

# Általános és szerves kémiai praktikum és példatár

Almási Attila – Kuzma Mónika – Perjési Pál



**„Megújuló gyógyszerési kompetenciák  
gyakorlatorientált elsajátítását szolgáló digitális tananyagok fejlesztése  
magyar és angol nyelven,  
az egyetemi oktatók felkészítése a 21. század oktatási kihívásaira”  
Azonosítószám: TÁMOP -4.1.2.A/1-11/1-2011-0016**

Pécsi Tudományegyetem – Pécs, 2014

© Almási Attila, Kuzma Mónika, Perjési Pál, 2014

A projekt az Európai Unió támogatásával  
az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Kézirat lezárva: 2014. március 31.

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
www.ujszecenytterv.gov.hu  
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kiadásért felel a: Pécsi Tudományegyetem

Felelős szerkesztő: Dr. Perjési Pál

Egyéb fejlesztő: Erdősné Moravec Zsuzsanna

Műszaki szerkesztő: Bencze Zsolt és Erdősné Moravec Zsuzsanna

Lektorálta: Dr. Lente Gábor

ISBN 978-963-642-619-4

Terjedelem: 142 oldal

# Tartalom

<b>ÁBRAJEGYZÉK</b> .....	<b>7</b>
<b>ELŐSZÓ</b> .....	<b>8</b>
<b>I KÉMIAI NEVEZÉKTAN</b> .....	<b>9</b>
I.1    ELEMEEK .....	9
I.2    VEGYÜLETEK.....	9
I.3    VEGYÜLETEK ELNEVEZÉSE .....	10
I.3.1    Ionok elnevezése.....	11
I.3.2    Savak elnevezése .....	12
I.3.3    Komplex vegyületek.....	14
I.3.4    Addíciós vegyületek .....	15
I.4    GYAKORLÓ FELADATOK .....	16
<b>II KÉMIAI FOLYAMATOK TÖRVÉNYSZERŰSÉGEI, EGYENLETÍRÁS ELVE, SZABÁLYAI</b> .....	<b>17</b>
II.1    KÉMIAI EGYENLETEK .....	17
II.2    GYAKORLÓ FELADATOK .....	22
<b>III ALAPVETŐ LABORATÓRIUMI ELJÁRÁSOK ÉS MÓDSZEREK</b> .....	<b>23</b>
III.1    A BIZTONSÁGOS MUNKA VÉGZÉS IRÁNYELVEI .....	23
III.1.1    Laboratóriumi munkavédelem.....	23
III.1.2    Baleset- és tűzvédelem, elsősegélynyújtás .....	25
III.2    MÉRTÉKEGYSÉGEK .....	27
III.3    LABORATÓRIUMI FELSZERELÉS .....	29
III.3.1    Laboratóriumi eszközök .....	29
III.3.2    Az üveg- és porcelánedények tisztítása .....	33
III.4    ALAPVETŐ LABORATÓRIUMI ELJÁRÁSOK .....	34
III.4.1    Tömegmérés .....	34
III.4.2    Térfogatmérés .....	37
III.4.3    Sűrűségmérés .....	42
III.4.4    Hőmérsékletmérés .....	45
III.4.5    Melegítés, forralás .....	46
III.4.6    Olvadáspontmérés.....	47
III.4.7    Forráspontmérés .....	50
III.4.8    Oldás .....	52
III.4.9    Csapadékok leválasztása.....	54
III.5    ALAPVETŐ LABORATÓRIUMI ELVÁLASZTÁSI MÓDSZEREK.....	55
III.5.1    Szűrés, dekantálás, ülepités .....	55
III.5.2    Szárítás.....	58
III.5.3    Kristályosítás és átkristályosítás .....	59
III.5.4    Desztilláció, szublimálás .....	62

III.5.5	Bepárlás .....	64
III.5.6	Liofilizálás.....	64
<b>IV</b>	<b>GÁZTÖRVÉNYEK .....</b>	<b>65</b>
IV.1	GÁZHALMAZÁLLAPOT .....	65
IV.1.1	Az egyesített gáztörvény .....	65
IV.1.2	Avogadro törvénye.....	66
IV.1.3	Az általános gáztörvény .....	67
IV.1.4	Dalton törvénye .....	68
IV.2	SZÁMÍTÁSI FELADATOK.....	68
<b>V</b>	<b>KONCENTRÁCIÓ SZÁMÍTÁS, OLDATOK HÍGÍTÁSA, ELEGYÍTÉSE .....</b>	<b>72</b>
V.1	SZÁMÍTÁSI FELADATOK.....	76
<b>VI</b>	<b>REAKCIÓKINETIKA .....</b>	<b>81</b>
VI.1	BEMUTATÁS: LANDOLT KÍSÉRLET .....	86
VI.2	ELVÉGZENDŐ FELADATOK.....	88
VI.2.1	A hőmérséklet és pH hatásának vizsgálata az acetilszalícilsav hidrolízisére .....	88
VI.3	SZÁMÍTÁSI FELADATOK.....	89
<b>VII</b>	<b>KÉMIAI EGYENSÚLYOK .....</b>	<b>92</b>
VII.1	A TÖMEGHATÁS TÖRVÉNYE.....	92
VII.2	A LE CHATELIER ELV .....	93
VII.3	EGYENSÚLYOK ELEKTROLITOLDATOKBAN.....	93
VII.3.1	Savak és bázisok .....	93
VII.3.2	Sók.....	97
VII.3.3	A közös ion hatása .....	98
VII.3.4	Pufferoldatok.....	99
VII.3.5	Sav - bázis titrálások elve, gyakorlata.....	100
VII.4	FELADATOK.....	103
VII.4.1	Elvégzendő feladatok .....	103
VII.4.2	Számítási feladatok .....	105
<b>VIII</b>	<b>KOMPLEXKÉPZŐDÉSI EGYENSÚLYOK.....</b>	<b>123</b>
VIII.1	BEMUTATÁS: KOMPLEX SÓK KÉPZŐDÉSE .....	125
VIII.2	ELVÉGZENDŐ FELADATOK: .....	125
VIII.2.1	[Tetraammin-réz(II)]-szulfát-víz (1/1) ([Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ](SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O) előállítása.....	125
VIII.3	SZÁMÍTÁSI FELADATOK.....	126
<b>IX</b>	<b>ELEKTROKÉMIA .....</b>	<b>131</b>
IX.1	REDOXIREAKCIÓK .....	131

---

IX.2	ELEKROMOS ÁRAM TERMELÉSE KÉMIAI FOLYAMATOKBAN .....	131
IX.3	ELEKTROMETRIÁS PH-MÉRÉS .....	134
IX.4	ELEKTROLÍZIS .....	136
IX.4.1	Bemutató: Ismeretlen hidrogénion-koncentrációjú oldat pH-jának potenciometriás meghatározása .....	136
IX.5	SZÁMÍTÁSI FELADATOK .....	138
<b>IRODALOMJEGYZÉK .....</b>		<b>142</b>



## Ábrajegyzék

III-1. ábra: Nyílt lángon is melegíthető (hőálló) üvegedények.....	29
III-2. ábra: Azbesztes dróthálón melegíthető (hőálló) üvegedények.....	30
III-3. ábra: Kevésbé hőálló üvegedények.....	30
III-4. ábra: Nem hőálló üvegedények.....	30
III-5. ábra: Tárolásra használt üvegedények.....	31
III-6. ábra: Térfogatmérésre használt üvegedények.....	31
III-7. ábra: Fontosabb porcelánedények.....	32
III-8. ábra: Fontosabb fém- és faeszközök.....	32
III-9. ábra: Egyéb laboratóriumi eszközök.....	33
III-10. ábra: Laboratóriumi mérlegek.....	36
III-11. ábra: A folyadékszint helyes leolvasása.....	38
III-12. ábra: Pipettázási segédeszközök.....	39
III-13. ábra: Schellbach-féle büretta.....	40
III-14. ábra: Sűrűségmérésre használt eszközök.....	43
III-15. ábra: Olvadáspont meghatározására használt készülék.....	48
III-16. ábra: Elektromosan fűthető olvadáspontmérő készülék.....	48
III-17. ábra: Kofler-féle fűthető tárgyasztalú mikroszkóp.....	49
III-18. ábra: Nyomás-hőmérséklet nomográf.....	50
III-19. ábra: Forráspont meghatározás <i>Smith-Menzies-féle módszer</i> alkalmazásával.....	51
III-20. ábra: Sima szűrő és redős szűrő készítésének menete.....	56
III-21. ábra: A légköri nyomáson végzett szűrés és vákuumszűrés.....	56
III-22. ábra: Exikátorok és infravörös lámpa.....	59
III-23. ábra: Egyszerű desztilláló készülék.....	63
III-24. ábra: Rotációs bepárló.....	64
VI-1. ábra: Összetett reakció reakcióprofilja.....	81
VI-2. ábra: Elsőrendű reakció koncentráció-idő görbéje.....	84
VI-3. ábra: Másodrendű reakció koncentráció-idő görbéje.....	85
VI-4. ábra: Nulladrendű reakció koncentráció-idő görbéje.....	85
VI-5. ábra: Landolt kísérlet.....	87
VII-1. ábra: Erős sav erős bázissal végzett titrálásának titrálási görbéje.....	101
IX-1. ábra: A hidrogénelektród összeállítása.....	132
IX-2. ábra: A Daniell-elem vázlata.....	133
IX-3. ábra: Potenciometriás pH-mérés.....	135
IX-4. ábra: Kombinált üvegelektród.....	137

## Előszó

Az egyetemi tanulmányaikat megkezdő hallgatók kémiai ismeretei meglehetősen tág határok között mozognak. A középiskolában szerzett laboratóriumi tapasztalat hiányos. Ezért az Intézet oktatói közössége szükségét érezte egy olyan gyakorlati praktikum összeállításának, melyből a kémia tanulmányaikat megkezdő hallgatók megismerhetik a laboratóriumi munka során használt legalapvetőbb eszközöket és legegyszerűbb laboratóriumi műveleteket. A jegyzetben említett – a hallgatók által gyakorlati képzésünk során elvégzett vagy értelmezett – kísérleteket minden esetben megelőzi egy, a kísérletek elméleti alapjait bemutató ismertetés. Mindezeket kiegészíti egy 130 példát tartalmazó példatár, melynek kidolgozott és megoldandó feladatai elősegítik az adott terület alaposabb megértését.

A jegyzet összeállítása figyelembe veszi, hogy az Intézet munkatársai az Általános és szervetlen kémia tantárgyat elsőéves gyógyszerészhallgatók számára oktatják. A tantárgy alapját képezi további kémiai alapokon nyugvó tantárgyak oktatásának, melyek közül kiemelendő a Gyógyszerészi kémia tantárgy, melynek keretében, a hallgatók többek között megismerkednek a gyógyszer hatóanyagok és gyógyszertechnológiai segédanyagok legfontosabb fizikai-kémiai tulajdonságainak a Gyógyszerkönyv által előírt módszereivel. Oktatási feladataink e sajátossága szükségyszerűen a felsőbb éves tanulmányok igényei szerinti szelekciót tükrözi a segédanyag témáinak kiválasztásában.

A szerkesztők köszönetüket fejezik ki Dr. Lente Gábor egyetemi docens Úrnak, aki lelkiismeretes lektori munkájával, építő jellegű megjegyzéseivel, javításaival járult hozzá, hogy a tanulmányaikat megkezdő egyetemi hallgatók hiteles, megbízható elektronikus forrásból kezdjék meg az ismerkedést a kémia alapjaival, és a megszerzett tudására építkezve további szaktárgyak elsajátításán keresztül kiváló gyógyszerésszé válhassanak.

A gyakorlati praktikum modulrendszerű felépítése lehetővé teszi, hogy a jövőben szükség szerint újabb ismeretekkel, további bemutatandó vagy elvégzendő kísérletekkel, valamint további kidolgozott példákkal kerüljön a jelen jegyzet tartalma. Ezzel kapcsolatban a praktikum szerkesztői örömmel vesznek minden hozzájuk eljuttatott javaslatot. Természetesen, az Intézet köszönettel vesz bármi, a javításra vonatkozó megjegyzést.

Pécs, 2014. március.

A szerkesztők



# I Kémiai Nevezéktan

Az elemek és szerves vegyületek elnevezési szabályainak egységesítésére az International Union of Pure and Applied Chemistry, röv. *IUPAC* (Tiszta és Alkalmazott Kémia Nemzetközi Uniója) kidolgozta és 1957-ben életbe léptette a szerves és szerves vegyületek elnevezésének nemzetközi szabályait. Tekintettel arra, hogy a köztudatban még elterjedt a régi, ún. *genfi nomenklatúra* is, így az új IUPAC elnevezések mellett ez is ismertetésre kerül.

## I.1 Elemek

A *kémiai elemek* azonos rendszámú (protonszámú) atomokat tartalmazó anyagok. Az atommagban lévő protonok száma az atomok *rendszámát* (jele: *Z*) a protonok és a neutronok együttes száma az atomok *tömegszámát* (jele: *A*) adja meg. A fontosabb elemek nevét, jelét és relatív atomtömegét a *periódusos rendszer* tartalmazza. A periódusos rendszerben feltüntetett *relatív atomtömegek* a természetes izotóppozitív elemek relatív izotóptömegeinek súlyozott számtani átlagai.

Az *izotópok* azonos rendszámú, de különböző tömegszámú atomok. Az izotópokat az elemek jele mellett a bal felső indexként elhelyezett tömegszámmal jelöljük. Pl.  $^{14}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ . Ha az izotóp vegyjele helyett teljes nevét kiírjuk, akkor a tömegszámát kötőjellel a név után írjuk, pl. szén-14, oxigén-18.

Egy adott elem valamennyi izotópjának azonos a neve, kivételt képez a hidrogén, ahol

Tömegszám	Név	Vegyjel
1	prócium	$^1\text{H}$ vagy H
2	deutérium	$^2\text{H}$ vagy D
3	trícium	$^3\text{H}$ vagy T

## I.2 Vegyületek

A vegyületek különböző elemeket állandó arányban tartalmazó anyagok. A *tapasztalati képlet* a vegyület sztöchiometriai összetételét (legkisebb egész számú atomarányát) fejezi ki. Önálló molekulákból álló vegyületek esetén a relatív molekulatömegnek megfelelő tapasztalati képletet kell használni. (pl.  $\text{S}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6$  és nem  $\text{SCl}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_3$ .) Ha a relatív molekulatömeg a hőmérséklettel változik (pl. termikus disszociáció következtében), a legegyszerűbb képletet használjuk (pl. S, P,  $\text{NO}_2$  és nem  $\text{S}_8$ ,  $\text{P}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ) kivéve, ha a polimer módosulat jelenlétét akarjuk hangsúlyozni. Az atomrácsos (pl.  $\text{SiO}_2$ ) vagy ionos kötésű anyagok (pl.  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ) képlete csak a vegyületet alkotó atomok (ionok) számarányát fejezi ki.)

Ha a vegyület egynél több elektropozitív (kation) vagy elektronegatív (anion) összetevőből áll, az összetevők felsorolása mindkét csoporton belül vegyjelük ábécé rendjében történik. A betűrendben az  $\text{NH}_4$  egyetlen szimbólumnak tekinthető (mintha kis h betűvel lenne írva), ezért a Na után kerül. E szabály alól a hidrogén kivétel, mert a savas hidrogént a kationok közt utolsónak soroljuk fel.

Pl.

KMgF <sub>3</sub>	kálium-magnézium-fluorid
KHCO <sub>3</sub>	kálium-hidrogén-karbonát
MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> ·6 H <sub>2</sub> O	magnézium-ammónium-foszfát-víz (1/6)
NaNH <sub>4</sub> HPO <sub>4</sub>	nátrium-ammónium-hidrogén-foszfát
KLiNaPO <sub>4</sub>	kálium-lítium-nátrium-foszfát

Több aniont tartalmazó vegyületek esetén az anionok sorrendje a képletben a következőképpen alakul:

- H<sup>-</sup>, O<sup>2-</sup>, OH<sup>-</sup>
- A többi egyatomos szervetlen anion (H<sup>-</sup> és O<sup>2-</sup> kivételével) felírási sorrendje a következő: Rn, Xe, Kr, B, Si, C, Sb, As, P, N, Te, Se, S, At, I, Br, Cl, O, F.
- A többatomos szervetlen anionokat (OH<sup>-</sup> kivételével) növekvő atomszámuk szerint, azonos atomszámú ionokat a központi atom csökkenő rendszáma szerint kell felsorolni (pl. CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ill., CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> sorrendben).
- A szerves anionokat ábécé sorrendben írjuk fel.

Nemfémek két elemből álló vegyületében az összetevőket a b.) alatt említett sorrendben kell felírni azzal a kiegészítéssel, hogy a hidrogén a sorban az N és a Te közé kerül. Pl. NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CCl<sub>4</sub>, ClO<sub>2</sub>, OF<sub>2</sub>.

Három vagy több elemet tartalmazó vegyületek képletében a sorrend általában összhangban van azzal a sorrenddel, amellyel az atomok a molekulában vagy az ionban kötve annak. Pl. HOCN ciánsav; HNCO izociánsav. Egyes elterjedt képletek felírása (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HClO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>) nem egyezik meg ezzel a szabállyal, de – általános elterjedtségük folytán – ez a sorrend megtartható. Az azonos atomok vagy atomcsoportok számát a képletben arab számmal jelöljük. A számot a vegyjel, ill. a zárójelbe tett csoport jobb alsó indexeként helyezük el. A kristályvíz és a lazán kötött molekulák számát a képletük elé helyezett arab számmal jelezzük. Pl. CaCl<sub>2</sub> · 8 H<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10 H<sub>2</sub>O.

### I.3 Vegyületek elnevezése

A szisztematikus (racionális) vegyületneveket úgy képezzük, hogy megnevezzük a vegyület elektropozitív (kation), majd elektronegatív (anion) összetevőit és ezek arányát. Az azonos atomoknak vagy atomcsoportoknak a képletben jobb alsó indexszel jelölt számát a vegyület elnevezésében a görög számnévvel (1: *mono*, 2: *di*, 3: *tri*, 4: *tetra*, 5: *penta*, 6: *hexa*, 7: *hepta*, 8: *okta*, 9: *ennea*, 10: *deka*) fejezzük ki. A 9 számra a latin *nona* számnév is használható. Ha az atomok száma nagy és ismeretlen, a poli előtagot használjuk. A fél neve *szemi*-, a másfél neve *szeszki*-. A mono- számnév elhagyható.

Pl.

N <sub>2</sub> O	dinitrogén-oxid
NO <sub>2</sub>	nitrogén-dioxid
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	difoszfor-pentaoxid

(Megemlítendő, hogy utóbbi vegyület igen széles körben használt, de minden logikus szabálynak ellentmondó neve: *foszfor-pentoxid*.)

Latin, ill. görög szorzószámneveket (*bisz-*, *trisz-*, *tetrakis-* stb.) az alábbi esetekben használunk:

- Ha az atomcsoport nevében már van számnév: Pl. biszdiszulfid, bisztrifoszfát
- Összetett nevek előtt (a név, amelyre a számnév vonatkozik, zárójelbe kerül) Pl. bisz(hidrogén-szulfid).

### 1.3.1 Ionok elnevezése

#### 1.3.1.1 Pozitív töltésű (kationok) elnevezése

##### a.) Egyszerű kationok

Egy atomból álló kationok esetében az elem neve változatlan marad. Ha a kation különböző oxidációfokkal szerepelhet, úgy a neve után zárójelbe írjuk az oxidációfokot római számmal, vagy pedig arab számmal és + jellel.

Pl.

$\text{Fe}^{2+}$	vas(II)ion	vagy	vas(2+)ion
$\text{Sn}^{4+}$	ón(IV)ion	vagy	ón(4+)ion
$\text{Ni}^{3+}$	nikkel(III)ion	vagy	nikkel(3+)ion

##### b.) Összetett kationok

Azokat a kationokat, melyek úgy képződnek, hogy egy halogén, oxigén- vagy nitrogéncsoportbeli elem hidridjéhez hidrogénion kapcsolódik, az elem nevének tövéhez "-ónium" végződést adva nevezzük el: a  $\text{H}_4\text{N}^+$  neve *ammónium*, a  $\text{H}_3\text{O}^+$  *oxónium* és a  $\text{H}_2\text{F}^+$  *fluorónium*. Azért választották az *ammónium* nevet a *nitrónium* helyett, mivel az utóbbit elterjedten használják az  $\text{NO}_2^+$  kation megnevezésére.

A savak hidroxilcsoportjának (OH) (gondolatbeli) eltávolításával kapott összetett kationok (*savcsoportok*) nevét a nemfém elem teljes, rövidített vagy latin nevéből *-il* végződés hozzáadásával képezzük.

Pl.

$\text{IO}_2^+$	jodil
$\text{SO}^{2+}$	tionil
$\text{SO}_2^{2+}$	szulfuril
$\text{CO}^{2+}$	karbonil
$\text{PO}^{3+}$	foszforil
$\text{NO}^+$	nitrozil
$\text{NO}_2^+$	nitril

#### 1.3.1.2 Negatív töltésű ionok (anionok) elnevezése

- Egyatomos anionok nevét az elem teljes, rövidített vagy latin nevéből *-idion* végződéssel képezzük.

Pl.

$\text{H}^-$	hidridion
$\text{Cl}^-$	kloridion
$\text{S}^{2-}$	szulfidion
$\text{N}^{3-}$	nitridion
$\text{C}^{4-}$	karbidion

- Többatomos anionok nevét a központi atom teljes, rövidített vagy latin nevéből képezzük *-átion* végződéssel. A név elején az anion többi alkotórészét nevezzük

meg – melyet ugyan a képletben a központi atom után írunk – a következő szabály szerint: az atomok vagy atomcsoportok számát görög számnévvel kifejezzük, majd ehhez tesszük hozzá az atomok vagy atomcsoportok teljes rövidített, vagy latin nevéből *-o* végződéssel képzett nevét (pl. oxigén esetén *oxo-*, kén esetén *tio-* stb.). Ha a központi atom különböző oxidációfokkal szerepel, akkor neve után római számmal kiírjuk az oxidációfokát.

Pl.

<b>képlet</b>	<b>IUPAC nomenklatura</b>	<b>genfi nomenklatura</b>
$\text{SO}_4^{2-}$	tetroxo-szulfát(VI)-ion vagy szulfátion	szulfátion
$\text{NO}_2^-$	dioxo-nitrát(III)-ion	nitrition
$\text{PO}_4^{3-}$	tetroxi-foszfát(V)-ion	foszfátion
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	trioxo-tioszulfát(VI)-ion	tioszulfátion
$\text{ClO}_2^-$	dioxo-klorát(III)-ion	klorit
$\text{ClO}_3^-$	trioxo-klorát(V)-ion	klorátion

A  $\text{OH}^-$  iont régi triviális nevén *hidroxid*nak, a  $\text{CN}^-$  iont pedig *cianid*nak nevezzük.

### 1.3.2 Savak elnevezése

A IUPAC nevezéktan összetettsége következtében a savak és a sók elnevezésére széles körben használatos a genfi nomenklatura.

Az oxigént tartalmazó savak (oxosavak) nevét úgy képezzük, hogy a savmaradék központi atomjának nevéhez a *sav* szót kapcsoljuk.

Ha a savmaradékban a nemfém vagy átmeneti fém elem a leggyakoribbnál kisebb oxidációfokkal szerepel, ezt a fém nevéhez tett *-os*, vagy *-es* raggal jelöljük.

Ha a nemfém a savban a legkisebb, ill. legnagyobb oxidációfokkal fordul elő, ezt a sav neve elé tett *hipo-*, ill. *per-*elótaggal jelöljük.

Pl.

<b>képlet</b>	<b>IUPAC nomenklatura</b>	<b>genfi nomenklatura</b>	<b>az anion neve</b>
$\text{HOCl}$	hidrogén-[monooxo-klorát(I)]	<i>hipoklórossav</i>	<i>hipoklorit</i>
$\text{HClO}_2$	hidrogén-[dioxo-klorát(III)]	<i>klórossav</i>	<i>klorit</i>
$\text{HClO}_3$	hidrogén-[trioxo-klorát(V)]	<i>klórsav</i>	<i>klorát</i>
$\text{HClO}_4$	hidrogén-[tetroxo-klorát(VII)]	<i>perklórsav</i>	<i>perklorát</i>
$\text{HNO}_2$	hidrogén-[dioxo-nitrát(III)]	<i>salétromossav</i>	<i>nitrit</i>
$\text{HNO}_3$	hidrogén-[trioxo-nitrát(V)]	<i>salétromsav</i>	<i>nitrát</i>
$\text{H}_2\text{SO}_3$	dihidrogén-[trioxo-szulfát(IV)]	<i>kénessav</i>	<i>szulfít</i>
$\text{H}_2\text{SO}_4$	dihidrogén-[tetroxo-szulfát(VI)]	<i>kénsav</i>	<i>szulfát</i>

Elterjedt sók nevében – amennyiben a név egyértelműen jelzi a só összetételét – nem kell feltétlenül jelezni a sztöchiometriai arányokat.

Pl.

$\text{Na}_2\text{SO}_4$	nátrium-szulfát
$\text{NaHSO}_3$	nátrium-hidrogén-szulfít
$\text{NaOCl}$	nátrium-hipoklorit
$\text{KIO}_4$	kálium-perjodát

Triviális savnevekben *peroxo-* előtaggal kell jelölni azt, hogy az (-O-)t (-O-O-) helyettesíti.

Pl.

$H_2SO_5$	peroxo-monokénsav
$H_2S_2O_8$	peroxo-dikénsav

Tiosavak elnevezésében azon oxosavak neve elé, amelyből a tiosav az oxigénnek kénnel való helyettesítésével keletkezik, a *-tio* előtagot kapcsoljuk. A kénatomok számát görög számnévvel kell jelölni.

Pl.

$H_2S_2O_3$	tiokénsav
$H_3PO_3S$	monotiofoszforsav
$H_3PO_2S_2$	ditiofoszforsav
$H_2CS_3$	tritioszénsav

### I.3.2.1 A savak funkciós származékai

A savak funkciós származékai a sav OH-csoportjának (vagy néha O-atomjának) más csoporttal vagy atommal való helyettesítése által keletkeznek.

A *savhalogenidek* nevét – ha a savcsoportnak külön neve van – úgy képezzük, hogy a savcsoport nevéhez a *halogenidion* nevét kapcsoljuk.

Pl.

$NOCl$	nitrozil-klorid
$NO_2Br$	nitril-bromid
$POI_3$	foszforil-jodid
$COCl_2$	karbonil-klorid (foszgén)
$CrO_2Cl_2$	kromil-klorid

A *savamidok* elnevezésében az *amid* szót a savcsoport neve után kell kapcsolni.

Pl.

$SO_2(NH_2)_2$	szulfonil-diamid
$PO(NH_2)_3$	foszforil-triamid
$CO(NH_2)_2$	karbonil-diamid (karbamid)

Ha a sav nem minden OH-csoportját helyettesíti  $NH_2$ -csoport, a sav neve elé az *amido*-előtagot kapcsoljuk.

Pl.

$NH_2SO_3H$	amido-kénsav
$NH_2CO_2H$	amido-szénsav (karbaminsav)

A *szervetlen savak* észtereit elnevezés szempontjából sónak kell tekinteni.

Pl.

$(CH_3)_2SO_4$	dimetil-szulfát
$(C_2H_5)_3BO_3$	triethyl-borát

### I.3.3 Komplex vegyületek

#### I.3.3.1 Komplex vegyületek képlete

Komplex vegyületek képleteinek leírásánál is - az általános szabálynak megfelelően - először a pozitív, majd a negatív ion(ok) nevét írjuk le. A komplex csoport képlete szögletes zárójelbe kerül. A komplex ion összetevőinek sorrendje a következő: *központi atom, ionos ligandumok, semleges ligandumok* (víz, ammónia). Az egyes ionos, ill. semleges ligandumok feltüntetésének sorrendje azonos a komplex nevében követett sorrenddel.

#### I.3.3.2 Ligandumok elnevezése

- a.) *Semleges ligandum* nevében a koordinált molekula neve változatlan marad. Kivételt képeznek a következő semleges molekulák, melyek neve ligandumként történő előfordulásuk esetén a következőképpen változik: H<sub>2</sub>O (víz) - *akva*; NH<sub>3</sub> (ammónia)- *ammin*, valamint a NO (nitrogén-monoxid) – *nitrozo* és CO (szénmonoxid)-*karbonil*.

Képlet	Molekula neve	Anionos ligandum neve
H <sub>2</sub> O	víz	akva
NH <sub>3</sub>	ammónia	ammin
NO	nitrogén-monoxid	nitrozo
CO	szénmonoxid	karbonil

- b.) *Anionos ligandumok* nevét úgy képezzük, hogy az anion teljes vagy rövidített nevéhez *-o* végződést kapcsolunk.

Pl.

Képlet	Anion neve	Anionos ligandum neve
H <sup>-</sup>	hidrid	hidrido
S <sup>2-</sup>	szulfid	tio
F <sup>-</sup>	fluorid	fluoro
Cl <sup>-</sup>	klorid	kloro
O <sup>2-</sup>	oxid	oxo
OH <sup>-</sup>	hidroxid	hidroxo
CN <sup>-</sup>	cianid	ciano
SCN <sup>-</sup>	tiocianát (rodanid)	tiocianáto (rodano)
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	nitrit	nitrito vagy nitro (kapcsolódás szerint)

#### I.3.3.3 Komplex vegyületek elnevezése

Komplex vegyületek elnevezésénél is úgy járunk el, hogy először a kationt, majd az aniont nevezzük meg, függetlenül attól, hogy közülük melyik a komplex ion. Komplex ionok nevében a központi atom neve a ligandumok neve után következik. Az egyes ligandumok számától és töltésétől függetlenül, a komplex csoport (ion) nevében a ligandumokat betűrendben kell feltüntetni. Az betűrend megállapítása a ligandum magyar neve szerint történik.

- a.) *Komplex kationok vagy semleges komplexek* elnevezésekor a központi fématom (ion) változatlan magyar nevét használjuk. Ha a fémion vegyértékváltó, a fémion neve után zárójelbe tett római számmal az oxidációfokot is meg kell adni.

Pl.

$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$	[tetraammin-réz(II)]-szulfát
$[\text{Al}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]\text{Cl}_2$	[hidroxo-pentakva-alumínium(III)]-klorid
$[\text{Fe}(\text{SCN})(\text{H}_2\text{O})_5]\text{Cl}_2$	[tiocianáto-pentakva-vas(III)]-klorid
$[\text{Fe}(\text{SCN})_2(\text{H}_2\text{O})_4]\text{Cl}$	[bisz(tiocianáto)-tetraakva-vas(III)]-klorid
$[\text{Fe}(\text{CO})_4]$	[tetrakarbonil-vas(0)]
$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$	[diammin-dikloro-platina(II)]

Az utolsó két példa alapján görög szorzószámneveket (*bisz*, *trisz*, *tetrakis*, *pentakis*, *hexakis*, stb) kell használni a ligandumnév többszörözésére, ha a ligandum többatomos anion (pl. tioszulfát), vagy neve már tartalmaz görög számnevet.

- b.) *Komplex anionok* nevében a központi fématom (ion) latin neve *-át* végződést kap.

Pl.

$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	kálium-[hexaciano-ferrát(II)]
$\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$	nátrium-[bisz(tioszulfáto)-argentát(I)]
$\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$	kálium-[tetraciano-kadmiát(II)]
$\text{Na}[\text{BiI}_4]$	nátrium-[tetrajodo-bizmutát(III)]
$\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$	kálium-[hexahidroxó-antimonát(V)]
$\text{Na}_2[\text{Ni}(\text{CN})_2\text{Br}_2]$	nátrium-[dibromo-diciano-nikkelát(II)]

### 1.3.4 Addíciós vegyületek

#### 1.3.4.1 Az addíciós vegyületek képlete

Az addíciós vegyületek képletében az összetevő molekulák képleteit ponttal kapcsoljuk össze. Pl.  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ .

#### 1.3.4.2 Az addíciós vegyületek neve

Az addíciós vegyületek nevében az összetevő vegyületek nevét kötőjellel kapcsoljuk össze. A molekulák számát a név után zárójelbe tett és egymástól ferde törtvonallal elválasztott arab számokkal adjuk meg.

A vegyületek nevének sorrendje azonos a képletek sorrendjével.

Pl.

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	nátrium-karbonát-víz (1/10)
$3 \text{CdSO}_4 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$	kadmium-szulfát-víz (3/8)
$8 \text{Kr} \cdot 46 \text{H}_2\text{O}$	kripton-víz (8/46)
$\text{CaCl}_2 \cdot 8 \text{NH}_3$	kalcium-klorid-ammónia (1/8)
$\text{Al}_2\text{Ca}_4\text{O}_7 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	dialumínium-tetrakalcium-heptoxid-víz (1/n)

## I.4 Gyakorló feladatok

### I.4.1.1 Nevezzük meg a következő vegyületeket!

- a.)  $\text{NaHCO}_3$
- b.)  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$
- c.)  $\text{K}_2\text{HPO}_4$
- d.)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- e.)  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_3)_2$
- f.)  $\text{CaCl}(\text{OCl})$
- g.)  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$
- h.)  $\text{Ca}[\text{SiF}_6]$
- i.)  $(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4$
- j.)  $\text{Na}_2\text{HAsO}_3$
- k.)  $\text{Sb}_2\text{S}_3$
- l.)  $[\text{PtCl}_2(\text{NH}_3)_2]$
- m.)  $[\text{Co}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$
- n.)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
- o.)  $\text{Ba}[\text{BrF}_4]_2$
- p.)  $[\text{CoCl}_2(\text{H}_2\text{O})_4]\text{Cl}$
- q.)  $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5(\text{NO})]$
- r.)  $\text{Cu}[(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]\text{SO}_4$
- s.)  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{SO}_4$
- t.)  $\text{Ni}(\text{CO})_4$

### I.4.1.2 Írjuk fel a következő vegyületek tapasztalati vagy sztöchiometriai képletét

- a.) foszfor(V)-oxid
- b.) bárium-trioxo-karbonát(IV)
- c.) szén-diszulfid
- d.) szilícium-tetraklorid
- e.) tetrametil-szilán
- f.) kobalt(II)-[tetrakis(tiocianáto)-merkurát(II)]
- g.) kálium-[dibromo-dijodo-merkurát(II)]
- h.) nátrium-[hexaciano-ferrát(II)]
- i.) kalcium-bisz[hexakloro-foszfát(V)]
- j.) kálium-[tetraciano-nikkelát(0)]
- k.) [hexammin-platina(IV)-szulfát]
- l.) [tetrammin-dikloro-platina(IV)]-klorid
- m.) lítium-[tetrahidrido-aluminát(III)]
- n.) bárium-bisz[dihidrogén-dioxo-foszfát(I)]
- o.) kálium-[trioxo-bromát(V)]
- p.) nátrium-[tetroxo-arzenát(V)]
- q.) nátrium-[tetrahydroxo-aluminát(III)]
- r.) [hexaakva-króm(III)]-klorid
- s.) nátrium-[diakva-tetrahydroxo-aluminát(III)]
- t.) [tris(etilén-diammin)-kobalt(III)]-klorid



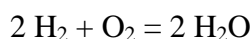
## II Kémiai folyamatok törvényszerűségei, egyenletírás elve, szabályai

### II.1 Kémiai egyenletek

A kémiai változásokat leíró egységes jelrendszert *kémiai egyenlet*nek nevezzük. Két legelterjedtebb formája a *szttöchiometriai-* és az *ionegyenlet*.

