²⁺	↓1,7-3,5 ↑11,1-13 hő→bg	↓ ↑OH	?
Sn ⁴⁺	↓am.0-0,5 ↑11-11,5	↓gé. ↑OH	?
Co ²⁺	↓k→r6,4-8,4 +O:b ↑am:bs	↓v'	↓ki ↑H
Ni ²⁺	↓z6,4-8,1 +Br:f ↑am:ik	↓z'	↓sz ↑ec
Mn ²⁺	↓8,3-10,1 +O:b	↓ +O→b	↓ ↑ec
Zn ²⁺	↓6,4-7,3 ↑10,5-12,1	↓ ↑am	↓gé.→kr. ↑ec,OH
Fe ²⁺	↓gé.5,4-7,2 +O→z→b ↑:am	↓ +O:vb	↓am.→kz ↑ec
Fe ³⁺	↓b ny.2,3-3,2 ↑ac,ta	↓b	↓s ↑H
Cr ³⁺	↓zü 4,9-5,9 ↑13-14,ac,+H ₂ O ₂ →s	↓zü	↓z ↑ec,OH
Al ³⁺	↓gé.4,4-6,3 ↑12,6-13,4,ac,ta	↓ (↑+)	↓gé. ↑H,OH
Be ²⁺	↓gé.5,6-6,5 ↑10,8-12,6	↓ (↑+)	↓
Th ⁴⁺	↓gé.2,9-6,1	↓ ↑+	↓ ↑H
Zr ⁴⁺	↓gé.1,9-3,4	↓	↓ gé.
Ce ⁴⁺	↓s ≈3	?	↓
Ti ⁴⁺	↓1,9-4,0	↓	↓
U ⁶⁺	↓c3,7-4,0 ↑ta	(↓ns) ↑+	↓s ↑H
Sc ³⁺	↓am. ↑+	?	?
Y ³⁺	↓am.	?	?
Ln ³⁺	↓? 6,7-8,4..7,7-9,4	?	↓ ↑H
Ga ³⁺	↓s'≈2,6 ↑+	?	?
In ³⁺	↓≈3,3 ↑+	?	?
Tl ³⁺	↓vb≈3,3	?	?
Mg ²⁺	↓10,4-11,5	↓	↓ ↑ec
Ca ²⁺	(↓)> 12	↓	↓ ↑ec
Sr ²⁺		↓	↓ ↑ec
Ba ²⁺		↓	↓ ↑ec
Li ²⁺		(↓)	↓kr. ↑ec

5.1.1 táblázat: csapadék lúgokkal

5.2 Mire jó a kénhidrogén?

Tisztaságvizsgálatnál, a szennyezések kimutatásánál nem fontos, hogy a reakció csak az adott szennyezéssel reagáljon, csak a fő alkotórésszel ne reagáljon. Annál fontosabb a reakció érzékenysége. Tipikus példa a fémszennyezések kimutatása. Az anyagot savas vagy lúgos közegben kén-hidrogénnel reagáltatjuk. Sok fém ad fekete vagy egyéb, erősen színes csapadékot, mutatva a szennyeződést. A szennyezés mértékére mértékoldattal történő összehasonlítással következtethetünk: az adott szennyező híg oldatát (például 0,01 mg a vizsgált térfogatban) ugyanúgy vizsgáljuk, mint az anyag elég tömény oldatát, és a két elszíneződést vagy zavarosságot hasonlítjuk össze. A két kémcsövet kémcsőállványban egymás mellé tesszük, mindkettőt vízzel színültig töltjük, és elszíneződésnél erősen megvilágított fehér papír felett, felülről hasonlítjuk össze a színt. Fehér zavarosság esetén matt fekete alap felett a kémcsöveket oldalról világítjuk meg.

Természetesen nincs itt hely arra, hogy minden vegyszer minden vizsgálatát leírjuk. Csak a vizsgálatokat adjuk meg, azt, hogy egyes speciális esetekben milyen változtatásokra van szükség, azt nem. Sok vizsgálat teljes leírását megtalálhatjuk az V. Magyar Gyógyszerkönyvben (négy kötet, a hálózaton is elérhető). Ez már összehasonlító oldatokat alkalmaz, de még nem alkalmaz ritka és drága vegyszereket. A Vegyszerismeret című könyv első kiadása egyszerűbb vizsgálatokat ír le, összehasonlító oldat nélkül. Ezek nagyjából a IV. Magyar Gyógyszerkönyv előírásainak felelnek meg. Első tájékozódásra ezek is megfelelnek. A Gyógyszerkönyvekben sok olyan szennyezés kimutatását is megtalálhatjuk, amire mi nem térünk ki. Például kénsav szennyezést cukorral szárazra párolva mutathatunk ki, stb.

5.2.1. Színes anyag, színes reagens. Mit tegyünk, ha a vizsgált anyag (például rézsók) vagy a reagens színes? Ilyenkor két kémcsövet használunk: az állványba tiszta vizet teszünk, és fölé egy Bunsen-állványba fogott kémcsövet, ebben van a vizsgálandó elegy. A felső kémcső alja merüljön a vízbe, hogy optikailag mindenütt egyforma közegben haladjon a fény! A felső kémcsövet is színültig töltjük vízzel. A másik összeállítás, ami e mellé jön, alul tartalmaz ugyanannyi vizsgálandó oldatot vízzel feltöltve, a felső kémcső pedig a mértékoldatot a reagenssel.

5.2.2. Előkészítés semlegesre. A vizsgálatokat rendszerint közel semleges vagy gyengén savas oldatban végezzük. Ha a vizsgált anyag nem oldódik vízben, akkor 2 M sósavban oldjuk, a szén-dioxidot kiforraljuk, majd ha kell, 2 M nátronlúggal vagy 2 M ammónia oldattal óvatosan semlegesítjük. Ha az anyag lúgos kémhatással oldódik, akkor 2 M sósavval semlegesítjük, miközben a szén-dioxidot kiforraljuk. Ha a sósav nem megfelelő (például ezüst sók, vagy kloridra vizsgálunk), akkor 2 M salétromsavat használunk helyette.

5.2.3. Mértékoldatok. Általában 10–100 ml oldatot készítünk, amely a megjelölt ionból 10 mg/ml koncentrációjú. Hígítással állíthatunk elő 1 mg/ml, 0,1 mg/ml, 0,01 mg/ml vagy akár 0,001 mg/ml koncentrációjú mértékoldatokat. A tízszeres hígítású oldat általában jól eláll, de az ennél hígabbakat jobb, ha frissen készítjük. Ezeket az oldatokat használjuk fel később az ionok reakcióinak tanulmányozására is, ezért van ilyen sok. A tisztaságvizsgálathoz csak néhányra lesz szükségünk. Alapesetben az oldat vízzel készül, és a hígítás is vízzel történik, ha nem, azt megjelöltük. Mint láthatjuk, a kationok oldatai nitrátok vagy kloridok; az első a jobb, mert kevesebb kationnal ad csapadékot, de bármelyiket használhatjuk. (A titánnál esetleg $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$ is szóba jön.) Az anionok oldatai

K, Na, esetleg ammónium sók, mindegy melyik. Nem kell túl nagy pontosság, hiszen a szemmel való összehasonlítás hibája 7% körüli. A tisztasági követelmények se nagyok.

Kationok, fémek: **LiCl**, **NaCl**, **KNO₃**, **RbCl**, **CsCl**, **Cu(NO₃)₂ · 3H₂O**, **AgNO₃**, **HAuCl₄ · 3H₂O**, **BeSO₄ · 4H₂O**, **Mg(NO₃)₂ · 4H₂O**, **Ca(NO₃)₂ · 4H₂O**, **Sr(NO₃)₂**, **Ba(NO₃)₂**, **Zn(NO₃)₂ · 6H₂O**, **Cd(NO₃)₂ · 4H₂O**, **HgCl₂**, **Y(NO₃)₃ · 6H₂O**, **La(NO₃)₃ · 6H₂O**, **Ce(NO₃)₃ · 6H₂O**, **Nd(NO₃)₃ · 6H₂O**, **Al(NO₃)₃ · 9H₂O**, **TiNO₃**, **Pb(NO₃)₂**, **Th(NO₃)₄ · 12H₂O**, **As₂O₅**, **SeO₂**, **Cr(NO₃)₂ · 9H₂O**, **(NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O**, **Na₂WO₄ · 2H₂O**, **UO₂(NO₃)₂ · 6H₂O**, **Mn(NO₃)₂ · 6H₂O**, **Fe(NO₃)₃ · 9H₂O**, **Co(NO₃)₂ · 6H₂O**, **Ni(NO₃)₂ · 6H₂O**, **RhCl₃**, **OsO₄**, **H₂PtCl₆ · 3H₂O**.

Anionok: **Na₄B₄O₇ · 12H₂O**, **Na₂CO₃ · H₂O**, **NaCN**, **KCNO**, **KSCN**, **K₃[Fe(CN)₆] · 3H₂O**, **NaHCOO**, **Na₂(COO)₂**, **NaCH₃COO · 3H₂O**, **Na₂SiO₃ · 9H₂O**, **NaN₃**, **KNO₃**, **NaH₂PO₄ · H₂O**, **Na₂HPO₄**, **Na₂H₂P₂O₆ · 6H₂O**, **KH₂PO₄**, **NaAsO₂**, **Na₂HAsO₄ · 7H₂O**, **Na₂S · 9H₂O**, **Na₂S₂O₅**, **Na₂S₂O₃ · 5H₂O**, **m K₂SO₄**, **K₂S₂O₈**, **Na₂SeO₄ · 10H₂O**, **NH₄F**, **NaCl**, **NaClO₃**, **NaClO₄**, **NaBr**, **KBrO₃**, **KI**, **KIO₃**, **NaIO₄**.

3 M HCl-ben oldjuk, és azzal hígítjuk: **SnCl₂ · 2H₂O**, **SbCl₃**, **BiOCl**, **RuCl₂**, **PdCl₂**, **IrCl₂**.

0,3 M NaOH-ban oldjuk, és azzal hígítjuk: **NH₄VO₃**.

100 ml **ClO** oldathoz 1,5 g klórmeszet és 1,5 g vízmentes szódat oldunk vízben, és az üledéktől elválasztjuk.

100 ml oldathoz 5 ml 6 M HNO₃-ban oldjuk és vízzel hígítjuk: **Ga**, **In**, **Sc₂O₃**, **Zr(NO₃)₃ · 5H₂O**.

100 ml oldathoz 16 ml 20%-os **TiCl₃** oldatot 3 M HCl-lel hígítunk és addig vezetünk bele levegőt, amíg színtelen lesz. 3 M HCl-lel hígítjuk.

100 ml oldathoz 1 g **Ge**-ot 5 ml 6 M HCl-lel és 1 ml 6 M HNO₃-val oldunk, és az oldatot 3 M HCl-lel hígítjuk.

100 ml oldathoz **TeO₂**-ot 5 ml 6 M HCl-lel oldunk, és az oldatot 3 M HCl-lel hígítjuk.

5.2.4. Szín. A folyadék vagy a szilárd anyag oldata teljesen tiszta és átlátszó legyen. Ha az anyag színtelen, vízzel hasonlíthatjuk össze. A gyógyszerkönyv használ színmérték oldatot is, ha ez van előírva, azzal kell összehasonlítani, a megfelelő pirosas, barnás, sárgás vagy zöldes oldattal. Az árnyalat eltérhet, de a sötétség nem. Színtelen az 1-es oldatnál világosabb.

5.2.5. Oldhatatlan. Szilárd anyagnál az előírt mennyiségű (általában a minimálisan szükségesnél 50%-kal több) előírt oldószerben gyakorlatilag tisztán (és általában színtelenül) oldódik, esetleg enyhe melegítés után. Ha más előírás nincs, az oldószer víz. Ha más előírás nincs, az oldószer ötszörös mennyiségű. A folyadék vagy a szilárd anyag oldata nem lehet üledékes, zavaros. Laboratóriumban az oldhatatlan részt leszűrjük és megmérjük, de nekünk nincs elég pontos mérlegünk.

5.2.6. Sűrűség. Piknométerrel határozzuk meg.

5.2.7. Száritási veszteség. A szükséges mennyiségű anyagot 105 °C-on súlyállandóig száritjuk, és a súlycsökkenést mérjük.

5.2.8. Izzítási veszteség. A szükséges mennyiségű anyagot porcelán tégelyben gyenge vörösizzáson izzítjuk súlyállandóig.

5.2.9. Szulfáthamu. A megadott mennyiségű anyagot 1 ml kénsavval elfüstöljük. Súlyállandóig izzítunk, és a maradékot visszamérjük.

5.2.10. p_H . Univerzál indikátorpapírral határozzuk meg.

5.2.11. Sav és lúg. Frissen kiforralt vízben oldjuk az anyagot, majd egy csepp fenoltaleint adunk hozzá. Nem lehet rózsaszín, de 1 csepp 0,1 M (vagy előírt koncentrációjú) nátrium-hidroxid oldattól rózsaszínűre változzék.

5.2.12. Pb. Ezt a vizsgálatot jobb lenne kén-hidrogénnel reagáló fémekre történő vizsgálatnak nevezni, de a rövidség kedvéért így hívjuk, és összehasonlító oldatnak Pb mértékoldatot használunk. Általában ecetsavas oldatban vizsgálunk, eltérően a gyógyszerkönyvtől, amely lúgos oldatban vizsgálta, KCN hozzáadásával. Ha olyan sötét vizsgálatunk, amelynek kationja ecetsavas közegben kén-hidrogénnel leválik (például cink-sók), akkor sósavval savanyítunk, a végső oldat 0,2 M-os legyen sósavra ($p_H \approx 0,7$). A megadott mennyiségű anyagot, ha csak a szennyezés felső határa van megadva, akkor annyi anyagot, amire a szennyezés felső határa 10 μg ólomnak felel meg, vízzel oldunk. Ha semleges, egy csepp sósavat és kb. 10 mg aszkorbinsavat adunk hozzá és felforraljuk. Ezután 20 ml-enként 5 csepp 20%-os ecetsavat (vagy ha kell, a szükséges mennyiségben sósavat) és 2 ml kén-hidrogénes vizet adunk hozzá. Összehasonlítás: azonnal. Ha az oldat savas, előbb semlegesíteni kell. Ha az anyag vízben nem oldódik, sósavban oldjuk, majd az oldatot semlegesítjük. Ha az anyag oldata lúgos, először sósavval semlegesítjük.

5.2.13. Nehéz fémek (Pb, Fe, Zn). Ez a vizsgálat ammóniás oldatban ammónium-szulfiddal reagáló fémekre vizsgál. A megadott mennyiségű anyagot, ha csak a szennyezés felső határa van megadva, akkor annyi anyagot, amire a szennyezés felső határa 10 μg ólomnak felel meg, vízzel oldunk. Ha semleges, 10 ml-enként 0,5 g NH_4Cl -ot oldunk benne, 2 csepp 2 M-os ammónia oldatot és 1 ml kén-hidrogénes vizet adunk hozzá és összerázzuk. Összehasonlítás: 5 perc múlva. Az összehasonlító oldat 10 μg ólmot, zöldesszürke színeződés esetén 10 μg vas(II)-t, fehér színeződés esetén 10 μg cinket tartalmaz. (Természetesen réz, kadmium, mangán, nikkel, kobalt és még más fémek is okozhatják az elszíneződést.) Ha az oldat savas, előbb semlegesíteni kell. Ha az anyag vízben nem oldódik, sósavban oldjuk, majd az oldatot semlegesítjük. Ha az anyag oldata lúgos, először sósavval semlegesítjük. Ha az oldat már a kén-hidrogén hozzáadása előtt túlságosan színes az összehasonlításhoz, el kell roncsolni. 5 ml vizes oldathoz annyi kénsavat adunk, ami 3 ml tömény kénsavnak felel meg, és kénsavfüstig bepároljuk. Ha megfeketedik, apró hyperol tablettá darabokat adhatunk hozzá. 1 ml-re lefüstöljük. Ebből az oldatból végezzük a vizsgálatot.

5.2.14. As. Bettendorf próbával vizsgálunk rá. Az előírt mennyiségű anyagot 5 ml vízben oldjuk, és hozzáadunk 5 ml tömény sósavat. Az oldat tisztájából 5 ml-t kémcsőbe öntünk, 5 ml 10%-os tömény sósavas ón(II)-klorid oldattal elegyítjük és felforraljuk. A reakcióelegy 1/2 órai állás után ne mutasson eltérést a vakpróbától.

5.2.15. Fe. A megadott mennyiségű anyagot, ha csak a szennyezés felső határa van megadva, akkor annyi anyagot, amire a szennyezés felső határa 9–10 μg -nak felel meg, 13 ml vízben oldunk és 1 ml 2 M-os sósavval megsavanyítjuk. Az oldathoz 1 csepp brómos vizet, majd összerázás után 1–2 perc múlva 1 ml 0,5 M-os kálium-rodanid oldatot adunk, és ismét összerázzuk. Összehasonlítás: 5 perc múlva. A brómos víz oxidálószer a vas

oxidálására. Szoktak helyette 30–50 mg ammónium-perszulfátot is használni, sőt, 0,02 M kálium-permanganát oldatot is, amit megmaradó színig adnak az oldathoz (a felesleget a KSCN elszínteleníti). Valószínűleg klóros víz, más perszulfát, peroxid is használható, és ammónium-rodanid-oldat is jó.

Ha valami miatt nem használhatjuk a rodanidos kimutatást, esetleg redukálhatjuk is (például aszkorbinsavval) a vasat, majd mint nehéz fémet szulfidként leválaszthatjuk. Kis szűrőn le is szűrhetjük, és sósavban oldva meghatározhatjuk.

5.2.16. Ca. A kémcsőbe 4 csepp 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ Ca mértékoldathoz 1 ml 0,25 M-os ammónium-oxalát oldatot adunk (gócképzés). Ehhez adjuk a megadott mennyiségű anyagot, ha csak a szennyezés felső határa van megadva, akkor annyi anyagot, amire a szennyezés felső határa 25–50 μg -nak felel meg, vízzel 10 ml-re oldunk, és hozzáadunk 2 csepp 2 M-os ecetsavat. Összerázás után vízfürdőben 5 percig melegítjük, azután az oldatokat 1 óráig olvadó jég között tartjuk, és úgy hasonlítunk össze. Az összehasonlító oldatba a mértékoldathoz az oxalátot, majd a vizet és az ecetsavat adagoljuk. Savban oldódó anyagot sósavban oldunk, lúgos anyagot sósavval megsavanyítunk, majd 0,5 g nátrium-acetátot oldunk benne. Savas oldathoz is nátrium-acetátot adunk.

5.2.17. Mg és Ca. Az anyagot 12 ml vízben oldjuk, 1 ml 2 M-os NH_4Cl oldatot és 1 ml 2 M-os ammónia oldatot, végül 1 ml 5%-os Na_2HPO_4 oldatot adunk hozzá, és a kémcső tartalmát néhány másodpercig hevesen rázzuk. 10 percen belül nem változhat. Összehasonlító oldatot nem alkalmazunk, mivel az összehasonlítás bizonytalan. Persze, foszfáttal leváló más fémek is csapadékot adnak.

5.2.18. NH_3 . (a) A semleges vagy gyengén lúgos oldat 10 ml-éhez 1 ml 0,1 M-os NaOCl vagy CaClOCl oldatot adunk, elkeverjük, majd 5 perc múlva hozzáadunk 1 ml nátrium-fenolát oldatot (16,7 g fenol és 7,2 g NaOH 100 ml-ben; tartós) és 1 csepp 0,003 M-os MnCl_2 oldatot (katalizátor). 3 perc múlva hasonlítunk össze. Az összehasonlító oldat <1,4 μg NH_3 -t tartalmaz. Hipoklorit helyett klóros víz is használható.

Ha zavaró anyagok vannak az oldatban, desztillációt használunk: lásd az ?? fényképet. Egyfuratú parafadugóval elzárt kis lombikban az oldathoz 10 ml 2 M nátronlúgot adunk, és 10 percig fecskendőből készült elnyelő haranggal ellátott kétszer derékszögben meghajlított üvegsövön keresztül kívülről hűtött edényben lévő 5 ml vízbe desztilláljuk az ammóniát, majd a desztillátumot vizsgáljuk.

(b) Nagyobb mennyiségű NH_3 kimutatására alkalmas a tölcserkés módszer: lásd az ?? fényképet. A megadott mennyiségű anyagot, ha más nincs megadva, 0,2 g-ot óraüvegen 2 ml 2 M-os nátronlúggal leöntünk. 4 cm átmérőjű tölcserkével borítjuk le, amelynek szárába cseppfogónak kis vattapamatot szorítunk. A tölcser végét megnedvesített indikátorpapírral fedjük le. A kis készüléket vízfürdőre helyezzük 10 percre.

5.2.19. K. Kémlőcsőben 1 ml vízhez 2 csepp 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$ koncentrációjú kálium mértékoldatot cseppentünk és 0,05 g nátrium-kobalt(III)-nitritet oldunk fel benne. Az oldatot 1 percig rázogatójuk (gócképzés). A vizsgálandó anyagnak a szükséges mennyiségét másik kémcsőben 7 ml vízben oldjuk, 2 csepp 2 M ecetsavval megsavanyítjuk és 7 ml 90%-os szesszel elegyítjük, majd az előbbi kémcső tartalmához adjuk és 1 percig rázogatójuk. Az összehasonlító oldat úgy készül, hogy 2 ml 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$ koncentrációjú mértékoldathoz 5 ml vizet, 2 csepp 2 M ecetsavat, 7 ml 90%-os szeszt elegyítünk és az elegyet 1 percig rázogatójuk. Összehasonlítás 10 perc múlva. Lúgos kémhatású anyagot 2 M sósavval előbb

közömbösítünk, míg gyengén savanyú lesz, 0,5 g nátrium-acetátot oldunk fel benne, és ha kell, kis papírszűrőn megsűrjük. A 7 ml-re kiegészített szüredékhez adjuk a szeszt, és a fent leírt módon folytatjuk.

5.2.20. SO_4^{2-} . A szükséges mennyiséget vízzel 13 ml-re oldjuk. Másik kémcsőben 10 csepp 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ szulfát mértékoldatot 1 ml 0,25 M-os BaCl_2 (vagy $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) oldattal elegyítünk (gócképzés) és 1 ml 2 M sósavval (vagy salétromsavval) fél percig rázogatójuk, majd a vizsgálandó anyag oldatát hozzáöntjük és összerázzuk. Az összehasonlító oldat a mintával azonos térfogatban 5–6 ml 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ koncentrációjú szulfát mértékoldatot tartalmaz. Összehasonlítás: 1 óra múlva.

5.2.21. S. Az összes kén meghatározásához az anyagot 5 ml-re oldjuk, az oldatot 0,5 ml brómos víz vagy ekvivalens mennyiségű klóros víz hozzáadása után szárazra pároljuk. 20 ml-re oldjuk a maradékot, és szulfátként határozzuk meg a ként.

5.2.22. Cl^- . A megadott mennyiségű anyagot, ha csak a szennyezés felső határa van megadva, akkor annyi anyagot, amire a szennyezés felső határa 10 μg -nak felel meg, vízzel 13 ml-re oldunk, 1 ml 2 M-os salétromsavat és 1 ml 0,1 M ezüst-nitrát oldatot adunk hozzá. Az összehasonlító oldat a mintával azonos térfogatban 1,0 ml 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ koncentrációjú klorid törzsoldatot tartalmaz. Összehasonlítás: 5 perc múlva.

5.2.23. Cl. Az összes klór (Cl^- , ClO_3^- , ClO_4^-) meghatározásához az anyagot öt percig izzítjuk, azután vizsgálunk kloridra.

5.2.24. NO_3^- . (a) Ammóniává redukálva és desztillálva határozhatjuk meg. A redukcióra nátronlúg és alumínium használható. A vizsgálandó semleges oldathoz ugyanannyi 2 M nátronlúgot adunk, és 10 percig forraljuk az ammónia eltávolítására. Ha lehűlt, egy alumínium darabot dobunk bele, cseppfogónak vattát tömünk az edény szájába, és átfúrt parafa dugóval lezárjuk, kétszer derékszögben meghajlított, kihúzott üvegcsővel 5 ml vizet tartalmazó kémcsőbe vezetve a gázt 10 percig. Az edényt enyhén melegítjük. A vizet ammóniára vizsgáljuk. Nitrit is adja a reakciót. A mennyiséget úgy választjuk, hogy a keletkező ammónia oldat $<0,14 \mu\text{g}/\text{ml}$ koncentrációjú legyen. Az alumínium ne fólia legyen, hanem tömör darab. Vakpróbával ellenőrizzük, hogy az alumínium nitrid mentes és a lúg nitrát mentes. Ha az alumíniumdarab nitrides is, az valószínűleg felületi: ismételt használva már nem nitrides.