A megmaradási elveknek eleget tevő együtthatókkal kiegészített kémiai egyenletet **szttöchiometriai egyenlet**nek nevezzük.

Pl.



Az egyenlet bal oldalán a *kiindulási anyagok*, jobb oldalán a *keletkezett anyagok* vegyjelét vagy képletét tüntetjük fel. A kémiai képletek előtt álló együtthatók az illető vegyület mólszámát jelentik a folyamatban, ezek értékét úgy kell megállapítani, hogy az egyenlet két oldalán szereplő egyes *atomféleségek* száma külön-külön is megegyezék (*anyagmegmaradás* elve). A kémiai egyenlet a *tömegmegmaradás* elvének is eleget tesz, tehát a két oldalon szereplő vegyületek tömege megegyezik.

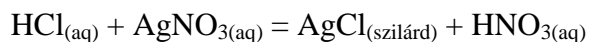
Az **ionegyenletek** a folyamatok lényegét a szttöchiometriai egyenleteknél hűebben tükrözik. Ezekben csak a reakcióban ténylegesen átalakuló ionok, molekulák szerepelnek. Ionegyenletet természetesen csak akkor írhatunk, ha ionok ténylegesen megjelennek a reakció során.

Ionegyenleteket leggyakrabban a vizes oldatokban végbemenő reakciókra írunk fel, amelyben az oldott anyagok (sók, savak, bázisok) részben, vagy egészben disszociált állapotban, ionok formájában vannak jelen. Legtöbbször a következő vizes oldatban végbemenő kémiai változásokra írunk fel ionegyenletet:

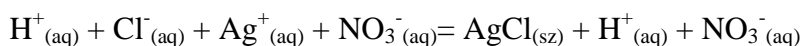
- a.) csapadékképződéssel járó reakciók
- b.) gázfejlődéssel járó reakciók
- c.) sav-bázis reakciók
- d.) olyan kovalens vegyületek képződésénél, melyek vízben oldódnak, de nem disszociálnak
- e.) komplexképződéssel járó reakciók, komplex vegyületek reakciói, ha azokban ionok szerepelnek
- f.) oxidációs-redukációs folyamatok (redoxireakciók)

Az ionegyenletek rendezésénél a korábban leírt szabályok mellett a *töltésmegmaradás* törvénye is érvényesül, vagyis az, hogy az egyenlet két oldalán az ionok töltéseinek összege megegyezik.

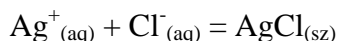
A következő példa egy *csapadékképződéssel* járó kémiai reakció ionegyenletének felírását mutatja be. A valóságnak nem felel meg a szttöchiometriai egyenlet, hiszen a sósav, az ezüst-nitrát és a salétromsav is vizes oldatban ionos (disszociált) formában van jelen:



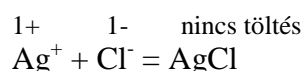
A valóságnak megfelel:



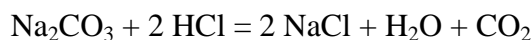
Az AgCl-csapadék (szilárd, mert vízben praktikusan nem oldódik) képződését leíró ionegyenletből kitűnik, hogy a reakció során a  $\text{H}^+_{(\text{aq})}$  és a  $\text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$  ionokkal nem történik kémiai változás, s így ezeket az ionokat az egyenletből elhagyhatjuk.



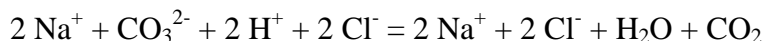
Tovább egyszerűsíthetjük a kiegészített kémiai egyenletet, ha elhagyjuk az (aq)-t és a reakcióban keletkező szilárd anyagot (ún. *csapadékot*) aláhúzzuk:



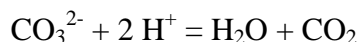
*Gázfejlődéssel járó kémiai reakció* például a nátrium-karbonát és a sósav egymásra hatása vizes oldatban. A sztöchiometriai egyenlet, figyelembe véve a reagáló és a keletkezett vegyületek disszociációját, itt sem a tényleges kémiai változást írja le. Tehát nem felel meg a valóságnak:



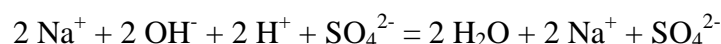
A valóságnak megfelel:



Elhagyva azokat az ionokat, amelyek nem vesznek részt a kémiai átalakulásban a következő ionegyenletet írhatjuk fel:



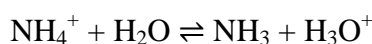
Az *erős savak és erős bázisok* között lejátszódó *reakciókra* felírt ionegyenletekből kiderül, hogy a kiindulási sav és bázis anyagi minőségétől függetlenül mindig a proton és a hidroxidion vízmolekulákká történő egyesülése a tényleges kémiai átalakulás. Például kénsav és nátrium-hidroxid vizes oldatban lejátszódó reakciójánál, mivel a vízmolekulák igen rosszul disszociálnak (25 °C-on mintegy  $10^{-7}$  mol/dm<sup>3</sup>) a következő ionok találhatóak az oldatban:



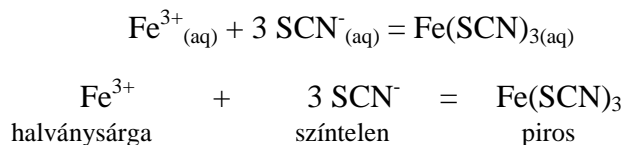
A szokásos egyszerűsítés után:



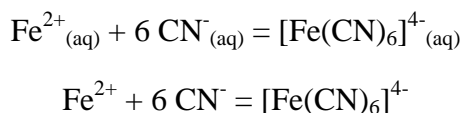
A Brønsted savak és bázisok reakcióit a protonátadást kifejező módon írjuk fel:



Egyes kémiai reakciók során olyan vegyületek keletkeznek, melyek *vízben ugyan oldódnak, de nem disszociálnak*. Ilyen esetekben egyszerűen felírhatjuk a reakcióegyenletet:



Disszociáció szempontjából hasonlóan viselkednek az ún. *komplex ionok* is, melyek oldatban nem, vagy csak kismértékben disszociáltak. A *komplekképződéssel járó kémiai reakciók* ionegyenletét a szokásos módon írhatjuk fel, ilyenkor azonban a komplekképző ion koordinációs számát (geometriai faktor, mely a komplekképző ion közvetlen környezetében elhelyezkedő ionok, vagy molekulák számát adja meg) meg kell tanulni. Ha tudjuk például, hogy a Fe(II)ion koordinációs száma 6, akkor felírhatjuk a CN<sup>-</sup>-ionokkal végbemenő, komplekképződéssel járó reakció egyenletét:



A komplex vegyületek (sók) általában jól oldódnak vízben:



A komplex vegyületek képletében szögletes zárójelbe tesszük azt a molekulárszt, amely vízben történő oldásnál is együtt marad, azaz nem disszociál. Természetesen a komplekképződést leíró ionegyenleteknek is eleget kell tenniük az anyag- és töltésmegmaradás általános elvének.

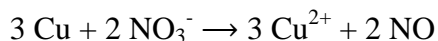
*Redoxireakcióknak* azokat a kémiai reakciókat nevezzük, amelyekben elektronátadás történik egyik részecskéről egy másikra. *Oxidáció minden olyan reakció, amelyben egy anyag (atom, ion, molekula) elektront ad le. Redukció során elektronfelvétel történik.* Az oxidáció és a redukció mindig együtt játszódik le, az oxidációt mindig redukció kíséri és a redukcióval egyidőben mindig oxidáció is végbemegy. Szerves kémiai és biokémia reakciókban az oxidáció gyakran oxigénfelvétellel, vagy hidrogénleadással, a redukció pedig hidrogénfelvétellel vagy oxigénleadással járó reakciók formájában játszódik le.

A molekulákra (ionokra) jellemző adat az alkotórészek oxidációs, illetve redukciós állapota. A molekulaképződés következtében az alkotóelemek atommagjai körüli elektronsűrűségében bekövetkező számszerű változást pusztán a (kovalens) vegyérték segítségével nem tudjuk megadni. Egy *fiktív*, de egyszerűen kiszámítható pozitív vagy negatív egész szám, az ún. *oxidációfok* segítségével szemléletes képet kaphatunk azonban a molekulában levő atomok elektronsűrűségéről.

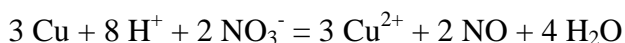
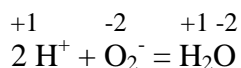
*Az oxidációfok megegyezik a molekulában lévő atom (virtuális) töltésének számával, ha gondolatban a kötésekkel létesítő elektronokat teljesen az elektronegatívabb atomhoz rendeljük.* Az oxidációfok dimenzió nélküli előjeles szám, melynek algebrai értelemben vett növekedése oxidációt, csökkenése pedig redukciót jelent. Egy elektron felvételének egy egységnyi csökkenés, egy elektron leadásának egy egységnyi növekedés felel meg.



- b.) A réz tehát 2 elektron elvesztésével oxidálódott, a nitrátion 3 elektron felvételével redukálódott. Ha megkeressük a *legkisebb közös többszöröst* ( $2 \cdot 3 = 3 \cdot 2 = 6$ ), akkor a redoxifolyamat magvát tekintve felírhatjuk a helyes együtthatókat:

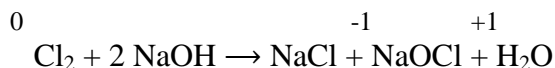


- c.) Egyenletünk az oxigénmérleg szempontjából azonban hiányos, baloldalon 6, jobboldalon 2 O-atom van. Figyelembe véve a salétromsav  $\text{H}^+$ -ionjait, a 4 felesleges O-atomból még 4 vízmolekula keletkezik.



A redoxifolyamatok két különleges típusa a diszproporcionálódás és a szinproporcionálódás. *Diszproporcionálódás*nak nevezzük azokat a redoxifolyamatokat, amelyekben adott oxidációfokú azonos atomok egy része oxidálódik, másik része redukálódik. Az olyan folyamatokat, amelyekben két azonos minőségű, de különböző oxidációfokú atom reakciójából egyetlen közbülső oxidációfokú állapot alakul ki, *szinproporcionálódás*nak nevezzük.

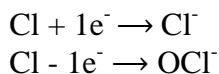
Diszproporcionálódási folyamat pl. az elemi klór nátrium-hidroxiddal lejátszódó reakciója:



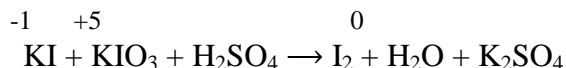
Az egyenlet együtthatóinak megállapításához célszerű először az ionegyenletet felírni:



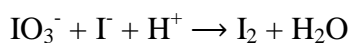
A diszproporcionálódásnak megfelelően a baloldalon lévő klóratomok oxidációfoka egyrészt csökken, másrészt nő. Egy klóratom egy elektron felvételével kloridionná alakul át (redukció), míg a másik klóratom egy elektron leadásával hipoklorit-ionná alakul (oxidáció). Felírva a két részfolyamatot:



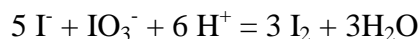
*Szinproporcionálódási* reakció például a kálium-jodid reakciója kálium-jodáttal kénsavas közegben:



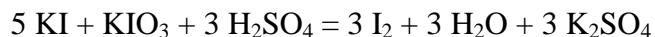
Az ionegyenlet:



A folyamat során a jodidion jódatomja oxidálódik, egy elektront ad le, míg a jódatión jódatomja redukálódik, öt elektront vesz fel. Ahhoz, hogy a leadott és a felvett elektronok száma megegyezzen, öt jodidionra van szükség, tehát a helyes ionegyenlet:



Az együtthatókkal kiegészített kémiai egyenlet:



## II.2 Gyakorló feladatok

### II.2.1.1 Állapítsa meg az alábbi redoxifolyamatok együtthatóit az oxidációs számok segítségével és írja fel a helyes ionegyenleteket!

- a.)  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HI} = \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- b.)  $\text{I}_2 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \text{NaI} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$
- c.)  $\text{NaOCl} = \text{NaClO}_3 + \text{NaCl}$
- d.)  $\text{Br}_2 + \text{NaOH} = \text{NaBr} + \text{NaOBr} + \text{H}_2\text{O}$
- e.)  $\text{HNO}_2 = \text{HNO}_3 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
- f.)  $\text{HgCl}_2 + \text{SnCl}_2 = \text{Hg}_2\text{Cl}_2 + \text{SnCl}_4$
- g.)  $\text{K} + \text{H}_2\text{O} = \text{KOH} + \text{H}_2$
- h.)  $\text{HCOOH} + \text{KMnO}_4 = \text{MnO}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{KOH}$
- i.)  $\text{MnO}_2 + \text{HBr} = \text{MnCl}_2 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- j.)  $\text{Ag} + \text{KCN} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2] + \text{KOH}$
- k.)  $\text{Sn} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} = \text{Na}[\text{Sn}(\text{OH})_3] + \text{H}_2$
- l.)  $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- m.)  $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 = (\text{NH}_4)_3\text{AsO}_4 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$
- n.)  $\text{MnO}_2 + \text{KNO}_3 + \text{KOH} = \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- o.)  $\text{NH}_3 + \text{O}_2 = \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- p.)  $\text{NH}_3 + \text{O}_2 = \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
- q.)  $\text{S}^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{H}^+ = \text{S}_8 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- r.)  $\text{SO}_2 + \text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4^{2-} + \text{Mn}^{2+} + \text{H}^+$
- s.)  $\text{I}^- + \text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{O} = \text{IO}_3^- + \text{MnO}_2 + \text{OH}^-$
- t.)  $\text{MnO}_4^- + \text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} = \text{MnO}_2 + \text{S} + \text{OH}^-$
- u.)  $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
- v.)  $\text{KMnO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
- w.)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- x.)  $\text{FeCl}_3 + \text{KI} = \text{I}_2 + \text{FeCl}_2 + \text{KCl}$
- y.)  $\text{I}_2 + \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = \text{I}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+$

## III Alapvető laboratóriumi eljárások és módszerek

### III.1 A biztonságos munkavégzés irányelvei

#### III.1.1 Laboratóriumi munkavédelem

A gyakorlatok során sok, az egészségre kisebb vagy nagyobb mennyiségben mérgező hatású vegyszerrel dolgozunk, valamint különböző veszélyeket magukban hordozó kísérleteket végzünk el. Kellő elővigyázatossággal, körültekintéssel, az előírások és a figyelmeztetések pontos betartásával azonban a balesetek legnagyobb része elkerülhető!

A kémiai laboratóriumi gyakorlatok speciális jellege folytán állandóan fennforgó balesetveszély megelőzése céljából fokozott gonddal ügyeljünk a gyakorlatvezetők utasításaira, a laboratóriumi rend megtartására! Soha ne feledkezzünk meg arról, hogy elővigyázatlanságunkkal, vagy gondatlanságunkkal nemcsak a saját, hanem a körülöttünk dolgozók testi épségét is veszélyeztetjük!

##### III.1.1.1 Előkészületek a gyakorlatokra

- a.) *Olvassuk el figyelmesen a gyakorlat leírását!* Szükség esetén tanulmányozzuk a tankönyvből az elvégzendő gyakorlattal kapcsolatos elméleti részeket! Miután megértettük, jegyezzük le röviden a gyakorlat lényegét a laboratóriumi jegyzőkönyvbe. Ha valamit nem értünk, kérdezzük meg a gyakorlatvezetőtől, még mielőtt a munkát megkezdénénk!
- b.) *Készítsük elő a jegyzőkönyvünket!* A gyakorlatok rövid leírásán túl jegyezzük fel, hogy a gyakorlatokon szereplő anyagok közül melyek igényelnek óvatos kezelést, mely műveletnél kell fokozott gondossággal dolgozni!

##### III.1.1.2 Magatartás a gyakorlat alatt

- a.) A kémiai laboratóriumba a gyakorlatvezető megy be először, és utoljára hagyja el azt. A gyakorlatvezető távollétében a laboratóriumba bemenni, valamint ott kísérleteket folytatni szigorúan tilos!
- b.) A laboratóriumi gyakorlatokon köpeny és védőszemüveg használata kötelező! A laboratóriumba csak a gyakorlatos jegyzet, a laboratóriumi jegyzőkönyv és a szükséges íróeszközök vihetők be!
- c.) A gyakorlaton magatartásunk legyen mindig fegyelmezett! A balesetek legnagyobb része a kellő ismeretek hiányából, elővigyázatlanságból, gondatlanságból származik!
- d.) A laboratóriumi jegyzetben, illetve a jegyzőkönyvben leírt kísérletek módosítása, más kísérletek elvégzése a gyakorlatvezető engedélye és személyes felügyelete nélkül tilos!
- e.) A laboratóriumi asztal tisztaságára a gyakorlat során mindig ügyeljünk! Az asztalra vagy a vegyszeres üvegek oldalára került vegyszert száraz ruhával azonnal töröljük le!
- f.) A laboratóriumban dohányozni, étkezni vagy inni tilos!
- g.) Az egymás közelében dolgozók legyenek figyelemmel társaik munkájára! Szükség esetén figyelmeztessék egymást az éppen folyó kísérlet veszélyességére!

- h.) A gyakorlatot a laboratóriumi asztal tisztára törlésével, a reagensek üvegedényeinek a polcokra történő visszahelyezésével, valamint a használt üvegeszközöknek a tisztára mosogatásával, és azoknak a szekrénybe történő visszahelyezésével fejezzük be. Laboratóriumi szekrényünket gondosan zárjuk be!
- i.) A gyakorlatok befejezése után, a laboratórium elhagyása előtt minden esetben mossunk kezet!

### III.1.1.3 A gyakorlatok elvégzésének irányelvei

- a.) A gyakorlatok elején a gyakorlatvezető megbeszélést tart. Ekkor lehetőség van a gyakorlatok elvégzésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések tisztázására.
- b.) Ezt követően végezzük el a kísérleteket. A kísérleteket egyedül hajtsuk végre, és a megfigyeléseinkről azonnal készítsünk jegyzőkönyvet!
- c.) A kísérletek elvégzése előtt kellő alaposan győződjünk meg arról, hogy valóban a megfelelő reagenst használjuk-e fel! A kísérletekhez szükséges vegyszerek cseréje egyrészt baleseteket okozhat, másrészt „megmagyarázhatatlan” megfigyeléseket eredményezhet!
- d.) A kísérletekhez ne használjunk a feltétlenül szükségesnél több vegyszert! *Ennek ellenére az üvegből kiöntött, de feleslegessé vált vegyszert az üvegekbe visszaönteni tilos!*
- e.) A kísérletekhez használt vegyszereket mindig kellő óvatossággal kezeljük! A vegyszerek kóstogatása, szagolgatása, vagy megérintése tilos!
- f.) Az analitikai mérlegeket különös óvatossággal kezeljük! A mérlegserpenyőre ejtett üveg- vagy fémeszköz a mérleg súlyos károsodásához vezethet!
- g.) Előzzük meg, hogy bármilyen vegyszer a bőrünkre, vagy a ruhánkra kerüljön. A kezünkre kerülő vegyszernyomok munka közben könnyen a szánkba, vagy a szemünkbe kerülhetnek, ahol súlyos irritációkat okozhatnak!
- h.) A tömény savakat és lúgokat igénylő, valamint a kellemetlen szaggal járó reakciókat mindig működő vegyifülkében végezzük! Szükség esetén védőszemüveget vagy védőmaszkot használjunk! Előzzük meg az illékony vegyszerek gőzeinek belélegzését!
- i.) A folyadéküvegekbe üvegbottal, pipettával, vagy spatulával belenyúlni tilos!
- j.) A vegyszereket mindig lassan, lehetőleg keverés közben elegyítsük! Tömény oldatok hígításakor (*különösen koncentrált kénsav esetén*), mindig a tömény oldatot öntsük lassan, keverés közben desztillált vízhez, vagy a hígabb oldathoz!
- k.) A felesleges vegyszerek, valamint reakcióelegyek megsemmisítésekor szigorúan tartuk be a gyakorlatvezető utasításait!
- l.) A laboratóriumi munka alapvető követelménye az edények tisztasága. Az üvegedények mosogatását kémcsőkefével, mosószerrel végezzük. Ezt követően az edényt előbb csapvízzel, majd desztillált vízzel öblítsük ki. Ha gyorsan száraz edényre van szükségünk, a nedves edényeket szárítószekrényben vagy infralámpa alatt száríthatjuk meg.



### III.1.2 Baleset- és tűzvédelem, elsősegélynyújtás

#### III.1.2.1 Balesetelhárítás, tűzvédelem

- a.) A kísérletek megkezdése előtt győződjünk meg a használandó üvegeszközök épességéről! Repedt vagy törött eszközöket ne használjunk!
- b.) Ha munka közben bármelyik üvegeszköz eltörik, a kifolyt reakcióelegyet azonnal töröljük fel, és az üvegcserepeket kellő óvatossággal gyűjtjük össze a szemetes edénybe! A törött üvegeszközt az előkészítőből pótoljuk!
- c.) Egy kémcsőbe 4-5 ml folyadéknál nagyobb térfogatot ne öntsünk! A reakciók elvégzése során a kémcsőbe, vagy a lombikba nyílásán keresztül belenézni, vagy beleszagolni tilos! *A kémcső száját sohase fordítsuk magunk, vagy mások felé!*
- d.) Az üvegedények melegítése előtt ellenőrizzük, hogy azok külső fala száraz-e! A kívül nedves üvegedény melegítés során könnyen elpattanhat. Ha forralunk, a kémcsövet kémcsőfogóval fogjuk meg!
- e.) Erlenmeyer-lombikban, főzőpohárban úgy végezzük a forralást, hogy az edényt vasháromlábra tett azbesztlapra helyezzük, és egy szem forrkövet teszünk bele. A melegítést mindig kis lánggal kezdjük, és csak fokozatosan növeljük a láng erősségét.
- f.) A Bunsen-égő meggyújtásánál először az égő gyufát tartjuk az égő kéménye fölé, és csak ezután nyitjuk ki a gázcsapot. Hogy elkerüljük az égő begyulladását, célszerű a levegőnyílásokat a meggyújtás előtt elzárni.
- g.) Ha a Bunsen-égő a hevítés során mégis begyullad, amit sípoló hangjáról és zöldes lángjáról könnyű felismerni, a gázcsapot azonnal zárjuk el! Várjunk, míg lehül, majd az előzőek szerint ismét gyűjtjük meg.
- h.) Elektromos főzőlappal történő melegítéskor, vagy más elektromos eszköz használatakor ügyeljünk arra, hogy azt nedves kézzel ne érintsük meg, illetve, hogy arra a munka során folyadék ne kerüljön! Ha mégis előfordul (pl. melegítés során egy lombik elpattan), az elektromos kapcsoló kikapcsolásával feszültségmentesítsük a készüléket, és – lehülés után – száraz ruhával töröljük le a folyadékot!
- i.) Gyúlékony oldószerekkel (pl. éterrel, petroléterrel, alkohollal, benzollal) történő munkavégzés esetén a laboratóriumban *nyílt láng használata tilos!* A légárammal tovább sodort oldószer gőzeit távolabbi láng is meggyújthatja!
- j.) Sohasem szabad a tüzet fújni! Ezzel csak az égést fokozzuk, és a láng az arcunkba csap.
- k.) Ha a ruhánk gyullad ki, azt nedves törölközővel vagy laboratóriumi köpennyel fojtsuk el!
- l.) Kisebb térfogatú oldószer begyulladás esetén a tüzet az edény szájának óraüveggel történő lefedésével elolthatjuk. Nagyobb tűz, komolyabb veszély esetén a laboratórium falára szerelt, pirosra festett kézi tűzoltókészüléket használjuk! *Tilos vízzel oltani a vízzel nem elegyedő oldószereket (pl. benzint), a vízzel reagáló anyagokat (pl. alkálifémeket) és feszültség alatti elektromos berendezéseket!* Egyidejűleg a folyosón lévő telefonon az Tűzoltóságot (105) azonnal értesítsük!
- m.) Laboratóriumi tüzeset bekövetkezése esetén, a folyosón található, a laboratóriumba vezető gázcsapot és elektromos főkapcsolót azonnal zárjuk el, illetve kapcsoljuk ki! A sérült személyek ellátását azonnal kezdjük meg!

### III.1.2.2 Elsősegélynyújtás

- a.) Ha a laboratóriumban bárkit baleset ér, azt azonnal jelentse a gyakorlatvezetőnek, aki belátása szerint elsősegélyt nyújt és/vagy orvosi ellátást kér! A gyors elsősegélynyújtás elengedhetetlen feltétele a komolyabb egészségkárosodások megelőzésének!
- b.) Égési sérülés esetén az égett bőrfelületet csapvízzel hűtsük és kérjünk szakellátást!
- c.) Vágási sérülés esetén a sebből az esetleges szennyeződést, üvegszilánkot távolítsuk el, a vágott seb környékét fertőtlenítő-oldattal (pl. Betadine) lemoszuk! Szükség esetén ideiglenes kötést alkalmazunk, és a sérültet kísérik szakrendelőbe!
- d.) A bőrre kerülő vegyszereket bő vízzel azonnal mossuk le! Azt követően savak esetén a kézmosó feletti polcon található nátrium-hidrogén-karbonát-oldattal, lúgok esetén bórsavoldattal semlegesítsük az érintett bőrfelületet. Végül ismét vízzel öblítjük és szükség esetén zsíros kenőccsel bekenjük azt.
- e.) Bőrre fröccsent koncentrált kénsavat először száraz ruhával töröljük le, utána mossuk csak bő vízzel, illetve semlegesítsük nátrium-hidrogén-karbonát-oldattal!
- f.) Ruhára fröccsent savat híg ammóniaoldattal, vagy nátrium-hidrogén-karbonát-oldattal közömbösíthetünk.
- g.) A szánkba került vegyszereket haladéktalanul köpjük ki, majd a szánkat bő vízzel öblögessük!
- h.) Szemsérülés esetén a szembe került vegyszert bő vízzel azonnal mossuk ki! Bármilyen természetű szemsérülés esetén a legrövidebb időn belül kísérik a szemsérültet a Szemészeti Klinikára!
- i.) Belégzéssel történt mérgezés esetén a sérültet azonnal vigyük friss levegőre, és intézkedjünk szakorvosi ellátásáról!
- j.) Áramütésnél legfontosabb a helyiség áramtalanítása (főkapcsoló). A sérültet friss levegőre kell vinni, szükség esetén mesterséges lélegeztetést alkalmazni, és haladéktalanul orvosi ellátást kell kérni.

### III.2 Mértékegységek

A fizikai mennyiség egy számérték (mérőszám) és a mértékegység szorzata. Ugyanazt a fizikai mennyiséget különböző mértékegységgel lehet mérni. Magyarországon 1980. január 1-től a mérésügyi testületek munkái során csakis a nemzetközi mértékegység-rendszer (Systeme Internationale d'Unités) – jele SI – mértékegységei (SI egységek) használhatók. A hétköznapi élet során, valamint szakmai közösségek (pl. tudományos testületek) publikációiban azonban gyakran találkozunk nem-SI mértékegységek (pl. liter, Celsius fok, perc, óra, nap, fok, stb.) használatával is. A nemzetközi mértékegység-rendszer mértékegységei:

1. az alapmennyiségek
2. a kiegészítő mennyiségek
3. a származtatott mennyiségek

#### 1. Az SI alapmennyiségei

Mennyiség neve	Mennyiség jele	Mértékegység neve	Mértékegység jele
hosszúság	l (kis L)	méter	m
tömeg	m	kilogramm	kg
idő	t	másodperc	s
áramerősség	I (nagy i)	amper	A
hőmérséklet	T	kelvin	K
anyagmennyiség	n	mól	mol
fényerősség	I <sub>v</sub>	kandela	cd

#### Az SI alaplármértékegységek definíciói a következők:

1. A *méter* annak az útnak a hosszúsága, amelyet a fény vákuumban 1/299 792 458 másodperc időtartam alatt megtesz.
2. A *kilogramm* az 1889. évben, Párizsban megtartott 1. Általános Súly- és Mértékügyi Értekezlet által a tömeg nemzetközi etalonjának elfogadott, a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatalban, Sèvres-ben őrzött platina-irídium henger tömege.
3. A *másodperc* az alapállapotú cézium-133 atom két hiperfinom energiaszintje közötti átmenetnek megfelelő sugárzás 9 192 631 770 periódusának időtartama.
4. Az *amper* olyan állandó villamos áram erőssége, amely két egyenes, párhuzamos, végtelen hosszúságú, elhanyagolhatóan kicsiny körkeresztmetszetű és egymástól 1 méter távolságban, vákuumban elhelyezkedő vezetőben fenntartva, e két vezető között méterenként  $2 \cdot 10^{-7}$  newton erőt hozna létre.
5. A *kelvin* a víz hármaspontja termodinamikai hőmérsékletének 1/273,16-szorosa.
6. A *mól* annak a rendszernek az anyagmennyisége, amely annyi elemi egységet tartalmaz, mint ahány atom van 0,012 kilogramm szén-12-izotópban. A mól alkalmazásakor meg kell határozni az elemi egység fajtáját; ez atom, molekula, ion, elektron, más részecske vagy ilyen részecskék meghatározott csoportja lehet.
7. A *kandela* az olyan fényforrás fényerőssége adott irányban, amely  $540 \cdot 10^{12}$  Hertz frekvenciájú monokromatikus fényt bocsát ki és sugárerőssége ebben az irányban 1/683 watt/szteradián.

## 2. Az SI kiegészítő mennyiségei

Mennyiség neve	Mennyiség jele	Kifejezése SI-alapegységekkel	Mértékegység neve	Mértékegység jele
síkszög	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$	$m \cdot m^{-1}$	radián	rad
térszög	$\Omega, \omega$	$m^2 \cdot m^{-2}$	szteradián	sr

## 3. Az SI származtatott mennyiségei

Az alap- és kiegészítő mennyiségekből lehet a többi, származtatott mennyiséget létrehozni (a köztük megfigyelt és egyenletben rögzített kapcsolat alapján). A származtatott mennyiségek közül néhány külön nevet is kapott (mint frekvencia: hertz [Hz] = 1/s, vagy munka: joule [J] = N·m, ahol az erőegysége: newton[N] = kg·m/s<sup>2</sup>)

A Gyógyszerkönyvben szereplő, fontosabb származtatott egységek a következők:

Mennyiség neve	Mennyiség jele	Kifejezése SI-alapegységekkel	Mértékegység neve	Mértékegység jele
Hullámszám	$\nu$	$m^{-1}$	reciprokméter	1/m
Hullámhossz	$l$	$10^{-6} m$	mikrométer	mm
		$10^{-9} m$	nanométer	nm
Terület	A, S	$m^2$	négyzetméter	$m^2$
Térfogat	V	$m^3$	köbméter	$m^3$
Frekvencia	$\nu$	$s^{-1}$	hertz	Hz
Sűrűség	$\rho$	$kg \cdot m^{-3}$	kilogram/köbméter	$kg \cdot m^{-3}$
Erő	F	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$	newton	N
Nyomás	p	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	pascal	P
Dinamikus viszkozitás	$\eta$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$	pascal szekundum	Pa·s
Kinematikai viszkozitás	$\nu$	$m^2 \cdot s^{-1}$	négyzetméter/ szekundum	$m^2/s$
Elektromos feszültség	U	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	volt	V
Elektromos ellenállás	R	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	ohm	$\Omega$
Elektromos töltésmennyiség	Q	A·s	coulomb	C
Mólkoncentráció	c	$mol \cdot m^{-3}$	mol/köbméter	$mol/m^3$
Tömegkoncentráció	$\rho$	$kg \cdot m^{-3}$	kilogramm/köbméter	$kg/m^3$

#### 4. A mértékegységek többszörösei és törtrészei

A mértékegységek többszöröseit és törtrészeit az egység neve elé illesztett egy-egy szorzót jelentő, az alább felsorolt prefixumok egyikével kell képezni.

Prefixum	Számérték	Jele	Prefixum	Számérték	Jele
deci-	$10^{-1}$	d	deka-	$10$	da
centi-	$10^{-2}$	c	hekto-	$10^2$	h
milli-	$10^{-3}$	m	kilo-	$10^3$	k
mikro-	$10^{-6}$	$\mu$	mega-	$10^6$	M
nano-	$10^{-9}$	n	giga-	$10^9$	G
piko-	$10^{-12}$	p	tera-	$10^{12}$	T
femto-	$10^{-15}$	f	peta-	$10^{15}$	P

### III.3 Laboratóriumi felszerelés

#### III.3.1 Laboratóriumi eszközök

##### III.3.1.1 A laboratóriumi műveletek elvégzésére használt üvegedények

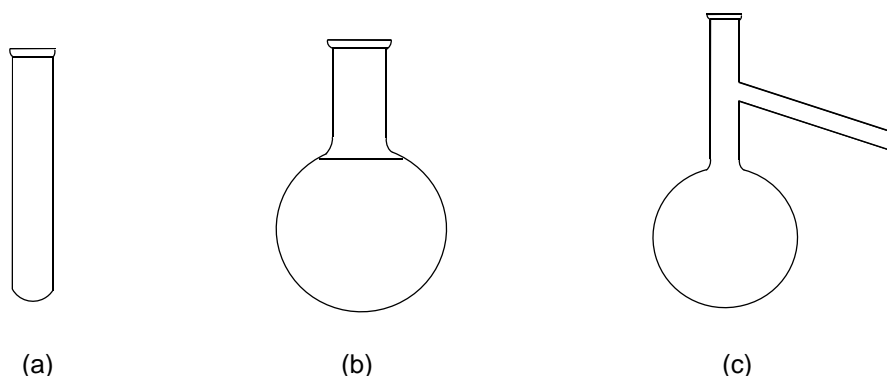
A laboratóriumban leggyakrabban használt edények üvegből készülnek. Az üveg, mint anyag főként  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  és  $\text{Na}_2\text{O}$  olvadékának keveréke. Az üvegeszközöket hőállóságuk szerint csoportosíthatjuk, e szerint vannak hőálló, kevésbé hőálló és nem hőálló edények.