(b) Jóval kevésbé érzékeny az alábbi vizsgálat. A szükséges anyagmennyiséget 1 ml 50%-os kénsavban oldjuk. Az anyaghoz 6 ml tömény kénsavat és 2 csepp 10%-os vas(II)-szulfátot adunk. (Az oldat frissen készül 1 g nem mállott $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ kristály 9 g kiforralt és lehűtött desztillált vízben való oldásával.) A változás legfeljebb olyan mértékű lehet, mintha 1 ml 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$ nitrát mértékoldatot vizsgálunk.

5.2.25. N. Az összes nitrogén meghatározásához ugyanúgy járunk el, mint az előző teszt (a) pontjában, de elhagyjuk az előzetes forralást.

5.2.26. NO_2 . A meghatározások a nitrit diazotáló hatásán alapulnak. Az egyik előírás szerint a szükséges mennyiségű anyagot 20 ml vízben oldjuk, 2 ml 1 M kénsavat és 1 ml m-fenilén-diamin oldatot (0,05 g m-fenilén-diamin-kloridot 10 ml vízben oldunk; frissen készül) adunk hozzá. A keletkezett sárga, esetleg barna színt 10 perc múlva hasonlítjuk össze. Az összehasonlító oldat 0,5 ml 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ koncentrációjú nitrit törzsoldatot tartalmaz. Egy másik előírás a Griess-Ilosvay reagenst használja. A szükséges mennyiségű

anyagot 40 ml-re oldjuk. 1 ml Griess–Ilosvay reagenst adunk hozzá. A keletkezett vörös színeződést 10 perc múlva hasonlítjuk össze. Az összehasonlító oldat 1 ml 1 $\mu\text{g}/\text{ml}$ koncentrációjú nitrit mértékoldatot tartalmaz. A Griess–Ilosvay reagens A oldata 1,0 g szulfanilsavat tartalmaz 100 ml 30%-os ecetsavban. A B oldata úgy készül, hogy 0,30 g 1-naftil-amint 70 ml vízzel felforraltunk és 30 ml tömény ecetsavat adunk hozzá. Az oldatokat 1:1 arányban elegyítve kapjuk a reagenst. Az A és a B oldat készítéséhez is használhatunk sósavat ecetsav helyett. Az A oldatnál 1 ml tömény sósavat, a B oldatnál 20 ml-t. Ekkor 50 ml semleges vizsgálandó oldathoz 1 ml A oldatot adunk, várunk 5 percet, majd hozzáadunk 1 ml B oldatot és 1 ml 2 M nátrium-acetát oldatot.

Mint látjuk, mindkét kimutatás igen érzékeny. Az elsónél a m-fenilén-diamin saját magával kapcsolódik, a másodiknál a szulfanilsav az aminnal. A kapcsolásra más reagensek is felhasználhatók. A szulfanilsav például kapcsolható fenollal, de akár tojásfehérjével is, vagy anilin kapcsolható fenollal, stb.

A módszer nitrát kimutatására is használható, ha azt nitríté redukáljuk. Ez ecetsavas oldatban cinkrezselékkel történhet.

5.2.27. Oxidáló anyagok. (a) A módszer azon alapul, hogy erősen kénsavas oldatban az oxidáló anyagok elroncsolják, és így elszíntelenítik az indigókármint festéket. (Ételfestékként kapható.) A szükséges mennyiségű anyagot oldjuk vagy szuszpendáljuk úgy, hogy a semleges oldat mennyisége 10 ml legyen. Hozzáadunk 1 ml 5%-os nátrium-klorid oldatot, 1 ml indigókármint oldatot (10 mg indigókármint 25 ml 20%-os kénsavban oldunk, 2 ml 12 M-os sósavat adunk hozzá, és 20%-os kénsavval 50 ml-re töltjük), végül 12 ml tömény kénsavat. Az összehasonlító oldat 10 ml térfogatban 2,5 ml 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ koncentrációjú nitrát mértékoldatot tartalmaz. A kénsav adagolása után a forró oldatokat 5 perc múlva hasonlítjuk össze. A minta kék színe ne legyen halványabb az összehasonlítóénál. Mint látjuk, nitrátot is mérhetünk így, ha nincs jelen más oxidáló anyag. Az indigókármint oldatot 2 hetenként szokás ellenőrizni: az összehasonlító oldat 2,5 ml mértékoldattal halványkék maradjon, de 3,5 ml-rel teljesen elszíntelenedjen.

(b) A difenil-amint erősen kénsavas közegben az oxidáló anyagok (NO_3^- , NO_2^- , ClO_3^- , BrO_3^- , IO_3^- , MnO_4^- , peroxidok, Fe(III), stb.) kék vegyületté oxidálják. 0,5 g vizsgálandó anyag 5 ml oldatát pipettával óvatosan 5 ml kénsavas difenil-amin reagensre rétegezzük. (A reagens 50 mg difenil-amin 2 ml víz és 10 ml tömény kénsav elegyében készült oldata. Frissen készíthető.) Az érintkező rétegeknél 1 órán belül nem szabad kék színeződésnek jelentkeznie. A színeződés már akkor fellép, ha az anyag 25‰ nitrátot tartalmaz. A szilárd difenil-amin sötétben tartandó, 1 évig eláll, benzinből vagy vizes alkoholból átkristályosítható.

5.2.28. Redukáló anyagok. 10 ml oldathoz annyi kénsavat adunk, hogy legalább 0,5%-os legyen kénsavra. Hozzáadunk 1 csepp 0,02 M kálium-permanganát oldatot és az elegyet 5 percig állni hagyjuk, esetleg forraljuk. A minta színe nem lehet gyengébb a vakpróbaénál, amelybe vizet öntöttünk. Sokszor csak azt írják elő, hogy a minta színe ne tűnjön el. A kénsavtartalom általában 0,3–3%, de lehet sokkal több is, vagy 0 is. Akár tízszeres mennyiséget is lehet vizsgálni. Ilyenkor előzetesen a vízhez kálium-permanganát oldatot csepegtetünk megmaradó színig, hogy a víz redukáló anyagait ne mérjük, aztán oldjuk a vizsgálandó anyagot.

5.2.29. PO_4^{3-} . (a) A meghatározás alapja, hogy a foszforsavval a molibdát oldat sárga heteropolisavat képez. Hasonlóan viselkedik az AsO_4^{3-} , a SiO_3^{2-} és a GeO_3^{2-} is. Érzéke-

nyebb a kimutatás, ha a sárga vegyületet redukálószerrel molibdénkékké redukáljuk. A savkoncentráció választásával elérhetjük, hogy csak a PO_4^{3-} reagáljon. 10–150 μg foszfátot mérhetünk 25 ml végtérfogatban. Az anyagot vízzel 17 ml-re oldjuk, 6 ml 20%-os kénsavat, majd 1 ml foszfátreagens A-t és 1 ml foszfátreagens B-t adunk hozzá. Az összehasonlító oldat a mintával azonos térfogatban foszfát mértékoldatot tartalmaz. Mindkét oldatot 30 percre 60 °C-os vízfürdőbe helyezzük, lehűtjük, és ekkor hasonlítjuk össze.

Foszfátreagens A: 0,50 g ammónium-molibdenátot ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 5,5 ml vízben oldunk szobahőfokon, és hozzáadunk 4,5 ml 1 M-os kénsavat. 4 napig áll el.

Foszfátreagens B: 20 mg metolt 8 ml vízben oldunk, hozzáadunk 2 g kálium-biszulfitot és 10 ml-re töltjük. 4 napig áll el.

A foszfátreagens B helyett frissen készült 2 M-os aszkorbinsavat is használhatunk (1,78 g 10 ml-re oldva).

(b) Magnézia-mixtúrával is kimutatható a foszfát és az arzenát. Az oldatot 5 ml 10%-os ammóniaoldattal meglúgosítjuk, és hozzáadunk 5 ml magnézia-mixtúrát (5,5 g $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ és 10,5 g NH_4Cl 35 ml 25%-os ammónia oldattal és vízzel 100 ml-re oldva). 20 óra után hasonlítjuk össze a levált csapadékot a mérőoldatos próbával.

5.2.30. SiO_3^{2-} . (a) Molibdenáttal a foszforsavhoz hasonlóan mutatható ki, de oxálsav hozzáadásával megakadályozzuk a foszforsav reakcióját. A kolloid SiO_2 nem reagál, csak lúgos főzés után. 20 ml-ben 10–100 μg szilikát határozható meg. 20 ml oldathoz 1 ml foszfátreagens A-t, majd 10 perc múlva 1 ml 6%-os oxálsavoldatot, végül 1 ml foszfátreagens B-t adunk. 60 °C-os vízfürdőben tartjuk 30 percig, lehűtjük, és aztán hasonlítunk össze. Itt is használhatunk aszkorbinsavat.

(b) Nagyobb mennyiségű szilikát szennyezést úgy is kimutathatunk, hogy az anyagot sósavval többször szárazra pároljuk, majd híg savval felvesszük a maradékot. SiO_2 csapadék képződik.

5.2.31. Br^- . Az előírt mennyiségű anyagot 5 ml vízben oldjuk. Egy csepp tízszeresére hígított klórosvizet és 1 ml kloroformot adunk hozzá, és jól összerázzuk. A kloroform szintelen maradjon. Több anyagnál a kloroform mennyiségét nem növeljük!

5.2.32. I^- . Az előírt mennyiségű anyagot 5 ml vízben oldjuk, felmelegítjük 50–60 °C-ra, majd 1 csepp 10%-os sósavval és 3 csepp 0,1 M-os vas(III)-klorid oldattal elegyítjük. Lehűtés után 1 ml kloroformmal erélyesen összerázzuk. A kloroform szintelen maradjon. Több anyagnál a kloroform mennyiségét nem növeljük!

5.2.33. SCN^- . 20 ml oldathoz 5 ml 25%-os sósavat és 3 csepp 0,1 M-os FeCl_3 oldatot adunk. Az összehasonlító oldat 5 ml 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ koncentrációjú mértékoldatot tartalmaz.

□

5.2.34. S^{2-} . Az anyagot vízzel 20 ml-re oldjuk, és hozzáadunk 1 ml lúgos ólomacetát oldatot; a lúgos ólomacetát oldat úgy készül, hogy 0,5 M-os ólomacetát oldathoz addig adunk 2 M-os nátrium-hidroxid oldatot, amíg az eleinte keletkező csapadék éppen feloldódik. Az összehasonlító oldat a mintával azonos térfogatban 1,0 ml 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ koncentrációjú szulfid mértékoldatot tartalmaz (kisebb pontossági igény esetén például glicerines nátrium-szulfid oldatból készíthetjük). A keletkezett sötét színeződést 5 perc múlva hasonlítjuk össze.

5.2.35. CO_3^{2-} . Az anyagot frissen kiforralt vízzel 15 ml-re oldjuk, és hozzáadunk 5 ml mézsvizet. Az összehasonlító oldat a mintával azonos térfogatban 10 ml 10 $\mu\text{g/ml}$ koncentrációjú CO_3^{2-} törzsoldatot tartalmaz. Összehasonlítás 30 perc múlva. A vizsgálatot benzín védőréteg alatt hajtjuk végre. Ha az anyag zavarja a kimutatást, a szén-dioxidot benzín alatti, frissen kiforralt vízbe desztillálhatjuk kénsav hozzáadása után, hasonlóan, mint ahogyan az ammóniát desztilláltuk.

5.2.36. BrO_3^- , IO_3^- . 1 g-ot 10 ml frissen kiforralt vízben oldunk. Ha az oldat nem tartalmaz jodidot, 0,1 ml 10%-os KI-oldatot adunk hozzá. 1 ml keményítő indikátor oldat hozzáadása után 0,2 ml 1 M-os kénsavval megsavanyítjuk. 10 percen belül sem kék, sem ibolya színeződés nem keletkezhet ($\approx 0,001\%$ bromát vagy jodát).

Keményítő indikátor oldat: 100 ml vízben élénk forralás közben 0,1 g szalicilsavat oldunk. A forró oldatba 1 g burgonyakeményítő és 20 ml víz jól összerázott tejszerű keveréket csorgatjuk, majd a folyadékot addig forraljuk — a vizet pótolva — amíg csak gyengén opaleszkáló oldat keletkezik. A szalicilsav konzerválószer, anélkül az oldat megpenészedik.

□

5.2.37. ClO_3^- . Az előírt mennyiségű anyagot 10 ml vízben oldjuk, majd hozzáadunk 0,1 ml 10%-os KI oldatot, 1 ml keményítő indikátor oldatot és 1 ml 25%-os sósavat. Sötét helyen 1 órai állás után nem kékülhet meg.

5.2.38. $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, S^{2-} , SO_3^{2-} . 2 ml 0,1 M ezüst-nitrát oldathoz annyi 2 M ammónia oldatot csepegtetünk, amennyi a kezdetben keletkezett barnás színű csapadékot éppen feloldja. Másik kémcsőben 10 ml oldatot felforralunk. Az oldatokat összeöntve vízfürdőben 10 percig melegítjük. Nem színeződhet. □

5.2.39. Al. A szükséges mennyiségű anyagot vízzel 30 ml-re oldjuk, 20 ml pufferoldatot és 2 ml aurintrikarbonsavas ammóniumoldatot adunk hozzá. Az összehasonlító oldat a mintával azonos térfogatban 1,0 ml 10 $\mu\text{g/ml}$ koncentrációjú alumínium törzsoldatot tartalmaz. Mindkét oldatot 90–95 °C-ra melegítjük, és a keletkezett rózsaszín színeződést hasonlítjuk össze.

Aurintrikarbonsavas ammónium oldat: 0,1 g aurintrikarbonsavas ammóniumot és 0,3 g keményítőt vízzel melegítés közben 100 ml-re oldunk, mint ahogy a keményítő indikátor oldatot is készítjük. Az oldat keményítő tartalma miatt könnyen megpenészedik. Keményítő helyett 0,5 g polivinil-alkoholt is használhatunk, ez az oldat állandó.

Pufferoldat: 100 ml-ben 0,32 g ecetsavat és 0,68 g ammónium-acetátot tartalmaz. □

5.2.40. Ba. Az előírt mennyiségű anyagot 20 ml vízben oldjuk, 4 csepp 1 M-os kénsavat adunk hozzá, és 2 órán át állni hagyjuk. Nem szabad zavarosodásnak keletkeznie. □

5.2.41. Na. A szükséges mennyiségű anyagot vízzel 100 ml-re oldjuk. Az oldat nátriumtartalmát a lángfestés alapján határozzuk meg. A lángfestés nem lehet erősebb, mint amely a megfelelő mennyiségű nátrium törzsoldatnak vízzel 100 ml-re való hígításával készül. □

5.2.42. Példa: kálium-klorid. Oldhatatlan max. 50 ‰‰ ; Savasság (HCl) max. 20 ‰‰ ; Lúgosság (KOH) max. 30 ‰‰ ; Br^- n.k.: 1 g; I^- n.k.: 1 g; ClO_3^- n.k.: 1 g; SO_4^{2-} max. 30 ‰‰ ; N max. 5 ‰‰ ; PO_4^{3-} max. 20 ‰‰ ; As n.k.: 1 g; Nehéz fémek (Pb, Fe, Zn) max. 5 ‰‰ ; Fe max. 3 ‰‰ ; Al max. 10 ‰‰ ; Ca max. 10 ‰‰ ; Ba n.k.: 5 g; Mg max. 5 ‰‰ ; Na max. 0,2 ‰ ; Tartalom min. 99,8%.

A foszfátmeghatározáshoz 1,5 g anyagot három ízben 10–10 ml tömény kénsavval szárazra párolunk.

5.2.43. Példa: nátrium-klorid. Oldhatatlan max. 50‰‰; Szárítási veszteség max. 0,2%; pH 5,0–8,0; Br⁻ n.k.: 1 g; I⁻ n.k.: 1 g; SO₄²⁻ max. 20‰‰; N max. 10‰‰; PO₄³⁻ max. 5‰‰; As n.k.: 1 g; Nehéz fémek (Pb, Fe, Zn) max. 5‰‰; Fe max. 1‰‰; Ca max. 40‰‰; Ba n.k.: 1 g; Mg max. 10‰‰; K max. 0,01%; Oxidáló anyagok n.k.: 1 g; Tartalom 99,9–100,2%.

A foszfátmeghatározáshoz 1,5 g anyagot három ízben 10–10 ml tömény kénsavval szárazra párolunk. A tartalmat szárított anyagból határozzuk meg.

5.2.44. Példa: ammónia oldat, 25%-os. Szín: e.sz.; Sűrűség max. 0,910 kg/l; Bepárlási maradék max. 25‰‰; Cl⁻ max. 0,5‰‰; S max. 5‰‰; Nehéz fémek (Pb, Fe, Zn) max. 1‰‰; H₂S max. 0,6‰‰; PO₄³⁻ max. 1‰‰; CO₃²⁻ max. 40‰‰; As n.k.: 5 ml; Fe max. 0,2‰‰; Ca max. 2‰‰; Mg max. 2‰‰; Redukáló anyagok n.k.: 7 g; Tartalom min. 25%.

A S meghatározásához 10 g ~-ot 0,1 g Na₂CO₃-tal kb. 5 ml-re bepárolunk, és ebből végezzük a meghatározást. Az As meghatározáshoz 5 ml ~-ot vízzel 10 ml-re hígítunk, vízfürdőn 1 ml-re pároljuk, 3 ml sósavat adunk hozzá, és ehhez adjuk az ón(II)-klorid oldatot. A Cl⁻, PO₄³⁻, Nehéz fémek (Pb, Fe, Zn), Fe, Ca és Mg meghatározást szárazmaradékból végezzük. A Cl⁻ meghatározásnál 0,1 g Na₂CO₃-ot is adunk a szárazra párlandó oldathoz. A Ca meghatározáshoz a száraz maradékot 0,5 ml 25%-os sósavval újra bepároljuk. A maradékot 10 ml vízzel vesszük fel, és szükség esetén szűrjük. A Mg meghatározásnál a száraz maradékot 30 percig 105 °C-on szárítjuk, és 0,5 ml 25%-os sósav és 9 ml víz elegyével vesszük fel és 10%-os ammónia oldattal semlegesítjük.

5.3 Hulladékból vegyszer

5.4 Segít az áram

5.5 Még néhány hasznos vegyszer

6

Kémiai analízis

- 6.1 Mivel foglalkozik a kémiai analízis?
- 6.2 Elővizsgálatok
- 6.3 Azonosítás: első és második oszlop
- 6.4 Azonosítás: harmadik és negyedik oszlop
- 6.5 Azonosítás: ötödik és hatodik oszlop
- 6.6 Azonosítás: hetedik és nyolcadik oszlop
- 6.7 Összetett analízis
- 6.8 Néhány gyakorlati feladat
- 6.9 Mi van egy szerves vegyületben?

7

Táblázatok

7.1 Szilárd anyagok adatai

Anyag [†]	sűrűs. g/cm ³	kem. Mohs	kem. kbar	szakít. kbar	rug.hat. kbar	Young kbar
Alumínium	2,7	3	2,3–4,4	0,9–1,6	0,35–1,5	700
Kvarcüveg	2,2	7		3–11,5	3–11,5	600
Bronz, Bz10	8,8	4	24	3–9	1–3	1110
Vas	7,86		13–17,5	4,5–6,3	2,6–4,3	2070
Rozsdamentes V2A acél	8,02		16–38	7–14	2,1–11,4	1930
Acélok	7,7–8,1	6,5		7–32	2–8	
Invar	8,0					
Volfram	19,3	4,5–8	29–	32–43	25–37	3670
Platina	21,4	4,5	6,4–10	3,4	2,6	1520
Sárgaréz, Sr65	8,47	3,5	5,4–18	3,3–5,1	1,3–4,1	1040
Forrasztóón, 50-es	8,89		1,4	0,46		
Nikkel	8,89		10–21	4,9–7,3	1,4–6,6	2070
Magnézium	1,77		5,5–7,1	2,6–2,9	1,5–2,2	450
Ezüst	10,5		3–9	1,6–3,0	0,8–2,6	720
Arany	19,3		2,8–4,8	1,2–2,1		740
Vörösréz	8,91		4,1–9,8	2,2–3,2	0,69–28	1180
Cink	7,14		4,0–6,4	1,35–1,85		
Ón	7,29		3,8	0,14		410
Ólom	11,35		0,5	0,17	0,13	137
Korund	4,0	9				
Porcelán	2,3–2,5	7–7,5		0,32		700–900
Grafit	2,22	<1	0,1–0,24	0,03–0,06		56–98
Gyémánt	3,51	10	880			
Selyem				4,5	1	
Pókfonal				4,2	1	
Üveg, közönséges	2,4	5–6,5		2–34		500–800
Üveg, labor		5–6,5		2–34		400–1000

Anyag [†]	sűrűs. g/cm ³	kem. Mohs	kem. kbar	szakít. kbar	rug.hat. kbar	Young kbar
Erdeifenyő	0,52		0,40 ⁰ 0,19 ^{0±}	1,04 , 0,030 [±]		120
Lucfenyő	0,47		0,32 ⁰ 0,12 ^{0±}	0,90 , 0,027 [±]		110
Vörösfenyő	0,59		0,48 ⁰ 0,19 ^{0±}	1,07 , 0,023 [±]		138
Akácfa	0,87		0,80 ⁰	1,48 , 0,040 [±]		136
Bükkfa	0,73		0,72 ⁰ 0,30 ^{0±}	1,30 , 0,070 [±]		160
Diófa	0,68		0,51 ⁰ 0,28 ^{0±}	1,00 , 0,035 [±]		125
Égerfa	0,54		0,38 ⁰ 0,16 ^{0±}	0,94 , 0,020 [±]		117
Fűzfa	0,57		0,35 ⁰ 0,16 ^{0±}	0,60		72
Gesztenyefa	0,57		0,33 ⁰ 0,18 ^{0±}	1,35		90
Gyertyánfa	0,83		0,71 ⁰ 0,36 ^{0±}	1,35 , 0,245 [±]		162
Hársfa	0,54		0,44 ⁰ 0,22 ^{0±}	0,87 , 0,500 [±]		76
Juharfa	0,63		0,62 ⁰ 0,27 ^{0±}	0,82		94
Kőrísfa	0,69		0,65 ⁰ 0,37 ^{0±}	1,60 , 0,070 [±]		120
Nyárfa	0,39		0,20 ⁰	0,43 , 0,032 [±]		80
Nyírfa	0,73		0,77 ⁰ 0,34 ^{0±}	0,70 , 0,064 [±]		144
Platánfa	0,63		0,45 ⁰ 0,25 ^{0±}	0,053 [±]		100
Szilfa	0,68		0,59 ⁰ 0,29 ^{0±}	0,80 , 0,040 [±]		110
Tölgyfa	0,69		0,69 ⁰ 0,35 ^{0±}	0,90 , 0,040 [±]		130
Afrikai vasfa	1,07		1,30 ⁰ 0,90 ^{0±}	2,17 , 0,045 [±]		225
Rétegelt lemez	0,60			0,65 , 0,55 [±]		100
Polietilén, kemény	0,94–0,96		0,40–0,65	0,18–0,35		7–14
Polietilén, lágy	0,914–0,928		0,13–0,20	0,08–0,23		2–5
Polipropilén	0,900–0,907		0,36–0,70	0,21–0,37		11–13
PVC, kemény	1,38–1,55		0,75–1,55	0,50–0,75		10–35
PVC, lágy	1,16–1,35			0,10–0,25		
Polisztirol	1,05		1,20–1,30	0,45–0,65		32–32,5
Plexi	1,17–1,20		1,80–2,00	0,50–0,77		27–32
Teflon	2,15–2,20		0,27–0,35	0,25–0,36		4,1
Nylon	1,14		1,0	4,5–7,7	0,65–1,6	20–100
Polikarbonát	1,2		1,1	0,56–0,67		21–24
Bakelit	1,4		2,5–3,2	0,25		56–120
Epoxigyanta	1,9		1,0–2,1	0,30–0,40		215
Celluloid	1,38		0,6–0,9	0,40–0,60		25

[†]: Az értékek nem tiszta, hanem a szokásos kereskedelmi anyagokra vonatkoznak. Faanyagok esetén 15 %-os nedvességtartalomra (kb. légszáraz) vonatkoznak az adatok. Műanyagoknál általában nem adtunk meg rugalmassági határt, mert már kis erőhatásra is maradandóan nyúlnak. ^{||}: száliránnyal párhuzamosan. [±]: szálirányra merőlegesen. ⁰: az átmérő irányában. ^{0±}: érintőirányban.