##### III.3.1.1.1. Hőálló üvegedények

a.) **Nyílt lángon is melegíthető (hőálló) üvegedények** (III-1. ábra):

*kémcső (a), gömblombik (b), frakcionáló lombik (c).* Kis hőtágulási tényezőjű üvegből készülnek, így nagy hőmérséklet-változásokat is elviselnek. Vékony falúak, alsó felük gömbkiképzésű, így az üveg belső feszültsége kisebb, ezért nyílt lángon melegíthetők.

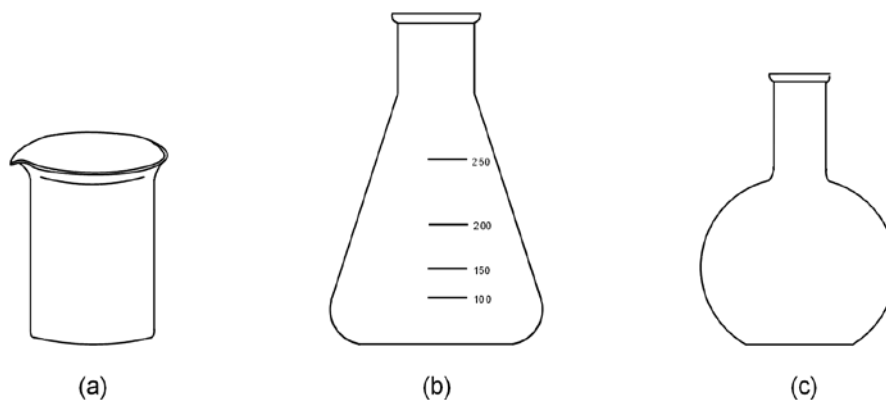
**III-1. ábra:** Nyílt lángon is melegíthető (hőálló) üvegedények



b.) **Azbesztes dróthálón melegíthető (hőálló) üvegedények** (III-2. ábra):

*főzőpohár (a), Erlenmeyer-lombik (b), állólombik vagy főzőlombik (c).* Az aljuk lapos, így az üveg belső feszültsége nagyobb, repedésre, törésre hajlamosak, ezért nyílt lángon nem melegíthetők.

**III-2. ábra:** Azbesztes dróthálón melegíthető (hőálló) üvegedények

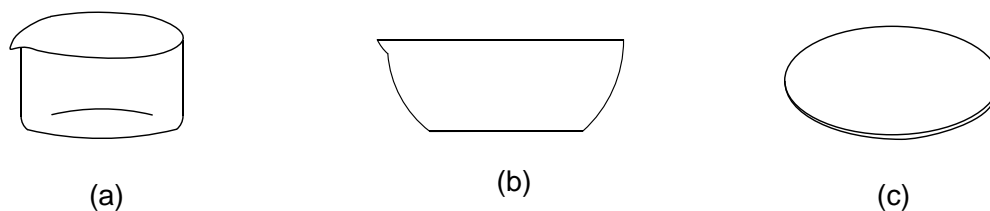


**III.3.1.1.2. Kevésbé hőálló üvegedények**

A hőállókhöz képest vastagabb falú üvegből készülő, csak vízfürdőn melegíthető üvegedények (III-3. ábra):

*kristályosítótál (a), bepárlócsésze (b), óraiüveg (c).*

**III-3. ábra:** Kevésbé hőálló üvegedények

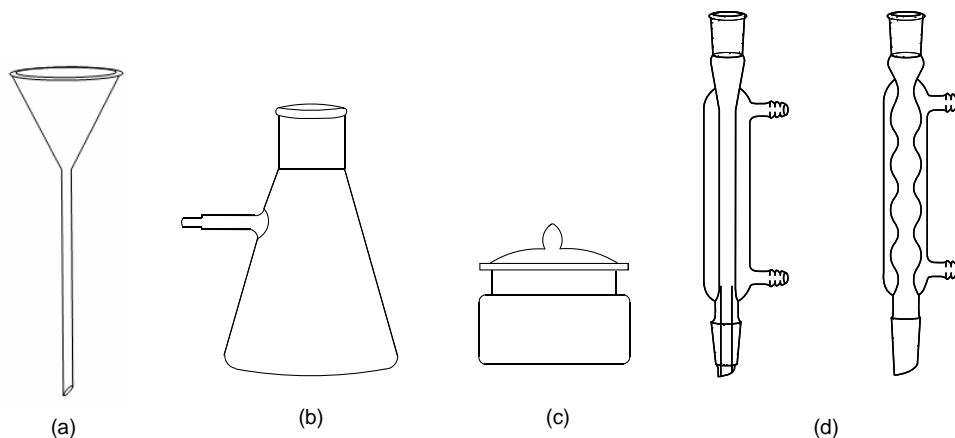


**III.3.1.1.3. Nem hőálló üvegedények**

Egyéb üvegeszközök (III-4. ábra)

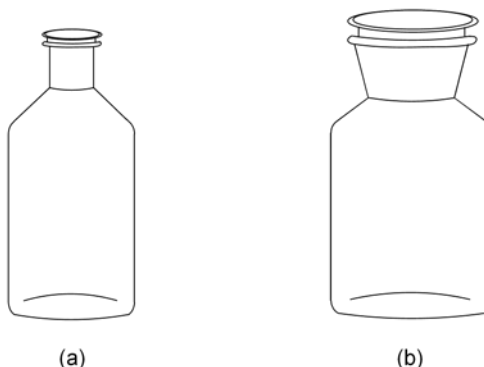
*tölcsérek (a), szívópalack (b), bemérőedények (c), hűtők (d).*

**III-4. ábra:** Nem hőálló üvegedények



Tárolásra használt üvegedények (III-5. ábra)  
*Folyadéküvegek (a), porüvegek (b).*

**III-5. ábra:** Tárolásra használt üvegedények

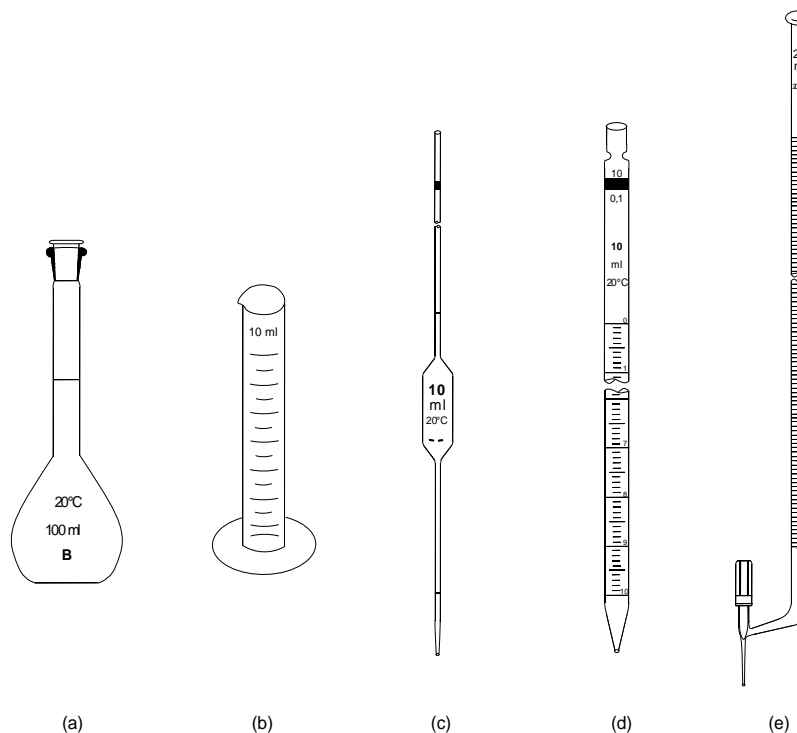


**III.3.1.1.4. Térfogatmérésre használt üvegedények**

A térfogatmérésre használt üvegedényeket (III-6. ábra) csoportosíthatjuk az alapján, hogy betöltésre vagy kifolyásra kalibrálták őket. Fontos megjegyezni, hogy kalibrált térfogatuk csak az eszközökön feltüntetett hőmérsékleten (általában 20°C) érvényes. Ezért tilos hűteni, vagy melegíteni őket!

- a.) A *betöltésre hitelesített* (kalibrált) eszköz esetén a tényleges, belső térfogat ismeretes. Ilyenek a *mérőlombikok* (a) és a *mérőhengerek* (b).
- b.) A *kifolyásra hitelesített* (kalibrált) eszközök a belőlük kiengedhető folyadékok térfogatának mérésére szolgálnak. Ilyenek a *hasas pipetták* (c), az *osztott pipetták* (d) és a *büretták* (e).

**III-6. ábra:** Térfogatmérésre használt üvegedények



### III.3.1.1.5. Fontosabb porcelánedények

Hőálló vagy nem hőálló tulajdonságú, porcelánból készült edények (III-7 ábra)

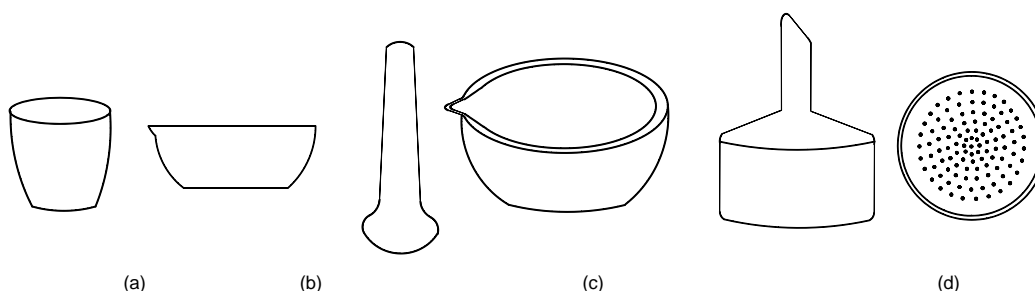
#### a) Hőálló porcelánedények

*izzítótégely* (a) - magasabb hőmérsékletet is kibír, nyílt lángon vagy izzítókemencében hevíthetjük; *porcelántál* (b) - bepárlásra használjuk, azbeszthálón melegíthető.

#### b) Nem hőálló porcelánedények

*porcelánmozsár* (c) - kristályos vegyszerek porítására használjuk. *Büchner-tölcsér* (d) - vákuumszűrésnél használjuk.

III-7. ábra: Fontosabb porcelánedények

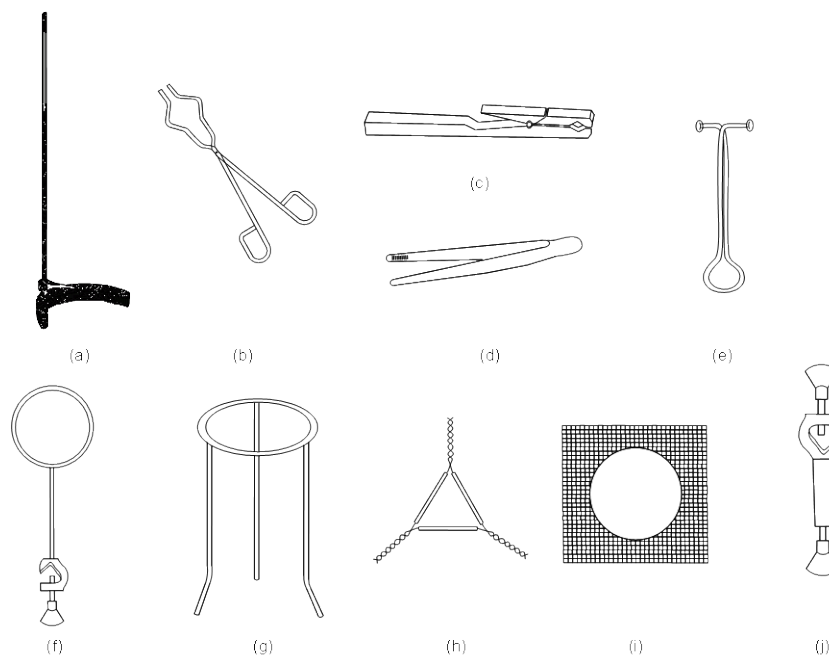


### III.3.1.1.6. Fontosabb fém- és faeszközök

A készülékek szereléséhez, az eszközök rögzítésére és mozgatására a laboratóriumban több fémből és fából készült eszközt alkalmaznak (III-8. ábra):

*Bunsen-állvány* (a), *tégelyfogó* (b), *kémcsőfogó* (c), *fémcsipesz* (d), *Mohr-szorító* (e), *szűrőkarika* (f), *vasháromláb* (g), *porcelán háromszög* (h), *azbesztes háló* (i), *kettős dió* (j).

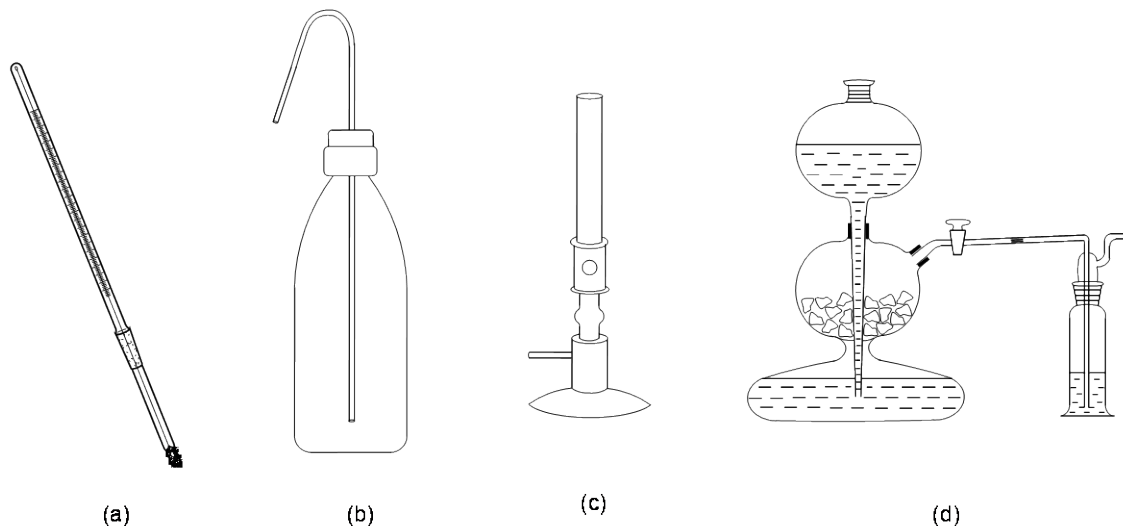
III-8. ábra: Fontosabb fém- és faeszközök





**III.3.1.1.7. Egyéb laboratóriumi eszközök**

Laboratóriumban gyakran használatos eszközök közé tartozik még a *hőmérő* (a), a *spriccflakon* (b) és a hőközlésre alkalmas *Bunsen-égő* (c). Laboratóriumi gázfejlesztéshez használható a *Kipp-féle gázfejlesztő készülék* (d) (III-9. ábra).

**III-9. ábra:** Egyéb laboratóriumi eszközök**III.3.2 Az üveg- és porcelánedények tisztítása**

- Miután a tisztítandó edényből a megfelelő gyűjtő helyre kiöntöttük a benne levő anyagot, csapvízzel átöblítjük.
  - Mosogatótálban zsírtalanító hatású szintetikus mosószeres vízben kémcsömosó vagy kémcsőkefe segítségével alaposan elmoszuk az edényt.
  - Ha az előző művelet eredménytelen, a szennyeződést kémiai úton kell eltávolítani. Ehhez tudnunk kell, mitől származik a szennyeződés!  
Általában a tömény savak egyike (leggyakrabban a technikai tisztaságú 1:1 hígítású tömény sósav), a tömény lúg (nátrium-hidroxid vagy kálium-hidroxid) vagy királyvíz (tömény sósav : tömény salétromsav = 3:1) a legtöbb szennyeződést leoldja.  
Ha kálium-permanganáttal végeztük a kísérletet, az edényre lerakódott barna színű mangán-dioxidot 1 M-os kénsav és hidrogén-peroxid elegyével eltávolítjuk. Igen erélyes tisztítószer a krómkénsav. A krómkénsavat betöltjük a tisztítandó edénybe, melyből előzetesen a vizet alaposan kicsurgattuk, és egy napig állni hagyjuk benne. Ugyanazt a krómkénsavat mindaddig használhatjuk, míg barnásvörös színe zöldre változik.
- A mosogató következő lépése az alapos öblítés. Az edényt öblítsük át háromszor csapvízzel, majd kétszer desztillált vízzel.
- Az edényeket szájukkal lefele fordítva szárítóállványon száríthatjuk meg. A 110-120°C-os elektromos szárítószekrényben fél óra alatt megszárad az edény.

### III.4 Alapvető laboratóriumi eljárások

#### III.4.1 Tömegmérés

A tömeg az anyag tehetetlenségének a mértéke. A tömeg (m) SI mértékegysége a kilogramm (kg). 1 kg tömegű a Párizs melletti Sèvres-ben őrzött platina-irídium henger (etalon tömeg). A laboratóriumban leggyakrabban használt tömegegységek a gramm ( $1\text{ g} = 10^{-3}\text{ kg}$ ), a centigramm ( $1\text{ cg} = 10^{-2}\text{ g}$ ), a milligramm ( $1\text{ mg} = 10^{-3}\text{ g}$ ) és a mikrogramm ( $1\text{ }\mu\text{g} = 10^{-6}\text{ g}$ ).

Laboratóriumban mérlegeléssel határozzuk meg a tömeget. Mérésére összehasonlító, standardizált tömegeket (súlyokat) használunk, melyeket kétkarú emelőre helyezve (mérlegek) a mérlegre ható súlyerő okozta forgatónyomatékok nagyságát vetjük össze. Tömegmérés során tulajdonképpen a gravitációnak kitett tömeg által kifejtett erőt mérjük meg.

A mérések célja kétféle lehet. Az első esetben ismeretlen tömegű anyag, vagy test tömegét kell megállapítanunk. A második esetben valamely gondosan előkészített anyagból kell meghatározott mennyiséget lemérnünk. Mindkét esetben úgy járunk el, hogy az ismeretlen tömeget ismert nagyságú tömegsorozattal hasonlítjuk össze.

A tömegmérés eszköze a mérleg. A hagyományos (kétkarú) mérlegeken kívül újabban széles körben elterjedtek az elektronikus működésű félautomata és automata mérlegek, melyek működésének elve a hagyományos, kétkarú emelő elvén működő mérlegekétől eltérő.

A mérlegek jellemzői:

1. a *méréshatár* - az a legnagyobb megterhelés, amely mellett az egyes mérlegek még használhatók,
2. az *érzékenység* - az a legkisebb tömeg, amelyre a mutató (vagy a kijelző) egy osztással (kijelzőn megjelenített legkisebb egységgel) kitér,
3. a *pontosság* - a valós tömeg és a mért tömeg közötti százalékos eltérés,
4. a *reprodukálhatóság* - ugyanazon test egymás utáni mérésekor a mért értékek mekkora eltérést mutatnak.

A mérleg pontossága nagymértékben függ az ékek állapotától. Az ékek kímélésére szolgál az arretálószerkezet, amely használaton kívül a mérlegkarokat és a serpenyőket alátámasztja. Ez a mérleg *arretált állapot*. Ilyenkor nem terhelik a karok és a serpenyők az ékeket. Méréskor, *dezarretált állapotban*, a mérlegkarok és a serpenyők az ékeket terhelik, azokon szabadon mozognak.

A mérleget mindig rázkódásmentes szilárd alapra állítsuk fel, vízgőztől, savgőztől, huzattól és fűtőtesttől távol. Mérés előtt a mérlegen található vízszintjelző buborék ellenőrzésével győződjünk meg a mérleg helyes beállításáról! A mérleg három lába közül a csavarmenettel ellátott kettőnek magassága csavarással változtatható. Ezek segítségével a mérleg vízszintes helyzete beállítható.

Az *analitikai mérleget* a légáramlat zavaró hatásának kiiktatása céljából üvegszekrénybe építik be. Az *automata mérlegek* nemcsak lengéscsillapító fékkel rendelkeznek, hanem optikai eszközökkel (lencsék, tükrök, fényforrás) is.

### III.4.1.1 A mérlegek csoportosítása a méréshatár szerint

A mérendő mennyiségtől és az elvégzendő feladat céljától függ, hogy melyik mérleget használjuk. A laboratóriumban tömegmérésre használatos eszközök a *táramérleg*, a *precíziós mérleg*, az *analitikai mérleg* és a *mikromérleg*. Ezek a mérlegek napjainkban már leginkább digitális változatukban használatosak.

*Táramérleg*et használunk, ha 0,01 g pontossággal akarunk mérni. Ezek méréshatára 100-500 g lehet.

A *precíziós mérleg* 1 mg (0,001 g) érzékenységgel mérést tesz lehetővé, felső méréshatára 100-200 g közötti.

Az *analitikai mérlegen* 0,0001 g (0,1 mg) pontossággal mérhetünk. Méréshatára 100-200 g.

Az igen érzékeny, 20 g méréshatárú *mikroanalitikai mérlegen* a milligramm ezredrészét ( $1 \mu\text{g} = 10^{-6} \text{ g}$ ) is megmérhetjük.

A *táramérleg* (III.-10 ábra: a) egy egyszerű, szemmel is jól látható azonos hosszúságú kétkarú emelő, amelynek a bal serpenyőjére helyezhető el a mérendő anyag, a jobb serpenyőjére pedig a mérő súlyok. Minden táramérleghez tartozik egy zárható dobozban lévő súlysorozat, csipesszel. A mérés során, miután a mérleg bal serpenyőjébe megtörténik a minta elhelyezése, a jobb serpenyőbe annyi súlyt kell elhelyezni, hogy a mérleg egyensúlyi helyzetbe kerüljön. Az egyensúlyi helyzet elérése után megadható a mérendő test tömege.

Az *analitikai mérleg* (III.-10. ábra: b) igen érzékeny, ezért üvegezett szekrényben tartjuk, hogy a portól, huzattól megvédjük. Méréshatára 100-200 g. Elvileg hasonló felépítésű, mint a táramérleg. Az analitikai mérleget rázkódásmentesen kell felállítani, mert a legkisebb rezgés is pontatlan mérést okozhat. Elhelyezése ezért speciális kialakítású, ún. mérleg-asztalon, vagy főfalra szerelt konzolon történik. Por- és savgőz mentes, egyenletes hőmérsékletű helyen tároljuk és használjuk (célszerű erre külön helyiséget biztosítani).

A hagyományos mérlegelven működő *táramérlegek* (a) és *analitikai mérlegek* (b) mellett ma már a piezoelektromosságon vagy az elektromágneses erővel való kompenzáción alapuló *digitális kijelzésű, elektronikus táramérlegek és analitikai mérlegek* (III-10 ábra: c) egyre elterjedtebbek. Beépítve tartalmazzák a kalibráló tömegeket, így a mérés helyén lehet hitelesíteni, vagy újrakalibrálni. A hagyományos mérlegekhez hasonlóan többféle méréshatárral és érzékenységgel bírnak. Több adattároló és feldolgozó egység is be van építve, így ezek a mérlegek igen jól használhatóak sorozatméréseknél.

### III-10. ábra: Laboratóriumi mérlegek



Táramérleg (a)



Analitikai mérleg (b)



Digitális mérleg (c)

#### III.4.1.2 Az analitikai mérleg használatakor betartandó szabályok

1. A mérleget rázkódásmentes, egyenletes hőmérsékletű, korrozív hatású gőzöktől mentes helyiségben kell felállítani.
2. A mérleget csak vízszintesen felállítva szabad használni. Mérés előtt ellenőrizni kell a vízszintjelző buborékok helyzetét. A lábcsavarok magasságát változtatva, a mérleg vízszintbe hozható.
3. A mérés előtt 5-10 percig nyitva hagyjuk a mérlegszekrény ajtóit, hogy a szekrény levegője azonos állapotú legyen a környezet levegőjével.
4. Mérés közben a mérlegajtókat - a hibát okozó légáramlatok elkerülésére - mindig tartjuk zárva!
5. A mérendő anyag/tárgy hőmérséklete ne legyen magasabb a szobahőmérsékletnél. A szárítószekrényből kivett edényt, vagy kiizzított tégelyt exikátorban hagyjuk lehűlni mérés előtt!
6. A mérendő vegyi anyagot soha nem közvetlenül a serpenyőre helyezzük, hanem mérőedényben, óraüvegen, vagy bemérőcsónakon mérjük le.
7. Savakat, lúgokat, nagy tenziójú és nedvszívó anyagokat csak jólzáró, becsiszolt fedelű mérőedényben szabad mérni! Ne tartsunk a mérleg közelében maró savakat, lúgokat, mert ezek gőzei a mérleg alkatrészeit megtámadják.
8. A mérés befejezése után a mérleg terhelését a lehető legrövidebb idő alatt szüntessük meg!
9. A mérlegszekrényben a kiszóródott vegyszereket puha ecsettel szedjük össze! A kicsöppent folyadékot azonnal itassuk fel, és alkoholos papírvattával töröljük át a szennyezett területet!
10. Ügyeljünk a mérlegek tisztaságára! A mérleg helyiségben is tartjuk be a laboratóriumban szokásos rendet: tilos enni, inni, dohányozni.

### III.4.1.3 Elvégzendő feladat

Ismeretlen testek tömegének meghatározása, illetve adott mennyiségű kristályos anyag bemérése táramérlegén és analitikai mérlegén.

#### III.4.1.3.1 Ismeretlen tömegű anyag, tárgy mérése táramérlegén (lemérés)

- Tegyük a mérleg bal serpenyőjébe a mérendő tárgyat.
- Becsüljük meg a tömegét.
- A mérleg jobb serpenyőjébe tegyük a becsült, ismert tömegű sorozattagot.
- A mérleg egyensúlyi helyzete alapján a mérleg jobb serpenyőjébe annyi mérő súlyt helyezünk (veszünk el), amennyi az egyensúlyi állapot beállításához szükséges.

#### III.4.1.3.2 Meghatározott tömegű anyag mérése táramérlegén (bemérés)

A mérés csak annyiban tér el az ismeretlen tömeg lemérésétől, hogy a mérőedény kitárázása (vagy lemérése után) a jobb serpenyőbe pontosan annyi mérőtestet helyezünk, mint amennyi anyagot mérni kívánunk, ezután a mérleg bal serpenyőjében lévő edénybe – állandóan ismétlődő arretálás és részleges dezarretálás közben – addig adagoljuk az anyagot, amíg az egyensúlyi helyzet be nem áll.

#### III.4.1.3.3 Tömegmérés analitikai mérlegén

- *Bekapcsolás:* az „ON/OFF” gombot megnyomjuk, néhány másodperc után a kijelző láthatóvá válik a számsorral együtt. Amikor a számsor megállapodik, minden szám a kijelzőn „0” értéket mutat.
- *Leméréskor* a mérleglapra tesszük a mérendő tárgyat, (visszaméréskor edény + anyag) és a kijelzőn leolvashatjuk a tömegét. A mérendő tárgyat mindig a serpenyő közepére helyezzük el, hogy egyenletes terhelést okozzon.
- *Beméréskor:*
  - a mérleglapra tesszük a mérőedényt,
  - miután megjelent a kijelzőn a tömegének az értéke, a „TARE” gombot megnyomjuk (kitárázás), a kijelző „0” értéket fog mutatni,
  - a mérendő anyagot addig adagoljuk a mérőedénybe, amíg a kijelzőn a mérni kívánt érték jelenik meg.
- A mérés eredményének rögzítése.
- A mérleg letisztítása.

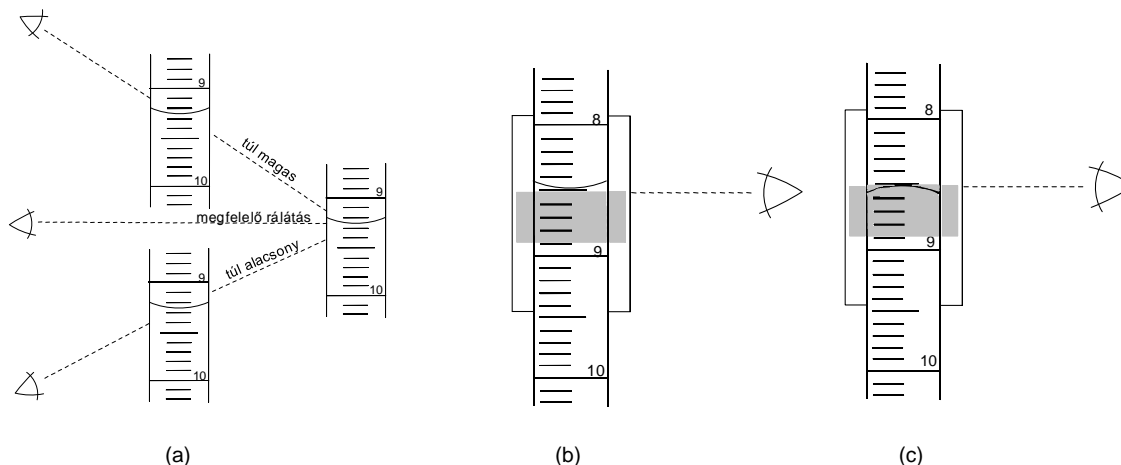
### III.4.2 Térfogatmérés

A térfogat SI-egysége a köbméter ( $m^3$ ). A laboratóriumi gyakorlatban ennek ezredrészét, a köbdecimétert ( $dm^3$ ), vagy milliomodrészét, a köbcentimétert ( $cm^3$ ) használjuk. Használhatjuk még térfogati egységként a litert is ( $1\ l = 1\ dm^3$ ), valamint ennek ezredrészét, a millilitert ( $1\ ml = 1\ cm^3$ ). A folyadékok és a gázhalmazállapotú anyagok térfogata közvetlenül meghatározható, a szilárd anyagok térfogata az általuk kiszorított folyadék térfogatából állapítható meg.

A *folyadékok térfogatának* mérése egyszerű művelet, a beállított folyadékszint - folyadékfelület, meniszkusz - leolvasását vagy a *meniszkusz* (keskeny csőben levő folyadék görbülettel rendelkező felszíne) beállítását kell jól elvégezni. A folyadékszintet mindig szemmagasságban kell leolvasni (III-11. ábra; a). Nedvesítő folyadékok esetében a meniszkusz homorú, ilyenkor a folyadékfelszínt rá kell ültetni a jelre (III-11. ábra; b). Nem nedvesítő áttetsző folyadékok esetében - a fizikai

törvényszerűségekből következően - a meniszkusz domború, ilyenkor az előző esettel ellentétesen kell eljárni (III-11. ábra; c). Nedvesítő színes folyadékok esetében szintén az "alsó meniszkuszt" kell figyelni.

### III-11. ábra: A folyadékszint helyes leolvasása



A térfogatmérő eszközön feltüntetik, hogy milyen hőmérsékleten célszerű használni. A hőmérséklettől függő térfogatváltozás miatt az eszköz csak azon a hőmérsékleten pontos, amelyiken hitelesítették. A térfogatmérő eszközöket – pontosságuk megtartása érdekében – jelentősebb hőkezelésnek kitenni tilos!

#### III.4.2.1 Térfogatmérő eszközök

- *A betöltésre hitelesített* (kalibrált) eszköz esetén a tényleges, belső térfogat ismeretes. Ilyenek a *mérőlombikok* (III-6. ábra; a). Térfogatuk 10–2000 cm<sup>3</sup> között van, ezt a térfogatot a hosszú nyakukon levő jelzés mutatja. Ismert koncentrációjú oldatok készítésére használjuk. A *mérőhengereket* (III-6. ábra; b) a folyadékok térfogatának kevésbé pontos mérésére alkalmazzák.
- *A kifolyásra hitelesített* (kalibrált) eszközök. A belőlük kiengedhető folyadékok térfogatának mérésére szolgálnak. A betöltésre hitelesítettéknél pontatlanabbak. Ennek az oka, hogy kitöltésnél a nedvesítő folyadék egy része az edény falára tapad, és ez mérésbeli pontatlanságot okoz - a mérőlombiknál a folyadék visszafolyik az edénybe tehát nem okoz gondot. A kifolytatást lassan végezzük, várjuk meg az ún. kifolyási időt, mivel a nedvesítő folyadékoknál az üveg fala közelében áramló folyadékréteg kifolyási sebessége kisebb, mint a belső rétegeké.

A *pipetták* középen kiöblösödő üvegcsövek, alsó végük kapillárisal rendelkeznek. Folyadékok térfogatának pontos mérésére szolgálnak. A *hasas pipetták* (melyek lehetnek egy- és kétjelűek) a rajtuk feltüntetett térfogat pl. 2, 5, 10, 25 cm<sup>3</sup> egyszeri, nagyon pontos mérésére alkalmasak (III-6. ábra; c). Az *osztott pipetták* (III-6. ábra; d) kiöblösödő része hosszú, csöszzerű és 0,1 cm<sup>3</sup>-es beosztással van ellátva. Különböző, kisebb folyadéktérfogatok többszöri, kevésbé pontos kimérésére szolgálnak.

A folyadékok felszívására *pipettázó labdát* vagy *pipettázó feltétet* kell alkalmazni. A mérések pontosságának növelése végett egyre elterjedtebb az automata pipetta használata. Az egyszerű automata pipettákon manuálisan be lehet állítani a kimérendő folyadéktérfogatot, és a különböző folyadékkal való kimérések

során a pipettavéget kell csak cserélni. A manuálisak mellett már megjelentek az elektronikus pipetták is. Ezeken kis billentyűzet segítségével lehet beállítani a szükséges térfogatot. Léteznek már olyanok is, amelyek több pipettavéggel rendelkeznek, azaz egyszerre több "adag" folyadék kimérésére alkalmasak és akár programozhatóak is.

A *büretták* (III-6. ábra; e) alul csappal elzárható, egyenletes keresztmetszetű  $0,05 \text{ cm}^3$ -es beosztással ellátott üvegsövek, kis folyadékmennyiségek nagyon pontos adagolására használják. A folyadék cseppenként is adagolható. A bürettákat leggyakrabban titráláskor alkalmazzák.

### III.4.2.2 A térfogatméréskor elkövethető hibák

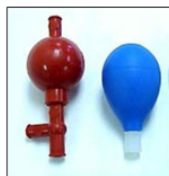
- A parallaxis (eltolódási) hibát akkor követjük el, ha a meniszkusz leolvasását nem szemmagasságban végezzük (III-11. ábra; a).
- A nem megfelelő hőmérséklet nemcsak a folyadék hőtágulását okozza, hanem a mérőeszközt is, és az üvegeszközök lehűlés után sokára nyerik vissza eredeti térfogatukat.
- Csekély mennyiségű zsiradék az üveg falán már hibát okoz. Ilyenkor a víz egyenlőtlenül nedvesíti a mérőeszköz falát, s azon folyadékcseppek maradnak. Csak teljesen tiszta, zsírtmentes eszközzel lehet pontosan dolgozni.

### III.4.2.3 A pipettázás menete

A pipetták megtöltésére kétféle *gumilabda* (Griffin és egyszerű pipetta labda), illetve egy *dugattyús feltét* (Pi-pump) használata terjedt el a gyakorlatban, mivel a folyadékok szájjal történő felszívása nem engedélyezett! (III-12. ábra)

### III-12. ábra: Pipettázási segédeszközök

Griffin labda és egyszerű pipetta-labda



Pi-pump eszközök különböző méretű pipettához



- Mérés előtt a pipettát tiszta papírvattával szárazra töröljük, majd a vizsgálati mintával átöblítjük.
- A pipetta elszűkített végét kellő mélységben a bele szívandó folyadékba merítjük, és a másik, nyitott végén óvatosan felszívjuk a folyadékot a pipetta felső jele fölé (gumilabda vagy Pi-pump segítségével).
- Ekkor a pipettát a folyadékból kiemeljük, és a pipettát kívülről tiszta papírvattával megtöröljük.
- A pipetta elszűkített végét a „hulladékgyűjtő edény” száraz falához érintjük és a folyadékot a jelig leengedjük (meniszkusz!), miközben a pipettát függőlegesen és felső jelét szemmagasságban tartjuk.
- Amikor a folyadék szintje elérte a felső jelet, a kívánt edénybe kifolyatjuk a pipettában levő folyadékot. A kiürítés során a pipettát függőlegesen tartjuk és csúcsát (közel  $90^\circ$ -os szögben) az edény falához érintjük. A folyadék kiengedésekor az edényt és a pipettát együtt emeljük fel a kellő magasságba!

- Egyjelű pipetta kiürítésekor a teljes kifolyás után még 15-20 mp utánfolyási időt várunk, miközben a pipetta csúcsát állandóan az edény falához érintve tartjuk. A pipettában ezután is benne maradt cseppet nem fújjuk ki, hanem benne hagyjuk.
- Kétjelű pipetta kiürítésekor a kifolyást a folyadékoszlop meniszkuszának az alsó jelre állásáig engedjük. Ezt követően még 15-20 mp után folyási időt várunk és a jelre állítást megismételjük.
- A pipetta megtöltését és kiürítését segítő eszközök használata jelentősen eltér egymástól, ezért annak pontos menete a gyakorlatokon sajátítható el.

#### III.4.2.4 A büretta használata

- A bürettát állványba fogva, pontosan függőleges helyzetben használjuk. Csapját előzetesen csapzsírral vékonyan bekenjük, úgy, hogy a furata ne tömődjék el!
- A bürettát alul, közel a hajlathoz, kb. alsó harmadánál fogjuk a fogóba, majd megtöltjük a szükséges mérőoldattal, ügyelve arra, hogy a hajlatban és a csap furatában ne maradjon levegőbuborék. Ezután a csap óvatos megnyitásával lassan leengedjük az oldatot a nulla pontig. A csap végén maradt cseppet érintéssel eltávolítjuk, és a kívánt térfogatú oldatot a megfelelő edénybe engedjük.
- Amikor a bürettából adott térfogatú folyadékot mérünk ki időt kell hagyni az utánfolyásra Amikor pedig titráláshoz használjuk a bürettát, a művelet végén lassan, cseppenként adagoljuk az oldatot, így biztosítva a folyadékszint kellő beállítását.
- A Schellbach-féle büretták hátsó falán, a skála mögött fehér alapon színes (legtöbbször kék) csík fut végig, ami a leolvasás megkönnyítését szolgálja. E csík a meniszkusz legalsó pontján, tükröződés folytán, összeszűkülni látszik, így ez a pont könnyen leolvasható (III-13. ábra).

#### III-13. ábra: Schellbach-féle büretta





### III.4.2.5 Elvégzendő feladat

Mérőlombik és hasas pipetta kalibrálása.

#### III.4.2.5.1 Mérőlombik kalibrálása

A mérés elve, hogy a lombikba jelig betölthető, ismert hőmérsékletű víz tömegének megmérése után, a térfogat a víz sűrűségének ismeretében kiszámítható. A kalibrálandó lombikot a mérés előtt megfelelően ki kell tisztítani (zsírtalanítás, acetonsal öblítés) és melegítés nélkül ki kell szárítani. Ezután táramérlegesen lemérjük az üres lombik tömegét ( $m_{\bar{u}}$ ), majd az ismert hőmérsékletű desztillált vízzel jelig töltve ismét lemérjük a lombikot ( $m_{\bar{u}+d}$ ). Gondosan ügyeljünk arra, hogy a lombik kívülről teljesen száraz legyen. A kalibrálás eredményét legalább három párhuzamos méréssel igazoljuk. A kapott mérési eredményekből számítsuk ki a lombik valódi térfogatát a következő egyenlettel.

$$V_t = \frac{m_{\bar{u}+d} - m_{\bar{u}}}{\rho_d}$$

ahol:

$\rho_d$ : desztillált víz sűrűsége a mérési hőmérsékleten ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),

$m_{\bar{u}+d}$ : desztillált vízzel teli lombik tömege (g),

$m_{\bar{u}}$ : üres lombik tömege,

$V_t$ : a lombik valódi, tényleges térfogata ( $\text{cm}^3$ ).

#### III.4.2.5.2 Pipetta kalibrálása

A kalibráláshoz táramérlegesen mérjük le egy dugóval ellátott üres, előzetesen megfelelőképpen tisztított, száraz lombikot ( $m_{\bar{u}}$ ). Töltsük jelre a kalibrálandó pipettát. Ha egyjelű pipettát kalibrálunk, akkor a jelre állított desztillált víz mennyiségét, ha kétjelűt, akkor a két jel közti víztérfogatot lassan engedjük ki az ismert tömegű lombikba. Mérjük le az így kapott, vizet tartalmazó lombik tömegét ( $m_{\bar{u}+d}$ ). A kapott adatokból kiszámítható a pipettából kifolyt desztillált víz tömege és adott hőmérsékleten a víz sűrűségét ismerve a térfogata ( $V_t$ ). A pipetta tényleges térfogata - mérőlombik esetében használt egyenlet felhasználásával kiszámolható. Az eredmények ténylegességét legalább három párhuzamos méréssel igazoljuk.

### III.4.3 Sűrűségmérés

A sűrűség ( $\rho$ ) az anyag egységnyi térfogatának ( $V$ ) tömege ( $m$ ):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot v$$

A sűrűség SI mértékegységrendszerben elfogadott egysége a  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . A laboratóriumban a  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  vagy  $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$  egységeket használjuk.

Mivel az anyag térfogata hőmérsékletfüggő, következésképpen a sűrűsége is változik a hőmérséklet függvényében. Ha az anyag  $0\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű, akkor a sűrűségét *normálsűrűségnek* nevezik. Ettől eltérő  $t$  hőmérsékleten a  $\rho_t$  sűrűséget a térfogatváltozásból számíthatjuk. A különböző hőmérsékleten mért sűrűségek és térfogatok fordítottan aránylanak egymáshoz:

$$\rho_t : \rho_0 = V_0 : V_t$$

Ebből:

$$\rho_t = \frac{\rho_0 \cdot V_0}{V_t} = \frac{\rho_0 \cdot V_0}{V_0(1+\alpha t)}$$

ahol  $\alpha$  az anyag köbös hőtágulási együtthatója.

Az így definiált sűrűséget *abszolút sűrűségnek* nevezzük. A gyakorlatban igen gyakran találkozunk a *relatív sűrűség* fogalmával, különösen mérések alkalmával. A *relatív sűrűség* egy viszonyszám, amely megadja, hogy valamely anyag abszolút sűrűsége hányszorosa a vonatkoztatási anyag abszolút sűrűségének. A vonatkoztatási anyag gázoknál leggyakrabban a levegő, a cseppfolyós és szilárd anyagoknál a víz. A relatív sűrűség ( $d$ ) eszerint két, azonos fizikai körülmények között – tehát azonos nyomáson és hőmérsékleten – mért abszolút sűrűség ( $\rho$ ) hányadosa.

A szilárd vagy folyékony anyagok *relatív sűrűsége* a vizsgált anyag  $20\text{ }^\circ\text{C}$ -on meghatározott tömegének valamint a vele azonos térfogatú desztillált víz  $4\text{ }^\circ\text{C}$ -on mért tömegének a hányadosa. A relatív sűrűség jele  $d^{20}_4$ . A  $4\text{ (3,98)}\text{ }^\circ\text{C}$ -os víz sűrűsége kb.  $1000,00\text{ (999.9720)}\text{ kg/m}^3 = 1,00000\text{ (0,999972)}\text{ g/cm}^3$ .

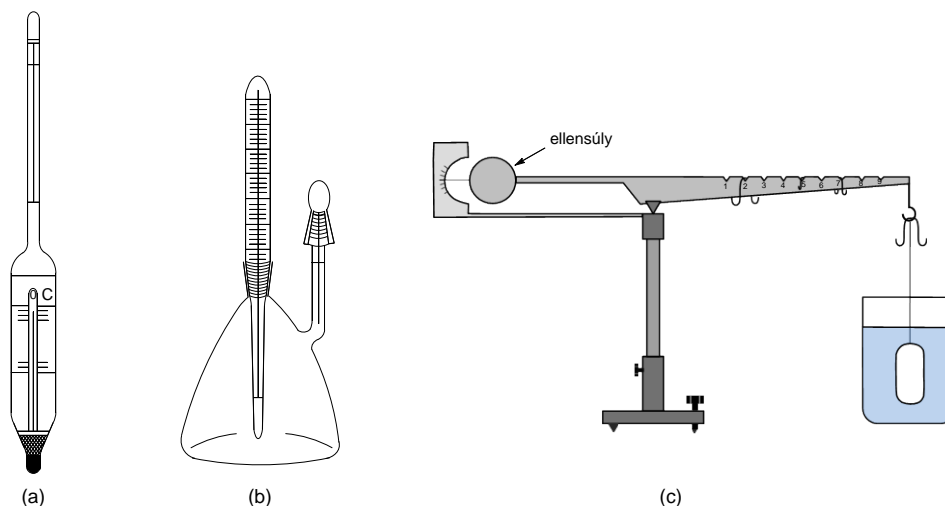
Laboratóriumban leggyakrabban folyadékok sűrűségét mérjük. A folyadékok sűrűségének laboratóriumi meghatározására *areométer*, *piknométer*, *hidrosztatikai mérleg (Mohr-Westphal-mérleg)* és *digitális sűrűségmérők* szolgálnak.

A folyadékok sűrűségét kényelmesen és gyorsan *areométerrel* (III-14. ábra; a) határozhatjuk meg. Az areométer alul kiszélesedő és megterhelt gömbben végződő üvegcső. Működése *Arkhimédész* törvényén alapszik. Az areométer addig süllyed a folyadékba, míg az általa kiszorított folyadék súlya egyenlővé nem válik az egész areométer súlyával.

A merülés mértéke tehát függ a folyadék sűrűségétől, amit az areométer vékony csövén levő skálán leolvashatunk. Egy-egy areométer adott sűrűségtartományban alkalmazható. Ennek megfelelően kétféle areométert alkalmaznak a méréseknél. A *kereső areométereket* alkalmazzák a vizsgálandó folyadék sűrűségének közelítő meghatározásához, illetve a mérési tartomány kiválasztásához. A tényleges méréshez pedig, csak abban a tartományban alkalmazható *mérő areométert* használnak. Az areométeres sűrűség meghatározás az előzőekhez képest kevésbé időigényes módszer.

A *piknométeres* módszer esetében sűrűségmérést tömeg- és térfogatmérésre vezethetjük vissza: ismert térfogatú folyadék tömegét megmérjük, majd a tömeg/térfogat arányból kiszámítjuk a sűrűséget. A *piknométer* (III-14. ábra: b) lombikra emlékeztető hasas, szűk nyakú edény. A nyílása csiszolatos kapillárisal zárható, amelyen egy körbefutó jel a folyadékszint pontos beállítását biztosítja.

**III-14. ábra:** Sűrűségmérésre használt eszközök



A sűrűség hőmérsékletfüggő, így célszerű a sűrűséggel együtt a minta hőmérsékletét is mérni, ezért hőmérős eszközöket is készítenek, amelynek szintbeállító kapillárisát a piknométer oldalán helyezik el. Ezeknél a jelre állítás után az oldalcsövet csiszolatos kupakkal lehet lezárni, így gyakorlatilag nincs párolgási veszteség.

Méréskor a piknométert előbb a vizsgálandó anyaggal, majd az ismert sűrűségű anyaggal (rendszerint vízzel) feltöltve lemérjük. Mindkét tömegből kivonjuk az üres piknométer tömegét, és mivel a térfogatuk azonos, ezért sűrűségük aránya a tömegarányal egyenlő.

Ugyancsak *Arkhimédész* elvén alapszik az ún. hidrosztatikai módszerrel történő folyadék- sűrűség-mérés, amit úgy végzünk el, hogy egy meghatározott méretű szilárd testnek a súlycsökkenését mérjük ismert és ismeretlen sűrűségű folyadékokban. Ezt a mérést ún. hidrosztatikai mérlegen vagy ennél kényelmesebben a *Mohr-Westphal*-mérlegen végezhetjük el.

A *Mohr-Westphal*-mérleg (III-14 ábra; c) egy különleges súlysorozattal ellátott hidrosztatikai mérleg. A súlysorozat egysége a mérleghez tartozó üvegtessel egyenlő térfogatú, 4°C hőmérsékletű víz légüres térre redukált súlyával egyenlő súlyú, U alakúra meghajlított vastag, rendszerint nikkelezett sárgaréz drót. A kisebb súlyok az egység 0,1, 0,01 és 0,001 részei. Ha az üvegtest súlyvesztését a vizsgálandó folyadékban ezekkel a súlyokkal mérjük meg, akkor a súlyvesztés közvetlenül megadja a sűrűséget. A súlyvesztés mérésére a lovas alakú súlyokat ugyanarra a 10 osztályrészre beosztott karra helyezzük, amelynek végén az üvegtest függ. Az egyes súlyok névértékének tized részeit tehát a karhossz változtatásával mérjük. A mérleget a rajta levegőben függő üvegtessel úgy kell beállítani, hogy a közönséges levegő átlagos sűrűségének (0,0012 mg/ml) megfelelően megterhelve egyensúlyban legyen. Ezt részben a lábcsavarral, részben pedig az ellensúly eltolásával érhetjük el. Ha az üvegtestet 4°C-os vízbe merítjük, akkor az egységnek megfelelő legnagyobb lovas a

kar végére (a 10. osztályrésznek megfelelő bevágásba, illetőleg horogra) kell akasztani, mert a 4°C-os desztillált víz sűrűsége 1,0000 g/cm<sup>3</sup>. Ha viszont pl. 1,354 g/ml sűrűségű folyadékba mártjuk az üvegtestet, akkor az egyik legnagyobb lovast a kar végére, a másikat a harmadik osztályrészre, az 0,1 est az 5, 0,01-ost pedig a negyedik osztályrészre kell helyezni, hogy a mérleg egyensúlyba jöjjön.

A Mohr-Westphal mérlegen kényelmesen, számítások végzése nélkül három tizedesjegy pontossággal határozhatjuk meg a sűrűséget, ami azonban nem éri el a piknométerrel történő sűrűségmérés pontosságát.

### III.4.3.1 Elvégzendő feladat

Ismeretlen töménységű nátrium-klorid- és ammónium-klorid-oldatok oldat sűrűségének meghatározása

#### III.4.3.1.1 Mérés piknométerrel

A száraz piknométer tömegét, dugóval együtt, mérjük meg pontosan táramérleg segítségével, a már ismert módon. A piknométert töltjük meg teljesen azzal az oldattal, amelynek a sűrűségét meg akarjuk határozni. Vigyázzunk arra, hogy amikor a piknométert lezárjuk, ne maradjanak az oldatban levegőbuborékok, az oldaláról pedig töröljük le az esetleges ráfolyt oldatot. A feladat három tömegméréssel megoldható. Először analitikai mérlegen megmérjük a tiszta, száraz piknométer tömegét ( $m_1$ ). Ezután a piknométer kupakját és kapillárisát levéve feltöltjük az edényt szobahőmérsékletű desztillált vízzel. Visszatesszük a kapillárist és a kupakot a szárazra törölt edényre és újabb tömegmérést végzünk ( $m_2$ ). Az edény térfogata ( $V$ ):

$$V = \frac{m_2 - m_1}{\rho_{\text{víz}}}$$

$\rho_{\text{víz}}$  a méréshez használt desztillált víz sűrűsége (g/cm<sup>3</sup>) a mérés hőmérsékletén 4 tizedesjegy pontossággal.

A mérés után a vizet kiöntjük, a piknométert többször átöblítjük a vizsgálandó folyadékkal, majd ugyanúgy, mint a víz esetében, ezzel a folyadékkal is a kapilláris jeléig töltjük az edényt. A folyadékszint beállítását a kapillárisban itt is a felesleges folyadék szűrőpapír-csíkkal való felitatásával végezzük. A jelig töltött száraz edényt újra megmérjük ( $m_3$ ). A benne lévő folyadék tömege:

$$M_f = m_3 - m_1$$

Az előbb meghatározott edénytérfogat természetesen az ismeretlen sűrűségű folyadék térfogatával is azonos, ezért a folyadék sűrűsége:

$$\rho_f = \frac{m_f}{V} = \frac{m_3 - m_1}{V} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot \rho_{\text{víz}}$$

### III.4.3.1.2 Mérés Mohr-Westphal mérleggel

Összeszereljük a Mohr-Westphal mérleget, a lovasokat a mérlegrúdon lévő tartóvasra helyezzük. Az üvegtestet leöblítjük. A mérőhengerbe/mérőedénybe desztillált vizet öntünk, akkora mennyiséget, hogy a mérőeszközünket teljesen ellepje. A sűrűségmérő legnagyobb tömegű lovasát a felfüggesztésnél lévő kengyelre akasztjuk, és a tárázó/ellensúlyokkal a mérlegkart úgy hozzuk egyensúlyba, hogy a mutató pontosan a középső osztásra álljon be. Ez lesz a mérleg egyensúlyi helyzete, és mivel a legnagyobb súly a 10-es osztáson található, ezért az általunk mért desztillált víz sűrűsége pontosan egységnyi (1,0000) lesz, ehhez viszonyítjuk az utána mért oldatok sűrűségét.

A mérés befejezése után megmérjük a desztillált víz hőmérsékletét és feljegyezzük. Utána a vizet kiöntjük, az üvegtestet szárazra töröljük. A mérendő oldattal gondosan átöblítjük a mérőedényt és az üvegtestet is.

A vizsgálandó oldattal feltöltjük a mérőedényt és elvégezzük a sűrűségmérést. A méréskor mindig csökkenő tömegű lovasokat rakunk fel. (A két legnagyobb tömegűből az egyik már a rúdon maradt.) A legnagyobb tömegű lovassal próbáljuk egyensúlyba hozni a mérlegkart. Ha ez nem sikerül, akkor nyilván a kisebb nyeregbe rakva következhet a következő kisebb tömegű lovas. A lovasok tömegaránya 1:10, így a második lovas a 10-es osztáson ugyanannyi erőt fejt ki, mint a nagyobb súly az 1-es osztású nyeregben. A mérést addig folytatjuk, míg a mérlegkar egyensúlyi helyzete megegyezik a desztillált víz mérésekor beállítottal.

Az oldat relatív sűrűségének meghatározásához csak a súlyok helyzetét kell leolvasni csökkenő sorrendben. Ha egy lovas nincs a mérlegkaron, akkor annak helyi értékére 0-t kell beírni, hisz a 0 osztáson van. A mért sűrűségérték feljegyzése után megmérjük az oldat hőmérsékletét is. Az oldatot visszaöntjük a lombikba és a számolás után teljesen feliratozzuk az oldatunkat. A mért relatív sűrűségből ki kell számolni az oldat valódi sűrűségét.

### III.4.4 Hőmérsékletmérés

A hőmérséklet a testek hőállapotának a mértéke. A hőmérséklet mérésére használatos eszköz a hőmérő. A hőmérséklet mérésére minden olyan anyagi sajátság alkalmas, amelynek megadható a hőmérsékletfüggvénye, azaz a hőmérséklet megváltozására az anyagi tulajdonság jól észlelhetően, szabályszerűen és reprodukálhatóan változik. Ilyen tulajdonságok például a hőtágulás, elektromos vezetőképesség, fémek közötti termoelektromos erő, fényjelenségek, stb.

A hőmérő akkor mér pontosan, ha hőmérséklete megegyezik a mérendő tér hőmérsékletével. A hőmérséklet-kiegyenlítődéssel egy bizonyos időt igényel. Ezért a hőmérséklet leolvasását egyenlő időközönként (pl. 0,5 percenként) végezzük addig, míg 3-5 egymás utáni alkalommal ugyanazt az értéket kapjuk.

A *parallaxis-hiba* elkerülése érdekében a hőmérőt úgy kell leolvasni, hogy a mérőlevegő legyen a higanyfonal (folyadékfonal) szintjére. Bothőmérőkön a vastag falú kapilláris miatt a parallaxishiba különösen nagy lehet.

Az SI mértékegységrendszerben a termodinamikai hőmérséklet a termikus alaplammennyiség. A termodinamikai hőmérséklet jele a  $T$ , mértékegysége a kelvin ( $K$ ).  $1 K$  a víz hármaspont termodinamikai hőmérsékletének  $1/273,16$ -szorososa. A Celsius hőmérséklet a termodinamikaiból származtatott mennyiség, jele a  $t$ , mértékegysége a Celsius ( $^{\circ}C$ ); az összefüggés pedig a következő:  $t = T - 273,15$ .  $1^{\circ}C$  a víz  $101\ 325 Pa$

nyomáson mért fagyás- és forráspontja közötti hőmérsékletkülönbség 1/100-ad része. 1 K hőmérséklet különbség megegyezik 1°C hőmérséklet különbséggel.

A hőmérséklet mérésére leggyakrabban a *folyadék hőmérőket* használjuk, amelyek működése a *folyadékok hő okozta térfogatváltozásán* alapszik. A folyadék hőmérők kapillárisban végződő folyadéktartó edényből és a kapilláris részhez illesztett hőfokleolvasó skálából állnak. A folyadék hőmérők anyaga többnyire üveg, töltőfolyadékként pedig higanyt, amilalkoholt vagy izopentánt alkalmaznak. -10°C-tól +200°C tartományban a higanyos üveghőmérők használata a leggyakoribb, alacsonyabb hőmérsékletek mérésére például -100°C-ig az amilalkohol, -200°C-ig az izopentán mérőfolyadékkal töltött hőmérők alkalmasak. (Megjegyzendő, hogy az EU országokban a higanyos hőmérőket a közeljövőben ki kell vonni a használatból.)

A *bothőmérő* vastag falú kapilláris, amelynek külső falára van maratva a skála. A *belsőskálás* hőmérő vékony falú kapillárisa tejüveglemezre nyomtatott skála előtt foglal helyet. Ezeket a hőmérőket általában 0,1°C-nál pontosabb mérésekre nem nagyon használhatjuk. Kis hőmérséklet-intervallumban (5-6°C) nagy pontosságú mérésre (0,01°C) a *Beckmann-hőmérő* alkalmas. Tetszés szerinti hőmérsékleten mérhetünk vele, mert alsó edényének higanytartalmát a hőmérő felső részén levő tartalékedény segítségével megváltoztathatjuk.

A folyadék hőmérők mellett megemlítenünk a fémek hőtágulásán alapuló hőmérők (ún. *bimetallhőmérők*), a nyomásváltozáson alapuló (ún. *manometrikus*) *hőmérők*, az *ellenállásváltozáson alapuló hőmérők*, valamint a *termoelektromos hőmérők*. Ez utóbbi hőmérő típusok használata a kémiai laboratóriumi munka során ritkán fordul elő.

### III.4.5 Melegítés, forralás

Laboratóriumi eszközöket közvetlen vagy közvetett fűtőberendezéssel melegíthetünk. Közvetlen hőátadással működik a *Bunsen-égő*, az *elektromos főzőlap*, vagy az *elektromos lombik-melegítő*k. Gyakran, különösen gyúlékony anyagoknál, a melegítést közvetítőanyag (temperáló fürdő), közbeiktatásával végezzük. A közvetítőanyag minőségétől függően beszélhetünk víz-, olaj- vagy homokfürdőről.

*Szilárd anyagokat* legtöbbször tégelyben *hevítünk*. Leggyakrabban porcelán tégelyt használunk, amit vasháromlábba helyezett agyagháromszögbe teszünk és, közvetlen lángon hevítünk. Ha több mintát és magasabb hőmérsékleten kell izzítani, akkor az automatikusan szabályozható *elektromos izzítókemencét* célszerű használni.

Kisebb térfogatú vizes oldatokat *kémcsőben*, nyílt lángon is *melegíthetünk*. A kémcső melegítését enyhe rázogatás mellett, óvatosan kell végezni. Ügyeljünk arra, hogy a kémcsőben (térfogata kb. 20 cm<sup>3</sup>) 4-5 cm<sup>3</sup>-nél több folyadék az összes reagáló anyag elegyítése után se legyen! Ha forralunk, a kémcsövet kémcsőfogóval fogjuk meg. *A kémcső nyílását sosem fordítsuk magunk, vagy mások felé!*

Erlenmeyer-lombikban, főzőpohárban nagyobb mennyiségű nem gyúlékony, nem túl illékony folyadékot forralhatunk úgy, hogy az edényt vasháromlábba tett azbesztlapra, vagy elektromos főzőlapra helyezzük. A túlhevülés, kihabzás elkerülése céljából forrkövet (horzsakövet) teszünk bele. A melegítést mindig kis lánggal kezdjük.

Kis mennyiségű tűzveszélyes folyadékot melegíthetünk fülke alatt elektromos főzőlapon vagy vízfürdőn. Nagyobb mennyiségek csak visszafolyó hűtővel felszerelt, csiszolatos lombikban melegíthetők, elektromos fűtésű folyadékfürdőn vagy elektromos lombik-melegítővel.

### III.4.6 Olvadáspontmérés

Az olvadáspontra az a hőmérséklet, amelyen valamely szilárd anyag és folyékony fázis egymással egyensúlyban van. Az olvadáspontra az anyag szerkezetétől függő fizikai állandó. Az olvadáspontra nagy pontossággal mérhető, mert a tiszta anyag melegítése során az olvadáspontra elérése után a hőmérséklet mindaddig állandó marad, amíg szilárd fázis is van jelen. Az olvadási folyamat során az anyaggal közölt hőmennyiség az olvadási hő fedezését biztosítja. Egységes, tiszta, kristályos anyagnak általában éles, 1 °C hőmérséklet-tartományon belül mérhető olvadáspontra van.

Az anyag olvadáspontraját befolyásoló tényezők az a.) anyag szennyezettségének mértéke, b.) a szennyező anyag minősége, valamint c.) a kristályvíz- és nedvességtartalom.

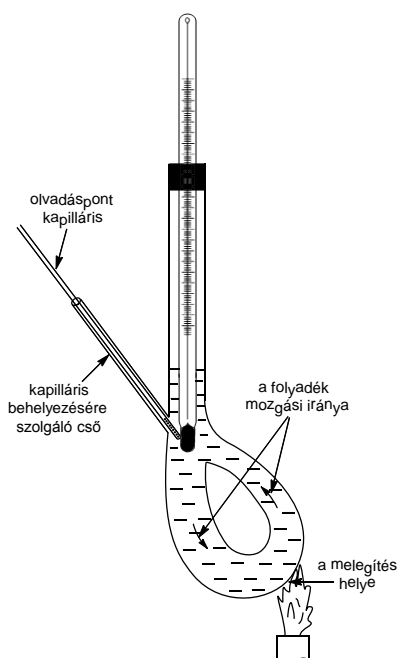
Az olvadáspontra meghatározásának pontosságát befolyásoló tényezők a.) meghatározandó anyagmennyiség, b.) a meghatározáshoz alkalmazott készülék, valamint c.) a felfűtés sebessége.

Az olvadt anyagban oldódó szennyezések csökkentik az olvadáspontra. Ezen túlmenően a szennyezett anyag általában nem egyetlen hőmérsékleten olvad meg, hanem az olvadási folyamat bizonyos hőmérsékletei határok között játszódik le. Ettől eltérően viselkednek az úgynevezett *eutektikus elegyek*, melyek olvadás szempontjából úgy viselkednek, mint a tiszta anyagok: az eutektikus összetételhez tartozó, meghatározott, állandó olvadáspontrajuk van.

Vannak olyan anyagok, amelyek olvadáspontrajuk körül elbomlanak. Ilyenkor az olvadáspontra elhúzódik, az anyag megolvadás előtt elszíneződik, megbarnul, esetleg gáz fejlődik. Ezeknek az anyagoknak *bomláspontrajuk* van.

Az olvadáspontra gyorsan és megközelítően a III-15 ábrán látható készülékkel határozzuk meg (*Thiele-féle cső*). A készülék egy hurokszerű kialakítású üvegeszköz, melyet szilikonolajjal töltünk fel. A készülékbe felülről egy hőmérő illeszkedik, és két oldalcsövön keresztül helyezhetjük be a mérendő mintát tartalmazó kapillárist. A melegítéshez mikroégőt használunk, az ábrának megfelelő ponton, a hurok végét melegítve. Ezen a helyen az olaj felmelegszik, sűrűsége lecsökken, felfelé kezd áramlani, a helyére hidegebb, nagyobb sűrűségű olaj érkezik. Ügyelnünk kell, hogy a mérés során a melegítés ne legyen túl gyors; a hőmérő ugyanis a higanyzsákjának a hőmérsékletét mutatja, és ez eltérhet az olajfürdő, illetve az anyagot tartalmazó kapilláris hőmérsékletétől. Túl gyors melegítés esetén az olaj gyorsabban melegíti fel a kis mennyiségű mérendő anyagot, mint a jóval nagyobb hőkapacitású higanyzsákot. Ekkor az anyag megolvadásának pillanatában a hőmérő alacsonyabb hőmérsékletet fog mutatni a ténylegesnél, és így a valódi olvadáspontra nál kisebb értéket fogunk mérni.

**III-15. ábra:** Olvadáspont meghatározására használt készülék



Az olvadáspont egyszerűbben, gyorsabban és pontosabban mérhető elektromosan fűthető olvadáspontmérő készülékben, melynek felfűtési sebessége szabályozható. A kapillárisba töltött, készülékbe helyezett minta változását a felfűtés során egy nagyítóval ellátott ablakon keresztül figyelhetjük meg.

**III-16. ábra:** Elektromosan fűthető olvadáspontmérő készülék



Minimális mennyiségű anyag olvadáspontjának meghatározására alkalmas a *Kofler-féle fűthető tárgyasztalú mikroszkóp* (III-17. ábra). A készülék egy fűthető fémasztalból és mikroszkópból áll. A fémasztalban egy villamos fűtőtest van elhelyezve, amely finoman szabályozható és 350°C hőmérsékletig felmelegíthető. A fűthető asztal közepén egy 1,5 mm átmérőjű nyílás szolgál a fény áteresztésére. Erre helyezük a vizsgálandó anyag két tárgylemez közé helyezett néhány kristályát. A hőmérsékletet a fémasztalba benyúló hőmérőn tudjuk leolvasni. A hőmérő skálája bevetíthető a mikroszkóp látóterébe, így egyszerre figyelhetjük meg a hőmérő állását és az anyag megolvadását.



**III-17. ábra:** Kofler-féle fűthető tárgyasztalú mikroszkóp



**III.4.6.1 Elvégzendő feladat**

Egy ismert anyag (karbamid) és egy ismeretlen anyag olvadáspontjának meghatározása

**III.4.6.1.1. Gyakorló mérés végzése karbamiddal**

- a.) A karbamidot, ha szükséges, dörzsmozsárban elporítjuk, majd az egyik végén gondosan leforrasztott kapillárisba töltjük. Ezt úgy végezzük, hogy a kapilláris nyitott végét az anyagba nyomjuk és a bejuttatott anyagot a kapillárist (óraüvegre állított üvegcsőbe) ejtegetve az aljára rázzuk, tömörítjük. Kb. 1–1,5 cm hosszán célszerű a kapillárist megtölteni, ekkor olvadáskor az anyag hirtelen összehúzódása is jól láthatóan jelzi az új fázis kialakulását.
- b.) A kapillárist behelyezzük az olvadáspontmérő készülékbe úgy, hogy az anyag pontosan a higanyzsák előtt helyezkedjen el, így biztosítani tudjuk, hogy a kapilláris és a hőmérő higanyzsákja környezetében azonos legyen a hőmérséklet.
- c.) Mikroégővel melegítjük a készüléket; az első, közelítő mérésnél kb. 10°C/perc sebességgel. Amikor a kristályok élei kezdenek megolvadni, feljegyezzük az olvadáspontot.
- d.) Kivesszük a megolvadt anyagot tartalmazó kapillárist, és kb. 30°C-al a mért olvadáspont alá hagyjuk hűlni a készüléket.
- e.) Újabb kapillárist helyezve a készülékbe, az első, közelítő mérés után még legalább két mérést végzünk, de ekkor az olvadáspont 20°C-os közelében csak 3-5°C/perc melegítést alkalmazunk. Amennyiben két mérés során is sikerült a karbamid 133 °C-os olvadáspontját meghatározni, elkezdhetjük az ismeretlen anyag mérését

**III.4.6.1.2. Ismeretlen anyag olvadáspontjának mérése**

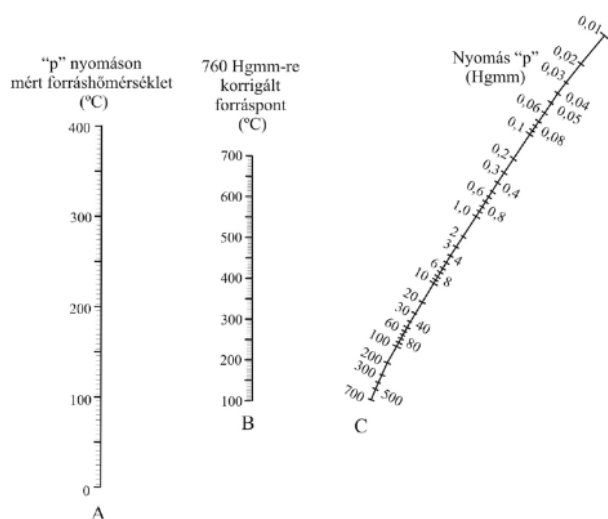
- a.) Az ismeretlen anyagot, ha szükséges, dörzsmozsárban elporítjuk, majd a karbamidnál leírtakhoz hasonlóan az egyik végén gondosan leforrasztott kapillárisba töltjük. Ha nem szükséges, ne porítsuk el az anyagot, mert a nagyobb méretű kristályokon jobban megfigyelhető az élek megolvadása.
- b.) A kapillárist behelyezzük az olvadáspontmérő készülékbe úgy, hogy az anyag pontosan a higanyzsák előtt helyezkedjen el (lásd fent).
- c.) A mikroégővel melegítjük a készüléket, először kb. 10°C/perc sebességgel. Amikor a kristályok élei kezdenek megolvadni, feljegyezzük az olvadáspontot.