Anyag†	fajhő J/g	hőtág. 10 ⁻⁶ /°C	hővez. W/(m·°C)	o.p. °C	o.hő J/g	f.p. °C
Alumínium	0,96	23	222	650	380	2056
Kvarcüveg	0,73	0,5	1,34	1700*	-	2230
Bronz, Bz10		18	51	1000		
Vas	0,45	12	52	1510	268	3000
Rozsdamentes V2A acél	0,50	17	16,3	1410		
Acélok			4–19		1400–1500	
Invar		0,8		1495		
Volfram	0,14	4,3	200	3370		5900
Platina	0,13	9,0	67	1755	113	4300
Sárgaréz, Sr65	0,38	18,9	120	930		
Forrasztóón, 50-es	0,21	24	45	216		
Nikkel	0,54	12	61	1440	293	2900
Magnézium	1,03	26	78	627	373	1110
Ezüst	0,23	19	418	960	105	1950
Arany	0,15	14	153	1063	66	2600
Vörösréz	0,39	17	390	1083	209	2300
Cink	0,39	23–32	108	419	109	907
Ón	0,40	23	62	232	59	2260
Ólom	0,13	30	35	327	25	1620
Korund	1,38	7,4	4,1	2010		2210
Porcelán	0,8	3,8	1,0	1680		
Grafit	0,84	2	5,0	>3500		4200
Gyémánt	0,5	1	≈2000	>3500		4200
Selyem			0,052			
Pókfonal						
Üveg, közönséges	0,84	9,7	0,7–1,0	800*	-	-
Üveg, labor	0,84	3,3–5,0	1,1	800–1000*	-	-

Anyag [†]	fajhő J/g	hőtág. 10 ⁻⁶ /°C	hővez. W/(m·°C)	o.p. °C	o.hő J/g	f.p. °C
Erdeifenyő	1,78	≈3,8 ≈27 [⊥]	≈0,093 [⊥]	≈150**	-	-
Lucfenyő	1,78	≈3,3 ≈29 [⊥]	0,22 0,12 [⊥]	≈150**	-	-
Vörösfenyő	1,78			≈150**	-	-
Akácfa	1,78			≈150**	-	-
Bükkfa	1,78	≈6,8 ≈48 [⊥]	0,26 ≈0,22 [⊥]	≈150**	-	-
Diófa	1,78	≈2,6 ≈48 [⊥]		≈150**	-	-
Égerfa	1,78			≈150**	-	-
Fűzfa	1,78			≈150**	-	-
Gesztenyefa	1,78	≈6,5 ≈32 [⊥]		≈150**	-	-
Gyertyánfa	1,78			≈150**	-	-
Hársfa	1,78	5,5 44 [⊥]		≈150**	-	-
Juharfa	1,78	≈4,0 ≈28 [⊥]	0,43 ≈0,15 [⊥]	≈150**	-	-
Kórisfa	1,78	0,50	0,31 ≈0,17 [⊥]	≈150**	-	-
Nyárfa	1,78	≈3,4 ≈29 [⊥]		≈150**	-	-
Nyírfa	1,78	≈3,5 ≈35 [⊥]	≈0,14 [⊥]	≈150**	-	-
Platánfa	1,78			≈150**	-	-
Szilfa	1,78	5,6 44 [⊥]		≈150**	-	-
Tölgyfa	1,78	≈4,2 ≈35 [⊥]	0,29 ≈0,17 [⊥]	≈150**	-	-
Afrikai vasfa	1,78			≈150**	-	-
Rétegelt lemez	≈1,78			150**	-	-
Polietilén, kemény	2,1–2,7	200	0,38–0,51	90–120*	-	-
Polietilén, lágy	2,1–2,5	250	0,32–0,40	80–90*	-	-
Polipropilén	2,0	150	0,17–0,22	140*	-	-
PVC, kemény	0,85–0,90	70–80	0,14–0,17	75–100*	-	-
PVC, lágy	0,9–1,8	150–210	0,15	55–65*	-	-
Polisztirol1,3	70	0,18	60–80*	-	-	-
Plexi	1,47	70	0,18	85–100*	-	-
Teflon1,0	100	0,25	300*	-	-	-
Nylon	1,7	80	0,23	170–200*	-	-
Polikarbonát	1,17	60–70	0,21	160*	-	-
Bakelit	1,3	30–50	0,35	140**	-	-
Epoxigyanta	0,8	11–35	0,88	180**	-	-
Celluloid	1,4–1,6	100	0,18	120**	-	-

[†]: Az értékek nem tiszta, hanem a szokásos kereskedelmi anyagokra vonatkoznak. Faanyagok esetén 15%-os nedvességtartalomra (kb. légszáraz) vonatkoznak az adatok. *: lágyuláspont. **: bomlási hőmérséklet. ^{||}: száliránnyal párhuzamosan. [⊥]: szálirányra merőlegesen.

7.2 Oldhatóságok vízben, súlyszázalékban

Gázoknál az össznyomás 1 atm

Rövidítések:

dőlt számjegyek a százaléknál = más koncentrációegység

° = °C

görög betű = módosulat

arab szám = kristályvíz

római szám = többféle oldhatóság, kristályvízfüggő

J = jég

E(x+y) = eutektikus pont

Á(x→y) = átváltozás

S(x) = szilárd fázis

O = oldhatóság

O(x) = hidrát olvadáspontja

P = pont az olvadási görbén

P(x) = pont az olvadási görbén, szilárd fázis megadásával

F = forráspont oldhatósággal

F(x) = forráspont hidráttal és oldhatósággal

‰, ‰_∞, ... = a százalék törtrésze

v = vagy

mst = metastabil

ac. = acetát

aszkor. = aszkorbinát

benz. = benzoát

citr. = citrát

form. = formiát

lakt. = laktát

ox. = oxalát

palm. = palmitát

szali. = szalicilát

tart. = tartarát

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
AgBr			1‰ _∞	5‰ _∞	7,5‰ _∞	1,6‰ _∞	2,5‰ _∞	
AgCl	5‰ _∞		1,6‰ _∞	3,5‰ _∞	7‰ _∞	1,3‰ _∞	2‰ _∞	
Ag ₂ CrO ₄	1,5‰ _∞	2‰ _∞	2,9‰ _∞	4,4‰ _∞	6,5‰ _∞			
AgNO ₃	53,49	61,45	68,30	77,0	82,49	86,70	91,10	
	E(J+0):46,9/−7,57°							
Ag ₂ O			1,6‰ _∞	3,6‰ _∞	4,75‰ _∞	6,5‰ _∞		
Ag ₂ SO ₄			0,784	0,941	1,108	1,283	1,48	

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
AlCl ₃	31,0	31,3	31,6	32,0	32,2	32,5	33,00	S(6)
Al(NO ₃) ₃	38,1	40,1	41,9	45,6	50,0	59,4	61,3	
Al ₂ (SO ₄) ₃	23,9	25,0	26,9	31,5	36,4	41,7	47,0	E(J+9):30,5/-27°; O(9):56,8/72°; E(9+8):59/71°; Á(8→6):82/102°; E(J+18):23,1/-4°
BaCl ₂	23,5	25,0	26,0	29,0	31,6	34,2	37,0	O:39/150°; E(J+2):22,5/-7,8°; Á(2→1):37,5/102°; Á(1→0):50/270°;
BaF ₂		0,16	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	O:0,05/150°;
Ba(NO ₃) ₂	4,95	6,0	8,0	12,0	17,0	21,5	25,0	O:35/150° F(0):21,6?/101,1°; E(J+0):4,56/-0,55°;
Ba(OH) ₂	1,50	2,5	3,9	7,9	17,5	53,5	63,1	mts. fázisok E(J+8):1,65/-0,5°; Á(8→3):52,4/77,9°;
BaS	2,91	4,76	7,25	13,71	21,88	33,28	38,0	Á(6→?):40,2/90°;
BaSO ₃			19,5/∞				1,7/∞	
BaSO ₄	1,7°/∞	2,1°/∞	2,5°/∞	3,2°/∞	3,5°/∞	3,8°/∞	3,9°/∞	
BaS ₂ O ₃		0,19	0,249	0,328	0,398			
Ba[SiF ₆]	0,015	0,018	0,022	0,029	0,036			O:0,041/70°, 0,044/78°
Be(NO ₃) ₂	49,5	50,5	52,0	55,58	63,0			S(4); O(4):64,8/61°;
BeSO ₄	26,2	27,0	28,0	31,08	38,8	37,5	30,0	E(J+5):24,0/-14,5°; Á(5→4):25,0/-16,9°; Á(4→0):41,14/76,°;
Br ₂	0,2	0,42	0,39	0,39	0,41			mol°/∞; E(J+8):0,25/-0,3°; Á(8→0):0,428/5,84°;
CH ₄	3,96/∞	2,95/∞	1,16/∞	1,14/∞	0,69/∞			
CO	4,40/∞	3,48/∞	2,84/∞	2,07/∞	1,52/∞	0,98/∞		
CO ₂	0,3335	0,2313	0,1585	0,0972	0,0576			
C ₂ H ₂	0,200	0,150	0,117					O:0,094/30°;
C ₂ H ₄	2,81/∞	2,00/∞	1,49/∞					O:1,18°/30°
C ₂ H ₆	1,32/∞	0,87/∞	0,62/∞	0,37/∞	0,24/∞	0,13/∞		
Ca-ac.	27,55	26,47	25,65	24,81	24,81	27,27	22,48	Á(2→1):27,27/84°;
Ca-benz.	2,2	2,3	2,4	3,5	5	7	9	E(J+3):2,22/-0,37°; Á(3→1):7,62/84,7°;
CaBr ₂	55,5	57,0	59,0	68,0	73,5	74,3	75,4	O(6):65/34°; E(6+4?):67/34°; Á(4?→2?):73/54°;
CaCO ₃			1,5/∞				62/∞	
CaCl ₂	37,0	39,5	42,5	56,0	58,0	59,5	61,2	O:63,2/120°, 69/160°; F(1v2):75,3/178,0°; E(J+6):30,2/-49,8°; Á(6→4):50,1/29,8°; Á(4→2):56,6/45,3°; Á(2→1):74,8/175,5°;

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
Ca(ClO ₃) ₂	63,7	65,0	66,2	69,4	73,1	77,1	78,5	O:79,7/120°;
	85/200°; E(J+6):45,5/-41°; Á(6→4):55/-26,8°;							
	Á(4→2):62,7/-7,8°; Á(2→0):77/76°;							
Ca ₂ [Fe(CN) ₆]	32,0	33,5	35,5	39,7	44,2	44		
	E(J+11):30,45/-10,1°; Á(11→?):44/50°;							
Ca-form.	13,94	14,09	14,24	14,54	14,9	15,25	15,61	
CaHPO ₄				0,014	0,018		0,025	S(0);
	S(2)O:0,01/25°;							
CaI ₂	66,0	66,4	67,0	70,8				O(6):73/42°;
	E(6+x):74/41,5°;							
Ca(IO ₃) ₂	0,1	0,15	0,25	0,505	0,62	0,68		
	Á(6→1):0,48/33°; Á(1→0):0,62/57,5°;							
Ca-lakt.	3,0	4,398	5,838					S(2);
CaMoO ₄	4‰		5‰		9‰		2,4‰	
Ca(NO ₃) ₂	50,0	53,0	56,0	65,2	78,0	78,2	78,6	mst fázisok;
	E(J+4):30,45/-28,7°; F(4α):69,5/42,7°; E(4α+3):≈69,6/42,6°;							
	F(3):75,25/51,1°; E(3+2):≈77/50,6°; Á(2→0):77,8/51,6°;							
Ca(OH) ₂	0,19	0,18	0,17	0,13	0,11	0,087	0,066	O:0,048/120°;
Ca-ox.	5‰	5‰	5,1‰	8‰	1‰	1,3‰		
CaS				0,11	0,14	0,2		
CaSO ₃		0,132	0,134	0,135	0,134	0,132	0,13	
CaSO ₄	0,176	0,193	0,199	0,21	0,15	0,1	0,065	O:0,04/120°;
	E(J+6):30,2/-49,8°; Á(2→0):≈0,21/42°; Á(mst 2→mst 1/2):0,17/97°;							
	F(4α):69,5/42,7°; E(4α+3):≈69,6/42,6°;							
CdCl ₂	49,0	55,5	57,5	57,6	58,0	58,5	59,5	
	E(J+4):43,4/-11,5°; Á(4→5/2):46,2/-5°; Á(5/2→1):57,3/12,5°;							
	Á(1→0):69/174°;							
Cd(NO ₃) ₂	51,5	57,5	60,5	66	86	86,6	87,2	
	E(J+9):36,9/-16°; Á(9→4):56,1/3,5°; O(4):76,6/59,5°;							
	E(4+2):82,3/48,7°; Á(2→0):86/56,8°;							
CdSO ₄	43,0	43	43,5	44,3	45,0	43,5	37	
	E(J+8/3):43/-12°; Á(8/3→1β):44,3/44,5°; Á(1β→1α):40,9/74,5°;							
	Á(1α→0):34,5/114,5°;							
Cl ₂	0,125	0,25	0,48					mol‰;
	nagy nyomás; E(J+8):0,125/-0,24°;							
	Á(8→2 folyékony fázis):0,922/28,7°;							
Cl ₂		0,9874	0,7240	0,4570	0,3284	0,2222		
ClO ₂	0,75	1,55						mol‰;
	E(J+8):0,73/-0,79°; Á(8→0):3,13/18,2°;							
CoCl ₂	28,8	31	33,5	40,2	48,1	49,3	51,3	
	E(J+6):24/-22,5°; Á(6→4):46,3/50°; Á(4→2):48,1/60°;							

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
Co(NO ₃) ₂	45,4	47,6	50,0	55,5	62,8	68,0		O(3):77,2/91°;
	E(J+9):38,7/-29°; Á(9→6):41,5/-22°; Á(6→3):61,7/55°;							
CoSO ₄	20,0	22,77	25,93	31,97	35,9	32,9	27,55	
	E(J+7):19/-2,7°; Á(7→6):32,9/43,3°; Á(6→1):36,63/64,2°;							
CrO ₃	62,0	62,4	62,8	64,0	65,2	66,5	68,5	O:71,0/120°,
	75,0/140°; 82/160°; E(J+0):60,5/-155°;							
Cs ₂ ClO ₄		0,99	1,48	3,1	6,8	12,6	22,2	
CuCl ₂	41,0	41,6	42,2	44,7	46,6	49,2	52,5	
	E(J+4):39,9/-43,4°; Á(4→3):42,1/15°; Á(3→2):43,6/25,7°;							
	Á(2→1):45,2/42,2°;							
Cu(NO ₃) ₂	45,0	50,2	57,0	61,8	64,0	67,5	71,6	O(3):77,6/114,5°;
	E(J+9):35,9/-24°; Á(9→6):39,8/-20°; Á(6→3):61,4/24,5°;							
CuSO ₄	12,5	14,4	16,9	22,2	28,5	35,9	43,5	F(3):45,1/104,2°
	E(J+5):11,97/-1,5°; Á(5→3):43,37/95,5°;							
FeBr ₂	50,8	52,0	53,5	57,0	59,0	62,6	64,5	
	E(J+9):42,25/-43,6°; Á(9→6):47,65/-29,3°; Á(6→4):58,45/49°;							
	Á(4→2):63,3/83°;							
FeCl ₂	33,0	36,7	38,6	41,0	44,0	47,5	48,6	
	E(J+6):30,4/-36,5°; Á(6→4):37,6/12,3°; Á(4→2):47,4/76,5°;							
FeCl ₃	43,0	45,0	48,0	74,3	79,0	84,0	84,2	mst fázisok;
	E(J+6):28,5/-35°; O(6):60/37°; E(6+7/2):68,6/27,4°; O(7/2):72/32,5°;							
	E(7/2+5/2):73,2/30°; O(5/2):78,3/56°; E(5/2+2):78,6/55°; O(2):84/66°;							
Fe(NO ₃) ₂	41,5	43,3	45,5	50,8	61			O(6):62,5/60,5°;
	E(J+9):35,5/-28°; Á(9→6):39,4/-12°;							
FeSO ₄	13,8	17,0	21,0	28,5	36,5	30,0		
	E(J+7):12,99/-1,82°; Á(7→4):35,32/56,17°; Á(4→1):35,65/64°;							
H-aszkor.	11,38	14,97	18,17	24,7	29,7	33,6	36,63	
H-benz.	1,7			5,51			56,31	g/l
	O:2,7/18°, 3,44/18°, 21,45/75°;							
HBr	68,87	67,77	66,44					O:64,79/25°,
	63,17/50°; innen mol% P(J):10/-55°; O(4):20/-55,8°;							
	E(4+3):21,24/-57°; O(3):25,0/-48°; E(3+2):25,17/-48,2°;							
	O(2):33,33/-11,3°; E(2+1):37,4/-15,5°;							
HCl	45,15		41,86	38,76	35,94			O:40,22/30°,
	37,34/50°; innen mol% P:10/-15°; E(J+3):14,02/-86°; O(3):25/-24,9°;							
	E(3+2):27,93/-27,5°; O(2):33,33/-17,7°; E(2+1):39,86/-23,2°;							
HClO ₄	II	II	II	II	100	100	100	mst fázisok
	innen mol% E(J+11/2):10,9/-59,7°; O(11/2):15,4/-41,0°;							
	E(11/2+7/2):≈17,1/≈-46,7°; O(7/2α):22,2/-33,5°;							
	E(7/2α+3α):23,7/-38°; O(3α):25/-37°; E(3α+5/2):25/-37°;							
	O(5/2):28,6/-29,8°; E(5/2+2):28,6/-29,8°; O(2):33,33/-17,8°;							
	E(2+1):36,5/-23,6°; O(1):50/50°; E(1+0):≈99,5/≈-102°;							

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
HF	100	100	100	100	100	100	100	innen mol% P:20/-36,8°; E(J+1):27,6/-70,2°; O(1):50/-35,4°; Á(1→1/2):68,5/-75,2°; E(1/2+1/4):77,6/-101,4°; O(1/4):80/-100,3°; O(0):100/-83°;
H-form.	95	100	100	100	100	100	100	E(J+0):70/-49°;
HI	100	100	100	100	100	100	100	innen mol% E(J+4):11,31/-80°; O(4):≈20/≈-36,5°; E(4+3):21,77/-49°; O(3):25/-48°; E(3+2):28,05/-56°;
H-lakt.	100	100	100	100	100	100	100	
HNO ₃	100	100	100	100	100	100	100	innen mol% P:10/-30,5°; E(J+3):12,2/-43°; O(3):25/-18,5°; E(3+1):40,6/-42,0°; O(1):50/-38,2°; E(1+0):≈71,5/≈-66°;
H-palm.	4,5°/°	5,7°/°	7°/°	9,4°/°	1,2°/°			
H-szali.	0,08	0,12	0,179	0,398	0,852			
H ₂	1,9°/°	1,7°/°	1,6°/°	1,4°/°	1,2°/°	0,8°/°		
H ₂ O ₂	100	100	100	100	100	100	100	innen mol% P:10/-12°, 20/-28°; E(J+2):29,9/-51,8°; O(2):33,3/-52,1°; E(2+0):≈45,5/≈-56,2°; O(0):100/-1,7°;
H ₂ -ox.	3,84	5,48	7,4	18,7				S(2);
H ₂ S	0,7016	0,5086	0,3831	0,2355	0,1478	0,0764		
H ₂ SO ₃								→SO ₂
H ₂ SO ₄								→SO ₃
H ₂ -tart.	53,5	56	58	64	68	73	77,5	
H ₃ BO ₃	2,66	3,57	5,04	8,72	14,81	23,75	40,25	mst HBO ₂ ; innen B ₂ O ₃ mol% E(J+0):0,33/-0,76°; P:10/141°; Á(0→-1):21/169°; E(-1+3/2):55,1/235°;
H ₃ -citr.	55,7	59,2	62					E(J+1):46,47/-11,8°;
H ₃ PO ₄								mol%
								P:10/-21°; E(J+1/2):23,41/-85°; O(1/2):66,67/29°; E(1/2+0):76,97/23,5°; P:90/36°;
H ₄ P ₂ O ₇						100	100	innen mol% P:10/-41°; E(J+3/2):12,69/-75°; O(3/2):40/26°; E(3/2+0):44,46/23°; P:60/40,5°, 80/54,6°; O(0):100/61°;
HgCl ₂	4,3	5,1	6,2	8,8	13,3	22,0	35,0	O:70/140°; E(J+0):3,29/-0,2°;
Hg ₂ Cl ₂	1,4°/°	1,7°/°	2,3°/°					
I ₂	0,017	0,022	0,03	0,055	0,105	0,23	0,46	
InCl ₃	62,1	64,0	66,7	71,4	75,2	78,8	81,0	mst fázisok; Á(4→3):69,4/28°; Á(3→5/2):78,45/71,5°; Á(5/2→2):81,2/100,5°;

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
K-ac.	68,3	70	72	76,3	78	79,3		F:86,2/161,0°
KAl(SO ₄) ₂	3,0	4,0	5,5	10,2	19,5	33,5	60,8	O(12):54,5/92,5°;
K-benz.	38,2	40	41,5	45	48	51	54	
KBr	35,0	37,5	39,4	43,0	46,0	48,7	51,0	O:53/120°;
KBrO ₃	3,0	4,5	6,5	11,7	18,2	25,4	32,5	O:45,8/140°;
KCN	38,0	39,1	40,4	43,5	46,9	50,7	54,4	
KCNO	33,3	37,4	41,1					
KCl	22,0	23,8	25,5	28,5	31,3	33,6	35,6	F(0):36,5/108,5°
KClO ₃	3,0	4,5	6,5	12,7	20,4	28,2	36,5	F(0):40,9/104,4°
KClO ₄	0,7	1,1	1,7	4,1	7,5	12,0	18,0	O:31,5/140°;
KF	30,3	35,0	48,5	58,5	59,0	60,0		mst fázisok;
K-form.	74,8	75,9	76	79,5	82,3	85,2	88,5	
KHCO ₃	18,5	21,6	25,0	31,0	37,5			
KHF ₂	19,6	23,5	27,6	36,0	44,5	53,3		
KH-tart.	0,199	0,398	0,596	1,186	2,39	4,17	6,45	S(2);
KH ₂ PO ₄	12,5	15,0	18,2	25,0	33,0			
KI	56,0	57,5	59,0	61,5	63,8	65,6	67,5	F(0):68,8/118,5°
KIO ₃	4,5	6,0	7,5	11,2	15,2	19,1	23,0	O:30,4/140°
KIO ₄	0,1	0,3	0,5	1,0	2,1	4,1	7,4	
KMnO ₄	3,0	4,0	6,0	11,1	18,0			
KNO ₂	72,5	73,2	74,0	75,3	76,7	78,2	79,4	O:64,5?/120°;
KNO ₃	11,5	17,5	24,0	39,3	52,6	62,5		F(0):77,2/115,0°
KNa-tart.	24,53	31,51	40,48					S(4);