- d.) Kivesszük a megolvadt anyagot tartalmazó kapillárist, és kb. 30°C-al a mért olvadáspont alá hagyjuk hűlni a készüléket.
- e.) A következő mérést úgy végezzük, hogy a mért olvadáspont 20°C-os közelében csak 3–5°C/perc melegítést alkalmazunk.
- f.) Az első, közelítő mérés után még három mérést végzünk, a mérési eredmények átlagaként adjuk meg a mért olvadáspontértéket.

### III.4.7 Forráspontmérés

A forráspont folyadékok feletti gőztérben minden hőmérsékleten meg található a folyadék molekulái; ez a folyamat a *párolgás*. A gőztenió (egyensúlyi gőznyomás) az a nyomás, amit egyensúlyi állapotban az anyag elpárolgó gőze hoz létre. A gőztenió függ a hőmérséklettől: az a hőmérséklet, amelyen a tenzió eléri a külső nyomást, a forráshőmérséklet. Folyadékok *forráspontján* – ha külön nincs rá utalás – azt a hőmérsékletet értjük, amelyen a tenzió eléri a 101,325 kPa nyomást. A mért forráshőmérsékletet 760 Hgmm-re (101,325 kPa-ra) korrigálva kapjuk meg a forráspontot, ehhez egy egyszerű segédeszközt, a nomográfot használhatjuk (III-18. ábra). E diagram használata azért előnyös, mert a gőztenió nem egy egyszerűen számolható lineáris, hanem exponenciális hőmérsékletfüggést mutat (*Clausius–Clapeyron-egyenlet*).

#### III-18. ábra: Nyomás-hőmérséklet nomográf



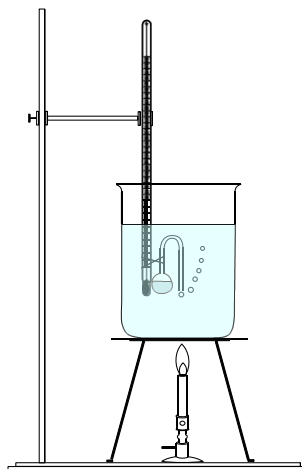
A forrásban lévő *tiszta anyag* hőmérséklete - ha a nyomás nem változik - a melegítés hatására nem emelkedik, mert a közölt hőmennyiség a folyadék gőzzé alakulásához szükséges párolgási hő fedezésére használódik fel.

Nagyobb mennyiségű anyagok forráspontját legegyszerűbben desztillációval határozhatjuk meg (III.5.4. fejezet). A desztilláció során ügyelnünk kell arra, hogy a forrás egyenletes legyen (forrkő) és hogy a hőmérőt elegendő egyensúlyi állapotban lévő gőz vegye körül.

Ha kisebb mennyiségű folyadék forráspontjának meghatározása a feladat, akkor egyes esetekben a *Smith-Menzies-féle módszert* alkalmazhatjuk (III-19. ábra). Ezzel a félmikro-eljárással 0,5-1 cm<sup>3</sup> folyadék forráspontja határozható meg. Az eljárás használhatóságát korlátozza, hogy az alkalmazott fürdőfolyadékkal (legtöbbször víz)

elegyedő folyadékok forráspontjának meghatározására nem, vagy csak korlátozott pontossággal használható.

**III-19. ábra:** Forráspont meghatározás *Smith-Menzies-féle* módszer alkalmazásával



*Folyadékelegyek* melegítésekor a telített gőztér hőmérséklete a forrás megindulása után nem állandó és – amennyiben nem azeotrop elegyről van szó – a forralás egész időtartama alatt emelkedik. Nem-azeotrop folyadékelegyek komponeseinek szétválasztása desztillációval történhet (III.5.4. fejezet).

### III.4.7.1 Elvégzendő feladat

#### III.4.7.1.1. Ismeretlen folyadék forráspontjának meghatározása félmikro (*Smith-Menzies*) módszerrel

A meghatározást a III-19 ábrán látható készülék-összeállítással végezzük. A 3-4 cm hosszú, meghajlított szárral ellátott vékony falú forráspontmérő-gömböt félig megtöltjük a vizsgálandó folyadékkal (pl. váltakozva melegítve-hűtve forró és hideg vízzel). Miután félig megtöltöttük a forráspontmérő-gömböt, gumigyűrűvel erősítsük azt egy hőmérőhöz úgy, hogy az U cső nyitott vége a hőmérő higanyzsákjával egy magasságban legyen. A hőmérőt fogjuk be egy bürettafogóba és rögzítjük egy Bunsen-állványon. Ezt követően a hőmérő alá helyezünk vízfürdőt, ami egy nagyobb méretű vízzel megtöltött főzőpohár lehet. Ügyeljünk arra, hogy a forráspont-meghatározó edényke teljes egészében a víz alá merüljön! A fürdőt üvegbottal folyamatosan keverve lassan melegítjük (a hőmérséklet emelkedése percenként  $1^{\circ}\text{C}$  legyen) és figyeljük a buborékolást. Eleinte csak lassan távoznak a buborékok, majd a folyadék forráspontjának hőmérsékletén a buborékolás folyamatos lesz. A melegítést megszüntetjük és a vízfürdő folytonos kavargatása közben a fürdőt addig hagyjuk hűlni, amíg a buborékolás megszűnik és leolvassuk a hőmérsékletet. Ez az érték a mérőgömbben uralkodó  $p$  nyomáson mérhető forráshőmérséklet. A  $p$  nyomás a gömb szárának nyílása feletti  $h$  magasságú folyadékoszlop nyomásával nagyobb, mint a külső légnyomás. A mérés megismétlése végett a leolvasás után a rendszert erős lánggal azonnal el kell kezdeni fűteni, különben a temperáló folyadék felszívódik a kapillárisba. A mérést legalább háromszor megismételjük és a mérések átlagát tekintjük a helyes eredménynek.

### III.4.8 Oldás

*Oldáskor* az oldószer hatására a különböző anyagi minőségű komponensek heterogén rendszeréből homogén rendszer, *oldat* keletkezik. A feloldott anyag mennyisége függ az oldószer és az oldandó anyag minőségétől, a hőmérséklettől, gázok esetében a nyomástól is.

Ha szilárd anyagot oldunk, a nagyobb érintkezési felület biztosítása érdekében az anyagot először mozsárban *elporítjuk*. Az oldást melegítéssel és *keveréssel* gyorsíthatjuk. A folyadékok keverésére üvegből vagy fémből készült keverőket használunk. Ha a keverést sokáig kell végezni, a keverőt villanymotorral is lehet működtetni. Gyakran használjuk a mágneses keverőt. Ez egy üvegbe vagy műanyagba zárt vasrudacska, amelyet az oldatot tartalmazó edénybe helyezünk. Ezt az edényt forgó mágneses teret biztosító készülékre tesszük, így a kis mágneses keverő forogni fog az oldatban, ezáltal biztosítva az oldat keverését.

Az oldott anyag és az oldószer mennyiségi viszonyáról az oldat koncentrációja ad felvilágosítást. Az oldatok az oldott anyag mennyiségétől függően *telítettek*, *telítetlenek* és *túltelítettek* is lehetnek.

Az *oldhatóság* megadja, hogy 100,0 g oldószer maximálisan hány g anyagot képes feloldani az adott hőmérsékleten. *Telítetlen* az az oldat, amelyben az adott hőmérsékleten még lehet anyagot feloldani. A *telített oldat* éppen annyi anyagot tartalmaz feloldva, amennyi az adott hőmérsékleten megfelel az oldhatóságnak.

A laboratóriumi munka során az oldatok koncentrációját leggyakrabban anyagmennyiség-koncentrációban (molaritás), illetve százalékos koncentrációban adjuk meg. (A különböző koncentráció kifejezések definícióját, valamint az oldatkészítéssel kapcsolatos számításokat az V. fejezet tárgyalja.)

Meghatározott koncentrációjú oldatokat kétféle módon készíthetünk:

- 1.) Ha szilárd anyag áll rendelkezésünkre, a szükséges mennyiséget mérlegem lemérjük, mérőlombikba öblítjük és – feloldás után – az oldószerral jelig töltjük.
- 2.) Töményebb, ún. “törzsoldatból” az oldószerral történő hígítással készíthetünk – ismert koncentrációjú – hígabb oldatot.

#### III.4.8.1 Számítási mintapéldák oldatkészítéshez

1. Hány  $\text{cm}^3$   $1,86 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű 96 m/m%-os kénsav kell  $0,40 \text{ dm}^3$  10 m/m%-os  $1,09 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű kénsavoldat készítéséhez?

A 0,4 liter  $1,09 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű kénsavoldat tömege:

$$\text{tehát: } m = 1,09 \text{ g/cm}^3 \cdot 400 \text{ cm}^3 = 436 \text{ g}$$

Az oldat 10 m/m%-os, azaz:	100 g oldatban 436 g	10 g oldott anyag van x g
	x=43,6 g az oldott kénsav tömege	

A 43,6 g oldott kénsav a 96 m/m%-os kénsavoldatból származik, azaz:

100 g oldatban	96 g oldott anyag van
y g	43,6 g
	y=45,42 g a kénsavoldat tömege

Kérdés: Hány  $\text{cm}^3$  térfogatú az  $1,86 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű,  $45,42 \text{ g}$  tömegű kénsavoldat?

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow v = \frac{m}{\rho} = \frac{45,42}{1,86} = 24,42 \text{ cm}^3$$

Tehát,  $24,42 \text{ cm}^3$   $96 \text{ m/m}\%$ -os kénsavoldatra van szükség.

2. Összekeverünk  $54,0 \text{ g}$   $14,0 \text{ m/m}\%$ -os és  $96,0 \text{ g}$   $6,0 \text{ m/m}\%$ -os nátrium-klorid-oldatot. Hány  $\text{m/m}\%$ -os lesz az új oldat?

Az ilyen típusú feladatok megoldhatók az ún. *keverési egyenlettel*, figyelembe véve, hogy a tömeg additív tulajdonság, így az elegyítés és/vagy hígítás során az oldott anyag(ok) és az oldatok össztömege nem változik.

$$m_1 \cdot (\text{m/m}\%)_1 + m_2 \cdot (\text{m/m}\%)_2 = (m_1 + m_2) \cdot (\text{m/m}\%)_3$$

$$54,0 \text{ g} \cdot 14,0 \% + 96,0 \text{ g} \cdot 6,0 \% = (54,0 \text{ g} + 96,0 \text{ g}) (\text{m/m}\%)_3$$

$$8,88 \% = (\text{m/m}\%)_3$$

Az elkészült nátrium-klorid-oldat  $8,9 \text{ m/m}\%$ -os lesz

### III.4.8.2 Elvégzendő feladat: különböző töménységű oldatok készítése.

#### III.4.8.2.1. Oldatkészítés szilárd anyagból

Készítsünk a gyakorlatvezető által megnevezett anyagból megadott térfogatú és töménységű oldatot. Az oldatkészítés lépései:

- Számítsuk ki a szükséges anyagmennyiséget. Az anyagot porítsuk el dörzsmozsárban, majd a szükséges mennyiséget mérjük be egy erre alkalmas edénybe (főzőpohár, higroszkópos anyagoknál bemérőedény stb.). Az igényelt pontosságtól függően, tára- vagy analitikai mérleget használjunk. (Először az eszköz tömegét mérjük le!)
- Oldjuk fel az anyagot főzőpohárban az össztérfogatnál jóval kevesebb oldószerben, keverés közben. Lassan oldódó anyagoknál célszerű melegítést alkalmazni.
- Az oldatot lehűlés után kvantitatívan (teljes mennyiségében) öntsük át a hosszú szárú analitikai tölcser segítségével a megadott térfogatú mérőlombikba. A főzőpoharat néhányszor alaposan öblítsük ki az oldószerrel, és ezeket a részleteket is öntsük a mérőlombikba. A folyadék meniszkuszát állítsuk a lombikon levő jelre. Bedugaszolás után a mérőlombik többszöri fejreállításával homogenizáljuk.

### III.4.8.2.2. Oldatkészítés ún. „törzsoldatból”

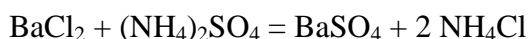
Készítsünk a gyakorlatvezető által megnevezett oldatból – melynek sűrűsége és tömegszázalékban megadott összetétele ismert – meghatározott térfogatú és töménységű oldatot. Az oldatkészítés lépései:

- Végezzük el a számítást. Mivel a folyadékok térfogatát egyszerűbben lehet mérni, mint a tömegüket, mindig azt számoljuk ki a sűrűség ismeretében, hogy hány  $\text{cm}^3$ -re van szükségünk a kiindulási anyagból.
- Öntsünk kevés desztillált vizet hosszú szárú analitikai tölcséren keresztül a mérőlombikba.
- A kiszámított térfogatú folyadékot a megfelelő térfogatmérő eszközzel (általában pipettával, sorozatvizsgálatoknál esetleg bürettával) mérjük ki, majd kvantitatívan (teljes mennyiségében) öntsük át egy hosszú szárú analitikai tölcsér segítségével a megadott térfogatú mérőlombikba. A tölcsért néhányszor alaposan mossuk át az oldószerrel, és ezeket a részleteket is gyűjtjük a mérőlombikba.
- Töltsük meg desztillált vízzel gyakori rázogatózás közben a mérőlombikot a nyakáig. A folyadék meniszkuszát állítsuk a lombikon levő jelre. Bedugaszolás után a mérőlombik többszöri fejreállításával homogenizáljuk. Ha az oldat felmelegedett (lehűlt), várjuk meg, amíg lehűl (visszamelegszik), majd a meniszkuszt állítsuk a jelre. Végül bedugaszolva, még egyszer rázzuk össze.

### III.4.9 Csapadékok leválasztása

Az oldással ellentétes művelet a *csapadékleválasztás* (kicsapás). Ilyenkor az oldatban levő oldott anyagot elválasztás céljából nem oldódó alakba visszük. Ezt megvalósíthatjuk az oldószer kicserélésével, a hőmérséklet vagy az oldat kémhatásának megváltoztatásával, illetve egy olyan reakció segítségével, amely során az oldódó vegyület oldhatatlanná alakítjuk. A csapadék leválasztásának a körülményeit úgy kell megválasztanunk, hogy jól szűrhető, durva szemcsés csapadékot nyerjünk, amit könnyen elkülöníthetünk a folyadéktól. Ezen kívül így a csapadék szennyeződését is megelőzzük.

A bárium-klorid ( $\text{BaCl}_2$ ) vízben jól oldódó vegyület, a bárium-szulfát ( $\text{BaSO}_4$ ) vízoldhatósága viszont rendkívül kicsi. Ha a báriumionokat le akarjuk választani egy vizes oldatból, akkor oldhatatlan bárium-szulfát csapadékká kell alakítanunk. A bárium-klorid- és az ammónium-szulfát-oldat között olyan cserebomlási reakció megy végbe, aminek eredményeképpen fehér színű bárium-szulfát csapadék keletkezik:



Ahhoz, hogy a csapadék mennyiségileg leváljon, az oldat kémhatását sósavoldat segítségével  $\text{pH} = 2$ -re állítjuk be.

### III.4.9.1 Elvégzendő feladat

#### III.4.9.1.1. Bárium-szulfát csapadék leválasztása

5 cm<sup>3</sup> 5%-os bárium-klorid-oldatot a főzőpohárba pipetázunk, és 1 cm<sup>3</sup> 1 M-os sósavval megsavanyítva térfogatát 100 cm<sup>3</sup>-re egészítjük ki desztillált vízzel. Az oldatot felforraljuk és forralás közben cseppenként, kevergetve hozzáadagolunk 10 cm<sup>3</sup> 2,5%-os ammónium-szulfát-oldatot. A csapadékos oldatot lehűlés után leszűrjük, desztillált víz többszöri 5 cm<sup>3</sup>-es részletével átmoszuk, megszáritjuk.

## III.5 Alapvető laboratóriumi elválasztási módszerek

### III.5.1 Szűrés, dekantálás, ülepités

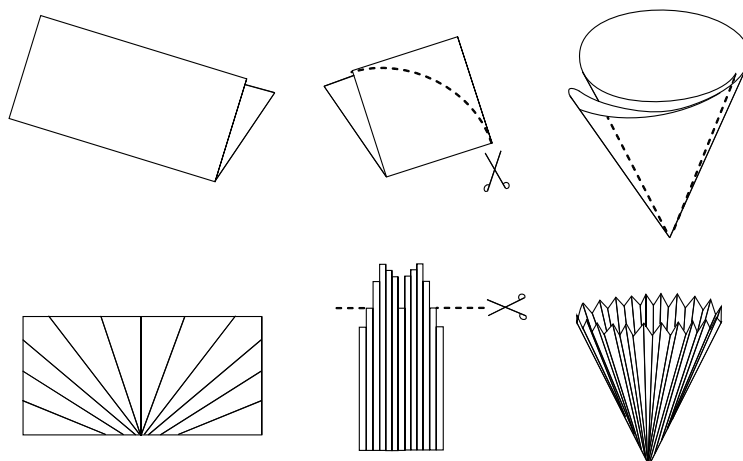
A szilárd fázis (csapadék) elválasztása a folyékonytól történhet *szűréssel*, *dekantálással* és *ülepítéssel*. A *szűrés* az a művelet, melynek során szilárd halmazállapotú anyagot folyékony közegtől mechanikai energiával szétválasztunk. *Dekantáláskor* a leülepedett csapadékról a folyadékot óvatosan leöntjük, majd tiszta mosófolyadékkal összerázzuk, ülepedni hagyjuk, és ismét leöntjük róla a mosófolyadékot. Az eljárást többször megismételve, az edény alján a tiszta csapadék marad vissza, kevés mosófolyadékkal. *Ülepítéskor* a csapadék a nehézségi erő hatására az edény aljára ülepedve elkülönül a folyadéktól.

A szűréssel szétválasztott fázisokat *csapadéknak* (szilárd) és *szűrletnek* (folyékony) nevezzük. Ha a folyadék átfolyását a szürendő keverék hidrosztatikai nyomása segíti elő, egyszerű *szűrésről*, ha csökkentett nyomást alkalmazunk, *vákuumszűrésről* beszélünk. Légköri nyomáson végzett szűrés esetén sima, kúpos, rövidszárú *üvegtölcsért*, vákuumszűrésnél *Büchnert-tölcsért* vagy *zsugorított üvegszűrőt* használunk.

A szűréshez porózus anyagot használunk, leggyakrabban szűrőpapírt. A szűrőpapírok kör alakúra felvágva vagy ívek formájában kaphatók. A szűrőpapír-ívből úgy készítünk a tölcsérnek megfelelő kör alakú szűrőt, hogy a tölcsért szájával lefele fordítva ráhelyezzük az ívre, körberajzoljuk, majd kivágjuk.

*Sima szűrőt* (III-20. ábra) úgy készítünk, hogy a kör alakú szűrőt négybe hajtjuk, majd kúp alakúra igazítjuk és a tölcsérbe helyezzük. A szűrés megkezdése előtt a szűrőt az oldószerrel megnedvesítjük, és tiszta ujjal vagy üvegbottal óvatosan rátapasztjuk a tölcsér oldalára, így nem marad levegő a papír és a tölcsér fala között.

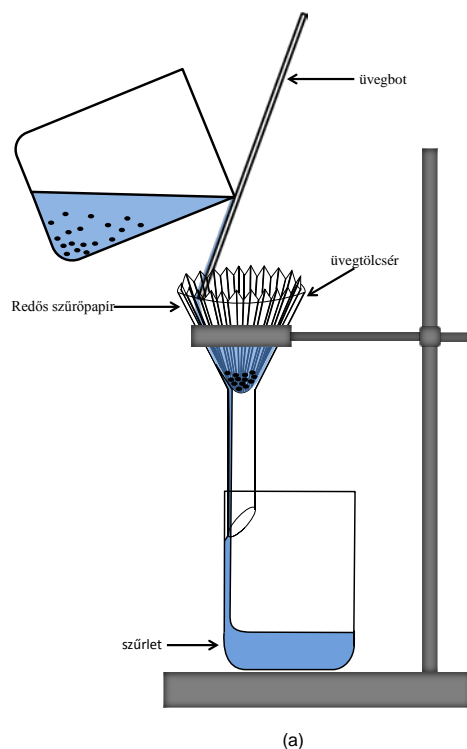
**III-20. ábra.** Sima szűrő és redős szűrő készítésének menete



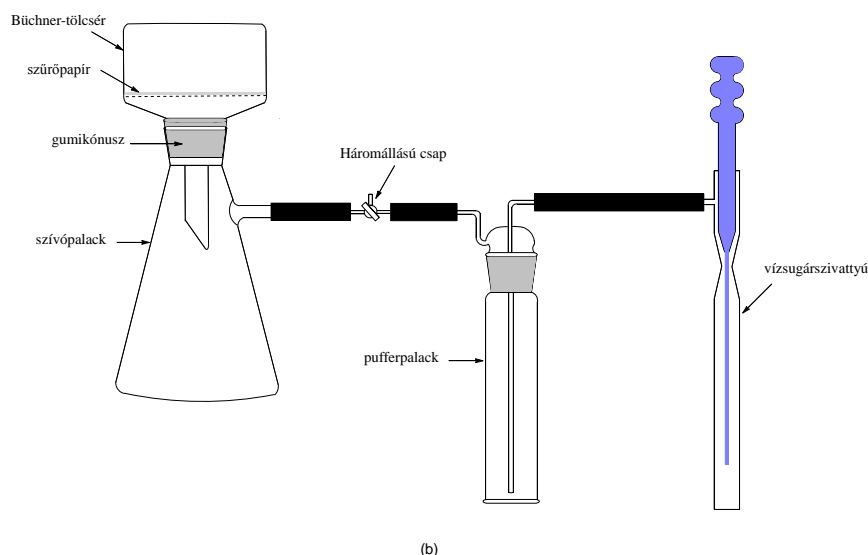
A *redős szűrő* készítésekor a kör alakú szűrőpapírt nyolcrét hajtjuk, majd kétrétig kinyitjuk és minden környolcadot még három részre hajtjuk (III-20. ábra). Az összehajtott szűrőt teljesen kinyitjuk, és a tölcserbe helyezzük. Végül a folyadék beöntésekor gyengén benyomkodjuk a tölcser aljába.

A szűrésnél a tölcseért szűrőállványra erősített szűrőkarikára tesszük (III-21. ábra).

**III-21. ábra:** A légköri nyomáson végzett szűrés és vákuumszűrés







Légköri nyomáson végzett szűrés esetén (III-20. ábra; a) szűrés közben a következőkre kell vigyázni:

- A szűrőpapír széle kb. 0,5 cm-rel feljebb legyen, mint a tölcser pereme.
- A tölcser szára érjen a felfogó edény oldalához, mivel így az összefüggő folyadékoszlop kialakulása gyorsítja a szűrést.
- A szürendő folyadékot üvegbot segítségével öntsük a tölcserbe.
- A tölcserben mindig annyi folyadék legyen, hogy a szintje a szűrőpapír szélétől legalább 0,5 cm-rel alacsonyabban álljon.

Ha a szűrést meg akarjuk gyorsítani, vagy a csapadékot tökéletesebben el akarjuk különíteni a szűrlettől, a tölcser alatti nyomást szivással csökkentjük. A szivatással végzett szűrésnél egyszerűbb esetekben *porcelán szívótölcsért* (Büchner-tölcsér) használunk, amelynek perforált lemezére ráhelyezzük a szűrőréteget. A szűrőberendezés *szívópalackból*, *pufferedényből* és *vízsugárszivattyúból* áll (III-17. ábra: b). Megfelelő víznyomás esetén a szivattyú belső csövének szűkületéből nagy sebességgel kiömlő víz szívóhatása vákuumot hoz létre a vele vastag falú vákuumgumicsővel összekapcsolt szívópalack belsejében. A szívópalack különleges, vastag falú üvegedény. Ebbe helyezzük *gumikónusz* segítségével a *Büchner-tölcsért*, amelynek pórusos lapját kör alakú szűrőpapírral fedjük be.

Ha a szürendő folyadék megtámadja a szűrőpapírt, vagy a műveletet szivatással akarjuk végezni, *üvegszűrőt* is használunk. Az üvegszűrő 2 mm vastagságú porózus üveglemezre izzítással zsugorított üvegporból készül. A zsugorított üvegből készült szűrők pórusnagyságát számolás jelzi. (G0 a legnagyobb, a G5 a legkisebb pórusnagyságú szűrő.) Kis pórusnagyságú üvegszűrő alkalmazásakor célszerű nagyobb szívóerőt biztosító *vákuumpumpát* használni.

### III.5.1.1 Elvégzendő feladat

#### III.5.1.1.1. Kalcium-karbonát és nátrium-klorid tartalmú porkeverék összetevőinek elválasztása

A feladat során ismert mennyiségű, ismeretlen összetételű szilárd nátrium-kloridból és szilárd kalcium-karbonátból álló porkeverékben kell meghatározni a komponensek mennyiségét m/m%-ban kifejezve. A gyakorlat kivitelezése a következő:

1. Ismert mennyiségű, 5-10 gramm tömegű keveréket táramérlegben 100 cm<sup>3</sup>-es főzőpohárba mérünk.
2. A keverék szűrése céljából megfelelő méretű redős szűrőt készítünk, melynek tömegét táramérlegben lemérjük.
3. A keverékhez frissen forralt, még forró desztillált vizet adunk. A keverékhez annyi forró vizet kell hozzáadni, hogy az a benne lévő nátrium-kloridot képes legyen feloldani. A hozzáadott víz mennyiségét azzal a feltételezéssel becsüljük meg, hogy a keverék teljes mennyisége nátrium-klorid. A nátrium-klorid oldékonysága (g NaCl/100 g H<sub>2</sub>O) a következő:
 

273 K	35,6	333 K	37,0
293 K	35,8	353 K	38,0
313 K	36,4	373 K	39,2
4. A leülepedő, oldhatatlan kalcium-karbonátról dekantáljuk a vizes nátrium-klorid-oldatot, és a visszamaradó kalcium-kloridot kis mennyiségű desztillált vízzel addig dekantáljuk, amíg a szűrlet ezüst-nitrát-oldat hozzáadásakor tiszta marad. Ekkor az oldhatatlan kalcium-karbonátot a már korábban lemért szűrőpapíron szűrjük le.
5. A leszűrt csapadékot a szűrőpapírral együtt porcelántálba tesszük, és szárítószekrényben 110°C-on kiszárítjuk, majd táramérlegben lemérjük. A mérést követően ismételten kb. 20 percig szárítjuk, és újra megmérjük. Ha a tömege nem változott, a csapadékot száraznak tekinthetjük.
6. A kalcium-karbonát és a keverék tömegének ismeretében a keverék m/m %-os összetételét kiszámítjuk.

### III.5.2 Szárítás

*Szárításkor* a szilárd anyagok felületén és belsejében levő különböző erősséggel megkötődött folyadékot – leggyakrabban vizet – távolítjuk el. A szárítás módja függ a szárítandó anyag tulajdonságaitól és a szárítás kívánt mértékétől.

*Levegőn és szobahőmérsékleten* olyan anyagokat szárítunk, amelyek vízelvonószert vagy hevítés hatására a szükségesnél több vizet veszítenek vagy elbomlanak. Ezeket az anyagokat szűrőpapíron vagy óraiüvegen szárítjuk. Ez a szárítási mód csak abban az esetben megfelelő, ha a „légszáraz” állapot elérése a cél.

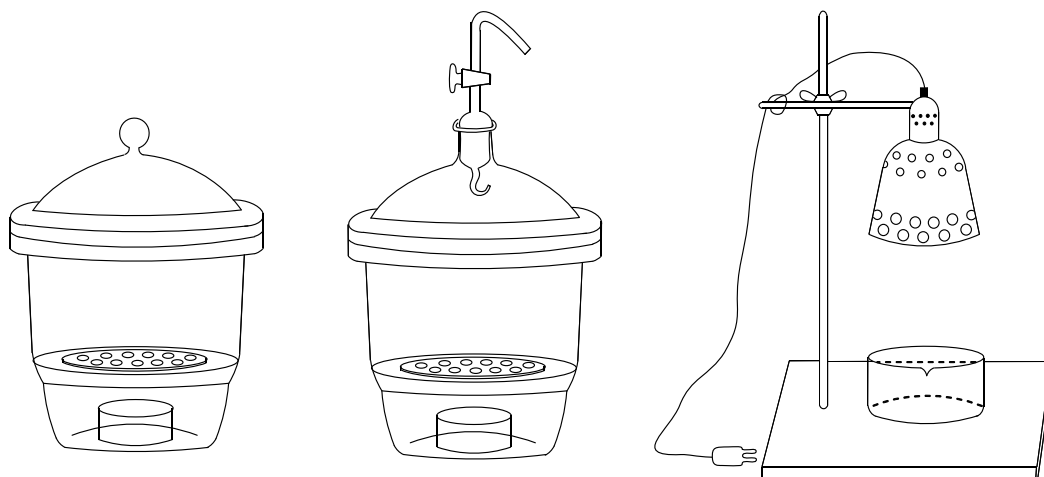
*Melegítéssel*, hevítéssel gyorsíthatjuk a szárítást. Ha a szárítandó anyagot melegíthetjük, akkor 40 - 260°C közötti tartományban automatikusan szabályozható *elektromos szárítószekrény* használata a legmegfelelőbb. Laboratóriumi mintáink elemzésének előkészítéséhez legtöbbször a 110°C-on, szárítószekrényben, súlyállandóságig végzett szárítást alkalmazzuk. Kis mennyiségű, szilárd anyagok melegítéssel történő szárítására igen elterjedt az *infravörös lámpa* (III-22. ábra; c). Melegítéssel csak hőstabil anyagok száríthatók!

*Vízelvonószerezrel* történő szárításhoz *exszikkátort* (III-22. ábra; a, b) használunk. A vastag falú üvegedény alsó része tartalmazza a higroszkópos szárítószert: kiizzított CaCl<sub>2</sub>, CaO, cc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KOH, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, szilikagél. (A szilikagél a hozzákevert *vízmentes*

*kobalt-klorid* színe miatt *kék* színű. A kobalt-klorid indikátorként viselkedik, mivel a vízfelvétel hatására színe rózsaszínűvé válik. Ilyen vízmennyiség felvétele után már nem lehet a szilikagélt szárító szerként tovább felhasználni. A rózsaszínű szilikagélt 100-120°C-on tudjuk regenerálni.) A vízelvonószert fölött lévő porcelán betétre tesszük a szárítandó anyagot tartalmazó edényt. Csiszoltos, csapzsírral bekent fedele légmentes zárást biztosít, a szárítás meggyorsítása érdekében a levegőt kiszivattyúzzuk belőle.

*Folyadékok* száríthatók olyan anyagok hozzáadásával, amelyek a vizet kémiaiilag kötik meg. Gyakran használatos anyagok: fémnátrium, fémkalcium, vízmentes  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , aktív  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , KOH, BaO, CaO,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . A *gázok* szárítására használatos anyagok többsége megegyezik a folyadékok szárítására használatosokkal.

### III-22. ábra: Exikátorok és infravörös lámpa



#### III.5.3 Kristályosítás és átkristályosítás

A vegyületek előállítása vagy tisztítása többek között történhet kristályosítással. Az egyszerű kristályosítás célja egyes anyagok előállítása (izolálása), az ún. átkristályosítás pedig az izolált kristályos anyagok tisztítását szolgálja. A kristályosítás megvalósításához a kristályosítandó anyagból túltelített oldatot készítünk – pl. forrón telített oldat hűtésével, telítetlen oldat betöményítésével, vagy közel telített oldat oldószerösszetételének megváltoztatásával. A túltelített oldatban keletkező kristálygócokon az oldott állapotban levő részecskék kiválnak, a szennyezések pedig az oldatban maradnak vagy fel sem oldódnak.

A kristályok mérete a gócképződés és a kristálynövekedés sebességének a viszonyától függ. Gyors hűtésekor általában nagy a gócképződés sebessége, ilyenkor sok apró kristály keletkezik. Lassú hűtésekor a kristálynövekedés sebessége lesz a nagyobb, így néhány nagy kristály képződik.

Ha az anyag kristályosodása nehezen indul meg (nem képződtek góccok), a kristályosodást eredményesen elősegíthetjük, ha az edény belső falát üvegbottal dörzsöljük, vagy a túltelített oldatot az anyag kristályszemcséjével *beoltjuk*.

A tisztítás céljából végzett kristályosítást nevezük *átkristályosításnak*: a tisztítandó anyagot feloldjuk, majd újból kristályosítjuk. Átkristályosítást olyan anyagok tisztítására alkalmazhatunk, amelyek oldhatósága nagyobb mértékben változik a hőmérséklettel, mint a szennyezőké. A vízben oldódó vegyületek legnagyobb hányadának vízzoldékonysága növekszik a hőmérséklettel, ezért vízből történő átkristályosításukhoz forrón telített oldatot készítünk. A telített forró oldathoz – a

tisztítás hatékonyságának növelése érdekében – nagy fajlagos felületű ún. aktív szenet adunk, ami adszorpciós erők (leggyakrabban van der Waals-erők) révén képes felületén megkötni a kísérő szennyeződések (*derítés*). A megszürt forró oldat lehűtésével az oldat túltelítetté válik, amelyből a tisztítandó anyag kristályai kiválnak. A visszamaradó hideg oldat, az *anyalúg*, a kristályosított anyagra nézve telített és oldatban tartja a kikristályosodott anyag (oldható) szennyezéseit.

Az átkristályosítással kapcsolatos néhány gyakorlati szempont a következő:

1. A forrón telített oldat hőmérséklete az oldószer forráspontjánál 10-20°C hőmérséklettel alacsonyabb legyen.
2. A forrón telített oldatot redős szűrőn, előmelegített rövid szárú tölcsér alkalmazásával szűrjük meg.
3. A kikristályosodott kristályokat légköri nyomáson sima szűrőpapír használatával, vagy csökkentett nyomáson Büchner-tölcsér vagy zsugorított üvegszűrő alkalmazásával szűrhetjük ki.
4. A kiszűrt kristályokról az anyalúgot kis mennyiségű hűtött oldószerrel mossuk le.
5. A kikristályosodott anyag felületén adszorbeálódott szennyezéseket ismételt kristályosítással, szükség esetén derítőszert alkalmazásával távolíthatjuk el.

### III.5.3.2 Számítási mintapéldák átkristályosításhoz

1. Készítsünk 90,0 g  $\text{KNO}_3$ -ból 75°C-on telített oldatot, és hűtsük le 20°C-ra. Hány g  $\text{KNO}_3$  válik ki? Mennyi a kitermelése az átkristályosításnak? A 75°C-on telített  $\text{KNO}_3$ -oldat koncentrációja 150,0 g/100 g víz; a 20°C-on telített oldat koncentrációja 32,0 g/100 g víz.

75 °C-on	150,0 g $\text{KNO}_3$	100,0 g vízben oldódik
	90,0 g $\text{KNO}_3$	x g vízben oldódik

$$x = \frac{90,0 \cdot 100,0}{150,0} = 60,0 \text{ g}$$

20 °C-on	100,0 g vízben	32,0 g $\text{KNO}_3$ oldódik
	60,0 g vízben	x g $\text{KNO}_3$ oldódik

$$x = \frac{60,0 \cdot 32,0}{100,0} = 19,2 \text{ g}$$

A hűtés hatására kivált anyag mennyisége:  $90,0 - 19,2 = 70,8 \text{ g}$ .

A kitermelés:  $\frac{70,8 \cdot 100,0}{90,0} = 78,7 \%$

*Tehát az oldatból 70,8 g  $\text{KNO}_3$  válik ki. Az átkristályosítás kitermelése 78,7%.*

2. Hány gramm  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  kristályosodik ki, ha 200,0 g vízmentes  $\text{CuSO}_4$ -ra vonatkoztatott 40 m/m%-os -oldatot  $30^\circ\text{C}$ -ra hűtünk le. A  $30^\circ\text{C}$ -on telített oldat 20 m/m%-os. ( $M_{(\text{CuSO}_4)} = 159,6 \text{ g/mol}$ ;  $M_{(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = 249,6 \text{ g/mol}$ )

$$\text{A } 200,0 \text{ g oldatban oldott anyag tömege (m)} = \frac{200,0 \cdot 40}{100} = 80,0 \text{ g}$$

$$\text{A kivált } \text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O} \text{ tömege} = x \text{ g}$$

$$x \text{ g } \text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O-ban lévő } \text{CuSO}_4 \text{ tömege} = \frac{x \cdot 159,6}{249,6} = 0,639 \cdot x \text{ g}$$

$$\text{Az oldatban maradt } \text{CuSO}_4 \text{ tömege} = (80,0 - 0,639 x) \text{ g}$$

$$\text{Az oldat tömege} = (200,0 - x) \text{ g}$$

$$(200,0 - x) \cdot 0,2 = 80,0 - 0,639 x$$

$$x = 91,11$$

*Tehát az oldatból 91,1 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  kristályosodik ki.*

### III.5.3.3 Elvégzendő feladat

#### III.5.3.3.1. Benzoésav tisztítása lúgos kicsapással és átkristályosítással

Mérjük le táramérlegesen 1 g technikai minőségű benzoésavat. Tegyük  $50 \text{ cm}^3$ -es Erlenmeyer-lombikba. Adjunk hozzá  $5 \text{ cm}^3$  nátrium-hidroxid-oldatot. Rázogatás közben oldjuk fel: ha hidegen nem oldódik, azbeszthálón keresztül enyhén melegíthetjük.

Hidegen szűrjük át a még feloldatlan szennyezést is tartalmazó nátrium-benzoátot egy  $10 \text{ cm}^3$ -es főzőpohárba, és a szűrlethez adjunk késhegynyi aktív szenet, amivel jól keverjük össze (lásd derítés). Ismét szűrjük át az oldatot egy  $10 \text{ cm}^3$ -es főzőpohárba. A tiszta szűrlethez – üvegbottal való erőteljes kevergetés mellett – vékony sugárban öntsünk  $1 \text{ cm}^3$  tömény sósvat.

A levált fehér, túros csapadékot Büchner-tölcséren keresztül szűrjük át szívatás közben. Lapított végű üvegbottal jól nyomkodjuk le az anyagot, és mossuk át  $5 \text{ cm}^3$  jéghideg desztillált vízzel, amellyel előzőleg a benzoésavat tartalmazó poharat öblítettük át.

A jól kiszívatott anyagot kanál és üvegbot segítségével vigyük át az  $50 \text{ cm}^3$ -es Erlenmeyer-lombikba. A tölcsérré, kanálra, üvegbotra tapadó benzoésavat desztillált vízzel mossuk bele a lombikba, amelyben a desztillált víz mennyisége kb.  $15\text{--}20 \text{ cm}^3$  legyen.

Azbeszthálón keresztül melegítsük az oldatot. Ha az anyag teljesen feloldódott, a forró (!) oldatot szűrjük át egy  $50 \text{ cm}^3$ -es kristályosítócsészébe. A kristályok kiválásáig hagyjuk az oldatot szobahőmérsékleten hűlni, majd hűtsük tovább üveghűtőben levő jeges vízben. A benzoésav-kristályokat vízsugárszivattyú segítségével szűrjük le, majd mossuk át kevés jéghideg desztillált vízzel. A szívatást addig folytassuk, amíg már nem csepeg a tölcsérből víz.

Az anyagot terítsük ki szűrőpapírra száradni. Ha teljesen megszáradt, mérjük le a szűrőpapírral együtt. A tiszta benzoésavat tegyük óraüvegre, majd a papírt mérjük vissza. Hasonlítsuk össze a szennyezett és az átkristályosítás után nyert benzoésav színét. Számítsuk ki az átkristályosítás veszteségét.

### III.5.3.3.2. Szennyezett timsó tisztítása átkristályosítással

A szennyezett kristályos anyagokat átkristályosítással tisztítani lehet, ha a tisztítandó és a szennyező anyagok oldhatósági viszonyai ezt lehetővé teszik.

Ha a szennyező vegyület(ek) mennyisége csupán néhány százalék és a vegyületek oldékonysága hasonló, úgy a következőképpen járhatunk el: Magasabb hőmérsékleten a tisztítandó anyagra nézve telített oldatot készítünk. Ezt követően a kapott oldat hőmérsékletét lehűtjük, hogy az a tisztítandó anyagra nézve túltelítetté váljon. Ezt követően megvárjuk a kristályok kiválását, majd a kivált kristályokat kiszűrjük, megszáritjuk. A kísérlet során 5 m/m % kristályos réz-szulfáttal ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ) valamint 1 m/m % oldhatatlan anyaggal (kvarc) szennyezett kristályos timsót ( $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ ) tisztítunk meg átkristályosítással.

A kísérlet során táramérlegesen lemérünk kb. 30 g szennyezett timsót és mintegy 20 cm<sup>3</sup> szobahőmérsékletű vízben elszuszpendálva az elegyet sima szűrőpapíron szűrjük le. A szűrlet térfogatát egészítsük ki 30 cm<sup>3</sup>-re oldjuk fel mintegy 30 cm<sup>3</sup> forró vízben. Az oldás közben elpárolgó vizet pótoljuk. Ezután a forró oldatot előmelegített üvegtölcsérbe helyezett redős szűrőn szűrjük meg. A szűrletet tartalmazó Erlenmeyer-lombikot csapvízzel hűtsük le és a kivált kristályokat sima szűrőpapíron szűrjük ki. A gyors hűtés következtében apró kristályok képződnek. A kristályokat levegőn szárítsuk meg, majd mérjük le.

### III.5.4 Desztilláció, szublimálás

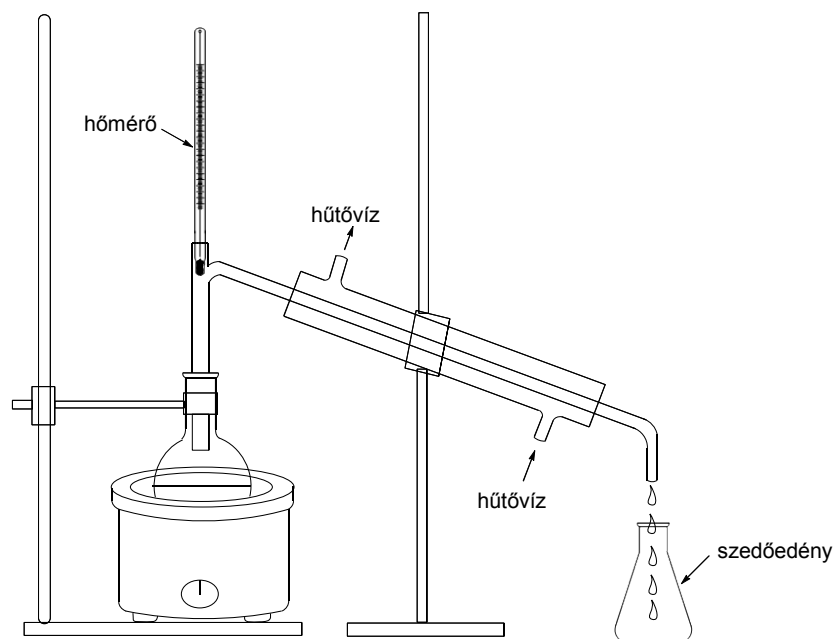
A desztilláció az a művelet, amelynek során a folyadékot elpárologtatjuk, majd a gőzöket más helyen hűtéssel kondenzáltatjuk. A művelet terméke a párlat vagy desztillátum.

A desztilláció célja:

- egy folyadék elválasztása a nem illékony szennyeződésektől, vagy
- különböző forráspontú anyagok szétválasztása

A desztillálás, mint elválasztási módszer azon alapul, hogy egy folyadékelegy és a belőle egy adott hőmérsékleten képződött gőz összetétele – ha a folyadékelegy nem azeotrópos – egymástól különbözik. E művelettel, valamely illékony komponens a nem illékonytól elkülöníthetünk, vagy különböző forráspontú, illékony komponenseket egymástól szétválaszthatunk.

Egy egyszerű desztillálóberendezés az III-23. ábrán látható. A frakcionáló lombikban keletkezett gőz a ferde helyzetű *Liebig-féle hűtőben* cseppfolyósodik, majd a golyaorron keresztül a szedőedénybe kerül. A nagyobb hűtőfelülettel rendelkező *golyós- és spirálhűtőt* csak függőlegesen lehet befogni, különben a desztillátum nem tud egyenletesen lefolyni.

**III-23. ábra:** Egyszerű desztilláló készülék

Még a melegítés megkezdése előtt a lombikba forráskönnyítőt kell helyezni (pl. horzszakövet, üveggyöngyöt, mázatlan cserepet vagy üvegapillárist). A forráskönnyítőkkel a késleltetett forrást akadályozzuk meg, ugyanis ilyenkor hirtelen sok buborék képződik, amelyeknek lökészerű feltörése a lombik megrepedését okozhatja.

A desztillálandó folyadék melegítésének módja a forráspontjától és gyúlékonyságától függ. Pl. gyúlékony,  $100^{\circ}\text{C}$  alatt forró anyagnál vízfürdőt használunk. A hűtés módja:  $120^{\circ}\text{C}$  alatti forráspontú folyadékoknál hűtőben áramló csapvizet,  $120\text{--}160^{\circ}\text{C}$  közöttieknél állóvizet, a  $160^{\circ}\text{C}$  felettieknél léghűtést alkalmazunk.

Egyes anyagok, mint például a szén-dioxid és az arzén melegítésre (légköri nyomáson) megolvadás nélkül gőzhalmazállapotba mennek át. A jelenséget *szublimációnak* nevezik, és oka, hogy az illető anyag hármasponti nyomása meghaladja a légköri nyomást. A szublimálást ugyanúgy használhatjuk az anyagok tisztítására és elválasztására, mint a desztillációt.

**III.5.4.1 Elvégzendő felada****III.5.4.1.1. Metanol-víz elegy frakcionált desztillációja**

Egy  $250\text{ cm}^3$ -es lepárlólombikba töltünk  $50\text{ cm}^3$  metanolt és  $50\text{ cm}^3$  desztillált vizet. Az egyenletes forrás biztosítására tegyünk bele néhány forrkövet, majd illesszük a desztilláló feltéthez. Győződjünk meg, hogy a csiszolatpárok tökéletesen zárnak-e, majd nyissuk ki a hűtővíz csapját és kapcsoljuk be az elektromos melegítőt (tűzveszélyes folyadékelegy melegítésére csak zárt rendszerű elektromos melegítő használható!). Amikor a forrás megkezdődött, szabályozzuk be a fűtést úgy, hogy 1-2 másodpercenként jusson egy csepp desztillátum a mérőhengerbe. Kezdetben 10, majd  $5\text{ cm}^3$ -enként olvassuk le a hőmérsékletet, és rajzoljuk fel a forráspontgörbét!

Olvassuk le azt a hőmérsékletet, amelyen a desztillálás megindul (az első csepp a szedőbe cseppen). Minden  $5\text{ cm}^3$ -es folyadéktérfogat átdestillálása után olvassuk le a hőmérő állását. A desztillálást addig folytassuk, míg a lombikban levő anyag 80%-a

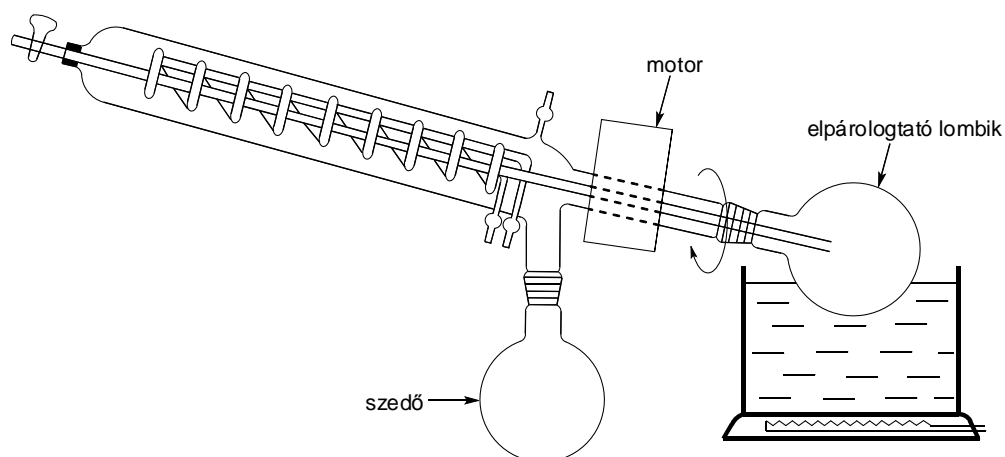
átdestillál. Vigyázzunk, nehogy túlságosan sok hőt adjunk a melegítéskor, és a lombik nyakában a gőz túlhevüljön. A helyesen végzett desztillálásakor a hőmérő vége állandóan nedves a lecsapódó gőzöktől. A lombikot szárazra párolni nem szabad! A forralás beszüntetése után még néhány percig áramoltassuk a köpenyben a hűtővizet.

### III.5.5 Bepárlás

Kis mennyiségű illékony folyadék *elpárolgatását* bepárló- vagy kristályosító csészében, szélesebb szájú főzőpohárban, óraüvegen vagy porcelántálban, vegyifülke alatt végezzük. Nagyobb mennyiségű oldószer elpárolgatására leggyakrabban *vízfürdőt* használunk, amely az oldatot kb. 80°C-ra melegíti fel, így az edény nem reped el.

Nagy mennyiségű, gyúlékony, drága oldószer bepárlását *bepárlókészülékkel* végezzük. Meggyorsíthatjuk az elpárolgatást úgy, hogy az edény légteréből elszívjuk az oldószer gőzeit. A vákuumban végrehajtott elpárolgatás nagyhatékonyságú eszköze a *rotációs bepárló*. Az állandó forgásban lévő elpárolgató lombik nagy párolgási felületet biztosít, az edény falán folyamatosan képződő folyadékfilm párolog, aminek eredménye a nagy teljesítmény (III-24. ábra).

III-24. ábra: Rotációs bepárló



### III.5.6 Liofilizálás

Az elpárolgatás egyik speciális esete a *liofilezálás*, ami a víz elpárolgatását jelenti kíméletesen, alacsony hőmérsékleten (*fagyasztva szárítás*). Nélkülözhetetlen módszer orvosi, biokémiai laboratóriumokban. Elve nagyon egyszerű: A jég 4 Pa nyomáson kb. -50°C-on szublimál. Liofilezéskor az oldatot vékony rétegben egy gömbömbik falára fagyasztjuk, majd az edényt evakuáljuk. A megfagyott víz az alkalmazott nagy vákuumban szublimál, tehát a rendszer a külső hűtés megszüntetése után is hideg marad. Az elszívott gőzt valamilyen módon megkötjük (esetünkben kifagyasztással). Rendkívül kíméletes módszer, hisz a szárítandó (vízmentesítendő) anyagunk annyira lehűl, hogy a hőérzékeny komponenseket (fehérjék, antibiotikumok, mikroorganizmusok) nem éri károsodás, nincs habzás, a magasabb hőmérsékleten vízgőzzel illó anyagok visszamaradnak, a mikrobiológiai, enzimatikus bomlás veszélye minimumra csökken, és a levegő oxigénje sem károsítja anyagunkat. Térfogatcsökkenés nincs, finom eloszlású, porózus, nagy felületű anyag keletkezik, amely könnyen újra oldható.



## IV Gáztörvények

### IV.1 Gázhalmazállapot

Az anyagok a hőmérséklettől és a nyomástól függően háromféle – *szilárd, folyadék* és *gáz* – halmazállapotban lehetnek. (Egyes anyagok közönséges körülmények mindhárom halmazállapotban nem fordulnak elő.) Az egyes anyagok stabilis halmazállapotainak az *állapotjelzők* (hőmérséklet, nyomás) által meghatározott tartományait a fázisdiagramokból ismerhetjük meg. Egy kémiaileg egységes anyag különböző halmazállapotában a részecskék közötti távolság, a részecskék kinetikus energiája, valamint a részecskék közötti vonzóerők nagysága (vonzó- és taszítóerők vektoriális összege) különböző.

*Gázhalmazállapotban* a részecskék *átlagos kinetikus energiája* meghaladja a részecskék közötti átlagos vonzóerők nagyságát, ezért a részecskék egymástól (saját méretükhöz viszonyítva) távol helyezkednek el.

A gázhalmazállapotú anyagok közös jellemzője, hogy

- összenyomhatóak;
- sűrűségük kicsi; valamint
- a térfogat növelésekor kiterjednek.

A kémiaileg egységes gáz állapota három adattal jellemezhető egyértelműen:

- a térfogattal ( $V$ );
- a nyomással ( $p$ ); és
- a hőmérséklettel ( $t$ ).

Az állapotjelzők közötti összefüggés az ún. *állapotegyenlet*, általában minden anyagra különböző. Ha azonban a gázoknak elég kicsi a nyomása és elég magas a hőmérséklete, akkor valamennyi gázhalmazállapotú anyagra ugyanaz az állapotegyenlet érvényes. Ezt az állapotot *tökéletes* (ideális) *gázállapotnak* nevezzük. A tökéletes gázállapot a gázok határállapota, melyet annál jobban megközelítenek, minél kisebb a nyomásuk.

#### IV.1.1 Az egyesített gáztörvény

Tökéletes gázok adott mennyiségének három állapotjelzője között a tapasztalat szerint a következő összefüggés érvényes, amely *Boyle* és *Mariotte* valamint *Gay-Lussac* törvényeit foglalja egybe (*egyesített gáztörvény*):

$$p \cdot V = p_0 \cdot V_0 (1 + \alpha \cdot t) \quad (1)$$

ahol

$p_0$  = adott mennyiségű (mol) gáz nyomása 0 °C-on,

$V_0$  = adott mennyiségű (mol) gáz térfogata 0 °C-on

$\alpha \left( \frac{1}{273,15} \right)$  = *hőtágulási tényező*, amelynek értéke minden gázra

megegyező.

Az egyesített gáztörvény kifejezi, hogy

- állandó hőmérsékleten adott mennyiségű gáz nyomása fordítottan arányos a gáz térfogatával (*Boyle-Mariotte törvény*);
- állandó nyomáson adott mennyiségű gáz térfogata a 0 °C-on mért térfogatának  $\frac{1}{273,15}$  részével terjed ki, ha hőmérsékletét 1 °C-kal emeljük (*Gay-Lussac I. törvénye*);
- állandó térfogaton adott mennyiségű gáz nyomása a 0 °C-on mért nyomásának  $\frac{1}{273,15}$  részével nő meg, ha hőmérsékletét 1 °C-kal növeljük (*Gay-Lussac II. törvénye*).

#### IV.1.2 Avogadro törvénye

Fontos sajátága a tökéletes gázoknak, hogy egyenlő térfogataikban azonos nyomáson és hőmérsékleten egyenlő számú részecske (atom, molekula) található. Ebből következik, hogy a tökéletes gázok mólnyi mennyiségeinek azonos nyomáson és hőmérsékleten azonos a térfogata (*Avogadro-törvény*). Kísérletek alapján tudjuk, hogy a tökéletes gázok móltérfogata 0 °C-on és 101,325 kPa (1 atm) nyomáson  $V = 22,412 \text{ dm}^3$ . A  $t = 0^\circ\text{C}$ ,  $p = 101,325 \text{ kPa}$  körülményeket a gázok *normál állapot*ának nevezzük.

Az egyesített gáztörvényt az *Avogadro-törvény* figyelembevételével egyszerűbb alakba hozhatjuk, ha a hőmérsékletet nem a jég olvadáspontjától adjuk meg, hanem az abszolút nullaponttól,  $-273,15^\circ\text{C}$ -től.

Ezen hőmérsékleten ugyanis az (1) egyenlet szerint a tökéletes gázok nyomása nullává válna. Ennél alacsonyabb hőmérséklet nem állítható elő. A  $t = -273,15^\circ\text{C}$  tehát a hőmérséklet skála természetes nullapontja (az ún. *abszolút nullapont*). Az abszolút nullapont ismeretében Kelvin bevezette az abszolút hőmérsékleti skálát ( $T$ ), ami a Celsius hőmérsékleti skálával ( $t$ ) a következő összefüggésben van:

$$T = t + 273,15 \quad (2)$$

ahol

$T$  = az abszolút hőmérséklet, melynek egysége, 1 K, ugyanakkora hőmérsékletkülönbségnek felel meg, mint  $1^\circ\text{C}$ ; és  
 $t$  = a Celsius-fokban mért hőmérséklet ( $^\circ\text{C}$ ).

Az (1) egyenletben a Celsius-fokot Kelvinnel ( $t = T - 273,15$ ) helyettesítve:

$$p \cdot V = p_0 \cdot V_0 \left( 1 + \frac{T - 273,15}{273,15} \right) = p_0 \cdot V_0 \frac{273,15 + T - 273,15}{273,15} \quad (3)$$

Ha a jég olvadáspontját Kelvinben kifejezve  $T_0$ -nak nevezzük ( $T_0 = 273,15 \text{ K}$ ), akkor a (3) egyenlet a következő kifejezéssé alakul át:

$$p \cdot V = \frac{p_0 V_0}{T_0} T \quad (4)$$

Az állapotegyenletet  $1$  mól gázra vonatkoztatva (a móltérfogatot  $V_m$ -mel jelölve):

$$p V_m = \frac{p_0 V_{m(0)}}{T_0} T \quad (5)$$

általánosítva, a

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (6)$$

kifejezéshez jutunk.

#### IV.1.3 Az általános gáztörvény

Az egyesített gáztörvényt  $1$  mól tökéletes gázra alkalmazva egy univerzális állandót tudunk definiálni:

$$R = \frac{p V}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} \quad (7)$$

ahol

$p_0 = 101,325$  kPa (1 atm);

$V_0 =$  normál állapotú gázok móltérfogata:  $0,022412$  m<sup>3</sup>/mol; és

$T_0 = 0^\circ\text{C} = 273,15$  K

$$R = \frac{101,325 \text{ N/m}^2 \cdot 22,412 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{mol}}{273,15 \text{ K}} = 8,314 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}$$

Az  $R$  univerzális gázállandó segítségével általános összefüggés adható a tökéletes gázok nyomása, térfogata, hőmérséklete, valamint mólszáma között:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (8)$$

ahol

$p =$  a gáz nyomása

$V =$  a gáz térfogata

$n =$  a gáz móljainak száma

$R =$  univerzális (egyetemes) gázállandó, és

$T =$  a termodinamikai hőmérséklet (K)

Az *általános gáztörvény* kimondja, hogy adott mennyiségű ( $n$ ) ideális gáz nyomásának és térfogatának szorzata egyenesen arányos az abszolút hőmérséklettel és független a gáz anyagi minőségétől.

A *reális* (nem-ideális) gázok esetén a  $PV$  szorzat értéke a gáz minőségétől és (állandó hőmérsékleten) a gáz nyomásától függően változik.

#### IV.1.4 Dalton törvénye

Többkomponensű gázelegyek nyomását a gázelegyen lévő eltérő minőségű gázoknak az edény falával történő ütközése váltja ki. Ez alapján az elegy mindegyik komponenséhez egy parciális (részleges) nyomás rendelhető. Mivel a különböző minőségű részecskék között sincs kölcsönhatás (*ideális gázelegy*), az egyes gázok parciális nyomása ugyanakkora, mintha a gázelegy a rendelkezésre álló térfogatot egymaga töltené ki azonos hőmérsékleten és nyomáson.

*Dalton törvénye* kimondja, hogy a gázelegy nyomása ( $p_{\bar{o}}$ ) egyenlő az elegyet alkotó gázok parciális nyomásainak összegével:

$$p_{\bar{o}} = p_A + p_B + p_C + \dots + p_X \quad (9)$$

Mivel a nyomás – így a parciális nyomás is – arányos a részecskék (atomok, molekulák) számával, a gázelegy egy komponensének parciális nyomása az illető komponens móltörtjével arányos:

$$p_A = X_A \cdot p_{\bar{o}} \quad (10)$$

ahol

$p_{\bar{o}}$  = az elegy teljes nyomása;

$p_A$  = az „A” komponens parciális nyomása; és

$X_A$  = az „A” komponens móltörtje.

#### IV.2 Számítási feladatok

1. Egy gáz 100°C-on és 100,26 kPa nyomáson 500,00 cm<sup>3</sup> teret tölt be. Mekkora ennek a gáznak a térfogata normál körülmények között?

A normál körülmények 0°C-t és 101,325 kPa nyomást jelentenek. Az egyesített gáztörvényt alkalmazva:

$$V_o = \frac{p \cdot V \cdot T_o}{p_o \cdot T}$$

$$V_o = \frac{100,26 \cdot 500,00 \cdot 273,15}{101,325 \cdot 373,15} = 362,16 \text{ cm}^3$$

*Tehát a gáz térfogata 362,16 cm<sup>3</sup>.*

2. Egy levegőpumpa  $1,50 \text{ dm}^3$   $101,325 \text{ kPa}$  nyomású levegőt szív be. A kompresszió után  $250,00 \text{ cm}^3$  lesz a levegő térfogata. Milyen nyomás szükséges ehhez, ha hőmérséklet-változással nem kell számolnunk?

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p \cdot V_2}{T_2}$$

$$T_1 = T_2$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_2 \cdot T_2}{V_2 \cdot T_1} = \frac{101,325 \cdot 1,50}{0,25} = 607,95 \text{ kPa}$$

*Tehát a kompresszió eléréséhez 607,95 kPa nyomás szükséges.*

3. Egy gázpalackban  $16,20 \text{ MPa}$  nyomású  $300 \text{ K}$  hőmérsékletű gáz van. Mekkora lesz a palackban a gáz nyomása, ha a gáz  $25 \%$ -át kiengedve, a hőmérséklet  $280 \text{ K}$ -re csökken.

A palackban maradó gáz az eredeti gázmennyiségnek  $75 \%$ -a, amely a palack térfogatának  $75 \%$ -át foglalta el. Eszerint a gáz kezdeti állapotának állapothatározói:

$$p_1 = 16,20 \text{ MPa}$$

$$V_1 = 0,75 V, \text{ ahol } V = \text{a palack térfogata}$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

Végállapotának állapothatározói:

$$p_2 = ?$$

$$V_2 = V$$

$$T_2 = 280 \text{ K}$$

Az egyesített gáztörvény szerint:

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{V_2 \cdot T_1} = \frac{16,20 \text{ MPa} \cdot 0,75V \cdot 280 \text{ K}}{V \cdot 300 \text{ K}}$$

$$p_2 = 11,3 \text{ MPa}$$

*Tehát a palackban maradt gáz nyomása 11,3 MPa.*

4. Egy 10,132 MPa nyomású gázt tartalmazó, 50,00 dm<sup>3</sup> űrtartalmú gázpalackot mekkora térfogatú üres tartállyal kell összekötni, ha azt akarjuk, hogy a két tartályban a gáz nyomása 506,60 kPa legyen?

Az egyesített gáztörvény segítségével kiszámíthatjuk az új körülmények között a gáz térfogatát.

$$V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{50,00 \text{ dm}^3 \cdot 10,132 \text{ MPa}}{0,5066 \text{ MPa}} = 1000 \text{ dm}^3$$

$$\Delta V = 950 \text{ dm}^3$$

Tehát egy 950 dm<sup>3</sup> űrtartalmú tartállyal kell a palackot összekötni.

5. Mennyi a tömege 1,00 dm<sup>3</sup> nitrogén gáznak normál körülmények között?

a.) Avogadro-törvényét alkalmazva:

1 mólnyi gáz térfogata normál körülmények között 22,41 dm<sup>3</sup>

Tehát:

28,01 g nitrogén	22,41 dm <sup>3</sup> térfogatú
x g nitrogén	1,00 dm <sup>3</sup> térfogatú

$$x = \frac{28,01 \cdot 1,00 \text{ dm}^3}{22,41 \text{ dm}^3} = 1,25 \text{ g}$$

b.) Az általános gáztörvényt alkalmazva:

$$pV = nRT = \frac{m}{M} RT$$

$$m = \frac{p \cdot V \cdot M}{RT}$$

$$m = \frac{101325 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^3 \cdot 28,01 \text{ g mol}^{-1}}{8,314 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 273,15 \text{ K}} = 1,25 \text{ g}$$

Tehát 1,00 dm<sup>3</sup> nitrogén gáz tömege normál körülmények között 1,25 g.

6. 1,00 dm<sup>3</sup> szén-dioxid gáz tömege normál körülmények között 1,977 g. Milyen nyomásértéknél lesz 1,00 g tömegű az 1,00 dm<sup>3</sup> szén-dioxid gáz, ha a hőmérsékletet állandó értéken tartjuk?
7. 2,00 g egyatomos gáz 0°C-on 810,6 kPa nyomáson 1,39 dm<sup>3</sup> térfogatú. Mi az atomtömege a gáznak? Melyik ez a gáz?
8. Egy gázelegy 2,00 g hidrogénből és 10,00 g metánból áll. A gázelegy össznyomása 253,31 kPa. Számítsa ki a metán parciális nyomását!
9. Egy gáz nyomása 0°C-on 98,90 kPa. Hogyan változik a nyomás, ha változatlan térfogat mellett 15°C-ra melegítjük a gázt?

10. Egy gázpalackban 4,053 MPa nyomású 27°C hőmérsékletű gáz van. Mekkora lesz a palackban a gáz nyomása, ha a gáz 25 %-át kiengedve a hőmérséklet 7°C-ra csökken?
11. Egy gáz térfogatát háromszorosára növeljük. Mennyivel növekszik a hőmérséklete, ha a nyomást állandó értéken tartjuk?
12. A levegő 21,0 V/V% oxigént és 79,0 V/V% nitrogént tartalmaz. Mi az oxigén parciális nyomása normál körülmények között? Számítsa ki a levegő általános móltömegét!
13. 3,00 dm<sup>3</sup> 96,00 kPa nyomású nitrogént 2,00 dm<sup>3</sup> oxigénnel elegyítünk. Az elegy térfogata 5,00 dm<sup>3</sup>, nyomása 97,59 kPa. Mekkora volt az oxigén eredeti nyomása?
14. Egy 3,0 és egy 4,0 dm<sup>3</sup> térfogatú gáztartályt összekötünk egy csapos csővel. Kezdetben a 3,0 dm<sup>3</sup>-es tartályban 56,0 kPa nyomású, a 4,0 dm<sup>3</sup>-es tartályban 103,6 kPa nyomású oxigén volt. A gázok hőmérséklete azonos. Mekkora lesz a nyomás a két gáztartályban, ha a csapot kinyitjuk?
15. Egy vegyület 54,5 % szénből, 36,4 % oxigénből és 9,1 % hidrogénből áll. Ezen anyagnak 0,1963 grammját elpárologtatva 115,90 cm<sup>3</sup> 35°C hőmérsékletű és 99,20 kPa nyomású gázt kapunk. Mi a vegyület tapasztalati képlete?

## V Koncentráció számítás, oldatok hígítása, elegyítése

A többkomponensű homogén (egyfázisú) rendszereket *oldatoknak* és *elegyeknek* nevezzük. *Elegyeknek* nevezzük azokat a rendszereket, melyekben a komponensek mennyisége azonos nagyságrendű. *Oldatokban* az egyik komponens (oldószer) mennyisége jóval nagyobb a másik (további) komponens(ek) mennyiségéhez képest. Az anyagok egyfázisú homogén keverékei szilárd, folyadék vagy gázhalmazállapotúak lehetnek. Gázhalmazállapotú többkomponensű homogén rendszereket általában *elegyeknek* nevezzük. A laboratóriumi gyakorlatban legfontosabbak a folyadék halmazállapotú oldatok.