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
KOH	49,0	51,0	53,2	57,6	59,1	61,5	64,2	mst fázisok; O:67,8/120°, 73,5/140°; E(J+4?):(31/-74°); Á(4→2):43,3/-33,0°; Á(2→1):57,0/33°; O(1):75,7/143°;
KReO ₄	0,47	0,5	1,0	2,0	4,0	7,6	11,8	O:44/200°; E(J+0):0,343/-0,046°;
KSCN	62,8	66,0	69,0	74,0	78,8	83,8	87,5	O:91,2/120°, 95/140°; E(J+0β):50,25/-31,2°; Á(0β → 0α):≈94,9/≈141°;
K-szali.	44	48	51,8	59,5	62	65	68	E(J+1):42/-10,5°; Á(1→0):58/31°;
K ₂ CO ₃	51,2	52,0	52,5	54,0	56,0	58,0	61,0	E(J+6):39,6/-36,5°; Á(6→3/2):51,6/-6,2°;
K ₂ CrO ₄	37,0	38,0	38,5	40,0	41,5	43,0	44,0	O:47/150°; E(J+0):36,2/-11,35°;
K ₂ Cr ₂ O ₇	4,5	7,3	11,0	21,0	32,0	42,0	50,5	O:57,9/120°; E(J+0):≈4,2/≈-0,63°;
K ₂ HP ₄	46,0	54,0	61,5	67,5	72,2	72,9	73,8	E(J+6):36,78/-13,5°; Á(6→3):60,2/14,3°; Á(3→0):71,9/48,3°;
K ₂ MoO ₄	63,71	64,03	64,3	64,84	63,1	66,93		O:67,53/120° E(J+0):62,7/-38°;
K ₂ -ox.	20,19	22,2	25,37					O:44,4/30°; E(J+1):19,87/-6,3°;
K ₂ [Pt(Cl) ₆]	0,596	0,794	1,088	1,67	2,53	3,57	4,76	
K ₂ SO ₃	51,4	51,4	51,6	52,0	52,3	52,8	53,1	E(J+0):51,0/-45,5°;
K ₂ SO ₄	7,0	8,5	10,0	12,7	15,2	17,5	19,4	F(0):24,0/102,1° E(J+1):7,09/-1,8°; Á(1→0):8,48/9,7°;
K ₂ S ₂ O ₃	49,0	53,5	60,8	67,2	70,2	74,6		E(J+2/3):19,2/-5,5°; Á(2/3→0):24,1/4°;
K ₂ S ₂ O ₈	1,77	2,5	4,5	10,0				g/100 ml
K ₂ [SiF ₆]	0,07	0,1	0,15	0,24	0,35	0,52	0,79	
K ₂ [TiF ₆]	0,497	0,89	1,28					S(1);
K ₂ -tart.	68	64	56	49				S(1/2);
K ₂ [ZrF ₆]		1,18	1,48	2,06	3,84	6,54	18,9	
K ₃ [Fe(CN) ₆]	23,5	28,0	31,5	37,0	41,4	44,5	47	E(J+0):21,7/-3,9°;
K ₄ [Fe(CN) ₆]	12,5	17,0	22,0	27,0	32,3	38,5	42	O:45/140°; E(J+3β):11,8/-1,7°; Á(3β ⇌ 3α):21,6/17,7°; Á(3α → 0):41/87,3°;
LiCl	41,0	42,8	45,0	47,0	49,7	53,0	56,1	O:57,9/140° F(0):60,2/168,6°; Á(3→2):≈38,5/≈-15°; Á(2→1):45,0/19,1°; Á(1→0):≈56/≈95°;
LiF	0,152	0,15	0,148	0,139	0,13	0,12	0,112	O:0,745/200°

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
LiNO ₃	35,0	37,6	42,0	59,0	62,5			O(3):56,1/29,88°
	E(J+3):31,2/-17,8°; E(3+1/2):57,8/29,6°; Á(1/2→0):65/61,1°;							
LiOH	11,2	11,25	11,3	11,5	12,3	13,2	15,0	
	E(J+1):11,2/-18°;							
Li ₂ CO ₃	1,5	1,415	1,32	1,15	0,99	0,84	0,73	
Li ₂ SO ₄	26,47	25,93	25,65	24,81	24,24	23,66	23,13	
	E(J+2?):27,8/-23°; Á(2→1):≈27,01/-8°; Á(1→0):23,55/232,8°;							
MgCl ₂	34,5	35,0	35,2	36,5	38,0	40,0	42,0	mst fázisok
	O:46,2/120°; F:38,6/130,0°; E(J+12):20,6/-33,6°;							
	O(12):30,5/-16,4°; Á(8α→6):34,3/-3,4°;							
	Á(6→4):46,1/116,7°;							
Mg(NH ₄)PO ₃			0,052	0,036				
Mg(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂	10,3	12,66	15,25	20,32	25,93	32,66	38,78	
	E(J+6):9,58/-2,34°;							
Mg(NO ₃) ₂	39,0	40,5	41,5	44,5	48,0	52,0	72,2	O:75,8/120°,
	82,3/140°, 84,2/180°; E(J+9):32,4/-31,9°;							
MgSO ₄	20,64	23,66	25,82	30,6	35,24	35,9	32,9	F:42,9/108,0°
	E(J+12):19/-3,9°;							
MnCl ₂	39,0	40,5	42,3	47,0	51,8	52,5	53,5	
	E(J+6):30,5/-26,5°; Á(6→4):38,5/-2°; Á(4→2):51,6/58°;							
	Á(2→1):63,7/198°; Á(1→0):85/362°;							
Mn(NO ₃) ₂	49,8	53,0	56,6	81,0	82,0			O(6):62,4/25,3°;
	E(6+4):64/23,5°; O(4):71,3/35,5°; E(4+2):77,2/36°;							
	Á(2→1):(81/36°);							
MnSO ₄	34,5	37,0	38,5	37,4	35,0	31,2	25,0	
	E(J+7):32,3/-11,4°; Á(7→5):37,2/9°; Á(5→1):39/23,9°;							
MoO ₃			0,13	0,448	1,18	2,06		
	Á(2→1):2,04/70,5°;							
NH ₃	47,2		34,7					O:41,9/8°,
	30,6/28°; innen mol% P:20/-33°; E(J+1):34,5/-100,3°;							
	O(1):50/-70°; E(1+1/2):58,5/-88°; O(1/2):66,6/-78,8°;							
	E(1/2+0):81,4/-92,5°;							
NH ₄ Al(SO ₄) ₂	2,5	3,9	5,5	10,5	18,0	30,5	57,8	O(12):52,2/95°;
	E(J+12):2,59/-0,2°; E(12+x):53,7/94,5°;							
NH ₄ Br	37,0	40,0	42,0	49,0	51,0	54,0	58,0	F(0):66/150°;
	E(J+0):32,1/-17°;							
NH ₄ Cl	23,0	25,0	27,0	32,0	35,0	40,0	44,0	F(0):46,6/114,8°;
	E(J+0):19,5/-16°;							
NH ₄ ClO ₄	11	14,8	18,4	26,0	33,6			
	E(J+0):9,8/-2,7°;							
NH ₄ F	42,0	43,0	45,0	48,0	53,0	59,0		
	E(J+1):32,3/-26,5°; Á(1→0):41/-16°;							
NH ₄ -form.	52	54	58,5	66,5	75	83,6	92,5	O(0):100/116°;

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
NH ₄ HCO ₃	10	13,5	17,2	26	37	52	78	
	E(J+0):9,5/-3,9°;							
NH ₄ HF ₂	28,8	32,0	37,8	49,0	61,8	74,2	86,0	O:96,8/120°
	E(J+0):23,6/-14,8°;							
NH ₄ H ₂ PO ₄	18	22,5	27	36,2	45,6	54,8	63,5	O:72,6/120°
	E(J+0):16,5/-4°;							
NH ₄ I	60,2	62,0	63,0	65,8	67,9	69,7	71,2	O:70,3/120°
	E(J+0):55,5/-27,4°;							
NH ₄ ReO ₄		0,01	0,02	0,05				
NH ₄ SCN	55,0		62,0	70,0	78,0			O:82/70°
NH ₄ NO ₃	53,6	60,0	65,5	74,5	80,5	86,2	91,0	
	E(J+0ε):42,3/-16,9°; Á(ε → δ):(43,3)/-16°; Á(δ → γ):72/32,5°;							
	Á(γ → β):(87,4)/84°; Á(β → α):(96,1)/125°;							
(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	15,0	21,0	26,0	36,6	46,0	53,8	61,0;	
(NH ₄) ₂ CuCl ₄	22	23,9	25,9	30,5	36,2			
	E(J+2):20,3/-11°;							
(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂	15,11	18,1	21,2	27,8	34,8	42,2		S(6);
(NH ₄) ₂ HPO ₄	36,5	38,5	40,8	45	49,2	54	59	
(NH ₄) ₂ -ox.	1,96	2,91	3,84	7,4	10,7	15,25	20,94	S(1);
(NH ₄) ₂ [PtCl ₆]	0,299	0,398	0,497	0,794	1,283	2,057	3,19	
	E(J+0):42/-25,2°;							
(NH ₄) ₂ SO ₃	32,5	35,0	35,7	44,3	51,0	59	60,5	
	E(J+1):42/-12,96°; Á(1→0):(59)/80,8°;							
(NH ₄) ₂ SO ₄	41,0	42,0	43,0	45,0	46,7	48,5	50,5	F(0):53,6/108,2°
	E(J+0):39,7/-18,5°;							
(NH ₄) ₃ PO ₄	8,6		16,87					S(3);
	O:18,96/25°, 27,38/50°;							
NO	9,83%	7,56%	6,17%	4,39%	3,24%	1,98%		
N ₂	2,94%	2,31%	1,90%	1,39%	1,05%	0,66%		
N ₂ O		0,1702	0,1210					
Na-ac.	26,47	29,1	32,1	39,4				F:67,4/125,0°
	E(J+3):23,31/-18°; Á(3→0):58/58°;							
NaBO ₂	14	17	20,2	29	39,1	45,8	55,8	
	Á(4→2):37,85/54°;							
Na-benz.	38,2	38,2	38,3	38,5	39	40,8	43	
	E(J+0):38,5/-14°;							
NaBr	44,2	45,7	47,5	51,5	54,0	54,4	55,0	O:55,5/120°;
	E(J+5):40,3/-28°; Á(5→2):41,5/-24°; Á(2→0):53,97/50,8°;							
NaBrO ₃	21,5	24,0	27,0	33,0	38,0	43,0	48,0	
NaCN	30,0	32,9	36,7	46,0				
	E(J+2):23,46/-26,4°; Á(2→0):44,82/34°;							

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
NaCl	26,3	26,4	26,5	26,8	27,0	27,5	28,0	F(0):28,9/108,8°
NaClO	22,7	26,8	34,6	53,0				O(5):44/24,5°
NaClO ₃	45,0	47,0	49,0	54,0	58,0	63,0	68,0	
NaClO ₄	62,5	64,3	66,5	71,0	74,0	75,3	77,0	
NaF	3,94	3,96	4,03	4,06	4,22	4,49		
Na-form.	30,6	37,5	46,24	51,69	54,75	57,98	62,4	
NaHCO ₃	6,5	7,5	8,6	11,2	13,7	15,4	19,2	O:22,2/120°;
NaH ₂ PO ₄	36	41	46	58	65,7	68	71	
NaI	61,5	62,8	64,0	68,5	72,0	74,6	75,0	O:77,5/180°;
NaIO ₃	2,1	4,0	8,1	12,0	16,5	21,0	25,0	
NaIO ₄		5,2	9,3	23,0				
NaMnO ₄	48,7	54	58,5	76,5	82,3			O(3):72/36°;
NaN ₃	28,0	28,5	29,2	30,9	32,2	34,0	35,5	
NaNO ₂	42,0	43,4	45,0	49,0	53,0	57,0	61,0	O:66/120°;
NaNO ₃	41,8	44,0	46,4	51,0	55,5	59,6	63,5	
NaOH	29,6	III	52,0	56,3	64,0	75,5	77,0	mst fázisok
Na-palm.	1,088/50°	27,88/90°	34,21/150°;					O:0,497/30°
NaSCN		53,0	57,5	63,9	65,0	67,0		
Na-szali.	22	31	50	54	57	59,5	62	
NaVO ₃			23,2	40,6				O:13,3/25°;

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
Na ₂ B ₄ O ₇	1,1	1,6	2,5	6,0	15,0	20,0	28,0	O:49/120° E(J+10):1,09/−0,45°; Á(10→4):14,5/58,5°; [Á(10→5):16,65/60,8°];
Na ₂ CO ₃	6,5	11,0	17,9	32,8	31,5	30,6	30,6	O:27,2/150°; E(J+10):5,93/−2,10°; Á(10→7):31,2/32°; Á(7→1):33,3/35,3°; Á(1→0):30,8/112,7°;
Na ₂ CrO ₄	24,0	33,5	44,2	49,0	53,2	55,0	55,8	O:56,8/160°; Á(10→6):44/19,9°; Á(6→4):46,2/26,8°; Á(4→0):55/68°;
Na ₂ Cr ₂ O ₇	62,0	63,3	65,0	69,0	73,9	79,5	81,3	Á(2→0):≈80,0/83°;
Na ₂ HPO ₄	1,2	3,5	7,1	35	44,5	48	51	F:52,5/106,5° E(J+12β):1,2/−0,5°; Á(12β → 12α):19,2/29,6°; Á(12→7):29,3/35,2°; Á(7→2):44,4/48,3°; Á(2→0):51,3/95°;
Na ₂ MoO ₄	30,8	39,1	39,4	40,5	42,2	43,82	45,6	Á(10→2):39,21/11°;
Na ₂ -ox.	1,96	4,94	9,09	18,7	31,05	46,24		S(2);
Na ₂ S	11,0	13,2	16,0	22,0	28,0	33,0	60,8	F(11/2):44,1/98,0°; E(J+9):9,5/−9,5°; Á(9→6):26,3/48,0°; Á(6→11/2):38,0/92,0°; E(11/2+1):55,5/85,0°; Á(1→x):60,0/95°;
Na ₂ SO ₃	12,45	16,31	20,89	27,01	24,43	22,24	21,02	E(J+7):10,47/−3,35°; Á(7→0):28/33,4°;
Na ₂ SO ₄	4,36	8,37	16,2	32,8	31,2	30,4	29,8	F(0):103,2° O:29,0/30°; E(J+10):3,84/−1,2°; Á(10→0):33,11/32,2°;
Na ₂ SO ₄	15,6	23,36	30,9					F(7) mst;
Na ₂ S ₂ O ₃	33,5	37,0	41,0	50,8	65,3	69,7	71,0	mst fázisok; F(5):77,7/126,0°; E(J+5α):30,25/−10,6°; Á(5α → 2α):61,6/48,17°; Á(2α → 1/2):67,6/65,0°; Á(1/2→0):69,4/75°;
Na ₂ S ₂ O ₄	16,5	17,4	18,3	20,5	22,8			E(J+2):15,95/−4,58°; Á(2→0):21,8/52°;
Na ₂ WO ₄	36,31	41,86	42,36	43,82	45,62	47,26	49,24	Á(10→2):41,8/6°;
Na ₂ S ₂ O ₅	31,0	38,0	39,0	41,2	44,0	46,8		E(J+7):23,5/−9,05°; Á(7→0):37,8/5,5°;
Na ₂ S ₂ O ₆	6,0	11,0	15,0	24,6	36,0	49,0	65,0	E(J+8):5,72/−1,136°; Á(8→6):6,27/0°; Á(6→2):10,75/9,1°;
Na ₂ [SiF ₆]	0,428	0,517	0,69	1,02	1,43	1,89	2,39	S(0);
Na ₂ SiO ₃	6,7	10,8	15,7	30,2	48,2	51,8		E(J+9):5,6/−2,7°; Á(9→6):39,8/46,8°; Á(6→5):48/59,8°; Á(5→0):56,6/72°;
Na ₂ -tart.								F:59,3/108,4°

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
Na ₃ PO ₄	4,29	7,4	10,15	18,03	28,2	36,9	43,4	
	Á(12→10):20,94/45,5°; Á(10→8):30,8/64,5°; E(8+1):48,18/121°; E(1+0):33,8/215°;							
Na ₃ VO ₄			10,7	20,64	24,81	29,1		
	Á(2→0):(19,49/35°);							
Na ₄ [Fe(CN) ₆]			15,5	22,6	30,0	38,0		
	Á(10→x):(38,9)/81,5°; Á(3α→0):41/87,3°;							
Na ₄ P ₂ O ₇	2,63	3,84	5,19	11,1	17,96	23,08		
	E(J+10):2,124/−0,43°; E(10+0):36,38/79,5°;							
NiCl ₂	35,0	36,0	38,0	42,0	44,6	46,5	46,8	
	E(J+7):29,9/−45,3°; Á(7→6):33,8/−33,3°; Á(6→4):41,6/28,8°; Á(4→2):46,1/64,3°;							
Ni(NO ₃) ₂	44,2	46,5	48,5	54,5	61,3	65,3	68,6	
	E(J+9):36/−27,8°; Á(9→6):(42/9°); Á(6→4):60/54°; Á(4→2):67,2/85,4°;							
NiSO ₄	21,88	24,81	27,55	32,62	36,22	39,94	40,93	
	E(J+7):20,64/−3,4°; Á(7→6β):30,7/30,7°; Á(6β→6α):35,32/53,8°; Á(6β→1):40,93/84,8°;							
O ₂	6,94/∞	5,37/∞	4,34/∞	3,08/∞	2,27/∞	1,38/∞		
Pb-ac.	13,8	16,81	24,24	35,07				S(3);
PbCl ₂	0,63	0,75	0,97	1,42	1,97	3,3	4,55	
PbI ₂	0,05	0,05	0,09	0,11	0,2	0,3	0,44	
Pb(NO ₃) ₂	26,8	30,8	34,5	41,0	46,8	52,0	56,0	F:57,8/103,5°
	E(J+0):26,0/−2,7°;							
PbSO ₄	3,34/∞		4,21/∞					
SO ₂	18,59	13,95	10,14	5,13				
SO ₃	VII	V	III					innen mol%
	E(J+7):8,53/−61,98°; Á(7⇌5):10,64/−53,73°; O(5):16,66/−28,36°; E(5+4):20,09/−36,56°; E(4+3):22/−42,7°; O(3):25/−39,51°; E(3+2):25,37/−39,85°; O(2):33,33/8,36°; E(2+1):42,56/−34,86°; F(1):50/10,37°; E(1+1/2):55/−10,15°; O(1/2):66,67/35,15°; E(1/2+1/4):≈86/≈−1°; O(0α):99,99/62°;							
SbCl ₃	85,8	87,7	89,6	93,3	97,8			
SnCl ₂	45,6							O:73,0/15°;
	70,1/25°; S(2);							
SrCl ₂	30,0	32,2	34,5	40,0	46,0	48,0	51,0	O:57/150°;
	E(J+6):26,2/−18,7°; Á(6→2):46,65/61,3°; Á(2→1):56,1/134,4°; Á(1→0):78,5/320°;							
Sr(NO ₃) ₂	28,0	33,0	41,0	48,9	49,0	50,0	50,1	F:53,8/106,3°
	E(J+4):24,7/−5,4°; Á(4→0):47,4/31,3°;							
Sr(OH) ₂	0,34	0,497	0,89	1,87	3,48	8,1	22,48	

Anyag	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	Egyéb
SrSO ₄	11,3°/∞	12,6°/∞	13°/∞	13,8°/∞	13°/∞	11,5°/∞	10,1°/∞	
Th(NO ₃) ₄	65,0	65,4	66,0	68,0	71,0	74,5	78,5	O:82/120°; E(J+6):(64)/-48°; F(6)≈E(6+4):81,6/111°; F(4)≈E(4+x):86,9/151°;
TiCl	0,169		0,318	0,596	1,01	1,575	2,32	
UO ₂ (NO ₃) ₂	48,6	51,5	55,0	63,2	76,6	79,0	82,0	O:87/140°; E(J+6):43/-18,1°; Á(6→3):76,2/58,6°; [O(6):78/5459,5°]; Á(3→2):84,8/113°;
ZnCl ₂	67,6	73,0	78,7	82,0	83,0	84,5	86,0	E(J+4):51/-62°; Á(4→3):61,5/-30,0°; Á(3→5/2):71,6/6,5°; O(5/2):75,2/12,5°; Á(5/2→3/2):77,0/11,5°; O(5/2):75,2/12,5°; Á(3/2→1):80,9/26,0°; Á(1→0):81,3/28°;
Zn(NO ₃) ₂	48,0	51,0	54,0	54,0	III	87,4		E(J+9):38,9/-32°; Á(9→6):44,8/-17,6°; O(6):63,4/36,1°; E(6+4):65,0/35,6°; O(4):72,5/44,7°; E(4+2):77,9/37°; O(2):84,0/55,4°; E(2+1):86,2/51,4°; O(1):91,4/73,0°;
ZnSO ₄	29,2	32	35	41,5	45	46	44	F:46,1/105,0° E(J+7):27,2/-6,55°; Á(7→6):41,2/39°; Á(6→1):47,1/70°;

7.3 Vizes oldatok sűrűsége, kg/l

Rövidítések:

° = °C

+50% = 50%-kal magasabb százalékok

ac. = acetát

citr. = citrát

form. = formiát

lakt. = laktát

ox. = oxalát

tart. = tartarát

Δ = a 10°-ra eső sűrűségváltozás (csökkenés); például a víz sűrűsége 20°-on 0,998206, 30°-on 0,995650, így $\Delta=0,002556$.

Anyag	°C	10%	20%	30%	40%	50%	Megjegyzés
AgNO ₃	20	1,0882	1,1942	1,3205	1,4743	1,6680	
AlCl ₃	18	1,0900					
Al ₂ (SO ₄) ₃	19	1,0105					
BaCl ₂	20	1,0921	1,2031				
CH ₃ OH	15	0,9824	0,9681	0,9537	0,9372	0,9185	metanol
+50%	15	0,8978	0,8751	0,8505	0,8240	0,7958	
C ₂ H ₅ OH	20	0,9803	0,9687	0,9540	0,9351	0,9139	etanol
Δ		0,0032	0,0047	0,0064	0,0073	0,0082	
+50%	20	0,8911	0,8676	0,8433	0,8179	0,7892	
Δ		0,0084	0,0086	0,0086	0,0088	0,0089	
n-C ₃ H ₇ OH	20	0,9840	0,9699	0,9502	0,9287	0,9088	propán(1)ol
Δ		0,0034	0,0055	0,0062	0,0070	0,0074	
+50%	20	0,8882	0,8680	0,8474	0,8268	0,8035	
Δ		0,0076	0,0080	0,0083	0,0085	0,0082	
i-C ₃ H ₇ OH	20	0,9823	0,9697	0,9517	0,9298	0,9070	propán(2)ol
Δ		0,0031	0,0053	0,0072	0,0078	0,0083	
+50%	20	0,8836	0,8597	0,8360	0,8117	0,7853	
Δ		0,0083	0,0087	0,0088	0,0088	0,0083	
CH ₃ COCH ₃	20	0,9851	0,9722	0,9582	0,9413	0,9213	aceton
Δ		0,0038	0,0053	0,0064	0,0082	0,0092	
+50%	20	0,8994	0,8761	0,8501	0,8220	0,7905	
Δ		0,0097	0,0101	0,0103	0,0119	0,0108	
C ₃ H ₅ (OH) ₃	20	1,0219	1,0469	1,0727	1,0994	1,1262	glicerin
Δ		0,0028	0,0035	0,0039	0,0044	0,0051	
+50%	20	1,1538	1,1813				
Δ		0,0055	0,0057				

Anyag	°C	10%	20%	30%	40%	50%	Megjegyzés
C ₆ H ₁₂ O ₆	20	1,0377	1,0798	1,1247			szőlőcukor
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₂	20	1,0381	1,0810	1,1271	1,1765		nádcsukor
Δ		0,0031	0,0032	0,0039	0,0043		
Ca-ac.	18	1,0563	1,1146				
CaCl ₂	20	1,0835	1,1775	1,2816	1,3957		
Ca-form.	18	1,0708					
Ca(NO ₃) ₂	20	1,0762	1,1630	1,2594	1,3667	1,4840	
CaO	20	1,0750	1,1475	1,2195			mésztej
CdSO ₄	18	1,1023	1,2243	1,3714	1,5470		
CrO ₃	15	1,076	1,163	1,260	1,371	1,505	
CuCl ₂	20	1,096	1,205				
Cu(NO ₃) ₂	20	1,088	1,189				
CuSO ₄	20	1,107					18%:1,206
FeCl ₂	18	1,1126	1,1996				
FeCl ₃	18	1,085	1,118	1,291	1,417	1,551	
FeSO ₄	18	1,1000	1,2135				
Fe ₂ (SO ₄) ₃	17,5	1,084	1,181	1,307	1,449	1,613	
H-ac.	20	1,0125	1,0260	1,0381	1,0488	1,0577	ecetsav
Δ		0,0036	0,0050	0,0061	0,0077	0,0082	
+50%	20	1,0641	1,0685	1,0700	1,0660		
Δ		0,0086	0,0095	0,0100	0,0105		
HBr	20	1,0718	1,1566	1,2560	1,3733		
HCl	20	1,0474	1,0980	1,1491	1,1980		
Δ		0,0033	0,0046	0,0060			
HClO ₃	20	1,0590	1,1271				
HClO ₄	20	1,0578	1,1253	1,2033	1,2915	1,4034	
HF	20	1,0326	1,0680	1,1052	1,1460	1,1870	
H-form.	20	1,0239	1,0480	1,0720	1,0950		
HJ	20	1,0750	1,1649	1,2735	1,4027	1,505	
HNO ₃	20	1,0543	1,1159	1,1798	1,2468	1,3100	
Δ		0,0042	0,0059	0,0078	0,0098	0,0117	
+50%	20	1,3669	1,4137	1,4521	1,4829	1,5130	
Δ		0,0133	0,0154	0,0164	0,0173	0,0175	
H ₂ O ₂	20	1,0345	1,0717	1,1111	1,1525	1,1952	
Δ		0,0029	0,0041	0,0053	0,0063	0,0069	
H ₂ SO ₃	15,5	1,0128					
H ₂ SO ₄	20	1,0661	1,1394	1,2185	1,3029	1,3950	
Δ		0,0046	0,0057	0,0068	0,0075	0,0079	
+50%	20	1,4982	1,6105	1,7271	1,8143	1,8305	
Δ		0,0082	0,0089	0,0101	0,0104	0,0098	
H ₂ [SiF ₆]	17,5	1,082	1,173				