A *koncentráció* az oldott anyag és az oldat mennyiségének aránya. Az oldott anyag és az oldat mennyiségét megadhatjuk tömegükkel, mólszámukkal vagy térfogatukkal. Ennek megfelelően többféle koncentrációegységet definiálhatunk.

- **Tömegtört ( $w$ ) és tömegszázalék ( $m/m\%$ )**

Ha az oldott anyag és az oldat mennyiségét egyaránt tömegükkel adjuk meg, a *tömegtörtet* ( $w_i$ ) kapjuk. A tömegtört megadja az illető anyag tömegét az oldat egységnyi tömegében:

$$w_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$$

ahol  $m_i$  az  $i$ -edik anyag tömege. A tömegtört százszorosa a *tömegszázalék*, ami az illető anyag grammjainak száma 100 g oldatban. A tömegszázalékot  $m/m\%$ -kal jelöljük. Az oldat összetevői tömegtörtjeinek összege 1-gyel, a tömegszázalékoké pedig 100-zal egyenlő.

- **Móltört ( $x$ ) és anyagmennyiség-százalék (korábban: “mólszázalék”,  $n/n\%$ )**

Ha az oldott anyag és az oldat mennyiségét mólszámukkal ( $n$ ) adjuk meg, a *móltörtet* nyerjük ( $x_i$ ). Ennek százszorosa a *mólszázalék* ( $X_i$  vagy  $\text{mol}\%$ ).

$$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i} = \frac{m_i / M_i}{\sum m_i / M_i}$$

A móltört és az anyagmennyiség-százalék kiszámításához ismernünk kell a komponensek moljainak számát, vagyis a *mólszámot* ( $n$ ). Ezt úgy kaptuk meg, hogy az  $i$ -edik komponens tömegét ( $m_i$ ) elosztjuk a komponens móltömegével ( $M_i$ ), vagyis

$$n_i = \frac{m_i}{M_i}$$

Valamely oldat egyik komponensének *móltörtjét* úgy kapjuk meg, hogy az illető komponens moljainak számát elosztjuk az oldatban jelen levő valamennyi komponens moljainak a számával.



Ha az oldat két komponensből áll, akkor az  $x_1$  és  $x_2$  móltörtek:

$$x_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad x_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2}$$

A móltörtek összege 1-gyel, a mólszázalékoké 100-zal egyenlő.

- **Térfogattört (f) és térfogatszázalék (V/V%)**

A tömegtörthöz és a tömegszázalékhoz definiálható a *térfogattört* és *térfogatszázalék* is. Ezeknek azonban csak akkor van értelme, ha a komponensek elegyítésekor *nem lép fel térfogatváltozás*. Ez a helyzet tökéletes gázok elegyeinek esetében

$$V = \sum V_i$$

ahol

$V_i$  az  $i$ -edik gáz térfogata az elegy hőmérsékletén és nyomásán.

Gázok esetében a térfogatszázalék megegyezik a mólszázalékkal, ezért a gázok összetételét általában térfogatszázalékban szokás megadni. Tehát a térfogatszázalék megadja, hogy az oldat (ill. elegy) 100 térfogategysége az adott komponens hány térfogategységnyi mennyiségét tartalmazza. A térfogatszázalék jele V/V%.

- **Tömegkoncentráció ( $\gamma$ ) és vegyesszázalék (m/V%)**

A *tömegkoncentrációk* esetén az oldat mennyiségét annak térfogatával adjuk meg. A *tömegkoncentráció* ( $\gamma$ ) az oldat 1 dm<sup>3</sup> térfogatában oldott anyag mennyisége grammban kifejezve. Pl. 50 gramm NaCl 1 dm<sup>3</sup> NaCl-oldatban. A *vegyesszázalék* (m/V%) megadja, hogy az oldat (vagy elegy) 100 térfogategységnyi mennyisége az oldott anyag hány tömegegységnyi mennyiségét tartalmazza. Például 35 vegyesszázalékú oldat 100 cm<sup>3</sup> térfogata 35 g oldott anyagot tartalmaz, azaz a tömegkoncentráció tizedrésze. A laboratóriumi gyakorlat folyamán ezt a koncentrációt igen gyakran használjuk!

- **Molaritás vagy anyagmennyiség-koncentráció (c)**

A *molaritás* (c), illetve *anyagmennyiség-koncentráció* az 1000 cm<sup>3</sup> oldatban oldott anyag móljainak számát jelenti.

$$c = \frac{n_a}{V}$$

ahol:

$n_a$  az oldott anyag móljainak száma,

$V$  az oldat térfogata literben.

A molaritás SI mértékegysége mol/m<sup>3</sup>, a kémiai és gyógyszerészi gyakorlatban azonban kényelmesebb a mol/dm<sup>3</sup> egység használata, amelyet „M” szimbólummal rövidítünk és „mólos”-nak is mondunk.

A tömegkoncentrációk az oldat hőkiterjedése következtében változnak a hőmérséklettel. Alkalmazásuk ezért csak állandó hőmérséklet esetén célszerű.

A tömegkoncentrációk reciproka a *hígítás*, mely annak az oldatnak a térfogatával egyenlő, melyben egységnyi oldott anyag van. A molaritás reciproka

$$V_i = \frac{1}{c_i}$$

az az oldattérfogat (dm<sup>3</sup>), amelyben egy mól oldott anyag található (*moláris hígítás*).

- **Molalitás vagy Raoult-koncentráció ( $c_R$ )**

Híg oldatok koncentrációját gyakran *molalitásukkal* adjuk meg. A molalitás az 1 kg oldószerben oldott mólok számát jelenti. Híg oldatok esetén a molalitás a molaritással jó közelítéssel megegyezik. Mivel a molalitás nem térfogatalapú koncentráció – a tömegszázalékhoz és móltört-százalékhoz hasonlóan –, számértéke nem függ az oldat hőmérsékletétől.

$$c_R = \frac{n_a}{m_o}$$

ahol:

$n_a$  = az oldott anyag móljainak száma,

$m_o$  = az oldószer tömege kilogrammban.

- **További koncentráció-kifejezések**

A koncentrációk fenti kifejezésmódja mellett használatos még a híg oldatok törvényeivel kapcsolatos számításoknál (pl. kriozkópia, ebullioszkópia) az olyan koncentráció is, melynél az oldott anyag mennyiségét 1000 g oldószerben feloldott grammokban adja meg (g).

Főként az analitikai kémia gyakorlatban korábban alkalmazott koncentráció a *normálkoncentráció (normalitás)*, ami az 1000 cm<sup>3</sup> oldatban levő oldott anyag grammegyenértékeinek számát jelenti. A normalitás gyakorlatban használatos mértékegysége grammegyenérték/dm<sup>3</sup>, amelyet „N” szimbólummal rövidítünk és „normál”-nak is mondunk. Mivel a VII. Magyar Gyógyszerkönyv még használja e koncentráció kifejezést – és a hallgatók a Gyógyszerészi kémia gyakorlataik során a VII. Magyar Gyógyszerkönyvben hivatalos leírások alapján is végeznek gyakorlatokat – a különböző vegyületek grammegyenértéknyi mennyiségének kiszámítását itt megadjuk.

- *Savak és bázisok* esetében

$$E_g = \frac{\text{molekulatömeg}}{\text{kicszerélődő hidrogén / hidroxidionok száma}}$$

- *Szabályos sók* esetén az egyenértéktömeg egyenlő a molekulatömeg és a fémionok száma és ezek töltése szorzatának arányával:

$$E_g = \frac{\text{molekulatömeg}}{\text{fémionok száma} \times \text{fémionok töltése}}$$

- *Redoxireakciók* esetében az egyenértéktömeg számításánál a molekulatömeget az oxidációfok változásával (a felvett vagy leadott elektronok száma) osztjuk:

$$E_g = \frac{\text{molekulatömeg}}{\text{felvett/leadott elektronok száma}}$$

Főként az analitikai kémiai gyakorlatban, a kimutatási határ jellemzésére használatos koncentrációegységek a *ppm*, illetve *ppb* jelöléssel bevezetett koncentrációk. A korábban csak az angolszász irodalomban bevezetett *ppm* jelölés (mely a „parts per million” kifejezés rövidítése) azt jelenti, hogy egy millió ( $10^6$ ) egységnyi elegyben hány egységnyi a kérdéses komponens mennyisége. Hasonlóképpen a *ppb* („parts per billion”) jelölés azt jelenti, hogy egy billió ( $10^9$ ) egységnyi elegyben hány egységnyi a kérdéses komponens mennyisége. A fentiek alapján:

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg oldott anyag}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ oldat}}; \text{ illetve}$$

$$1 \text{ ppb} = \frac{1 \text{ } \mu\text{g oldott anyag}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ oldat}}$$

- **Telített és telítetlen oldat. Oldhatóság.**

Az oldódás lehet *korlátlan*, ha az oldott anyag az oldószerben minden arányban oldódik, vagy azzal minden arányban elegyedik (pl. alkohol-víz, kénsav-víz stb.), vagy *részleges*, mint pl. fenol-víz, cukor-víz, konyhasó-víz stb. Részleges oldódásnál *telített oldat* is keletkezhet, melynél az oldandó anyag külön fázisként is jelen van.

Az *oldhatóság* az illető oldott anyag adott oldószerben adott hőmérsékleten elkészített telített oldatának koncentrációja. Az egyes vegyületek különböző oldószerekben való oldhatóságát a hőmérséklet függvényében táblázatokban találhatjuk meg. Ezek az adatok általában a 100 g oldószerben oldható anyag grammokban kifejezett mennyiségét jelentik.

- **Keverési egyenlet**

A laboratóriumban elvégzendő feladatok között gyakran szerepel különböző koncentrációjú oldatok tiszta oldószerrel történő hígítása, vagy azonos összetételű, de különböző koncentrációjú oldatok elegyítése. A hígítás vagy az elegyítés eredményeképpen kapott oldatok kiszámítása során azt a törvényszerűséget kell figyelembe venni, hogy a tömeg additív tulajdonságok, így az elegyítés és/vagy hígítás során az oldott anyag(ok) és az oldatok össztömege nem változik.

E törvényszerűség figyelembe vételével  $m_1$  tömegű  $c_1$  koncentrációjú és  $c_2$  koncentrációjú, ugyanazt az az oldott anyagot tartalmazó, ugyanazzal az oldószerrel készült oldatok elegyítésekor kapott oldat koncentrációjának ( $c_o$ ) kiszámítása a következő összefüggés alapján történhet:

$$m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 = (m_1 + m_2) \cdot c_o$$

Amennyiben hígítást végzünk, az eredeti oldathoz hozzáadott tiszta oldószerben az oldott anyag koncentrációja ( $c_2$ ) nulla, így a fenti egyenlet a következő formára egyszerűsödik:

$$m_1 \cdot c_1 = (m_1 + m_2) \cdot c_o$$

ahol

$m_1$  = az eredeti oldat tömege

$c_1$  = az eredeti oldat koncentrációja

$m_2$  = a hígításkor hozzáadott oldószer tömege

$c_o$  = a hígításkor kapott oldat koncentrációja

Amennyiben az elegyítés során a térfogatok additív tulajdonságúak, úgy a fenti egyenletek a következő formában is alkalmazhatók:

$$V_1 \cdot c_1 + V_2 \cdot c_2 = (V_1 + V_2) \cdot c_o$$

$$V_1 \cdot c_1 = (V_1 + V_2) \cdot c_o$$

ahol:

$V_1$  = az első eredeti oldat térfogata

$c_1$  = az első eredeti oldat koncentrációja

$V_2$  = a második eredeti oldat (vagy tiszta oldószer) térfogata

$c_2$  = a második eredeti oldat koncentrációja

$c_o$  = az elegyítés (hígítás) eredményeként kapott oldat koncentrációja

## V.1 Számítási feladatok

1. 50,0 cm<sup>3</sup> KOH-oldatot készítettünk, amely 14,0 g KOH-ot tartalmaz. Az oldat sűrűsége 20°C-on 1,22 g/cm<sup>3</sup>. Mennyi az oldat m/V%-os, m/m%-os és g/dm<sup>3</sup> koncentrációja; mennyi a molaritása, molalitása, normalitása?

Az m/V%-os koncentráció kiszámítása:

$$\begin{array}{r} 50,0 \text{ cm}^3 \text{ oldat} \quad 14,0 \text{ g KOH-ot tartalmaz} \\ 100,0 \text{ cm}^3 \text{ oldat} \quad x \text{ g KOH-ot tartalmaz} \\ \hline 50,0 : 100,0 = 14,0 : x \\ x = 28,0 \end{array}$$

Tehát a KOH-oldat 28,0 m/V%-os.

A m/m % számítása:  $d = 1,22 \text{ g/cm}^3$

$$\begin{array}{r} 50,0 \text{ cm}^3 \text{ oldat tömege} = 50,0 \cdot 1,22 = 61,0 \text{ g} \\ 61,0 \text{ g oldat tartalmaz} \quad 14,0 \text{ g KOH-ot} \\ 100,0 \text{ g oldat tartalmaz} \quad x \text{ g KOH-ot} \\ \hline 61,0 : 100,0 = 14,0 : x \\ x = \frac{1400,0}{61,0} = 23,0 \end{array}$$

Tehát az oldat 23,0 tömegszázalékos.

A g/dm<sup>3</sup> koncentráció számítása:

$$\begin{array}{r} 50,0 \text{ cm}^3 \quad 14,0 \text{ g KOH-ot tartalmaz} \\ 1000,0 \text{ cm}^3 \quad x \text{ g KOH-ot tartalmaz} \\ \hline 50,0 : 1000,0 = 14 : x \\ x = 280,0 \end{array}$$

Tehát a KOH-oldat g/dm<sup>3</sup>-es koncentrációja 280,0 g/dm<sup>3</sup> (azaz a %-os koncentráció tízszerese).

A molaritás számítása:

$$\begin{array}{r} 50,0 \text{ cm}^3 \text{ oldat} \\ 1000,0 \text{ cm}^3 \text{ oldat} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 14,0 \text{ g KOH-ot tartalmaz} \\ x \text{ g KOH-ot tartalmaz} \end{array}$$

$$x = 280,0 \text{ g}$$

$$\begin{array}{r} 56,1 \text{ g KOH} \\ 280,0 \text{ g KOH} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1 \text{ mol} \\ x \text{ mol} \end{array}$$

$$56,1 : 280,0 = 1 : x$$

$$x = \frac{280,0}{56,1} = 5,0$$

Tehát a KOH-oldat 5,0 mólos (5,0 M) és 5,0 normál (5,0 N), mert a KOH egyértékű bázis.

A molalitás számítása:  $\rho = 1,22 \text{ g/cm}^3$

50,0 cm<sup>3</sup> oldat tömege 61,0 g  
61,0 g oldat tartalmaz 14,0 g oldott anyagot és  
61,0 – 14,0 = 47,0 g oldószert.

$$\begin{array}{r} 47,0 \text{ g oldószert} \\ 1000,0 \text{ g oldószert} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 14,0 \text{ g KOH-ot tartalmaz} \\ x \text{ g KOH-ot tartalmaz} \end{array}$$

$$47,0 : 1000,0 = 14,0 : x$$

$$x = \frac{14000,0}{47,0} = 298,0$$

Tehát 1000,0 g oldószert 298,0 g KOH-ot tartalmaz.

$$\begin{array}{r} 56,1 \text{ g} \\ 298,0 \text{ g} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1 \text{ mol} \\ x \text{ mol} \end{array}$$

$$56,1 : 298,0 = 1 : x$$

$$x = \frac{298,0}{56,0} = 5,3$$

Tehát az oldat molalitása 5,3.

2. Hány tömegszázalékos az a cukoroldat, amelyet 5,0 g cukor 73,0 g vízben való oldásával állítottunk elő?

$$\text{Az oldat tömege} = 73,0 + 5,0 = 78,0 \text{ g}$$

A tömegszázalékos koncentráció:

$$\begin{array}{r} 78,0 \text{ g oldatban} \\ 100,0 \text{ g oldatban} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 5,0 \text{ g oldott anyag} \\ x \text{ g oldott anyag} \end{array}$$

$$x = \frac{100,0 \cdot 5,0}{78,0} = 6,4$$

Tehát az oldat koncentrációja 6,4 m/m%.

3. Számítsuk ki, hogy a 12,5 vegyesszázalékos kénsavoldatnak mekkora a molaritása és a normalitása.

A kénsav moláris tömege: 98,1 g

100,0 ml oldatban	12,5 g kénsav
1000,0 ml oldatban	x g kénsav

$$x = 125,0 \text{ g}$$

1 mól kénsav	98,1 g
x mól kénsav	125,0 g

$$x = \frac{125,0}{98,1} = 1,28$$

Tehát az oldat molaritása 1,28 M.

$$\text{A kénsav egyenértéktömege} = \frac{98,1}{2} = 49,05 \text{ g}$$

1 egyenérték kénsav	49,05 g
x egyenérték kénsav	125,0 g

$$x = \frac{125,0}{49,05} = 2,55$$

Tehát az oldat normalitása 2,55.

4. Mekkora térfogatú desztillált vízre és 30,0 m/V%-os hidrogén-peroxid-oldatra van szükség 6,0 dm<sup>3</sup> 1,5 m/V%-os hidrogén-peroxid-oldat készítéséhez?

A feladat megoldása a keverési egyenlet alkalmazásával lehetséges.

c <sub>1</sub> = 30,0 m/V%	V <sub>1</sub> = x
c <sub>0</sub> = 1,5 m/V%	V <sub>0</sub> = 6000,0 cm <sup>3</sup>

$$30,0 \cdot x = 6000,0 \cdot 1,5$$

$$x = \frac{6000,0 \cdot 1,5}{30,0} = 300,0$$

Tehát 6,0 dm<sup>3</sup> 1,5 m/V%-os hidrogén-peroxid-oldat készítéséhez 300,0 cm<sup>3</sup> tömény hidrogén-peroxid-oldatra és 5700,0 cm<sup>3</sup> desztillált vízre van szükség.

5. Hány m/m%-os az az oldat, amelyiket úgy készítettünk, hogy 180,0 g 10,0 m/m%-os oldatban még további 20,0 g anyagot oldottunk fel?  
180,0 g 10,0 m/m%-os oldatban 18,0 g oldott anyag és 162,0 g oldószer található. A 20,0 g anyag hozzáadása után az oldott anyag teljes mennyisége 38,0 g.

Így:

$$\begin{array}{r} 38,0 \text{ g oldott anyag} \\ x \text{ g oldott anyag} \end{array} \quad \begin{array}{r} 162,0 + 38,0 = 200,0 \text{ g oldatban} \\ 100,0 \text{ g oldatban} \end{array}$$

$$x = \frac{38,0 \cdot 100,0}{200,0} = 19,0 \text{ g}$$

Tehát a kapott oldat 19,0 m/m%-os.

6. Hány tömegszázalékos az a cukoroldat, amelyet 5,0 g cukor 73,0 g vízben való oldásával állítottunk elő?
7. Számítsuk ki, hogy a 12,5 vegyesszázalékos kénsavoldatnak mekkora a normalitása és a molaritása.
8. Számítsuk ki, hány ekvivalens  $\text{CaCl}_2$ -ot tartalmaz 50,0  $\text{cm}^3$  0,07 M-os  $\text{CaCl}_2$ -oldat. Mekkora az oldat  $\text{g/dm}^3$ -es koncentrációja?
9. Hány m/m %-os az az oldat, amelyiket úgy készítettünk, hogy 180,0 g 10,0 m/m %-os oldatban még további 20,0 g anyagot oldottunk fel?
10. 2,0 mol NaOH-ot 1500,0 g vízben oldunk. Mekkora az oldat molalitása, móltörtje és m/m %-os koncentrációja?
11. Hogyan készítünk 150,0  $\text{cm}^3$  0,12 M NaOH-oldatot? Hány %-os ez az oldat?
12. Mekkora a vegyes %-os, mólos és normálkoncentrációja annak a  $\text{Ca(OH)}_2$ -oldatnak, melynek 22,5  $\text{cm}^3$ -e 1,3 g  $\text{Ca(OH)}_2$ -ot tartalmaz?
13. Számítsuk ki, hogy 5,1 m/m %-os  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -oldatnak mennyi a molaritása, és molalitása? (sűrűség: 1,032  $\text{g/cm}^3$ )
14. Hányszoros végtérfogatra kell hígítani a  $\text{dm}^3$ -enként 160,0 g ecetsavat tartalmazó oldatot, hogy 0,10 M-os legyen?
15. Mekkora a molaritása és molalitása a 15,95 m/m%-os 1,063  $\text{g/cm}^3$  sűrűségű nádcukor ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )-oldatnak?
16. A 2,46  $\text{mol/dm}^3$  koncentrációjú ammónium-szulfát-oldat 28,0 m/m%-os. Mekkora a sűrűsége és mekkora a Raoult-koncentrációja?
17. Hány mólos, mi a molalitása és hány m/m%-os az a foszforsavoldat, amelyben a foszforsav móltörtje 0,216; sűrűsége 1,426?
18. 123,0  $\text{cm}^3$  5,00 %-os  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -oldathoz hány  $\text{cm}^3$  vizet kell önteni, hogy az oldat 4,15 %-os legyen?
19. Hány gramm 4,0 m/m%-os  $\text{CuSO}_4$ -oldatban kell feloldani 200,0 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ -t ahhoz, hogy 16,0 m/m%-os oldatot kapjunk?
20. Készítendő 370,0  $\text{cm}^3$  2,5 M foszforsav-oldat. Hány ml 60,0 m/m%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ -at tartalmazó, 1,426  $\text{g/cm}^3$  sűrűségű savat kell vízzel hígítanunk?
21. 100,0  $\text{cm}^3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ -ra 24,0 m/m%-os és 1,232  $\text{g/cm}^3$  sűrűségű oldatot 50,0 g vízzel hígítunk. Mekkora lesz a kapott oldatban a  $\text{K}_2\text{CO}_3$  Raoult-koncentrációja?
22. Összeöntünk 2,0  $\text{dm}^3$  40,0 m/m%-os, 1,049  $\text{g/cm}^3$  sűrűségű és 3,0  $\text{dm}^3$  2,0 M, 1,015  $\text{g/cm}^3$  sűrűségű ecetsavoldatot. Mi a keletkezett oldat mol%-os összetétele?
23. Hány  $\text{cm}^3$  35,2 m/m%-os sósav (sűrűsége 1,17  $\text{g/cm}^3$ ) szükséges 300,0  $\text{cm}^3$  26,2 m/m%-os (sűrűsége 1,13  $\text{g/cm}^3$ ) sósav készítéséhez?

24. 30,0 m/m%-os, 1,33 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű nátrium-hidroxid-oldatból 750,0 cm<sup>3</sup> 2,0 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú oldatot kell készíteni. Hány cm<sup>3</sup> 30,0 m/m%-os nátrium-hidroxid-oldatra van szükség?
25. Milyen lesz az oldat kémhatása, ha 200,0 g 4,9 m/m%-os kénsavoldathoz 200,0 g 10,0 m/m%-os nátrium-hidroxid-oldatot adunk? Melyik anyag hány grammja marad feleslegben a reakció után?



## VI Reakciókinetika

A reakciókinetika alapfeladata, hogy meghatározza a kémiai átalakulás sebességének a rendszer fizikai állapotától és összetételétől való függését.

A rendszereket, amelyekben a kémiai reakciók lejátszódnak többféleképpen osztályozhatjuk. A rendszer állhat egyetlen (*homogén rendszer*), vagy többféle fázisból (*heterogén rendszer*). E felosztásnak megfelelően az egyetlen fázisban lejátszódó reakciókat *homogén reakcióknak*, míg a fázishatárokon lejátszódó reakciókat *heterogén reakcióknak* nevezzük.

A rendszer és környezete közötti kölcsönhatásokat különféle szigetelések („falak”) korlátozhatják. Az *elszigetelt (izolált)* rendszer környezetével semmiféle kölcsönhatásban sincs: sem anyagot sem energiát nem ad át a környezetének, és onnan nem vesz fel. Ha a *rendszer* és környezete között energiátadás (hő és munka) lehetséges, de anyagátmenet nem, akkor *zárt*nak nevezzük. A *nyitott rendszer* és környezete között anyag és energia átmenete egyaránt lehetséges. A következőkben a homogén reakciók sebességét leíró egyenleteket mutatjuk be.

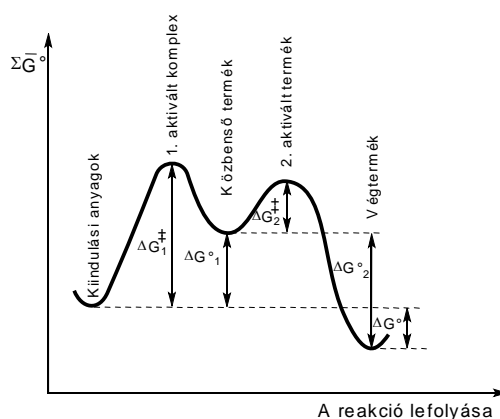
A homogén fázisban lejátszódó reakciók sebességét az alábbi paraméterek határozzák meg:

- a reagensek természete;
- a halmazállapot;
- a koncentráció;
- a hőmérséklet;
- a katalizátor (amennyiben a rendszer része); és
- a nyomás (gázfázisban lejátszódó reakciók esetén).

### Reakciómechanizmus

A sztöchiometriai egyenlettel jellemzett reakciók molekuláris mechanizmusa leggyakrabban jóval összetettebb, mint azt a bruttó sztöchiometriai egyenletek feltűntetik. Az úgynevezett *elemi reakciók* azok a kémiai folyamatok, melyekben a reaktánsok egyetlen reakciólépésben alakulnak át a termékekké. Az *összetett reakciók* több egymást követő, vagy egymás mellett végbemenő elemi reakciókból állnak. A kémiai reakciók *reakciómechanizmusát* az elemi reakciók együttese, az elemi reakciók sebességét meghatározó tényezők összessége határozza meg (VI-1. ábra).

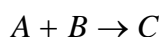
VI-1. ábra: Összetett reakció reakcióprofilja



Az elemi reakciók *molekularitása* megmutatja, hogy a reakció hány elemi rész (atom, molekula, ion vagy gyök) kémiai kölcsönhatása (ütközése, spontán bomlása) révén játszódik le. A leggyakoribbak a két elemi rész ütközése révén lejátszódó *bimolekuláris* reakciók. *Unimolekulás* reakciók a bomlási és izomerizációs folyamatok, valamint három elemi részecske egyidejű ütközése révén lejátszódó *termolekuláris* elemi reakciók is.

### Reakciósebesség

A kémiai reakciók *sebességét* az időegység alatt átalakuló anyagmennyiségek jellemzik. A kémiai reakciók sebességét – a sztöchiometriai egyenlet ismeretében akár a kiindulási anyagokra, akár a termékekre vonatkozathatjuk. Így az



általánosított egyenlettel jellemzett reakcióban a reakció sebességét többféleképpen is kifejezhetjük:

$$v = \frac{-\Delta[A]}{\Delta t} \quad ; \quad v = \frac{-\Delta[B]}{\Delta t} \quad ; \quad v = \frac{\Delta[C]}{\Delta t}$$

ahol pl.  $\Delta[A]$  jelenti az „A” reaktáns koncentrációváltozását  $\Delta t$  idő alatt.

A reakciósebesség csak akkor jól definiált, ha azt tetszés szerinti rövid  $dt$  idő alatt bekövetkező  $dC$  koncentrációváltozásra vonatkoztatjuk (matematikailag a koncentráció idő szerinti differenciálhányadosával adjuk meg).

$$v = \pm \frac{dC}{dt}$$

A kémiai reakciók sebességének vizsgálatához a rendszer összetételének időbeli változását kell kísérleti úton követni. Az összetartozó idő-koncentráció adatokból kapott koncentrációlefutási görbék elemzése útján megkaphatjuk az ún. *sebességi* (kinetikai) *egyenletet*.

Általános módszer nem adható arra, hogy a koncentrációlefutási görbékből eldönthessük a sebességi egyenlet matematikai alakját. A tapasztalatok alapján megállapítható volt azonban, hogy a kémiai reakciók jelentős része az általánosított *Guldberg-Waage egyenletet* követi:

$$v_f = k_f [A]^\alpha [B]^\beta$$

ahol

- $v_f$  az előrehaladó reakció sebessége;
- $k_f$  az előrehaladó reakció reakciósebességi állandója;
- $[A]$  az „A” reaktáns (aktuális) koncentrációja;
- $[B]$  a „B” reaktáns (aktuális) koncentrációja;
- $\alpha$  a reakció rendősége az „A” reaktánsra nézve; és
- $\beta$  a reakció rendősége a „B” reaktánsra nézve.

Az ilyen típusú egyenletekben szereplő paraméterek, a *rendűségek* és a *sebességi állandók* meghatározására számos módszer ismeretes, melyek bemutatása azonban túlmutat e tananyag keretein. Ha a kísérleti görbékből e módszerekkel meghatározható paraméterek értékei a reakciók előrehaladása során állandónak mutatkoznak, és többféle kezdeti összetétel esetén sem különböznek, akkor az indirekt módon bizonyítja a *Guldberg-Waage egyenletet* (*hatványszorzat alakú sebességi egyenlet*) választásának helyességét.

Zárt rendszerekben lejátszódó reakciók sebessége a koncentrációk időderiváltjával arányos (lásd előbb). Az arányossági tényezők elemi reakciók esetén a sztöchiometriai együtthatók, összetett reakciók esetén az összetett reakciók elemi reakcióiban szereplő sztöchiometriai együtthatók megfelelő kombinációi:

$$v = k [A]^{\alpha} [B]^{\beta}$$

ahol  $\alpha$  és  $\beta$  a reakció *részrendjei*, míg  $\alpha + \beta$  a reakció kinetikus *bruttó rendje*.

### Elsőrendű reakciók

A elsőrendű reakciók sebessége egyetlen anyag koncentrációjával arányos:

$$v = k [A]$$

Az elsőrendű reakció sebességét jellemezhetjük a reagáló anyagok koncentrációjának időbeli csökkentésével:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k [A]$$

A differenciálegyenlet megoldásával meghatározható a sebességi állandó:

$$k = \frac{2,303}{t} \log \frac{[A]_0}{[A]_t}$$

ahol

$[A]_0$  = az átalakuló anyag koncentrációja a  $t=0$  időpontban; és

$[A]_t$  = az átalakuló anyag koncentrációja a  $t$  időpontban

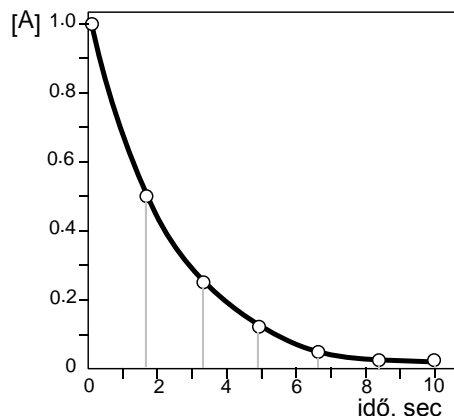
A reakció rendűségének meghatározása megtörténhet az ún. *felezési idő* mérésével. A felezési idő az az időtartam, ami alatt az átalakuló anyag koncentrációja a kezdeti érték felére csökken:  $[A]_{t(1/2)} = [A]_0/2$ . Ekkor:

$$t_{(1/2)} = \frac{2,303}{k} \log \frac{[A]_0}{[A]_{0/2}}$$

$$t_{(1/2)} = \frac{2,303}{k} \log 2 = \frac{0,693}{k}$$

Az egyenletből látható, hogy az elsőrendű reakció felezési ideje független a kezdeti koncentrációtól (VI-2. ábra). A felezési időből kiszámítható az elsőrendű reakció sebességi állandója is.

**VI-2. ábra:** Elsőrendű reakció koncentráció-idő görbéje



**Másodrendű reakciók**

A másodrendű reakciók sebessége a reagáló anyag koncentrációjának második hatványával, vagy két reagáló anyag koncentrációjának első hatványával (azok szorzatával) arányos:

$$v = k[A]^2, \text{ vagy}$$

$$v = k[A][B]$$

Egyszerűsíti a viszonyokat, ha az egymásra ható két anyag koncentrációja egyenlő ( $[A] = [B]$ ). Ebben az esetben a sebességi állandó értéke:

$$k = \frac{1}{t} \cdot \left( \frac{[A]_t}{[A]_0 ([A]_0 - [A]_t)} \right)$$

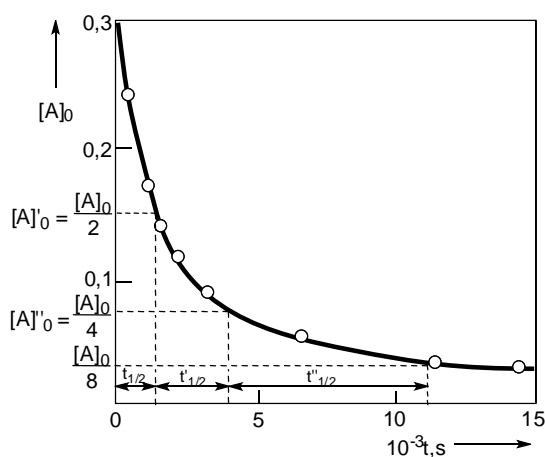
ahol

$[A]_0$  = az átalakuló anyag koncentrációja a  $t = 0$  időpontban; és  
 $[A]_t$  = az átalakuló anyag koncentrációja a  $t$  időpontban

Másodrendű reakciók esetén a felezési idő a kezdeti koncentráció nagyságával fordítottan arányos (minél nagyobb a kezdeti koncentráció, annál kisebb a felezési idő; VI-3. ábra):

$$t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$$

VI-3. ábra: Másodrendű reakció koncentráció-idő görbéje



Általában másodrendűek a bimolekuláris reakciók, ha az egymásra ható anyagok koncentrációja közel azonos. A másodrendű reakciók az egyik reakciópartner nagy feleslegben történő alkalmazása esetén azonban elsőrendű reakciókká (*pseudo-elsőrendű reakciókká*) válnak, mivel a nagy feleslegben jelen lévő reakciópartner koncentrációjának időbeli változása elhanyagolhatóvá válik. Ilyen folyamatok pl. a hidrolitikus reakciók, ahol a víz, mint reakciópartner nagy feleslegben van jelen.