Anyag	°C	10%	20%	30%	40%	50%	Megjegyzés
H ₂ -tart.	20	1,0702	1,1471	1,1777	1,2055	1,2660	
H ₃ -citr.	18	1,0375		1,1242		1,2223	
K-ac.	18	1,0497	1,1022		1,2162	1,2761	
KBr	20	1,0739	1,1600	1,2593	1,3745		
KCNS	20	1,0490	1,1020				
KCl	20	1,0635	1,1324				
KCr(SO ₄) ₂	15	1,076	1,193	1,315	1,456	1,615	zöld
KF	20	1,0865	1,1811	1,2840	1,3970		
KHCO ₃	20	1,0674					
KHSO ₄	20	1,0715					
KH ₂ PO ₄	20	1,0705	1,1492				
KJ	20	1,0760	1,1660	1,2713	1,3960	1,5450	
KNO ₂	17,5	1,0490	1,1020				
KNO ₃	20	1,0490	1,1020				
KNa-tart.	20	1,0673	1,1419				
KOH	20	1,0896	1,1861	1,2882	1,3966	1,5120	
	Δ	0,0039	0,0044	0,0052	0,0056	0,0061	
K ₂ CO ₃	20	1,0906	1,1897	1,2979			
K ₂ -ox.	18	1,0753	1,1300				
K ₂ S	18	1,083	1,173		1,372		
K ₂ SO ₃	15	1,085	1,179				
K ₂ SO ₄	20	1,089					
K ₂ SiO ₃	20	1,0922	1,1963				
K ₂ -tart.	20	1,0657	1,1384	1,2181	1,3051	1,4001	
K ₃ [Fe(CN) ₆]	20	1,0542	1,1150				
K ₄ [Fe(CN) ₆]	20	1,0678					16%:1,1120
La(NO ₃) ₃	18	1,0945	1,2052				
LiCl	20	1,0555	1,1155	1,1800	1,2522		
LiNO ₃	20	1,0590	1,1254	1,1988	1,2837		
LiOH	20	1,1072					
Li ₂ SO ₄	20	1,0860	1,1789				
MgCl ₂	20	1,0829	1,1757	1,2772			
Mg(NO ₃) ₂	20	1,0762	1,1630	1,2772			
MgSO ₄	20	1,1034	1,2198				
MnCl ₂	18	1,0859	1,1846	1,2988			
Mn(NO ₃) ₂	18	1,0794	1,1717	1,2781	1,3993		
MnSO ₄	15	1,1025	1,2205	1,3565			
NH ₂ OH·HCl	17	1,0437	1,0888	1,3565			
NH ₃	20	0,9574	0,9227	0,8919	0,8609		
	Δ	0,0031	0,0055	0,0069	0,0082		
NH ₄ -ac.	18	1,0200	1,0393	1,0569			

Anyag	°C	10%	20%	30%	40%	50%	Megjegyzés
NH ₄ Br	20	1,0567	1,1210	1,1923	1,2733		
NH ₄ CNS	18	1,0219		1,0645			
NH ₄ Cl	20	1,0286	1,0565				
NH ₄ ClO ₄	20	1,0476					
NH ₄ F	18	1,0420					
NH ₄ Fe(SO ₄) ₂	15	1,086	1,181				
NH ₄ -form.	15	1,0262	1,0760	1,0984	1,1189		
NH ₄ J	20	1,0648	1,1398	1,2252	1,3255		
NH ₄ NO ₃	20	1,0397	1,0828	1,1281	1,1754	1,2258	
NH ₄ H ₂ PO ₄	20	1,0545	1,1125				
(NH ₄) ₂ CO ₃	20	1,0410	1,0838				
(NH ₄) ₂ SO ₄	20	1,0574	1,1154	1,1721	1,2270	1,2825	
N ₂ H ₄	15	1,0099					16%:1,0164
N ₂ H ₄ ·HCl	20	1,0422					18%:1,2635
Na-ac.	20	1,0495	1,1021				
NaBO ₂	20	1,1097					
NaBr	20	1,0803	1,1745	1,2841	1,4138		
NaBrO ₃	20	1,0815	1,1765				
NaCNS	20	1,0515	1,1061	1,1649	1,2300		
NaCl	20	1,0707	1,1478				
NaClO ₃	20	1,0675	1,1440	1,2300			
NaClO ₄	20	1,0667	1,1430	1,2287	1,3275	1,4402	
NaF	20						4%:1,0405
Na-form.	18	1,0639	1,1300				
NaHCO ₃	20	1,0665					
NaHSO ₃	15	1,104	1,202				
NaHSO ₄	20	1,0772	1,1614				
NaH ₂ PO ₄	25	1,0730					
Na-lakt.	20	1,0478					
NaJ	20	1,0808	1,1729	1,2910	1,4271	1,5944	
NaJO ₃	20						4%:1,0350
NaNO ₂	20	1,0657	1,1373	1,2150	1,2985		
NaNO ₃	20	1,0675	1,1430	1,2256	1,3176		
NaOH	20	1,1090	1,2191	1,3280	1,4300	1,5251	
	Δ	0,0046	0,0054	0,0062	0,0069	0,0071	
NaPO ₃	20						8%:1,0615
Na ₂ CO ₃	20	1,1035	1,2145				
Na ₂ HPO ₄	18						6%:1,067
Na ₂ MoO ₄	15	1,0905	1,1943				
Na ₂ S	20	1,1013					16%:1,1625
Na ₂ SO ₃	19	1,0948					18%:1,1755
Na ₂ SO ₄	20	1,0915	1,1915				

Anyag	°C	10%	20%	30%	40%	50%	Megjegyzés
Na ₂ S ₂ O ₃	20	1,0828	1,1739	1,2740	1,3826		
Na ₂ SiO ₃	18	1,1122	1,2385				
Na ₂ SnO ₃	20	1,088	1,187				
Na ₂ -tart.	20	1,0435	1,0944	1,2181	1,3051	1,4001	
Na ₂ WO ₄	20	1,0944	1,2076	1,3444			
Na ₃ PO ₄	15	1,1083					
Na ₄ P ₂ O ₇	20						4%:1,037
NiCl ₂	18	1,100	1,216				
Ni(NO ₃) ₂	18	1,088	1,191	1,311			
NiSO ₄	18	1,109					18%:1,209
Pb-ac.	18	1,0768	1,1663	1,2711	1,3994		
Pb(NO ₃) ₂	18	1,0918	1,2030	1,3289			
SO ₃	35	1,8565	1,8919	1,9280	1,9584	1,9733	kénsavban, 0%:1,8186
	Δ	0,0157	0,0140	0,0145	0,0103	0,0138	0%:0,0157
+50%	35	1,9738	1,9550	1,9251	1,8888	1,8370	
	Δ	0,0231	0,0315	0,0415	0,0506	0,0735	
SnCl ₂	15	1,0810	1,1743		1,4145	1,5729	
SnCl ₄	18	1,0802	1,1706				
SrCl ₂	20	1,0925	1,2010	1,3025			
Sr(NO ₃) ₂	20	1,083	1,179	1,290	1,419		
UO ₂ (NO ₃) ₂	25	1,072	1,177	1,304		1,630	
ZnCl ₂	20	1,0899	1,1866	1,2928	1,4173	1,5681	
Zn(NO ₃) ₂	18	1,0859	1,1865	1,3029	1,4378	1,5944	
ZnSO ₄	20	1,1071	1,232	1,378			

7.4 Kationok kimutatása

A táblázatokban legtöbb rövidítés értelemszerű. A hidroxidok leválási és oldódási pH intervallumát itt nem adtuk meg, de megtalálhatók az 5.1.1 táblázatban. A képletek és rövidítések egy mondatba rendeződnek, aminek a végét szóköz jelzi. A következő oszlop előtti annyi szóköz, mint a következő rövidítés hossza nem számít mondatzárásnak. Egyéb reagensnél a mondat a reagens vegyjelével kezdődik, ami után kettőspont van. Egyéb reagens hozzáadását + jelzi.

- Csapadék leválását ↓ jelzi, és esetleg egy betű előtte: k:kapargatás; l:lassan; f:főzés.
- Ha szín nincs megadva, a csapadék fehér. A színt egy vagy két betű adja meg, esetleg betűk kötőjellel: ö = sötét, b = barna, f = fekete, s = sárga, k = kék, i = ibolya, z = zöld, ü = szürke, r = rózsaszín, c = citromsárga, v = vörös, n = narancs. Vesszővel -es, például v' = vöröses.
- Sokszor megadtuk a csapadék kinézetét, mindig két betűvel és egy ponttal: ge. = gél, kr. = kristályos; po. = por; tú. = túrós; am. = amorf; ny. = nyálkás; pe. = pelyhes.
- ↑:oldódik vagy gáz fejlődik (ekkor megadjuk a gázt); éspedig az oldószer: + = a lecsapószer feleslege; am = ammónia; ta = tartarátok, citromsav sói, stb.; ac = acetátok; ec = ecetsav; aq.r = királyvíz (aqua regia); H = ásványi sav; OH = erős lúg. Az oldat színét is megadjuk, ha jellemző.
- egyéb rövidítések: →= változás; v = vagy; & = és; cc = koncentrált; Cvit = aszkorbinsav; korr = korrózió; báz = bázikus só; hidr = hidrolízis; Bett = Bettendorf; izz = izzítás; gy = gyöngypróba; ox.öml = oxidációs ömlesztés; láng = lángfestés; ver = verődék lángból; lum = lumineszcencia amil = i-amilalkohol; gliox = dimetil-glioxim; szint = szintelen; acald = acetaldehid; op. = olvadáspont; benz = benzoát; citr = citrát; form = formiát; gall = gallát; lakt = laktát; mal = mallát; szal = szalicilát; tart = tartarát.
- (x): sok, azaz tömény oldatból v oldatban, sok melegítés, etc.;
- (szám): kimutatási határ negatív logaritmusa
- (szám–szám) : kimutatási határ & határhígítás negatív logaritmusa;
- szám után g, mg : oldhatóság 100 ml vízben.

Példa:

↓kr.0,7g+hő3g+am→báz(3–2,7) jelentése fehér kristályos csapadék, amelyből 100 ml-ben 0,7 g oldódik hidegen, melegítve 3 g; ammónia hozzáadására bázikus sóvá alakul. Kimutatható 1 mg 500-szoros hígításban.

I. HCl csoport

Reagens	Pb(NO ₃) ₂ , Pb(Ec) ₂	Hg ₂ (NO ₃) ₂	AgNO ₃	Tl ₂ SO ₄
HCl	↓kr.0,7 g+hő3g+am →báz(3-2,8)	↓0,3mg+hő10mg +am→f ↑hő+HNO ₃	↓tú.0,15mg+hő2mg (8-5,7)+fény→ü→f ↑am,Na ₂ S ₂ O ₃	↓0,3g +hő2,3g
NH ₃	↓báz(3,7-4,5)	↓fHgNH ₂ +Hg	↓bAgO,4,3mg↑+	—
H ₂ S	↓f0,1mg↑HNO ₃ (5,7-6,5)	↓fHgS+Hg↑aq.r (6-6,8)	↓f0,02mg(6-6,7) ↑hő+HNO ₃	↓f↑H
K ₂ CrO ₄	↓s0,02mg↑am (4,7-5,5)	↓b→v↑+hő,aq.r	↓öv2,8mg (5,7-4,4) ↑HNO ₃ ,am	↓s↑ccHCl
K ₄ [Fe..	↓	↓	↓s'	—
Na ₂ CO ₃	↓	↓s→f	↓3mg+hő50mg↑am	—
NaOH	↓↑+,H	↓f ↑HNO ₃ (5-5,8)	↓b4mg↑am,HNO ₃ (4,8-5,6)	—
SnCl ₂	↓PbCl ₂	↓ü↑HNO ₃ (6-6,7)	↓AgCl	—
H ₂ SO ₄	↓4mg↑OH,NH ₄ Ec (4,7-5,5)	↓200mg↑HNO ₃	(↓)580mg↑HNO ₃	—
KI	↓s75mg+hő0,4g	↓z→ü	↓s0,025mg	↓skr.(6,2-4,7)
etc.	Zn:↓ökr.	Zn,Cu:↓ö+hő→↑Hg Al:korr	Zn,Cu,Cvit:↓ö	láng:z KBr:↓

IIa. H₂S csoport

Reagens	BiCl ₃ , Bi(NO ₃) ₃	CdSO ₄	CuSO ₄	HgCl ₂
H ₂ S	↓b0,018mg↑HNO ₃ (5,7-6,5)	↓s0,13mg↑HNO ₃ (5,3-6)	↓f0,033mg↑HNO ₃ (6-6,7)	↓→s→v→b→f 2,5mg↑aq.r (5,3-6)
NH ₃	↓	↓0,26mg↑+	↓k↑+,ta:i'k (4,4-5,2)	↓HgNH ₂ Cl (4,1-4,7)
K ₂ CrO ₄	↓s↑HNO ₃	↓s	↓v'b↑am,z	↓v's↑HNO ₃
K ₄ [Fe..	↓	↓s' ↑H	↓v'b(5-7)	—
Na ₂ CO ₃	↓↑H	↓ ↑am,H	↓k+hő→f	↓v'b+hő→s
NaOH	↓(3,5-4,3)	↓(4,3-5)	↓k+hő→f(4,1-4,7) ↑ta	↓→s(3-3,8)
SnCl ₂	↓→ö	—	↓CuCl ↑am,HCl,NH ₄ Cl	↓Hg ₂ Cl ₂ +→üHg (6-6,7)
etc.	hidr KI:↓f sztannit→fBi(6)	Na ₂ HPO ₄ :↓↑am,H	Na ₂ HPO ₄ :↓z'k ↑am KI:CuI+I Zn,Fe:Cu láng:z-k	Cu,Cvit:Hg KI:↓v↑+(7,1-5,1)

IIb. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ csoport

Reagens	Na_3AsO_3	NaH_2AsO_4	SbCl_3	KSbO_3
H_2S	$\downarrow\text{s}(5-6,1)\uparrow\text{amCO}_3$	$\downarrow\text{s}(5,2-6,8)\uparrow\text{amCO}_3$	$\downarrow\text{n}0,17\text{mg}(5,7-6,6)$ $\uparrow\text{OH,HCl}$	$\downarrow\text{n}(5,3-6,2)$ $\uparrow\text{OH,HCl}$
NH_3	—	—	$\downarrow\uparrow+$	\downarrow
sok víz	—	—	$\downarrow\text{hidr}(3,3-4,3)\uparrow\text{tart}$	$\downarrow\text{hidr}(3,3)\uparrow\text{tart}$
CuSO_4	$\downarrow\text{s}'\text{z}\uparrow\text{H,OH}$	$\downarrow\text{z}'\text{k}\uparrow\text{am,H}$	(hidr)	$\downarrow\text{b}$
AgNO_3	$\downarrow\text{s}++\text{h}\ddot{\text{o}}\rightarrow\text{f}$ (5,2-6,8) $\uparrow\text{am,ec}$	$\downarrow\text{v}'\text{b}(5-5,7)$ $\uparrow\text{am,H}$	(hidr)	$\downarrow\uparrow\text{am}$
etc.	Gutzeit(6,3),Marsh Bett(6-4,7)	Gutzeit(6,3),Marsh Bett(6-4,7) Mgmix: $\downarrow\text{kr}0,4\text{mg}$ (6,5) $\uparrow\text{ec}$	Gutzeit,Marsh Zn,Fe,Sn: $\downarrow\text{f}(4,7)$	Gutzeit,Marsh Zn,Fe,Sn: $\downarrow\text{f}(4,7)$

IIb. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ csoport, folytatás

Reagens	SnCl_2	SnCl_4	$\text{H}_2\text{SeO}_3, \text{K}_2\text{SeO}_4$	$\text{K}_2\text{TeO}_3, \text{K}_2\text{TeO}_4$
H_2S	$\downarrow\ddot{\text{o}}\text{b}0,002\text{mg}(5-5,9)$ $\uparrow\text{OH,HCl}$	$\downarrow\text{s}0,02\text{mg}(4,7-5,6)$ $\uparrow\text{OH,HCl}$	$\downarrow\text{c}$	$\downarrow\text{b}$
NH_3	$\downarrow\rightarrow\ddot{\text{o}}\uparrow\text{H,OH,tart}$	$\downarrow\uparrow\text{H,OH}$	—	—
CuSO_4	$\downarrow\text{CuCl}$	—	$3+:\text{f}\downarrow\text{k}'\text{z}\uparrow\text{H}$?
AgNO_3	$\downarrow\ddot{\text{u}}\text{AgCl}+\text{Ag}$	—	\downarrow	?
etc.	Zn:Sn OH+Bi $^{3+}$ $\downarrow\text{f}$ lumi:k(5,5-6,2)	Zn:Sn Fe: $^{2+}$ lumi:k(5,5-6,2) hidr	$5+:\text{HCl}+(\text{h}\ddot{\text{o}})\rightarrow 3+$ $3+:\text{SO}_2, \text{Cvit}:\downarrow\text{vSe}$ (?-3,7)	mint Se sztannát: $\downarrow\text{fTe}$ (6,1-4,8)

IIb. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ csoport, folytatás

Reagens	$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	$\text{H}_2[\text{GeCl}_6]$	$\text{H}[\text{AuCl}_4]$	$\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$
H_2S	$\rightarrow\text{k}'\rightarrow\downarrow\text{b}'\text{f}$	\downarrow	$\downarrow\ddot{\text{o}}\text{b}\uparrow\text{aq,r}$	$\downarrow\text{f}\uparrow\text{aq,r}$
NH_3	—	—	$\downarrow\text{s}$ robbanó Au	$\downarrow\text{s}0,7\text{g}$
etc.	H: $\downarrow\uparrow+$ KSCN+ $\text{SnCl}_2\cdot\text{v}$ H+ $\text{K}_4[\text{Fe}::\downarrow\text{vb}$ (6,4-5,7)	Zn,Al,Mg: $\downarrow\ddot{\text{o}}$ hidr tannin $\downarrow\text{b}'(5-5)$ Mgmix: \downarrow	Zn,Fe $^{2+}:\downarrow\text{Au}$ izz: $\downarrow\text{Au}$	K $^+:\downarrow\text{skr}$. Zn: $\downarrow\text{f}$ katalízis

IIIa. NH₃ csoport

Reagens (NH ₄) ₂ S	KAl(SO ₄) ₂ , BeSO ₄ ↓gé.:hidr↑H	KCr(SO ₄) ₂ ↓ü'z:hidr↑H,OH	FeSO ₄ ↓f→b0,89mg (6,3-7,1)	FeCl ₃ ↓f ↑H (6-6,8)
NH ₃	↓gé.:hidr↑H,ta (2,7-3,5)	↓ü'z:hidr(↑+)i' (↑ta)	↓→v'b7mg↑amCl	↓v'b ↑ta (5-5,8)
amCO ₃	↓gé.:hidr↑H,ta Be:↑+hó↓	↓ü'z:hidr↑+	↓↑+ →v'b	↓v'b
BaCO ₃	↓g:hidr↑H,ta	↓ü'z:hidr	—	↓v'b
K ₃ [Fe..]	—	→CrO ₄	↓ök+OH:↓z'f (7-7,8)	v'b
K ₄ [Fe..]	↓↓	—	↓k'→ök	↓ök+OH:↓v'b (6,5-7,1)
NaOH	↓↑+,ta Be:hó↓	↓z'↑+,ta:z	↓→v'b↑ta	↓v'b↑H(5-5,8)
Na ₂ HPO ₄	↓↑OH,H	↓z↑OH,H	↓→k?	↓s'↑+
etc.	NaEc+hó:↓ Al:NaF Al:Co+izz Be:báz.Ec↑CHCl ₃	gy ox.öml	gy	gy KSCN:v (6,6-5,3) +NaEc+hó→vb szalicil:i(4,3-5)

IIIa. NH₃ csoport, folytatás

Reagens (NH ₄) ₂ S	GaCl ₃ ↓hidr↑ec	InCl ₃ ↓s↑H	TiOSO ₄ ↓am.↑H	ZrOCl ₂ ↓gé.↑ta
NH ₃	↓↑am	↓	↓am.↑H	↓gé.↑ta
amCO ₃	↓gé.↑+	↓gé.↑+	↓am.↑H	↓↑+ +hó↓
NaOH	↓ny.↑+	↓ny.↑+ +hó↓	↓am.↑H	↓gé.↑ta
Na ₂ HPO ₄			+ec:↓↑H	+H:↓pe.
etc.	↑éter láng	ec+H ₂ S:↓s láng	H ₂ O ₂ :s-ns(5,7-4,4) hidr	

IIIa. NH₃ csoport, folytatás

Reagens (NH ₄) ₂ S	RfCl ₃ ,Th(NO ₃) ₄ ↓ny.	UO ₂ Ec ₂ ↓bUO ₂ S↑amCO ₃	Na ₃ VO ₄ b-v'i+H↓b	Na ₂ WO ₄ +H↓b
NH ₃	↓ny.	↓s↑ta	—	—
amCO ₃	↓ny.(↑+)	↓s↑+ +hó↓	—	—
H+Hox	↓(↑+) Th:↑ccNH ₄ ox +H↓	—	—	—
NaOH	↓ Ce:→sCe(OH) ₄	↓s	—	—
etc.		KSCN:n↑éter gy	amCl+hó↑szubl	H+SnCl ₂ :↓k (5,4-4,1)
		K ₄ [Fe..:↓b(6,3-4,7) +OH→n	H ₂ O ₂ :v(5,6-4,3)	

IIIb. $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ csoport

Reagens	CoCl_2	NiCl_2	$\text{MnCl}_2, \text{MnSO}_4$	$\text{ZnCl}_2, \text{ZnSO}_4$
$(\text{NH}_4)_2\text{S}$	$\downarrow 0,38\text{mg} \uparrow \text{aq.r}$ (6,3-7,1)	$\downarrow 0,36\text{mg} (\uparrow +) \uparrow \text{aq.r}$ (6,3-7,1)	$\downarrow \text{v'ram. } 0,36\text{mg} \uparrow \text{ec}$ (4,7-5,5)	$\downarrow \uparrow \text{H}$ (3-3,8)
NH_3	$\downarrow \text{k} \uparrow + \text{v}$	$\downarrow \text{z} \uparrow + \text{k}$	$\downarrow \text{ü}' \rightarrow \text{b}$	$\downarrow \uparrow +$
amCO_3	$\downarrow \text{v-r} \uparrow + \text{v}$	$\downarrow \text{z} \uparrow +$	\downarrow	$\downarrow (\uparrow +)$
$\text{K}_3[\text{Fe}..]$	$\downarrow \text{öb}$	$\downarrow \text{s}'\text{b}$	$\downarrow \text{b}$	$\downarrow \text{s}'\text{b} (3,2-4) \uparrow \text{H,am}$
$\text{K}_4[\text{Fe}..]$	$\downarrow \text{z} \rightarrow \text{z}'\text{k}$	$\downarrow \text{z}$	$\downarrow \text{v}' \uparrow \text{H}$	$\downarrow (7,3-6,3)$
NaOH	$\downarrow \text{k} + \text{h}'\text{ö} \rightarrow \text{r} \uparrow \text{ec,am}$ (4,8-5,6) $+ \text{NaOCl}, \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{b}$ (5,7-6,5)	$\downarrow \text{almazöld} \uparrow \text{ec,am}$ (3,7-4,5) $+ \text{NaOCl} \rightarrow \text{f}$ (5,7-6,5)	$\downarrow \rightarrow \text{b}$ $+ \text{H}_2\text{O}_2, \text{NaOCl} \rightarrow \text{b}$ (5,5-6,3)	$\downarrow \text{g} \uparrow + (\uparrow \text{ta})$
Na_2HPO_4	$\downarrow \text{k}$	$\downarrow \text{z} \uparrow \text{H}$ $\downarrow \text{z} \uparrow \text{H}$	$\downarrow \uparrow \text{am,ec}$ $\text{h}'\text{ö} + \text{am} + \text{amCl} \rightarrow \text{r}$	$\downarrow \text{kr.} \uparrow +, \text{H,am}$
etc.	$\text{amSCN} + \text{éter} + \text{amil:}$ $\uparrow \text{k} (7,7-7) \text{ gy}$ $\text{KNO}_2: \downarrow \text{skr.} (7-5)$	$\text{gliox:} \downarrow \text{v} (6,2-5,5)$ gy	$\text{PbO}_2 + \text{ccHNO}_3 \rightarrow \text{i}$ (6,6-5,3) ox.öml gy	$\text{H}_2\text{S} + \text{NaEc} \downarrow$ $\text{Co} + \text{izz} \rightarrow \text{z}$

IV. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ csoport

Reagens	BaCl_2	SrCl_2	CaCl_2	$\text{MgCl}_2, \text{MgSO}_4$
amCO_3	$\downarrow 2\text{mg} + \text{h}'\text{ö} 7\text{mg}$ (3,5-4,3) $\uparrow \text{ec}$	$\downarrow 1\text{mg} (4,3-5) \uparrow \text{ec}$	$\downarrow \text{am.} + \text{h}'\text{ö} \rightarrow \text{kr.}$ $1\text{mg} + \text{h}'\text{ö} 88\text{mg} \uparrow \text{ec}$ (4-4,8)	$\downarrow 10\text{mg} \uparrow \text{amCl}$
am-ox	$\downarrow 9\text{mg} + \text{h}'\text{ö} 23\text{mg}$ (2,7-3,5) $\uparrow \text{ec}$	$\downarrow 5\text{mg} (4,3-5) \uparrow \text{h}'\text{ö, H}$	$\downarrow 0,7\text{mg} + \text{h}'\text{ö} 1\text{mg} \uparrow \text{H}$	—
H_2SO_4	$\downarrow \text{po.} 0,2\text{mg} + \text{h}'\text{ö} 0,3\text{mg}$ (5,4-6,2)	$\downarrow 11\text{mg} + \text{h}'\text{ö} 10\text{mg}$	$\downarrow \text{kr.} 0,2\text{g} + \text{h}'\text{ö} 0,2\text{g}$	— —
CaSO_4	$\downarrow \text{po.} (5,4-6,2)$	$+ \text{h}'\text{ö:} \downarrow$	—	—
K_2CrO_4	$\downarrow \text{s} 0,4\text{mg} + \text{h}'\text{ö} 4\text{mg}$ (5-5,8)(6,7-4,7) $\uparrow \text{H}$	$(\downarrow \text{s}) \uparrow \text{ec}$	—	—
NaOH	$(\downarrow) 6\text{g} + \uparrow \text{h}'\text{ö}$	$\downarrow 0,4\text{g} \uparrow \text{h}'\text{ö, amCl}$	$\downarrow 0,2\text{g} + \text{h}'\text{ö} 0,08\text{g}$	$\downarrow 3\text{mg} \uparrow \text{amCl}$
Na_2HPO_4	$\downarrow 20\text{mg} + \text{am} \downarrow 10\text{mg}$ $\uparrow \text{H}$	$\downarrow \uparrow \text{ec}$	$\downarrow 28\text{mg} \uparrow \text{H}$ $+ \text{am} 3\text{mg} + \text{h}'\text{ö} 8\text{mg}$	$\downarrow + \text{am} + \text{amCl:}$ $\rightarrow \downarrow \text{kr.} (4,5-5,3) \uparrow \text{ec}$
etc.	láng	láng	$+ \text{K}_4[\text{Fe}.. + \text{szesz} \downarrow$ (4,4-5,3) láng	$+ \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{h}'\text{ö:} \downarrow$

V. csoport

Reagens	NH ₄ Cl	LiCl	NaCl	KCl
OH	↑am	—	—	—
Na ₂ CO ₃	↑am	↓1,5g+h ₂ O,7g	—	—
Na ₂ HPO ₄	—	↓40mg↑H	—	—
Htart	rázni↓	—	—	keverni↓kr.0,4g
Na ₃ [Co..	↓s↑H	—	—	↓kr.70mg↑H
H ₂ K ₂ Sb..	—	—	↓kr.31mg	—
etc.	fenol+NaOCl:k	láng	láng	láng

7.5 Anionok kimutatása

Használni fogjuk az előző pontban bevezetett rövidítéseket.

A szervesetlen anionok közül CaCl_2 -dal fehér csapadékot adnak az AsO_4^{3-} , AsO_3^{3-} , BO_3^{3-} , CO_3^{2-} , F^- , PO_3^- , PO_4^{3-} , PO_3^{3-} , $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$, SiO_3^{2-} , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} ionok. Ezek közül vízben és savakban is eléggé oldható a SO_4^{2-} csapadék, NH_4Cl -ban is oldható a PO_3^{3-} , ecetsavban is oldható az AsO_4^{3-} , AsO_3^{3-} , PO_4^{3-} csapadék, savakban oldható a BO_3^{3-} , SO_3^{3-} , F^- , PO_3^- csapadék. Az anion feleslege oldja a $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ csapadékot.

Hasonló csapadékot adnak BaCl_2 -dal a szervesetlen anionok. Eltérés, hogy fehér csapadékot adnak a $[\text{SiF}_6]^{2-}$, JO_3^- és tömény oldatban a $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ is. Sárga csapadékot ad CrO_4^{2-} . Itt a PO_3^- ion feleslege oldja a csapadékot. Ecetsavban is oldható a PO_3^{3-} csapadék, a többi csak ásványi savakban, míg oldhatatlan a $[\text{SiF}_6]^{2-}$ és SO_4^{2-} csapadék.

AgNO_3 -tal fehér csapadékot adnak a szervesetlen ionok közül a BO_3^{3-} , Cl^- , CN^- , $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, ClO^- , PO_3^- , IO_3^- , NO_2^- , PO_3^{3-} , $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$, SCN^- , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ionok, a SO_4^{2-} ion csak töményebb oldatban. Melegítésre a PO_3^{3-} , SO_3^{2-} , PO_3^{3-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ csapadékok bomlanak, sötétednek. Sárgásfehér csapadékot ad a Br^- , sárgát az AsO_3^{3-} , I^- , PO_4^{3-} , SiO_3^{2-} , vörösesbarnát az AsO_4^{3-} , szürkésfehéret a CO_3^{2-} , sötétvöröset a CrO_4^{2-} , narancsszínűt a $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, feketét a S^{2-} . Melegen oldódik a NO_2^- csapadék. NH_3 -ban oldódnak az AsO_4^{3-} , AsO_3^{3-} , BO_3^{3-} , Cl^- , CN^- , $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, IO_3^- , PO_3^- , PO_4^{3-} , $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ csapadékok, nehezen oldódnak a Br^- , SCN^- csapadékok. Salétromsavban oldódnak az AsO_4^{3-} , AsO_3^{3-} , BO_3^{3-} , CO_3^{2-} , CrO_4^{2-} , ClO^- , PO_3^- , PO_4^{3-} , $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$, SiO_3^{2-} csapadékok.

Mindazok a szervesetlen anionok, amelyek fehér csapadékot adnak CaCl_2 -dal, fehér csapadékot adnak PbEc_2 -tal is, de az oldhatóságok a következő esetekben eltérnek: csak ásványi savban oldhatók az AsO_4^{3-} , PO_4^{3-} , PO_3^{3-} csapadékok, a SiO_3^{2-} csapadék még abban sem. A BO_3^{3-} csapadékot a lecsapószer feleslege oldja. A SO_4^{2-} csapadék oldható ammónium-acetátban és ammóniumtartarátban. Más szervesetlen ionok is adnak csapadékot PbEc_2 -tal: fehér csapadékot ad a Br^- , Cl^- , CN^- , $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, ClO^- , IO_3^- , sárgát a CrO_4^{2-} , I^- , feketét a S^{2-} . Melegítésre barna PbO_2 csapadékot ad a $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, és a OCl^- csapadék is megbarnul, a $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ csapadék pedig megszürkül. A Cl^- , Br^- , I^- csapadékok meleg vízben elég jól oldódnak. Salétromsavban oldódnak a CN^- , $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, IO_3^- csapadékok.

Oxidáló anyagok szódás kivonatban:

a) Négyyszer annyi tömény sósavas telített MnCl_2 oldattal majdnem forrásig melegítjük a szódás kivonatot. Sötétbarnától fekete szineződés, ha van NO_3^- , NO_2^- , ClO_3^- , OCl^- , $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, CrO_4^{2-} vagy MnO_4^- .

b) Hét csepp szódás kivonat ugyanannyi 3 M kénsavval elegyítünk, pár csepp kloroformot adunk hozzá, és cseppenként 0,1 g KI 0,25 ml vízben frissen készült oldatát, maximum öt cseppet. Minden csepp után alaposan összerázzuk. Jódkiválás jelzi, ha van BrO_3^- , IO_3^- , IO_4^- , $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$, NO_2^- , CrO_4^{2-} vagy MnO_4^- . A ClO_3^- és NO_3^- csak lassan reagál, egy fél óra is eltelhet a reakció kezdetéig.

Redukáló anyagok szódás kivonatban:

a) 1,5 M-os kénsavhoz addig adunk 0,02 M-os KMnO_4 oldatot, amíg maradandóan világosvörös lesz. Egy rész szódás kivonathoz két rész keveréket adunk. Ha azonnal elszíntelenedik, az a következő ionok jelenlétét mutatja: S^{2-} , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, I^- , Br^- , SCN^- ,

$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, NO_2^- , AsO_3^{3-} vagy $(\text{COO})_2^{2-}$. Kevés rodanid észrevétlen maradhat, sok oxalát hidegen lassan reagál. Ha melegítésre halványodik el az elegy, az oxalátra mutat.

b) 2 ml vízhez 2 ml 0,3 M-os $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ -ot és 1 ml frissen készített, telített vörösvérplúgsó oldatot és 4 ml 3 M HCl oldatot adunk. Ennek az oldatnak egy részét negyedannyi térfogatú szódás kivonattal keverve, az eredeti reagenssel hasonlítjuk össze. Kékes vagy zöldes elszíneződés azt mutatja, hogy a következő ionok vannak jelen: S^{2-} , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, I^- , $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ vagy $(\text{COO})_2^{2-}$. Sok oxalát hajlamos zöld színeződést adni, amely nem vált át kékbe. Vörös színeződés rodanidot jelez.

Fontos, hogy mindig vizsgáljunk oxidáló és redukáló anyagra is, mert egymást hatásalaníthatják!

A leggyakoribb szerves anionok reakcióit táblázatban foglaljuk össze:

Szerves ionok

Reagens	AgNO_3	CaCl_2	FeCl_3	ccH_2SO_4	etc.
Hec	↓↑hő	—	vb+hő↓vb↑H	↑ec	
Hbenz	↓↑hő	—	↓b's	↑; +EtOH↑ész	op.121 PbEc_2 :↓
$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	—	—	öi+ec→szint	—	+Br↓↑OH; H+ NaNO_2 +hő →öz-ök PbEc_2 :↓
Hcitr	↓	↓(↑)amCl	+OH:nincs↓	—	
Hform	(↓)→ö	—	↓v+H→szint	↑CO+EtOH↑ész	
Hgall	↓Ag	—	↓k'f↑+z	—	op.200 $\text{Ca}(\text{OH})_2$:↓k KMnO_4 :↑acald
Hlakt	↓Ag	—	—	+hő→C,CO	KMnO_4 +H+hő →szint
Hox	↓↑H	↓↑H	—	+hő→CO, CO ₂	+ PbEc_2 :↓↑hő
Hmal	↓	+EtOH↓	+OH:nincs↓	—	op.156 PbEc_2 :↓
Hszal	↓↑hő	—	öi	↑++hő→ö	HNO_3 :s+OH→ös PbEc_2 :↓s enyv:↓ $\text{Ca}(\text{OH})_2$:↓ü hő:→C↑cukor
csersav	↓	—	k'f	—	
Htart	↓↑+	↓kr.	+OH:nincs↓	—	

Irodalom

- [1] *Anorganikum 1–2.* VEB deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1989.
- [2] Arendt, R.–Doermer, L.: *Technik der experimental Chemie.* Verlag von Leopold Voss, Leipzig, 1925.
- [3] Atkins, P. W.: *Fizikai kémia I–IV.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
- [4] Atkins, P. W.: *A periódusos birodalom.* Kulturtrade, Budapest, 1995.
- [5] Balázs Lóránt: *A kémiai története.* Gondolat, Budapest, 1974.
- [6] Balázs Lórántné: *Kémiai kísérletek.* Panem, Budapest, 1993.
- [7] Balezin, Sz. A.: *Szervetlen kémiai praktikum.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1951.
- [8] Barcza Lajos: *A minőségi kémiai analízis alapjai 1–2.* Medicina, Budapest, 1976.
- [9] Barcza Lajos: *Szervetlen kémiai gyakorlatok.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
- [10] Bártfai Béla: *Galvanizálás.* Nehézipari Könyvkiadó, 1954.
- [11] Bártfai Béla: *Galvanizálók zsebkönyve.* Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1962.
- [12] Bender, Adolf–Erdman: *Chemische Präparatenkunde.* Ferdinand Enke, Stuttgart, 1893.
- [13] Benedetti-Pichler, A. A.: *Microtechnic of Inorganic Analysis.* John Wiley, New York – London, 1942.
- [14] Biltz, Heinrich–Biltz, Wilhelm: *Übungsbeispiele aus der unorganischen Experimentalchemie.* Verlag von Wilhelm Engelmann, 1913.
- [15] Bognár János: *Elemző kémiai.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
- [16] Bognár Rezső: *Szerves kémiai preparátumok I–II.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1976.
- [17] Bouquet Gusztáv–Orsós Piroska–Nyilasi János–Pomogáts Erzsébet: *Szervetlen kémiai gyakorlatok.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1994.
- [18] Brauer, George: *Handbook of preparative inorganic chemistry I–II.* Academic Press, New York – London, 1963, 1965.
- [19] Bruchner Győző: *Szerves kémia I/1–III/2.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1980.
- [20] Buchböck Gusztáv: *Physikai-kémiai mérő módszerek.* Kir. Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 1922.
- [21] Budó Ágoston: *Kísérleti fizika I–II.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1975, 1972.
- [22] Budó Ágoston–Mátrai Tibor: *Kísérleti fizika III.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
- [23] Burger Kálmán: *Szerves reagensek a fémanalízisben.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
- [24] Burger Kálmán: *A mennyiségi kémiai analízis alapjai.* Medicina Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- [25] Buzágh Aladár: *Kolloidika I.* Egyetemi Nyomda, Budaest, 1946.

- [26] Buzágh Aladár: *A kolloidika praktikuma*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1954.
- [27] Curie, Eve: *Madame Curie*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1967.
- [28] D'Ans, J.–Lax, E.: *Taschenbuch für Chemiker und Physiker*. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 1967.
- [29] Deák Gyula (szerk.): *Szerves vegyipari alapfolyamatok*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.
- [30] Deák Gyula: *Névvel jelölt reakciók a szerves kémiában*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [31] Dobos Dezső: *Elektronikus kémiai mérőkészülékek*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962.
- [32] Dobos Dezső: *Elektrokémiai táblázatok*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- [33] Domininghaus, Hans: *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften*. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1986.
- [34] Dzsida László: *200 kémiai kísérlet*. Gondolat, Budapest, 1967.
- [35] Emsley, John: *Gyilkos molekulák*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2011.
- [36] Erdey-Grúz Tibor: *Vegyszerismeret I–II*. Atheneum, 1943.
- [37] Erdey-Grúz Tibor: *Vegyszerismeret*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.
- [38] Erdey-Grúz Tibor: *A fizikai kémia alapjai*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [39] Erdey-Grúz Tibor–Proszjt János: *Fizikai-kémiai praktikum I–II*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1965.
- [40] Erdey-Grúz Tibor–Schay Géza: *Elméleti fizikai kémia I–II*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.
- [41] Erdey László: *A kémiai analízis súlyszerinti módszerei*. Akadémia Kiadó, Budapest, 1960.
- [42] Erdey László: *Bevezetés a kémiai analízisbe I–II*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1969, 1970.
- [43] Erdey László–Mázor László: *Analitikai kézikönyv*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [44] Eucken, Arnold: *Grundriss der physikalischen Chemie*. Akademische Verlagsgesellschaft, 1951.
- [45] Feigl, Fritz: *Spot tests in inorganic analysis*. Elsevier, 1958.
- [46] Feigl, Fritz: *Spot tests in organic analysis*. Elsevier, 1960.
- [47] Ferszman, A. E.: *Szórakoztató geokémia*. Dante Könyvkiadó, Budapest, 1950.
- [48] Ferszman, A. J.: *Szórakoztató ásványtan*. Művelt Nép Könyvkiadó, Budapest, 1951.
- [49] Feynman, R. P.–Leighton, R. B.–Sands, M.: *Mai fizika I–X*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
- [50] Fieser, L. F.: *Szerveskémiai laboratóriumi praktikum*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [51] Fieser, L. F.–Fieser, Mary: *Organic Chemistry*. Reinhold, New York, 1956.

- [52] Fresenius, W.–Jander, G.: *Handbuck der analytischen Chemie*. Springer-Verlag, Berlin – Göttingen – Heidelberg, 1956.
- [53] Furka Árpád: *Szerves kémia*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998.
- [54] Gerecs Árpád: *Bevezetés a kémiai technológiába*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1983.
- [55] Grasselly Gyula: *Ásvány- és ércelemzési módszerek*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1953.
- [56] Greenwood, N. N.–Earnshaw, A.: *Az elemek kémiája I–III*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999.
- [57] Gróh Gyula: *Szervetlen kémia*. Budapest, 1945.
- [58] Gróh Gyula: *Szerves kémia*. Budapest, 1946.
- [59] Grubitsch, Heribert: *Anorganisch-präparative Chemie*. Springer-Verlag, Wien, 1950.
- [60] Gurmai Mihály: *Az asztali üvegfúvás*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- [61] Hais, L. M.–Macek, K.: *A papírkromatográfia kézikönyve*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1961.
- [62] Hargittai István: *Szimmetria egy kémikus szemével*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1983.
- [63] Holly Sándor–Sohár Pál: *Infravörös spektroszkópia*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
- [64] Homjakov, V. G.–Masovec, V. P.–Kuzmin, L. L.: *Az elektrokémiai iparágak technológiája*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.
- [65] Horváth Pál–Sors László: *Kémiai áramforrások és alkalmazásaik*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [66] Horváth Zoltán–Pásztor Gedeon: *Vákuummetallurgia*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [67] Inczédi János: *Ioncserélők analitikai alkalmazása*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962.
- [68] Inzelt István: *Vegyí receptek*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1958.
- [69] Inzelt György: *Az elektrokémia korszerű elmélete és módszerei I–II*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999.
- [70] Jeges Károly: *Elektrotechnika egyszerű kísérletekkel*. Gondolat, Budapest, 1961.
- [71] Jegorov, A. P.–Seresevszkij, A. I.–Smányenko, I. V.: *Szervetlen vegyipari technológia*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.
- [72] Juhász András (szerk.): *Fizikai Kísérletek gyűjteménye I–III*. Arkhimédész Bt.–TypoTeX, Budapest, 2001, 1995, 1996.
- [73] Juhász László (szerk.): *Szerves kémiai praktium I–III*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2006.
- [74] Kajtár Márton: *Változatok négy elemre*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2009.
- [75] Kakas Péter: *A gyémántról*. Blueground Kft, Budapest, 2004.
- [76] Kassler, J.: *Untersuchungsmethoden für Roheisen, Stahl und Ferrolegerungen*. Ferdinand Enke, Stuttgart, 1932.

- [77] Kazunobo Kodama: *Methods of Quantitative Inorganic Analysis*. Interscience Publishers, New York – London, 1963.
- [78] Klikorka, Jiří–Klaza, Jan–Zástéra, Antonín–Horák, Jaromír: *Einführung in die präparative anorganische Chemie*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1962.
- [79] Karapetjang, M. H.–Drakin, Sz. I.: *Az anyag szerkezete*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.
- [80] Siposné Kedves Éva–Horváth Balázs–Péntek Lászlóné: *Szervetlen kémia 8. Mozaik*, Szeged, 2008.
- [81] Keil, Bořivoj: *A szerves kémia laboratóriumi módszerei*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- [82] Keleti Tamás: *Enzimkinetika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [83] Kiss László–Láng Győző: *Elektrokémia*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2008.
- [84] Koch Sándor–Sztrókay Kálmán Imre: *Ásványtan I–II*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.
- [85] Kollár György–Kis Julia: *Általános és szervetlen preparatív kémiai gyakorlatok*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1983.
- [86] Kolos Ede: *Vegyszervizsgálat*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
- [87] Kovács Lajos: *Műanyag zsebkönyv*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.
- [88] Kovács Lajos–Csupor Dezső–Lente Gábor–Gunda Tamás: *Száz kémiai mítosz*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2011.
- [89] Kolthoff, I. M.: *Textbook of quantitative inorganic analysis*. MacMillan, New York, 1956.
- [90] Krell, Erich: *Laboratóriumi lepárlás*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- [91] Kremer, Bruno P.: *A mikroszkóp használata*. Geobook, 2008.
- [92] *Laboránsok kézikönyve*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.
- [93] Langhammer, Günter: *Versuche zur physikalischen Chemie*. Volk und wissen volkseigener Verlag, Berlin, 1956.
- [94] Lapp, Ralph E.: *Az anyag*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.
- [95] Leisztner László–Bujtás Piroska: *Az anyag vallomása bűnügyben*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
- [96] Lengyel Béla: *Általános és szervetlen kémiai praktikum I–II*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1969.
- [97] Lengyel Béla–Proszjt János–Szarvas Pál: *Általános és szervetlen kémia*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1960.
- [98] Lieb, Hans–Schöniger, Wolfgang: *Szerves félmikro preparátumok*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- [99] Lienert, Rupert: *Grundlagen der Chemie*. Urban & Schwarzenberg, München–Berlin–Wien, 1972.
- [100] Mádi Istvánné: *Elválasztástechnika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [101] *Magyar gyógyszerkönyv V. kiadás, I–III, Addendum 1958*. Egészségügyi Kiadó, 1954.

- [102] Marx György: *Életrevaló atomok*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1978.
- [103] Máthé János: *Az anyag szerkezete*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.
- [104] Máthé János: *Molekulaspektroszkópiai és kvantumkémiái számítások*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1982.
- [105] Mázor László: *Laboratóriumi technika*. Nehézipari Könyvkiadó, Budapest, 1952.
- [106] Mázor László: *Analitikai zsebkönyv*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1960, 1966.
- [107] Mázor László: *Szerveskémiái analízis I–III*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
- [108] Mázor László: *Szerveskémiái analitikai kézikönyv*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- [109] Mázor László: *Szerves kémiái analízis*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
- [110] Mittasch, Alwin: *Kurze Geschichte der Katalyse in Praxis und Theorie*. Verlag von Julius Springer, Berlin, 1939.
- [111] Mucsikai László: *Kristályosítás*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- [112] Müller, R. K.: *Die toxikologisch-chemische Analyse*. Verlag Theoder Steinkopff, Dresden, 1976.
- [113] Náráy-Szabó István: *Kristálykémia*. Kir. Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest, 1944.
- [114] Náráy-Szabó István: *Szervetlen kémia*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1956.
- [115] Náráy-Szabó István: *Rövid szervetlen kémia*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1960.
- [116] Náráy-Szabó István: *Kémia*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.
- [117] Okáč, Arnošt: *Qualitative analytische Chemie*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1960.
- [118] Oláh György–Goeppert, Alain–Prakash, G. K. Surya: *A metanolgazdaság*. Better Kiadó, Budapest, 2007.
- [119] *Organikum*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.
- [120] Orlova, J. J.: *Brizáns robbanóanyagok kémiája és technológiája*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
- [121] Orosz György (szerk.): *Szerves kémiái praktikum*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998.
- [122] Öveges József: *Kis fizika I–II*. Művelt Nép Könyvkiadó, Budapest, 1953, 1954.
- [123] Öveges József–Molnár Ottó: *Szines fizikai kísérletek a „semmiből”*. Móra Ferenc Könyvkiadó, Budapest, 1977.
- [124] Öveges József: *Kísérletezzünk és gondolkozzunk!* Gondolat Kiadó, Budapest, 1979.
- [125] Öveges József–Molnár Ottó: *Játékos kísérletek az elektronnal*. Móra Ferenc Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- [126] Pais István: *Kémiái előadási kísérletek*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1965.
- [127] Palmer, W. G.: *Experimental physical chemistry*. Cambridge, at the University Press, 1946.
- [128] Palotás László: *Mérnöki kézikönyv 1.–4.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- [129] Pápay László: *Kristálytan, ásványtan, kőzetan*. Szegedi Egyetemi Kiadó, Szeged, 2006.

- [130] Partington, J. R.: *An advanced treatise on physical chemistry I*. Longmans, Green and Co., London – New York – Toronto, 1949.
- [131] Partington, J. R.: *General and inorganic chemistry*. MacMillan, London, 1954.
- [132] Pásztor Gedeon–SzepessyAndrásné–Kékesi Tamás: *Színesfémek metallurgiája*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
- [133] Pásztor Gedeon–Szepessy Andrásné–Siklósi Péter–Osvald Zoltán: *Könnyűfémek metallurgiája*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [134] Paulik Ferenc–Paulik Jenő: *Termoanalízis*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.
- [135] Perry, John H.: *Vegyésszémernökök kézikönyve I–II*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
- [136] Perrin, D. D.—: *Purification of laboratory chemicals*. Pergamon Press, 1966.
- [137] Pesty László: *Akkumulátorok elemek*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962.
- [138] Péter Ferenc (szerk.): *Szinezék kézikönyv*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
- [139] Pető Gábor Pál–Szabadváry Ferenc: *A kémia nagy pillanatai*. Móra Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [140] Pilling, Michael J.–Seakins, Paul W.: *Reakciókinetika*. Nemzeti Tankönyvkiadó, 1997.
- [141] Póta György: *Fizikai kémiai III/1*. Debrecen, 2004.
- [142] Pozin, M. JE.: *Szeretlen sók technológiája*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.
- [143] Preisich Miklós: *Bevezetés az elektrokémiába*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1960.
- [144] Preisich Miklós: *Vegyipari termékek*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [145] Proszjt János–Erdey-Grúz Tibor: *Fizikai-kémiai praktikum*. Sopron, 1934.
- [146] Pungor Ernő: *Analitikusok kézikönyve*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.
- [147] Rády György–Györbíró Károly–Laszlovszky József: *Minőségi kémiai elemzési gyakorlatok és a minőségi elemzés félmikro módszerei*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.
- [148] Rimbach, Eberhard: *Kleines physikalisch-chemisches praktikum*. Friedrich Cohen, Bonn, 1909.
- [149] Rohrsetzer Sándor: *Kolloidika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1983.
- [150] Rohrsetzer Sándor: *Kolloidika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
- [151] Rohrsetzer Sándor (szerk): *Kolloidkémiai laboratóriumi gyakorlatok*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.
- [152] Rohrsetzer Sándor–Udvarhelyi Katalin–Mádi István–Szántó Ferenc: *Kolloidkémiai és kolloidtechnológiai laboratóriumi gyakorlatok*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1990.
- [153] Rózsahegyi Márta–Wajand Judit: *Látványos kémiai kísérletek*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [154] Rózsahegyi Márta–Wajand Judit: *575 kísérlet a kémia tanításához*. Mozaik, Szeged, 1999.
- [155] Römpf, Hermann: *Vegyészeti lexikon I–III*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1960.
- [156] Römpf, Hermann: *Vegyészeti lexikon I–IV*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.

- [157] Ruff Ferenc: *Szerves vegyületek szerkezetvizsgálata spektroszkópai módszerekkel*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [158] Saechtling, Hansjürgen: *Kunststoff Taschenbuch*. Karl Hansen Verlag, München – Wien, 1986.
- [159] Sajó István: *Termometria*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- [160] Sajó István: *Komplexometriai*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [161] Schay Géza: *A gázkromatográfia alapjai*. Akadémia Kiadó, Budapest, 1961.
- [162] Schering, A. G.: *Die Kahlbaum Präparate*.
- [163] Schreiter, W.: *Die seltene Metalle I–III*. VEB Deutscher Verlag für Grudstoffindustrie, Leipzig, 1960–1962.
- [164] Schulek Elemér–Szabó Zoltán László: *A kvantitatív analitikai kémia elvi alapjai és módszerei*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1973.
- [165] Schwarz, R.–Schenk, P. W.: *Chemisches Praktikum*. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 1954.
- [166] Sekowski, Stefan: *Galvanizáljunk otthon!* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [167] Sekowski, Stefan: *Kísérletezzünk otthon!* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
- [168] Siddons, Collin: *Fizikai kísérletek*. Novotrade, Budapest, 1991.
- [169] Smith, Orsino C.: *Identification and Qualitative Chemical Analysis of Minerals*. D. van Nostrand, 1953.
- [170] Sneed, M. Cannon–Brasted, Robert C.: *Comprehensive Inorganic Chemistry*. D. van Nostrand.
- [171] Stock, Alfred–Stähler, Arthur: *Praktikum der quantitativen anorganische Analyse*. Verlag von Julius Springer, Berlin, 1918.
- [172] Skoog, D. A.–West, D. M.: *Fundamentals of Analytical Chemistry*. Saunders College Publishing, 1988.
- [173] Sólyom Jenő: *A modern szilárdtest-fizika alapjai I–III*. ELTE Eötvös Kiadó, 2009.
- [174] Solomons, T. W. G.–Fryhle, C. B.: *Organic chemistry*. John Willey, 1998.
- [175] Szabadváry Ferenc: *Az analitikai kémia módszereinek kialakulása*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1960.
- [176] Szabadváry Ferenc: *Az elemek nyomában*. Gondolat, Budapest, 1961.
- [177] Szabadváry Ferenc: *A magyar kémia művelődéstörténete*. Mundus, Budapest, 1998.
- [178] Szabadváry Ferenc–Szókefalvi-Nagy Zoltán: *A kémia története Magyarországon*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1972.
- [179] Szabó Elek–Simonits András: *Aktivációs analízis*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [180] Szabó Zoltán: *Válogatott fejezetek a modern szerves kémiaiából*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1959.
- [181] Szabó Zoltán–Nyilasi János: *A szerves kémia alapjai*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [182] Szekeres László: *Szerves kémia*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1967.

- [183] Sztrókey Kálmán: *Kémiai kísérletek*. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda.
- [184] Sztrókey Kálmán: *Kémiai kísérletek*. Ifjúsági Könyvkiadó, 1956.
- [185] Sztrókey Kálmán: *A vegyész versenye a természettel*. Országos Közművelődési Tanács, Budapest.
- [186] Sztrókey Kálmán Imre–Grasselly Gyula–Nemecz Ernő–Kiss János: *Ásványtani praktikum I–II*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1971, 1970.
- [187] Tananajev, N. A.: *Csepelelés*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1959.
- [188] Thiel, A.: *Absolutkolorimetrie*. Walter de Gruyter, Berlin, 1939.
- [189] Tóth Eszter–Holics László–Marx György: *Atomközélen*. Gondolat, Budapest, 1981.
- [190] Turi Pál (szerk.): *Gyógyszerek és gyógyszergyártás*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1957.
- [191] Treadwell, F. P.: *Lehrbuch der analytischen Chemie I*. Franc Deuticke, Wien, 1942.
- [192] Tyihák Ernő (szerk.): *A rétegekromatográfia zsebkönyve*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.
- [193] Upor Endre–Mohai Miklósné–Novák Győző: *Fotometriás nyomelemzési módszerek*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [194] Vanino, Ludwig: *Präparative Chemie I–II*. Ferdinand Enke, Stuttgart, 1925, 1914.
- [195] VanCleave, Janice: *Kémia*. Springer-Verlag, 1995.
- [196] Vándor József: *Kémiai termodinamika*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1952.
- [197] Varga József–Polinszky Károly: *Kémiai technológia I/1–I/2–II*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1962, 1959, 1953.
- [198] Vermes Miklós: *Fizikai kísérletek*. Jedlik Oktatási Stúdió, Budapest, 2005.
- [199] Vámosné Vigyázó Lilly: *Papírelektroforézis*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.
- [200] Vincent, Alan: *Molekuláris szimmetria és csoportelmélet*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1987.
- [201] Veszprémi Tamás: *Általános kémia*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2015.
- [202] Vogel, Artur I.: *Practical organic chemistry*. Longmans, 1979.
- [203] Vogel, Artur I.: *Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis*. 1955.
- [204] Weinland, R.–Beck, Chr.: *Darstellung anorganische Präparate*. Verlag von J. C. B. Mohr, Tübingen, 1913.
- [205] Weissermel, Klaus–Arpe, Hans–Jürgen: *Ipari szerves kémia*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1993.
- [206] Weisz, Herbert: *Microanalysis by the Ring Oven Technique*. Pergamon Press, 1970.
- [207] Weygand, C.–Hilgetag, C.: *Organische-chemische Experimentierkunst*. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 1964.
- [208] Wilson, Michell: *Az energia*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
- [209] Winnacker, Karl–Küchler, Leopold: *Chemische Technologie 1–7*. Carl Hanser Verlag, München, 1970–1975.
- [210] Winnacker, Karl–Küchler, Leopold: *Kémiai technológia I–II*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962–1963.

- [211] Wolfram Ervin: *Kolloidika I-II.1-II.2*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1997.
- [212] Záray Gyula (szerk.): *Az elemanalitika korszerű módszerei*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2006.
- [213] Zechmeister László: *Organikus chemia*. Sylvester, Budapest, 1930.

Mutató

- abszolút entalpia 296
— szabad entalpia 296
abszorpció 82
acél 260
acélgyapot 243
acetát 207
acetilén 242
aceton 240
adhézió 10
adszorbatum 91
adszorpció 89, 242
adszorbens 91
aerogél 166
aerométer 34
aeroszol 166
Ag 251
agyonégetett gipsz 132
ágyúfém 252
akkumulátor 367, 386
akkumulátorsav 367
aktinidák 451
aktív klór tartalom 412
— szén 241
aktiválási energia 380
aktivitás 336
Al 266
alacsony szimmetriájú 141
alap 19
alapállapot 458
albit 430
Algaroth-féle por 471
álhalogének 423
alhéj 452
alig oldódik 116
alkáliföldpát 430
alkohol 240
állandó keménység 223
— súlyviszonyok törvénye 13
állapotábra 79
állólombik 184
allotróp módosulat 234
alsó égéshő 288
— lángköpeny 244
általános gáztörvény 157, 167
alumen 266, 373
alumínium 266
alumíniumbronz 253
alumínium-klorid 341
alumíniumpor 351
amalgám 251
amfibol 430
amfoter 348
amidószulfonsav 444
amin 309
aminosav 309
ammónium-acetát 313
ammónium-hidrogén-karbonát 307
ammónium-karbamát 307
ammónium-karbonát 307
ammónium-szulfát 372
amorf 41
— kén 351
Amperè, André-Marie (1775–1836) 145
anhidrit 130
anioncserélő 323
anód 144
anomális 465
anortit 430
antimon 252, 469
antimonbronz 252
antimonit 471
antimonvaj 471
antocián 208
anyagmegmaradás törvénye 9
anyalúg 102
apatit 424
apoláris 163
ár 23

aragonit 320
áram kémiai hatása 144
áramjelzőt 146
áramkulcs 333
áramsűrűség 389
áramvezető sín 390
arany 251
aranyárban van 251
aranymosás 411
arányossági határ 254
Arendt, R. 520
argentum 251
argon 474
Armarego, W. L. F. 525
Arpe, Hans-Jürgen 527
arzén 252, 469
arzénbronz 252
arzén-hidrogén 470
arzénsav 470
As 252
ásványi sav 396
aszorbinsav 420
asztácium 474
Atkins, P. W. 520
átlagos aktivitási tényező 337
átmeneti fémek 451
atmoszféra 71
atombomba 448
atomhő 340
atomreaktor 447
Au 251
auripigment 470
aurum 251
austenit 263
autokatalízis 440
Avogadro 157, 167, 169, 171, 192, 234,
328, 442
azbeszt 429
azeotróp elegy 51
azonosítási határ 404
áztatás 209
B 260
Ba 393
Balázs Lóránt 520
Balázs Lórántné 520
Balezin, Sz. A. 520
BánkiDonáth (1859–1922) 247
Barcza Lajos 520
baritvíz 393
bárium 393
bárium-peroxid 396
báriumvegyületek ártalmatlanítása 394
barnakő 265, 436
barnakőszén 239
barnaszén 239
barométer 73
Bártfai Béla 520
bauxit 374
Bayer-eljárás 374
bázikus magma 430
bázis 210
bázisos magnézium-karbonát 373
Beck, Chr. 527
Becquerel 447
Beilstein-próba 423
belső ellenállás 148, 383
— energia 75, 172
— súrlódás 40
belsőégésű gép 94
Bender, Adolf 520
Benedetti-Pichler, A. A. 520
Benedict reagens 403
bengáli tűz 415
benyomódási keménység 236
benzoésav 240
benzol 240
berill 431
berillium 466
berilliumbronz 252
berkélium 468
berlini kék 366, 403
— zöld 404
betadine 419
Bettendorff-kémszert 470
, 254
Biltz, Heinrich 520
Biltz, Wilhelm 520
bioetanol 51
bizmut 253, 469
Bognár János 520
Bognár Rezső 520
Bohr-féle atomsugár 458

Boltzmann 171, 174, 291
 Boltzmann-állandó 171
 Boltzmann-eloszlás 174
 bontási feszültség 147
 borászati kotyogó 185
 bordói lé 379
 borkén 357
 borkősav 240
 bórsav 322
 borszesz 51, 201
 bór-volfram vonal 451
 Bouquet Gusztáv 520
 Boyle, Robert (1627–1691) 69
 Brasted, Robert C. 526
 Brauer, George 520
 Brinell-keménység 236
 bróm 417
 bromát 418
 brómkáli 103
 brómsav 418
 bronz 252
 Brown, Robert (1773–1858) 17
 Bruchner Győző 520
 Buchböck Gusztáv 520
 Büchner-tölcsér 105
 Budó Ágoston 520
 Bujtás Piroska 523
 Bunsen-égő 248
 Bunsen, Robert Wilhelm (1811–1899) 248
 Burger Kálmán 520
 Buzágh Aladár 520–521
 büretta 191, 315
 Ca 266
 cal 40
 calcium 215, 266
 calgon 427
 calx 266
 Carnot, Nicolas Léonar Sadi (1796–1832)
 94
 Caro-féle sav 372
 Cassius bíbor 410
 Cavalieri [kavaliéri], Francesco
 Bonaventura (1598?–1647) 25
 Cd 252
 cellulóz 240
 Celsius, Anders (1701–1744) 60
 cementit 264
 cérium 467
 Charles 63
 cián 405
 cianát 423
 ciánsav 423
 cigarettázás 239
 cinkgálic 375
 cink-klorid 341
 cink-szulfát 375
 citromsav 240
 Clapeyron, Benoit Paul Émile
 (1799–1864) 95, 118, 129, 302
 Clapeyron-egyenlet 95
 Co 264
 columbium 473
 Coulomb 159
 Cr 265
 csapadék 101
 cseppfogó 185, 321
 cseppkö 222
 cseppmodell 446
 csereáram-sűrűség 333
 cserebomlás 359
 csersav 345
 csillám 429–430
 csipesz 186
 csiszolási keménység 237
 csiszolni 388
 csomógömb 459
 csónak 183
 Csonka János (1852–1939) 247
 csonthamu 424
 Csupor Dezső 523
 Cu 252
 cukorszén 233
 cuprum 252
 Curie, Eve 521
 C vitamin 420
 Dalton, John (1766–1844) 85
 Dalton törvénye 85
 Daniell-elem 344, 384
 D'Ans, J. 521
 Davy, Humphry (1778–1829) 248, 266,
 327
 Deák Gyula 521

Debye, Peter (1884–1966) 336
 dekantálás 104, 117
 denaturált szesz 51
 Descartes 72
 deszorpció 82
 desztilláció 199
 desztillálás 51
 deutérium 446
 diafragma 325
 dicián 405
 differencia 21
 differenciálegyenlet 97
 — rendszer 99
 differenciális termikus analízis 378
 — — gravimetria 378
 diffúzió 15
 diffúziós együttható 177
 — potenciál 333
 difoszforsav 425, 427
 digerál 307
 digír 140
 digitális mérleg 28
 dikénessav 357
 dikénsav 369
 dinamikus egyensúly 215
 disszociáció 215
 disszociációs állandó 217
 — kitevő 217
 disszociálnak 161
 diszpergált anyag 166
 diszperziós közeg 166
 diszproporcinálódás 379
 diszprózium 467
 Divers-folyadék 310
 Dobos Dezső 521
 Doermer, L. 520
 Dominghaus, Hans 521
 döngölt sűrűség 37
 drága 251
 Drakin, Sz. I. 523
 dugó 78
 dugófúrás 57
 Dulong 339
 Dulong–Petit-szabály 339
 durranó arany 410
 durranógáz 158, 161, 273
 — próba 273
 dinamid 445
 Dzsida László 521
 Earnshaw, A. 522
 Ec 216
 ecetsav, 239
 Edison 155
 Edison, Thomas Alva, ??–?? 387
 edzés 261
 edzhető 260
 égéshő 46
 égetett gipsz 130
 — magnézia 349
 — mész 214
 — timsó 373
 egyenlő szétosztás 172
 egyesített gáztörvény 69
 Einstein, Albert (1879–1955) 454
 einsteinium 468
 ekvipartíció 172
 elég drága 251
 — olcsó 251
 elektród 144
 elektrokémia 328
 elektrolizáló kád 390
 elektrolízis 146, 156
 elektromos vezető 146
 elektroncső 155
 elektronhéj 457
 elektronnegativitás 454
 elektronvolt 380
 elektronvonzó képesség 454
 elemi cella 12
 ellenáram elve 200
 Ellingham-diagram 283
 Ellingham, Harold (1897–1975) 283, 292,
 294, 298, 325
 elnyeletőharang 229
 előtétellenállást 160
 elsőfokú közelítés 59
 Emsley, John 521
 emulzió 47, 166, 408
 endoterm 118
 energiamegmaradás törvénye 45
 entrópia 296
 enyv 424

eoizin 418
erbio 467
ércképző 473
Erdey-Grúz Tibor 521, 525
Erdey László 521
Erdman 520
Erlenmeyer-lombik 184
erős elektrolit 330
— kölcsönhatás 446
érzékenység 183
esztrichgipsz 132
éter 240
etilalkohol 240
etilcsoport 240
etiléter 240
Eucken, Arnold 521
Euler-módszer 97
európium 467
eutektikum 108
exoterm 118
exszikkátor 132
extrakció 443
ezüst 251
ezüstforrasztás 281
fagyáspontgörbe 109
Fahrenheit, Daniel Gabriel (1686–1736)
60
fajhő 41
fajlagos ellenállás 149
— vezetőképesség 330
faktor 314, 335
Faraday 84, 159–160, 325, 328
Faraday törvénye 159
faszén 239
faszesz 163, 239
fázis 80
fázisszabály 81
Fe 260
fecskendőpalack 105
fehér agyag 374
— foszfor 427
— magnézium 349
fehérgalic 375
fehérje 309
Fehling-reagens 402
Feigl, Fritz 521
feketékőszén 239
felezési idő 119, 128
félfém 451
felhajtóerő 33
félígáteresztő 197
feloldódik 99
feltárás 382, 429
felületaktív anyag 166
felületi feszültség 47, 49
fenol 240
fenoltalein 208
fény sebessége 447
fenyőgyanta 257
fermium 468
ferrit 263
ferrokróm 433
Ferszman, A. E. 521
Ferszman, A. J. 521
feszültség 255
feszültségosztó 153
Feynman, R. P. 521
Fieser, L. F. 521
— 521
Fieser, Mary 521
finomító torony 203
fixírsó 357
Fleitmann-teszt 471
fluorapatit 426
fluoreszcein 418
fluoreszkál 352
fluorit 416
fluorszulfonsav 444
fogó 187
fogyás 223
folyadéküveg 184
folyási határ 255
folypát 416
folsav 416
forráshő 46
forráspontgörbe 80, 109
forrasztás 257, 281
forrasztócső 278
forrasztóórn 253, 257
forrázat 209
forró 28
foszfin 427

foszfor 424, 427
 foszforeszkál 352
 foszforsav 424
 foszforsó 425
 foszgén 442, 444
 foton 324, 454
 főkvantumszám 457
 földpát 430
 földpátpótló 430
 földtani hőmérő 429
 főtengely 141
 — nélküli 141
 főtengelyes 141
 főzet 209
 főzőpohár 185
 főzött só 104
 frakció 103
 frakcionáló lombik 184
 francium 465
 Franz 149
 frekvencia 177
 Fresenius, W. 522
 Fryhle, C. B. 526
 fullerén 235
 fulminsav 423
 fúrási keménység 237
 Furka Árpád 522
 futtatási szín 260
 fűvőláng 248
 fürdő 389
 füstölő salétromsav 397
 Ga 254
 gadolinium 467
 Galilei, Galileo (1564–1642) 91
 Galvani, Luigi, (1737–1798) 277–278
 γ -sugárzás 89
 Gay-Lussac 63, 69
 gáz 79
 gázállandó 157
 gázégő 185
 gázgyújtóra 247
 gazométer 276
 gázvíz 239
 gél 166
 Gerecs Árpád 522
 germánium 469
 Gibbs 277, 298
 Gibbs–Helmholz-egyenlet 298
 gipsz 130, 372
 giroid 141
 Glauber, Johann Rudolf, (1604–1670) 359
 glaubersó 359
 glicerín 353
 glykosept 418
 Goepfert, Alain 524
 gömbfüggvény 461
 gömblombik 184
 gőz 79
 gőzfürdő 56, 104
 gőzfürdőben 55
 gőznyomásgörbe 80
 granulált 259
 Grasselly Gyula 522, 527
 Greenwood, N. N. 522
 Gróh Gyula 522
 Grubitsch, Heribert 522
 Grüneisen 54
 Guldberg 79
 Guldberg–Guye-szabály 79
 gumidugó 78
 Gunda Tamás 523
 Gurmai Mihály 522
 Gutzeit-próba 470
 Guye 79
 gyakorlatilag oldhatatlan 116
 gyantás cin 257
 gyenge elektrolit 331
 gypevasér 279
 gyorsacél 265
 gyorsulás 29
 gyök 210, 455
 Győrbíró Károly 525
 gyümölcscukor 240
 hab 166
 Haber–Bosch-szintézis 308
 hafnium 469
 Hais, L. M. 522
 hajszálcso 49
 halmazsűrűség 36
 halogén 473
 hamumentes szűrőpapír 101
 hamuzsír 228

hangyasav 240
hánytató borkő 472
harangfém 252
haranggörbe 172
Hargittai István 522
harmadrendű 98
háromspont 80
harmatpont 86
harmatpontgörbe 202
háromfogású 140
határhányados 404
határkoncentráció 404
hatásfok 91
hatfogású 140
hatvány 19
hegesztés 280
Heisenberg-féle határozatlansági reláció 464
Heisenberg, Werner Karl (1901–1976) 178, 458, 464
héj 452
héjmodell 446
hektár 23
hélium 475
Helmholz 298
hemi 130
hemihidrát 130
Henry törvénye 82
Henry, William (1774–1836) 82
Hevessy 448
hexagír 140
Hg 251
hibridizál 462
hideg 28
hidegalakítás 260
hidegenyv 322
hidrát 123
hidratációs hő 127
hidrazin 413
hidrogén 144, 156
hidrogén-cianid 403
hidrogénhíd 164
hidrogén-szulfid 352
hidrolizál 231
hidrolízis 231
hidroxid 215
hidroxilamin 413
hidroxilapatit 426
hidroxóniumion 164
higany 251
hígításhő 118
hígított szesz 51
higroszkópos 130
Hilgetag, C. 527
hipobromit 418
hipofoszforsav 427
hipoklórossav 326, 412
Holics László 527
Holler, F. J. 526
Holly Sándor 522
holmium 467
Homjakov, V. G. 522
Hooke, Robert (1635–1703) 254
Hooke-törvény 254
Horák, Jaromír 523
horganyzott vaslemez 268
Horváth Balázs 523
Horváth Pál 522
Horváth Zoltán 522
hosszú periódusos rendszer 451
hőelem 280
hőkapacitás 60
hőkiegyenlítődesi törvény 119, 213
hőmérséklet 28
hőmérsékleti alappontok 64
hősugárzás 89
hőtan első főtétele 45
— harmadik főtétele 296
— második főtétele 92
hővezetési tényező 42
hullámfüggvény 457
Hund-szabály 453
Hüchel, Erich (1896–1980) 336
hűtőcső 200
hűtőgép 94
hűvös 28
hydrargyrum 251
hypo 327
ideális elegy 194
— gáz 69, 75
illóolaj 86
impulzus 168

impulzusmegmaradás 168
In 254
Inczédi János 522
index 137
indikátor 207
infravörös 89
inkongruensen 371
inverz 213
inverzió 140
Inzelt György 522
Inzelt István 522
ion 152
ioncserélő 323
ioncserélt víz 323
Ir 251
iridium 251
itterbium 467
ittrium 467
izociánsav 423
izodimorfizmus 143
izoméria 423
izoterm desztilláció 306
izotóp 446
Jander, G. 522
javított Euler-módszer 98
Jeges Károly 522
Jegorov, A. P. 522
jód 419
jodoform próba 443
jodosept 419
jódinktúra 419
jól oldódik 116
Juhász András 522
Juhász László 522
kadmiumbronz 252
Kajtár Márton 522
Kakas Péter 522
kalcit 320
kalcium 215, 266
kalciumföldpát 430
kalcium-hidrogén-karbonát 221
kalcium-szulfát 359
kalibrál 31
kalifornium 468
káliföldpát 430
kálilúg 229
kálisó 100
kálium-diszulfát 371
kálium-hidrogén-tartarát 241
kálium-manganát 438
kálium-nátrium-tartarát 241
kálium-nitrit 363, 366
kálium-szulfát 371
kálium-tartarát 241
kalkogén 473
kalomel 409
kalória 40
kaloriméter 37
kaolin 374
kapilláris 49, 191
kapillárkondenzáció 90
Karapetjang, M. H. 523
karbamid 444
karbonát 220
karcolás 235
karcolási keménység 236
Kassler, J. 522
katalizátor 284
kationcserélő 323
katód 144
kauszifikálás 226
kauszitikus szóda 226
kazein 322
kazeinlakk 322
Kazunobo Kodama 523
Keil, Bořivoj 523
kéjgáz 400
Kékesi Tamás 525
kékgálic 375
kékgálichoz 143
kékkő 375
kéksav 404
Keleti Tamás 523
Kelvin, Lord (William Thomson,
1824–1907) 63
kémcsőfogó 26
keményforrasz 281
keményítő 240
keményíólom 386
keménység 223
kémiai technológia 359
kemiszorpció 90

kén 350
 kénessav 356
 kén-hidrogén 352
 kénmáj 357
 kénmáj-próba 280
 kénsav 367
 kénsavval. 143
 kénvirág 351
 Kepler, Johannes (1571–1630) 25–26, 30
 képződéshő 287
 képződési szabad entalpia 295
 kétértékű sav 221
 kétfogású 140
 kétfogú 402
 kétszer desztillált víz 332
 kettősdíó 187
 kettőstörés 114
 kevert bronz 252
 kevésbé oldódik 116
 kikristályosodik 99
 kilágyítás 261
 kimoshatatlan tinta 407
 kioldás 443
 kirázás 443
 kísérlet 5
 Kis Julia 523
 Kiss János 527
 Kiss László 523
 Kitaibel Pál, (1757–1817) 327
 kitermelés 103
 kitevő 19
 Klaza, Jan 523
 Klikorka, Jiří 523
 klór 312
 klorál 441
 klóramin 412
 klórapatit 426
 klorát 413
 klór-dioxid 371
 klórdurranógáz 324
 klórfejlesztés 327
 klorid 312
 klorit 414
 klórmész 327
 klóros víz 326
 klórossav 414
 klórsav 413
 klórszulfonsav 444
 Knoop-keménység 237
 koagulál 165
 kobalt 264
 kobaltüveg 230
 Koch Sándor 523
 kocka 139
 koffein 84
 kohézió 10
 Kohlrausch, Friedrich Wilhelm Georg
 (1840–1910) 330
 koks 239
 kolatórium 102
 Kollár György 523
 kolloid oldat 165
 Kolos Ede 523
 Kolthoff, I. M. 523
 komplex 401
 kompresszibilitási együttható 182
 koncentráció 51
 koncentrációs elem 333
 kondenzált állapot 88
 konstans 93
 koordinációs szám 402
 korrózió 270
 korund 281
 kovácshegesztés 260
 Kovács Lajos 523
 kovácsolható 260
 kovaföld 431
 kovalens kötés 442, 454
 kovasav 417
 kozmaolaj 205
 köbgyök 210
 körfolyamat 93
 köszén 239
 köszénkátrány 239
 kötésszög 455
 kötő elektronpár 455
 közepes szabad úthossz 177
 — szimmetriájú 141
 közömbösítési hő 313
 Krell, Erich 523
 Kremer, Bruno P. 523
 kripton 475

kristályosítás *100*
 kristályosító csésze *104, 185*
 kristályvíz *123*
 kritikus hőmérséklet *79*
 — nyomás *79*
 — sűrűség *79*
 krokoit *474*
 króm *265*
 kromil-klorid *434*
 kromit *435*
 krómoxidhidrátzöld *433*
 krómoxidzöld *433*
 krómsárga *434*
 krómsav *434*
 krómtimsó *434*
 krómvaszó *433, 474*
 kupelláció *411*
 Kuzmin, L. L. *522*
 Kűchler, Leopold *527*
 különbségi hányados *59*
 külső fűtésű cső *206*
 kúrium *468*
 kvadratikus interpoláció *60*
 kvantum *453*
 kvantumkémia *178, 457*
 kvantummechanika *457*
 kvarc *33*
 kvarc, *417*
 kvarcüveg *34, 429*
 kvark *446*
 laboratóriumi jegyzőkönyv *6*
 lágyforrasztás *257*
 lakmuszpapír *208*
 láncreakció *324*
 láng világító része *244*
 — visszacsap *248*
 Láng Győző *523*
 Langhammer, Günter *523*
 lángköpeny *244*
 lángmag *244*
 langyos *28*
 lantán *467*
 lantanida kontrakció *451*
 lantanidák *451*
 lapcentrált köbös *269*
 Lapp, Ralph E. *523*
 Laszlovszky József *525*
 laurencium *469*
 Lavoisier *234, 243, 276, 428*
 Lax, E. *521*
 C *117*
 lebedurit *264*
 Leblanc-féle szódagyártás *360*
 Le Châtelier *117–118, 294, 302, 308*
 Lechatelier-elv *308*
 Lechlanché-elem *385*
 lecsapás *320*
 lecsapott kén *358*
 légfürdő *104*
 legnagyobb szimmetriájú *141*
 legszorosabb illeszkedésű hatszöges *269*
 legtöményebb szesz *51*
 légüres tér *42*
 legvalószínűbb sebesség *174*
 lehülési törvény *120*
 Leighton, R. B. *521*
 Leisztner László *523*
 Lénárd Fülöp *445, 453*
 lendület *168*
 lendületmegmaradás *168*
 Lengyel Béla *523*
 Lente Gábor *523*
 lepárlás *51, 199*
 leucit *430*
 levegőztetési elem *347*
 Lieb, Hans *523*
 Liebig, Justus von, (1803–1873) *200*
 Lienert, Rupert *523*
 ligandum *402*
 lignit *239*
 lineáris interpoláció *59*
 liofil *165*
 liofob *165*
 lobbanáspont *246*
 logaritmus *211*
 lombik *184*
 lúgok és savak megsemmisítése *320*
 lúgos feltárás *429*
 lupe *20*
 lutécium *467*
 M *161*
 Macek, K. *522*

Mádi István 525
Mádi Istvánné 523
magasság 23
magerő 446
maghasadás 447
mágikus szám 446
magma 430
mágnés kvantumszám 457, 464
magnesia alba 349
— mixtura 427
— usta 349
mágnésvasérc 279
magnéziapálca 319
magnézium 266
magnézium-hidroxid 267
magnézium-klorid 341
magnézium-nitrid 304
magnézium-szulfát 372
mangán 265, 436
manganát 438
Mariotte 69
marólúg 226
Marsh-próba 471
Martens-féle keménységmérés 236
martenzit 264
Martin, Pierre Émile (1824–1915) 92
mártó gyufa 414
Marx György 524, 527
másodfajú örökmozgó 288, 293
másodrendű 98
Masovec, V. P. 522
Máthé János 524
Mátrai Tibor 520
maximális terhelés 255
Maxwell-féle sebességeloszlás 173
Maxwell, James Clerk (1831–1879) 173,
178
máz 374
Mázor László 521, 524
megelesztés 261
megfordítható 94
megosztás 162
Meidinger-elem 385
meleg 28
melegalakítás 260
mellékkvantumszám 457
mendelévium 469
Mengyelejev, Dimitrij Ivanovics
(1834–1907) 448
méréshatár 183
mérőoldat 223
mérsékeltlen oldódik 116
mészhidrát 156, 215
mészkénlé 357
mészsalétrom 305
mésztej 156, 215
mészvíz 156, 215
metafoszforsavak 427
metán 241
metastabil 114, 128
metilalkohol 240
metilcsoport 240
Meyer, Lohtar (1830–1895) 448
Mg 266
Mittasch, Alwin 524
Mn 265
Mo 265
modellgipsz 130
Mohai Miklósné 527
Mohr-só 376
mol 157, 447
moláris entrópia 296
— vezetőképesség 330
molaritás 161
molekulapálya 454
mólhő 173, 340
molibdén 265, 474
molibdenit 435, 474
Molnár Ottó 524
mólsugar 448
monoklin kén 351
mosópalack 191
Mucskai László 524
Müller, R. K. 524
nádcukor 240
nagyon drága 251
— jól oldódik 116
— olcsó 251
Náray-Szabó István 524
nátrium-acetát 207
nátrium-diszulfid 357
nátrium-hidrogén-karbonát 221

nátrium-hipoklorit *327*
nátrium-karbonát *220*
nátrium-nitrit *366*
nátrium-szulfát *359*
nátrium-tioszulfát *357*
nátron *207*
nátronföldpát *430*
nátronlúg *226*
nátronmész *227*
nátronsalétrom *307*
nedvesítési próba *416*
nedvszívó *130*
nefelin *430*
négyfogású *140*
négyzetes közelítés *60*
négyzetgyökvonás *25*
nehézfém *252*
nehézfém-sók ártalmatlanítása *358*
nem kötő elektronpár *455*
Nemecz Ernő *527*
nemes fém *251*
— gáz *474*
német keménységi fok *223*
neodim *467*
neon *474*
neptunium *468*
neutron *446*
Newcomen, Thomas (1664–1729) *91*
Newton, Isaac (1643–1727) *29, 119, 213*
Ni *264*
nikkel *264*
niter *207*
nitrát *360*
nitrogén-oxid *399*
nitroglicerint *431*
nitrózus gáz *397*
Nobel, Alfred *431*
nobélium *469*
nóniusz *20*
nordhauseni kénsav *377*
normál elektród potenciál *344*
— hidrogén elektród *344*
— hőmérséklet *69*
— képződési entalpia *287*
— nyomás *69*
— redox potenciál *347*
normálás *461*
normalitás *316*
normált *461*
Novák Győző *527*
nukleon *446*
Nyilasi János *520, 526*
nyitott üvegcső *233*
nylon *122*
nyomószilárdság *256*
ohm *147*
Ohm *147*
Okác, Arnošt *524*
oktaéder *139*
Oláh György *524*
oldat *99*
oldhatatlan anhidrit *132*
oldható anhidrit *132*
— berlini kék *404*
oldhatósági görbe *107, 109*
— szorzat *222*
oldódik *99*
óleum *369*
olivin *430*
ólom *252*
ólombronz *252*
ólomcukor *342*
ólom(II)-klorid *341*
oltott mész *156, 215*
olvadáshő *40*
olvadási görbe *80*
ón *252*
ón(II)-klorid *341*
óraüveg *185*
Orlova, J. J. *524*
Orosz György *524*
Orsós Piroska *520*
ortofoszforsav *424*
ortoklász *430*
Os *251*
Osvald Zoltán *525*
osztott differencia *59*
— pipetta *191*
oxálsav *240*
oxidáció *346*
oxidációfok *364*
oxidációs száma *365*

oxidáló láng 278
oxigén 156
ozmium 251
ozmózis 197
öngyulladás 250
összkeményesség 223
ötvözet 251, 260
Öveges József 524
PA 122
Pais István 524
páka 258
palládium 251
Palmer, W. G. 524
Palotás László 524
pálya 452, 457
Pápay László 524
Papin, Denis (1647–1712) 74
paraffin 37
paraffinolaj 162
paramolibdát 435
parciális nyomás 85
párlat 51
párolt só 104
Partington, J. R. 525
Pascal, Blaise (1623–1662) 67
passzíválódás 399
Pásztor Gedeon 522, 525
patina 379
Pauli-féle tilalmi elv 465
Paulik Ferenc 525
Paulik Jenő 525
Pauling-féle elektronnegativitás 454
Pb 252
Pd 251
pentagondodekaéder 139
Péntek Lászlóné 523
periódusos rendszer 448
perlit 264
permanganát 438
peroxid 284
peroxikénsav 372
Perrin, D. D. 525
Perrin, D. R. 525
Perry, John H. 525
perszulfát 372
Pesty László 525
Péter Ferenc 525
Petit 339
Pető Gábor Pál 525
piknométer 33
pillangófeltét 191
Pilling, Michael J. 525
pirit 139
pirofóros 377
pirofoszforsav 427
piroluzit 436
piroxén 430
plagioklászfeldpát 430
Planck 177–178, 453
Planck-állandó 177
Planck-féle feltevés 453
Planté-féle ólomakkumulátor 386
platina 251
platinakorom 331
plutónium 468
poláris 163
polarizáció 332
polarizálódik 163
poliamid 122
polifoszforsav 425
polimorfia 118
Polinszky Károly 527
polírozni 388
polírrúzs 388
poli-vinil-klorid 424
polivinil-pirrolidon 420
Pomogáts Erzsébet 520
pontosság 183
porcelán 374
— háromszög 186
— mozsár 185
— tál 185
— tégely 185
porlasztó 247
pórus 388
porüveg 184
Póta György 525
Pozin, M. JE. 525
pörkölés 233
Prakash, G. K. Surya 524
prazeodim 467
Preisich Miklós 525

primer amin 309
 prométeum 467
 Proszk János 521, 523, 525
 protaktínium 468
 proton 446
 pszeudoalogen 423
 Pt 251
 pufferhatás 227
 pufferoldal 228
 Pungor Ernő 525
 PVC 424
 PVD 420
 radioaktivitás 447
 rádióhullám 89
 rádium 466
 radon 475
 Rády György 525
 Raoult, Francois-Marie (1830–1901) 193,
 198
 Raoult törvénye 193
 Rayleigh, [reli] John William Strouutt
 (1842–1919) 165
 Rayleigh törvénye 165
 rázott sűrűség 36
 reagens 345
 reakcióentalpia 286
 realgár 469
 reciproka 19
 redox elektród 346
 — reakció 346
 redős szűrő 101
 redukáló láng 278
 redukció 279, 346
 reflux 204
 regeneratív tüzelés 92
 generátor 92
 regulus 279
 Reinsch-teszt 471
 rektifikáló 205
 relatív hőmérséklet 179
 — nyomás 179
 — páratartalom 86
 — térfogat 179
 rendszám 446
 rénium 474
 répacukor 240
 repülő 307
 részleges nyomás 85
 rétegszilikát 430
 retorta 376
 reve 243
 rézcoulombméter 390
 rézgálic 375
 rezgésszám 177
 rezonancia 456
 Rh 251
 Rimbach, Eberhard 525
 rodanid 423
 rodánsav 405
 ródiom 251
 Rohrsetzer Sándor 525
 rombos kén 351
 Rose féme 254
 Rózahegyi Márta 525
 rozsdamentes acél 99
 Römpf, Hermann 525
 röntgensugarak 89
 rövid periódusos rendszer 451
 rövidített szerkezeti képlet 240
 Ru 252
 Ruff Ferenc 526
 rugalmassági határ 255
 ruténium 252
 rutil 266, 382
 rydberg 457
 Saechtling, Hansjürgen 526
 Sajó István 526
 salétromkert 360
 samott 374
 Sandell, E. B. 523
 Sands, M. 521
 sárga foszfor 427
 sárgaréz 253
 sárgavérűség 403
 savak és lúgok megsemmisítése 320
 savanyú feltárás 382
 — magma 430
 — só 221
 savmaradék 217
 Sb 252
 Schay Géza 521, 526

- Scheele, Carl Wilhelm (1742–1786) 265,
436
- scheelit 435
- Schenk, P. W. 526
- Schering, A. G. 526
- Schlippe-féle só 472
- Schöniger, Wolfgang 523
- Schreiter, W. 526
- Schrödinger, Erwin (1887–1961) 178, 458
- Schrödinger-egyenlet 458
- Schulek Elemér 526
- Schwarz, R. 526
- Seakins, Paul W. 525
- Seignette só 241
- Sekowski, Stefan 526
- semleges magma 430
- semlegesítés 207
- Seresevszkij, A. I. 522
- serkentő anyag 284
- Si 260
- Siddons, Collin 526
- Siemens, Ernst Werner von (1816–1892)
92
- Siklósi Péter 525
- simítás 120
- simítógipsz 132
- Simonits András 526
- Simpson, Thomas (1710–1761) 24–25
- Siposné Kedves Éva 523
- Skoog, D. A. 526
- Smanyenko, I. V. 522
- Smith, Orsino C. 526
- Sn 252
- Sneed, M. Cannon 526
- Sohár Pál 522
- sóhid 333
- sóképző 473
- Solomons, T. W. G. 526
- Solvay, Ernest (1838–1922) 364
- Sólyom Jenő 526
- Sorel-cement 319
- Sors László 522
- sósav 310
- spatula 186
- spin 465
- spinkvantumszám 465
- spontán maghasadás 448
- Stähler, Arthur 526
- standard hőmérséklet 69
- statisztikus mechanika 167
- stíbium 469
- Stirling [sztörling], Robert (1790–1878)
94
- Stock, Alfred 526
- Stokes, Sir George Gabriel (1819–1903)
41, 121
- stroncianit 395
- stroncium 395
- stukatúrgipsz 130
- sújtólég 249
- súly 29
- szerinti analízis 348
- súlyszerinti titrálás 315
- sűrűség 32
- sűrűségmérő 34
- sütő 123
- szabad entalpia 277
- szabadsági foka 80
- Szabadváry Ferenc 525–526
- Szabó Elek 526
- Szabó Zoltán 526
- Szabó Zoltán László 526
- szakítási diagramm 255
- szakítószilárdság 256
- szalicilsav 240
- szalmiáksó 305, 313
- szalmiákszesz 305
- szalonnás mész 215
- szamárium 467
- Szántó Ferenc 525
- száraz lepárlás 238
- száritóedény 132
- száritott glaubersó 360
- Szarvas Pál 523
- szedőedény 200
- Szekeres László 526
- szekunder amin 309
- szelektív 404
- szelén 473
- szemcsézett 259
- szén 239
- szénacélok 260

szénhidrát 240
szénkéneg 353
szén-monoxid 238
szénsav 220
Szepessy Andrásné 525
szerelőfal 189
szerves sav 239
— vegyület 233
szigetelő 146
szigetelt vezeték 146
szilárd hab 166
— szol 166
szilícium 469
szilícium-tetrafluoridpróba 417
szilikagél 132
szilikon 429
szilikózis 429
szinte ingyen van 251
szkandium 467
szobahőmérséklet 28
szódabikarbóna 207
szódavíz 82
szol 165
szorbció 82
Szőkefalvi-Nagy Zoltán 526
szőlőcukor 240
Sztróka Kálmán 527
Sztróka Kálmán Imre 523, 527
szublimációs görbe 80
szublimát 409
szulfid 352
szulfitok 356
szulforilklorid 444
szuperfoszfát 425
szuperkritikus 79
szűrlet 101
szűrőfazék 106
szűrőlap 106
szűrőpalack 105
szűrőpapír 100
Tananajev, N. A. 527
tannin 345
tantál 473
tárgylemezek 49
tartarát 241
technécium 474
teflon 34
tégelyfedő 185
tégelyfogó 186
tejcukor 240
telítetlen gőz 80
telített 101
— gőz 80
teljes oldáshő 118
tellur 473
terbium 467
tércentrált köbös 268
tercier amin 309
termésplatina 251
termésréz 252
természetes alapú logaritmus 289
termet 133
termit keverék 281
termoelektromos hőmérő 281
termoszóp 61
terület 24
tetraéder 139, 234
tetrafoszforsav 425
tetragír 140
Thiel, A. 527
Thomson, William (Lord Kelvin),
(1824–1907) 445
Ti 265
timsó 373
tinktúra 209
tiobázis 354
tiocianát 423
tionilklorid 444
tiosav 354
tiosó 354
titán 265
titán-dioxid 382
titer 223
titrálás 223, 315
toluol 240
tonna 28
tórium 468
torr 71
Torricelli 71
Tóth Eszter 527
többalakúság 118
töltetes oszlop 205

tömeg *28*
 tömeg-energia ekvivalencia elv *447*
 tömeghatás törvénye *293, 301*
 tömegspektroszkóp *446*
 tömegszám *446*
 tömény szesz *51*
 tőzeg *239*
 trapéz *23*
 trapéz módszer *98*
 Treadwell, F. P. *527*
 trícium *446*
 trifoszforsav *425*
 trigír *140*
 trinátrium-foszfát *425*
 trisó *425*
 Trouton, Frederick Thomas (1863–1922)
 95, 340
 Trouton-szabály *95*
 túlfeszültség *333*
 túlfogyás *223*
 tullium *467*
 tungsten *474*
 Turi Pál *527*
 tükrözés *140*
 tűzkő *249*
 Tyihák Ernő *527*
 Tyndall-jelenség *165*
 Tyndall, John (1820–1893) *165*
 Udvarhelyi Katalin *525*
 Ulich *299*
 ultrabázikus magma *430*
 ultraibolya *89*
 ultramikroszkóp *165*
 univerzál indikátorpapír *209*
 Upor Endre *527*
 urán *468*
 utolsó terhelés *255*
 üveg *41, 429*
 üvegcső *189*
 üvegedény *99*
 üvegmaratási próba *417*
 üvegszűrő *191, 438*
 üvegtölcsér *100, 185*
 üvegvágás *49*
 V *265*
 vakpróba *219*
 vákuum *42*
 vákuumdesztilláció *200*
 vákuumszűrő *105*
 választótölcsér *442*
 valencia *442*
 váltóáram *153*
 változó keménység *223*
 Vámosné Vigyázó Lilly *527*
 vanádium *265*
 VanCleave, Janice *527*
 van der Waals *163–164, 178, 181*
 van der Waals-állandók *178*
 van der Waals-egyenlet *178*
 Vándor József *527*
 vándorlási sebesség *329*
 Vanino, Ludwig *527*
 van't Hoff *198–199, 292–294, 299–300,*
 302–303
 van't Hoff-egyenlet *302*
 Varga József *527*
 városi gáz *239*
 vas *260*
 vasháromláb *186*
 vas(II)-klorid *341*
 vasoxidfekete *279*
 vasoxidsárga *279*
 vasoxidvörös *279*
 védőkolloid *165*
 vegyérték *158*
 vegyértékhéjon *453*
 vegyipar *359*
 vektor iránya *458*
 Vermes Miklós *527*
 verődék *279*
 Veszprémi Tamás *527*
 vezetőképességi edény *331*
 Vickers-vizsgálat *237*
 Vincent, Alan *527*
 virágdrótot *261*
 virágkék *208*
 visszacsap *248*
 viszkozitás *40*
 vitriololaj *369*
 víz *123*
 — ionszorzata *216*

— sűrűsége 60
vízfürdő 55
vízfürdőben 55
vízfürdőn 105
vízgáz 276
vízgázreakció 276, 292
vízgőzdesztillálás. 86
vízmentes szesz 51
vízsugárszivattyú 71
vízüveg 429
Vogel, Artur I. 527
Vogel-reakció 406
volfram 265
Volta ??, ??-?? 277, 338, 383
volta-elem 338
Volta-elem 383
Volta-féle korona-lánc 384
Volta-oszlop 384
voltekvivalens 380
vörös foszfor 427
— füstölő salétromsav 397
vörösiszap 374
vörösvasérc 279
vörösvérlúgosó 405
W 265
Wajand Judit 525
Watt, James (1736–1819) 30
Weinland, R. 527
Weissermel, Klaus 527
Weisz, Herbert 527
West, D. M. 526
Weygand, C. 527
Wiedemann 149
Wilson, Michell 527
Winchell-féle olvadási skála 280
Winnacker, Karl 527
witherit 394
Wolfram Ervin 528
wolframit 435
Wood féme 254
Wöhler, Friedrich (1800–1882) 309
xenon 475
xilol 240
zagy 102, 118
Záray Gyula 528
zárt üvegcső 233
Zástéra, Antonín 523
Zechmeister László 528
Zeeman-effektus 464
Zn 253
zománcozott 99
zöldgálic 375
zselatin 165, 424