#### Nulladrendű reakciók

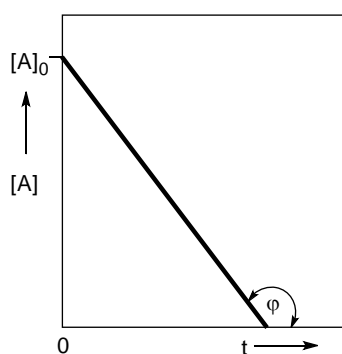
A nulladrendű reakciók sebessége független a reagáló anyag(ok) koncentrációjától (VI-4. ábra):

$$v = k [A]^0 = k$$

A felezési idő a kiindulási anyag koncentrációjával egyenesen arányos:

$$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$$

VI-4. ábra: Nulladrendű reakció koncentráció-idő görbéje



**A reakciósebesség hőmérsékletfüggése**

Az előzőekben kizárólag állandó hőmérsékletű rendszerekben lejátszódó reakciókat tárgyaltunk. Nem volt szó sem a hőmérséklet változásának a reakciók sebességére gyakorolt hatásáról, sem a reakciókat kísérő hőeffektusról.

Az elemi reakciók sebességi állandója általában növekszik a hőmérséklet emelésével. A sebességi állandó értékének hőmérséklet függését a legtöbb esetben az *Arrhenius-egyenlettel* írhatjuk le:

$$k = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

ahol

- $k$  = a reakció sebességi állandó;
- $A$  = a preexponenciális tényező;
- $E$  = a látszólagos aktiválási energia
- $R$  = az egyetemes gázállandó
- $T$  = a hőmérséklet (K)

Az összefüggés érvényessége esetén az aktiválás tisztán termikus, vagyis fénynek, radioaktív sugárzásnak, vagy egyéb energiaforrásnak nincs szerepe abban, hogy a kiindulási anyagok reakcióképes (aktivált) állapotba kerülnek.

A hőmérsékletnek a reakciósebességre gyakorolt hatását az ütközési elmélet és az aktivált komplexek kialakulása értelmezi.

**Katalízis**

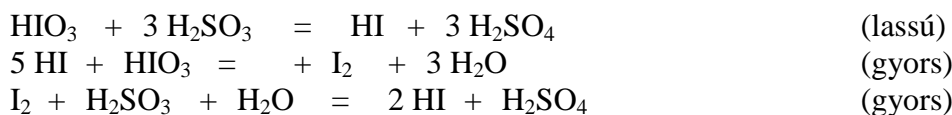
A reakciósebességet nagymértékben növelik egyes adalékanyagok, az ún. *katalizátorok*. A katalizátorok részt vesznek a reakcióban, közbeeső, átmeneti terméket képeznek, majd visszaképződnek és a végtermék mellett eredeti alakjukban és mennyiségben megtalálhatók.

A katalizátor hatása elsősorban azzal magyarázható, hogy *csökkenti a reakció aktiválási energiáját* (az aktivációs gát magasságát) (VI-1. ábra).

Egyes anyagok a reakciók sebességét csökkentik (*inhibitorok*), mások a katalizátorok hatását fokozzák, anélkül, hogy ők maguk katalizátorok lennének (*promotorok*).

**VI.1 Bemutató: Landolt kísérlet**

A jódsav és a kénessav között lejátszódó redoxireakció három, egymást követő lépésből áll:

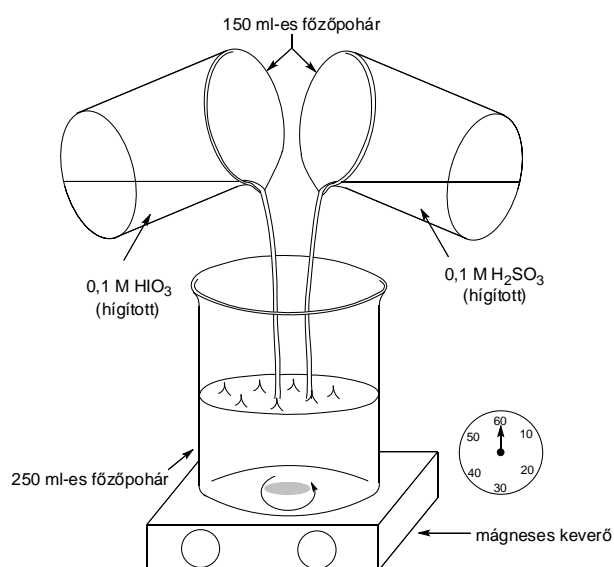


A reakcióelegyet úgy állítjuk össze, hogy a jódsav feleslegben legyen és a keletkező elemi jód érzékeny kimutatása céljából keményítőoldatot adunk hozzá. Az első, lassú lépésben keletkező hidrogén-jodidot a második, gyors lépésben a jódsav elemi jóddá oxidálja. Hosszabb ideig azonban nem észlelünk színváltozást (jód-keményítő komplex), mivel a harmadik, nagyon gyors reakciólépés elfogyasztja a jódot, így annak aktuális koncentrációja a kimutathatóság határa alatt marad. Amint azonban a

reakcióelegyből elfogy a kénessav (a harmadik reakció nem tud lejátszódni), a jód nem reagál tovább, jelenlétét a keményítő azonnal jelzi.

A VI-5. ábra szerinti készülékben összeöntjük az előre elkészített, megfelelő koncentrációjú törzsoldatokat úgy, hogy a reakcióelegy térfogata mindig azonos legyen. Az összeöntéstől a jód-keményítő komplex színének megjelenéséig eltelt időt (reakcióidő) stopperórával mérjük. A kísérletsorozatot a melléklet táblázat kitöltése után a csoport közösen kiértékeli.

### VI-5. ábra: Landolt kísérlet



Hőmérséklet (°C)	HIO <sub>3</sub> -oldat (cm <sup>3</sup> )	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> -oldat (cm <sup>3</sup> )	Desztillált víz + keményítő-oldat (cm <sup>3</sup> )	Reakcióidő (s)
	20	20	400	
	20	20	400	
	20	20	400	
	20	20	400	
	30	20	390	
	40	20	380	
	50	20	370	

## VI.2 Elvégzendő feladatok

### VI.2.1 A hőmérséklet és pH hatásának vizsgálata az acetilszalicilsav hidrolízisére

#### VI.2.1.1 A hidrolízis hőmérséklet-függésének vizsgálata

Pontosan mért, kb. 120 mg acetilszalicilsavat 100,0 ml desztillált vízben oldunk. Az acetilszalicilsav-oldatból kb. 25-25 ml oldatot 60°C-os, illetve 80°C-os vízfürdőbe helyezünk, lezárt üvegben. Lejegyezzük a pontos hőmérséklet értékeket.

Az acetilszalicilsav bomlása során keletkező szalicilsav mennyiségének meghatározása a következők szerint történik:

Az inkubálás során, a 20., 40. és 60. percben (lejegyezzük a pontos időpontokat) mindkét hőmérsékleten 5,00 ml mintát veszünk az oldatból (kémcsőbe), és hozzáadunk 5,00 ml desztillált vizet. Az így kapott oldat 1,00 ml-éhez 4,00 ml 1%-os FeCl<sub>3</sub>-oldatot (a FeCl<sub>3</sub> 0,1M-os sósavoldattal készült oldata) adunk.

Az oldat fényelnyelését 15 perc sötétben való állást követően  $\lambda = 530$  nm-en mérjük. (vak: 1,00 ml deszt. víz + 4,00 ml Fe(III)-oldat)

#### VI.2.1.2 A hidrolízis pH-függésének vizsgálata

Pontosan mért, kb. 120 mg acetilszalicilsavat 100,0 ml különböző kémhatású nátrium-karbonát-oldatokban oldunk:

- Az oldószerek: I. 0,00625 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-oldat  
II. 0,0125 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-oldat  
III. 0,025 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-oldat

Meghatározzuk az oldatok pontos kémhatását (a hatóanyag oldódását követően), kalibrált pH-mérő berendezés segítségével.

Az oldatok kb. 25 ml-ét 60°C-os vízfürdőbe helyezük. A mintavétel és a szalicilsav mennyiségének meghatározása a fentiek szerint történik.

A mért abszorbanciaértékekből, a gyakorlatvezető által adott kalibrációs egyenes segítségével kiszámoljuk a minták, illetve az acetilszalicilsav-oldat szalicilsav-koncentrációját.

A különböző időpontokban meghatározott szalicilsav-koncentrációk, valamint az oldat eredeti koncentrációjának ismeretében kiszámoljuk a két hőmérséklethez tartozó *sebességi állandók* értékeit.

Kiszámoljuk az *aktiválási energia* nagyságát, ennek ismeretében meghatározzuk a 20°C-on lejátszódó reakció sebességi állandóját, valamint mindhárom hőmérsékleten a *felezési idő* értékét.

A pH-függés vizsgálat esetén meghatározzuk a különböző kémhatású oldatokban lejátszódó reakciók sebességi állandóját, és megfigyeljük az esetleges összefüggést. ( $MW_{\text{acetilszalicilsav}} = 180,16$ )



### VI.3 Számítási feladatok

1. Az  $N_2O_5$  bomlását a következő egyenlet írja le:

$$-\frac{d[N_2O_5]}{dt} = k \cdot [N_2O_5] = 3,00 \cdot 10^{-2} \text{ perc}^{-1}$$

Mennyi idő alatt bomlik el a kiindulási  $N_2O_5$  fele?

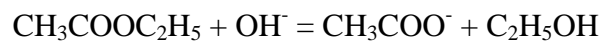
Az elsőrendű reakciókra érvényes összefüggés alapján:

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{k}$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{3,00 \cdot 10^{-2}} = 23,1 \text{ perc}$$

*Tehát a kiindulási  $N_2O_5$  koncentráció 23,1 perc alatt csökken a felére.*

2. Az etilacetát elszappanosításának egyenlete:



A reakció másodrendű sebességi állandója  $20^\circ\text{C}$ -on  $5,45 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ perc}^{-1}$ . Számítsa ki az etilacetát koncentrációját az összeöntés utáni 20. percben, ha  $1 \text{ dm}^3$   $0,0400 \text{ M}$  koncentrációjú etilacetátot elegyítettünk  $1 \text{ dm}^3$   $0,0400 \text{ M}$  koncentrációjú kálium-hidroxid-oldattal. Mindkét oldat  $20^\circ\text{C}$  hőmérsékletű volt.

Az elegyítést követően mindkét reaktáns koncentrációja felére csökken. Így:

$$[CH_3COOC_2H_5]_0 = 0,020 \text{ M}$$

$$[KOH]_0 = 0,020 \text{ M}$$

Az etilacetát koncentrációja  $[EtOAc]$  a 20. percben:

$$\frac{1}{[EtOAc]_{20}} = \frac{1}{[EtOAc]_0} + k \cdot t$$

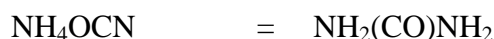
$$\frac{1}{[EtOAc]_{20}} = \frac{1}{0,020} + 5,45 \cdot 20$$

$$\frac{1}{[EtOAc]_{20}} = 50 + 109 = 159$$

$$[EtOAc]_{20} = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

*Tehát az elegy etilacetát-koncentrációja az összeöntés utáni 20. percben  $6,3 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ .*

3. A 0,150 M koncentrációjú ammónium-cianát-oldat karbamiddá alakul:



A reakció másodrendű, első felezési ideje 9 óra 27 perc. Hány gramm karbamidot nyerünk 10 óra alatt egy dm<sup>3</sup> reakcióelegyből?  $M(\text{NH}_2(\text{CO})\text{NH}_2) = 60,06 \text{ g/mol}$ .

Másodrendű reakciók esetén:

$$t_{1/2} = \frac{1}{k \cdot [A]_0}$$

$$9 \text{ óra } 27 \text{ perc} = 567 \text{ perc}$$

$$567 = \frac{1}{k \cdot 0,150}$$

$$k = \frac{1}{567 \cdot 0,150}$$

$$k = \frac{1}{85,05} = 0,012 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ perc}^{-1}$$

$$10 \text{ óra} = 600 \text{ perc}$$

Az előző példa megoldása alapján:

$$\frac{1}{[\text{NH}_4\text{OCN}]_{600}} = \frac{1}{0,150} + 0,012 \cdot 600$$

$$\frac{1}{[\text{NH}_4\text{OCN}]_{600}} = 6,67 + 7,20 = 13,87$$

$$[\text{NH}_4\text{OCN}]_{600} = \frac{1}{13,87} = 0,072 \text{ mol}$$

Az 1 dm<sup>3</sup> oldatban átalakult ammónium-cianát mennyisége:

$$0,150 - 0,072 = 0,078 \text{ mol.}$$

1 mol karbamid	60,1 g
0,078 mol karbamid	x g

---


$$x = 0,078 \cdot 60,1 = 4,7 \text{ g}$$

*Tehát az elegyben 10 óra alatt 4,7 g karbamid képződik.*

4. Egy anyag radioaktivitása  $\frac{1}{4}$  részére csökken 25,0 sec alatt. Mekkora az elsőrendű bomlási állandó?

Elsőrendű reakciók esetén:

$$k = \frac{2,303}{t} \cdot \log \frac{[A]_0}{[A]_t}$$

Így:

$$k = \frac{2,303}{25,0} \cdot \log \frac{1}{1/4}$$

$$k = 0,092 \cdot \log 4 = 0,092 \cdot 0,602 = 0,055 = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

Tehát a radiaktív bomlás elsőrendű bomlási állandója  $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ .

5. Sneferu egyiptomi fáraó sírjából származó 1,0 gramm tömegű szenet tartalmazó mintánál a beütésszám percenként 8,1. Számítsa ki a fáraósír korát, ha tudjuk, hogy az élő szervezetben előforduló szén 1,0 grammjában 15,3 beütésszám mérhető percenként. ( $t_{1/2}({}^{14}\text{C}) = 5760$  év).

Az *aktivitás* ( $A$ ) az időegységre jutó bomlások száma. Az 1 g szerves ( ${}^{14}\text{C}$ -izotóp tartalmú) mintában mért leütésszám ( $A$ ) a minta  ${}^{14}\text{C}$ -izotóp atomok számával ( $N$ ) egyenesen arányos. ( $A = k \cdot N$ ).

Radioaktív részecskék átalakulási valószínűsége azonos jellegű törvényben nyilvánul meg, függetlenül az átalakulás típusától és első közelítésben a külső körülményektől is.

A radioaktív átalakulás lefolyását az ún. *radioaktív bomlás kinetikai törvénye* fejezi ki. (Elsőrendű kinetika.) A *felezési idő* a radioaktív bomlás egyik legfontosabb jellemzője. Az az időtartam, ami alatt a radioaktivitás (vagy a radioaktív részecskék száma) a felére csökken:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k}$$

ahol

$k$  = a radioaktivitás bomlási állandója

$$k = \frac{0,693}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{5760} = 1,20 \cdot 10^{-4} \text{ év}^{-1}$$

Tehát a radiaktív átalakulás elsőrendű bomlási állandója  $1,20 \cdot 10^{-4} \text{ év}^{-1}$ .

Az elsőrendű folyamatokra érvényes összefüggés alapján:

$$[A]_t = [A]_0 - k \cdot t$$

$$8,1 = 15,3 - 1,20 \cdot 10^{-4} \cdot t$$

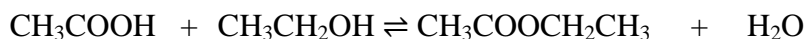
$$t = \frac{15,3 - 8,1}{1,20 \cdot 10^{-4}} = \frac{7,2}{1,20 \cdot 10^{-4}} = 6,0 \cdot 10^4 \text{ év}$$

Tehát a minta kora  $6,0 \cdot 10^4$  év.

## VII Kémiai egyensúlyok

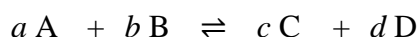
### VII.1 A tömeghatás törvénye

Számos kémiai folyamatot ismerünk, melyek nem játszódnak le teljesen, az átalakulás csak részleges. Ilyen például az ecetsav és az etilalkohol között lejátszódó észterképződési reakció.



Az ilyen reakciókra az jellemző, hogy a termékek is reagálnak egymással, azaz a folyamat visszafelé is lejátszódik: az etilacetát a savas közegben vízzel reagálva ecetsavra és etilalkoholra hidrolizál.

A megfordítható (reverzibilis) reakciókban tehát nemcsak a kiindulási anyagok, hanem a termékek is reagálnak egymással. Amint az előrehaladó reakcióban megjelenik a termék, azonnal elindul az ellentétes irányú reakció is. Az egyensúlyra vezető reakciókra általánosan felírható:



Az *előrehaladó* reakció sebessége folyamatosan csökken az A és B anyagok koncentrációjának csökkenése következtében, a *visszahaladó* reakció sebessége folyamatosan nő, a termékek (C és D) koncentrációjának növekedésével. Amikor a két ellentétes irányú reakció sebessége egyenlővé válik, akkor egyensúly áll be.

Az egyensúlyi elegy összetétele az egyensúlyi állandó kifejezés számszerű értékével, az egyensúlyi állandóval jellemezhető. Az *egyensúlyi állandó kifejezésének* számlálójába a termékek, míg nevezőjébe a kiindulási anyagok egyensúlyi koncentrációját írjuk. A koncentrációk kitevői a reagáló anyagok megfelelő sztöchiometriai együtthatói a reakcióegyenletben:

$$K_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

ahol a szögletes zárójelek az egyensúlyi elegyben megtalálható anyagok (egyensúlyi) koncentrációját, míg az *a*, *b*, *c* és *d* a sztöchiometrikus együtthatókat jelentik.

Egy adott reakciói *egyensúlyi állandó kifejezésének* számszerű értéke (az *egyensúlyi állandó*) adott hőmérsékleten kísérletileg meghatározható. Az egyensúlyi állandó értéke adott hőmérsékleten a vizsgált kémiai rendszerjellemező fizikai-kémiai adata.

## VII.2 A Le Chatelier elv

Ha egy kémiai rendszer egyensúlyban van, mindaddig nem észlelünk a rendszerben változást, amíg a külső körülmények változatlanok. A külső körülmények megváltoztatásával a rendszer új egyensúlyi állapotba kerül. *Le Chatelier elve* szerint ha egy egyensúlyban lévő rendszert külső hatás ér, akkor az egyensúly úgy változik meg, hogy a változás eredményeképpen a külső hatás eredménye csökkenjen. Ezen elv érvényességét a következő példák mutatják:

- Koncentrációváltozás.* Ha egy egyensúlyi rendszer valamelyik komponensének koncentrációját kívülről megnöveljük, az egyensúly összetételében olyan eltolódás következik be, amely ezt a megnövekedett koncentrációt csökkenteni igyekszik. Ha az egyensúlyi rendszerben az egyik anyag koncentrációját csökkentjük, az egyensúly összetételében olyan eltolódás következik be, amely ezt a csökkentett koncentrációt növelni igyekszik.
- Hőmérsékletváltozás.* Az egyensúlyi rendszer hőmérsékletének emelése az endoterm (hőelnyelő), csökkentése az exoterm (hő felszabadulással járó) folyamat irányába tolódik el a reakció. Ezzel a rendszer a hőmérsékletváltozás elől igyekszik kitérni, eredeti hőmérsékletét megtartani.
- Nyomásváltozás.* Térfogatváltozással járó (tipikusan gázhalmazállapotban lejátszódó) reakciókban a térfogatváltoztatással elért nyomásnövelés a térfogatcsökkenéssel, a nyomáscsökkentés a térfogatnövekedéssel járó reakciót segíti elő. Azaz a rendszer igyekszik az eredeti nyomását megtartani.

## VII.3 Egyensúlyok elektrolitoldatokban

A vegyületek néhány csoportja oldás közben részben vagy egészben hidratált ionokra esnek szét. Ezt a folyamatot *elektrolitikus disszociációnak*, az anyagokat pedig *elektrolitoknak* nevezzük.

Az elektrolitok kémiai viselkedésük és tulajdonságaik alapján három csoportba oszthatók: a *savak*, a *bázisok* és a *sók* csoportjába.

### VII.3.1 Savak és bázisok

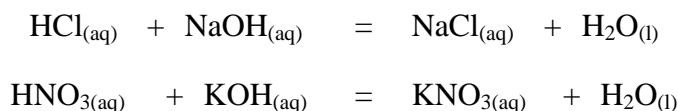
#### VII.3.1.1 Arrhenius sav-bázis elmélete

A savak és bázisok fogalmának meghatározása az idők során számos változáson ment keresztül. A savak és bázisok *Arrhenius* (1888) általi besorolása szerint a *savak* oldataikban hidrogénionokat, a *bázisok* pedig hidroxidionokat adnak le.

A *savak* vizes oldatai savas kémhatásúak, mert a hidrogénion-koncentráció nagyobb a hidroxidion-koncentrációnál. Például: sósav ( $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ ), kénsav ( $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ ), salétromsav ( $\text{HNO}_{3(\text{aq})}$ ), stb.

A *bázisok* vizes oldatban hidroxidionokra disszociálnak. A bázisok vizes oldataiban a hidroxidion-koncentráció meghaladja a hidrogénion-koncentrációt. Például: nátrium-hidroxid ( $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ), kálium-hidroxid ( $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ ), kalcium-hidroxid  $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ , stb.

A savak és bázisok egymás között lejátszódó reakciója a *közömbösítés*, ami só- és vízképződéssel jár. Például:



### VII.3.1.2 Brønsted és Lowry sav-bázis elmélete

*J. N. Brønsted* és *T. M. Lowry* kiterjesztették *Arrhenius* sav-bázis elméletét, kiemelve a hidrogénion (proton) szerepét a sav-bázis reakciókban. A *Brønsted-Lowry elmélet* értelmében *sav*knak nevezzük a proton leadására képes vegyületeket (*proton-donorok*), míg *bázis*oknak a proton felvételére képes anyagokat (*proton-akceptorok*).

Az elmélet szerint a savak proton leadással *konjugált bázissá*, míg a bázisok proton felvételével *konjugált savvá* alakulnak át. Egy sav protont csak abban az esetben ad le, ha jelen van egy bázis, amely a proton felvételére képes. A savak konjugált bázissá és a bázisok konjugált savvá történő átalakulása egy reakción belül játszódik le.

Sav <sub>1</sub>		Bázis <sub>2</sub>	=	Bázis <sub>1</sub>	+	Sav <sub>2</sub>
HCl	+	H <sub>2</sub> O	=	Cl <sup>-</sup>	+	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	+	H <sub>2</sub> O	=	NH <sub>3</sub>	+	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	+	OH <sup>-</sup>	=	H <sub>2</sub> O	+	H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O	+	NH <sub>3</sub>	=	OH <sup>-</sup>	+	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>

Néhány anyag (például H<sub>2</sub>O- és NH<sub>3</sub>-molekula, vagy HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>- és, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-ion, stb.) savként és bázisként is reakcióba léphet a reakciópartner sav-bázis erősségétől függően. Ezeket az anyagokat *amfoter* vegyületeknek nevezzük.

### VII.3.1.3 Lewis sav-bázis elmélete

*G. N. Lewis* megállapítása szerint számos további, elektronpár-megosztással lejátszódó, reakció is jellemezhető az *Arrhenius* és a *Brønsted-Lowry* elmélettel definiált savak és bázisok között lejátszódó reakciók jellemzőivel.

*Lewis* definíciója szerint savknak nevezzük azokat az atomokat, molekulákat, ionokat, melyek elektronpár felvételére képesek (elektronpár-akceptorok), míg bázisok azok az atomok, molekulák, ionok, melyek elektronpár megosztással járó reakciókban elektronpár átadására képesek, azaz elektronpár-donorok.

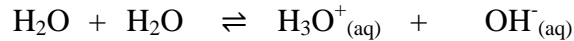
Az *Arrhenius* és a *Brønsted-Lowry* sav-bázis elméletek szerinti besorolásban savként vagy bázisként viselkedő anyagok a *Lewis*-elmélet alapján is savak vagy bázisok. A *Lewis*-elmélet szerint azonban a savak és bázisok köre tovább szélesedik és számos kémiai reakció sav-bázis reakcióként is értelmezhető.

Pl.

Lewis- sav		Lewis-bázis	=	Lewis sav-bázis komplex
BF <sub>3</sub>	+	NH <sub>3</sub>	=	F <sub>3</sub> BNH <sub>3</sub>
AlCl <sub>3</sub>	+	Cl <sup>-</sup>	=	AlCl <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Fe <sup>2+</sup>	+	6 H <sub>2</sub> O	=	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup>
SO <sub>3</sub>	+	BaO	=	BaSO <sub>4</sub>
Ag <sup>+</sup>	+	2 NH <sub>3</sub>	=	[Ag(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>+</sup>

### VII.3.1.4 A víz disszociációs egyensúlya, a pH

A Brønsted-Lowry elmélet értelmében a víz *amfoter* karakterű vegyület: savakkal szemben bázisként, bázisokkal szemben savként képes reakcióba lépni. E tulajdonságának megfelelően a vízmolekulák egymással sav-bázis reakcióban reagálhatnak:



A reakció reverzibilis (lásd VII.3.1.2), egyensúlyra vezető folyamat, amelyben a tömeghatás törvénye értelmében a képződő  $\text{H}_3\text{O}^+$  és  $\text{OH}^-$  ionok koncentrációinak szorzatának és a disszociálatlan vízmolekulák koncentrációja szorzatának hányadosa állandó:

$$K_c = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]^2}$$

Mivel a tiszta víz fenti reakciója igen kismértékű, a nemdisszociált vízmolekulák száma (55,5 M) a reakcióban gyakorlatilag nem változik. A fenti egyensúlyi állandó kifejezés átrendezésével, azt a következő formában is felírhatjuk:

$$K_c [\text{H}_2\text{O}]^2 = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

Mivel a kifejezésben szereplő  $K_c$  és  $[\text{H}_2\text{O}]$  egy adott hőmérsékleten állandó, így azok szorzata is állandó, s ennek megfelelően:

és így

$$K_v = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

ahol  $K_v = a$  víz ionszorzata.

A tömeghatás törvénye értelmében, a vízben, illetve a vizes oldatokban a hidrogénionok (oxóniumionok) és a hidroxidionok moláris koncentrációjának szorzata állandó. A víz ionszorzatának értéke 25 °C-on és 0,1 MPa nyomáson  $1,0 \cdot 10^{-14}$  (mol dm<sup>-3</sup>)<sup>2</sup>. A víz fenti reakcióinak sztöchiometriájából adódóan tiszta vízben  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-7}$  M.

Mivel vizes oldatokban a hidrogénion- és hidroxidion-koncentrációk kicsik, S. P. L. Sørensen javaslatára számszerű jellemzésükre a koncentrációk tízes alapú negatív logaritmus értékeit használjuk. Ennek megfelelően:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+], \text{ illetve}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+].$$

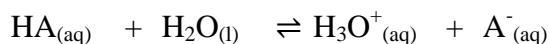
Hasonlóképpen:

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

A fentiek alapján a 25°C hőmérsékletű tiszta vízben  $\text{pH} = \text{pOH} = 7$ . A pH 7 alatti értékek (pH 0-7) savas, míg a pH 7 feletti értékek (pH 7-14) lúgos kémhatású oldatok jellemzői.

### VII.3.1.5 Savak disszociációs egyensúlya, a pK<sub>s</sub>

Mivel a fentiek szerint a savak és bázisok protolízise (elektrolitikus disszociációja) megfordítható, egyensúlyra vezető folyamat, alkalmazható rájuk a tömeghatás törvénye. Az egyensúlyok tanának értelmében a savak (általánosságban HA) erőssége a vizes oldatban lejátszódó protolitikus reakció egyensúlyi állandójával jellemezhető:



Az egyenletre a tömeghatás törvényét alkalmazva:

$$K_c = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}][\text{H}_2\text{O}]}$$

Mivel a tiszta víz fenti reakcióban a nem-protonált vízmolekulák száma a reakcióban számottevő mértékben nem változik, valamint  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{H}^+]$  az egyensúlyi állandó kifejezés a következőképpen egyszerűsödik:

$$K_s = K_c[\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$K_s = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

ahol  $K_s$  = a sav disszociációs állandója

A pH-hoz hasonlóan definiálhatjuk a pK<sub>s</sub> értékét is, ami a fentiek alapján:

$$\text{pK}_s = -\log K_s$$

Minél nagyobb a  $K_s$ , illetve minél kisebb a pK<sub>s</sub> érték, annál erősebb vízzel szemben a vizsgált sav.

### VII.3.1.6 Bázisok disszociációs egyensúlya, a pK<sub>b</sub>

A proton megkötésére képes középerős és gyenge bázisok (B) vizes oldatban az alábbi egyensúlyi reakcióval jellemezhetők:



A bázis protonálódási reakciójának egyensúlyi állandója:

$$K_c = \frac{[\text{HB}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}][\text{H}_2\text{O}]}$$

$$K_b = K_c[\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{HB}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$$

ahol  $K_b$  = a bázis disszociációs állandója



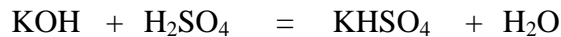
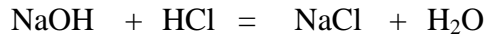
A  $pK_s$  értékekhez hasonlóan definiálhatjuk a  $pK_b$  értékét is, ami a fentiek alapján:

$$pK_b = -\log K_b$$

Minél nagyobb a  $K_b$ , illetve minél kisebb a  $pK_b$  érték, annál erősebb vízzel szemben a vizsgált bázis.

### VII.3.2 Sók

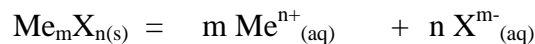
A sók fémionból (vagy összetett kationból) és savmaradékból álló vegyületek, melyek bázis és sav közömbösítési reakciójában képződhetnek. Például:



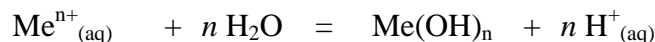
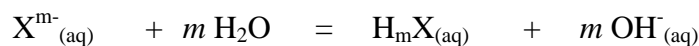
A sók kevés kivétellel ionrácsot alkotó kristályos vegyületek, melyek olvadáka és vizes oldata vezeti az elektromos áramot. A sók különböző fajtái ismeretesek:

1. Szabályos sók:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$
2. Savanyú sók:  $\text{KHSO}_4$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$
3. Bázisos sók:  $\text{Bi}(\text{OH})_2\text{NO}_3$ ,
4. Kettős sók:  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$
5. Komplex sók:  $[\text{Ag}(\text{NH}_2)_2]\text{Cl}$ ,  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

A sók, mint ionkristályos vegyületek, vízben történő oldásuk során hidratált kationokat és hidratált anionokat juttatnak az oldatba:



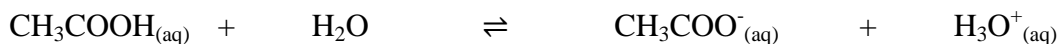
A vízben oldott ionok az amfoter karakterű vízzel sav-bázis reakcióba léphetnek, melyet *hidrolízisnek* nevezünk. A hidrolízisben részt vevő ionok alapján megkülönböztethetünk *anion-*, *kation-* és *anion-kation* hidrolízist.



A hidrolitikus reakciók eredményeképpen a vízben oldott sók megváltoztatják az oldószer pH-ját. Az anionhidrolízis eredményeképpen a vizes oldat kémhatása lúgos, kationhidrolízis eredményeképpen savas, míg kation-anion-hidrolízis eredményeképpen a képződő sav és bázis disszociációs állandóinak függvényében savas vagy lúgos kémhatású oldatot kapunk.

### VII.3.3 A közös ion hatása

A *Le Chatelier*-elv értelmében, ha egy egyensúlyban lévő rendszert külső hatás ér, akkor az egyensúly úgy változik meg, hogy a változás eredményeképpen a külső hatás eredménye csökkenjen. Ennek értelmében a közös ion hatásával módosítani tudjuk a gyenge savak és gyenge bázisok disszociációs egyensúlyát és így vizes oldatuk pH értékét is. Így például ha ecetsav vizes oldatához az ecetsav anionját tartalmazó sót, pl. nátrium-acetátot adunk, az ecetsav disszociációja visszaszorul, az oldat kémhatása kevésbé savas lesz.

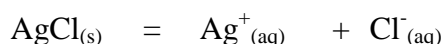


Hasonló összefüggést lehet levezetni a gyenge bázisokra is:



Ha ammónia vizes oldatához ammónium-kloridot adunk, a hozzáadott ammóniumionok hatására az oldat kémhatása savasabb (kevésbé lúgos) lesz.

A közös ion hatása értelmezhető *heterogén egyensúlyokra* is. Így például rosszul oldódó ionvegyületek (sók) telített vizes oldataiban oldott hidratált ionok és az oldatban nem oldódó szilárd só között kialakuló *heterogén egyensúly* összetétele is megváltoztatható a rendszerhez hozzáadott közös ion hatására.



Ionos csapadékok kismértékű oldódásának egyensúlyi állandója az *oldhatósági szorzat*, amely a telített oldatban oldott kationok és anionok egyensúlyi koncentrációinak a sztöchiometriának megfelelő hatványon vett szorzata ( $K_{\text{sp}}$ ). A fenti heterogén egyensúlyra vonatkoztatva:

$$K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$$

A *Le Chatelier*-elv értelmében a telített ezüst-klorid-oldathoz nátrium-kloridot adva az oldatból szilárd ezüst-klorid csapadék válik le. Más szóval, az ezüst-klorid oldhatósága (telített oldatának koncentrációja) nátrium-klorid (kloridionok) hatására csökken (*közös ion hatás*).

### VII.3.4 Pufferoldatok

A sajátion-hatás egyik kiemelkedő gyakorlati jelentősége a pufferoldatokban van. A pufferek olyan oldatok, amelyek

- Gyenge savat és annak erős bázissal képzett sóját, vagy
- Gyenge bázist és annak erős savval képzett sóját tartalmazza.

Az ilyen összetételű oldatok kémhatása jelentős mértékben stabil; kisebb mennyiségű erős sav vagy erős bázis hozzáadásakor nem változik meg lényegesen.

A pufferoldatok működése a tömeghatás törvénye alapján értelmezhető. Például az ún. acetát-puffer (ecetsav + nátrium-acetát) esetén, a tömeghatás törvényét az ecetsav disszociációjára alkalmazva:



$$K_s = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

Nátrium-acetát hozzáadásakor a só teljesen mértékben disszociál:



Így jó közelítéssel:

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})}] = [\text{CH}_3\text{COONa}]$$

Az ecetsavoldathoz adott acetát-ionok az ecetsav tiszta vízben lajászdó disszociációját a *Le Chatelier*-elv alapján visszaszorítják.

Így jó közelítéssel:

$$[\text{disszociálatlan CH}_3\text{COOH}] = [\text{bemért CH}_3\text{COOH}]$$

Ezek alapján az oldatban megtalálható hidrogénionok koncentrációja a következőképpen fejezhető ki:

$$K_s = \frac{[\text{CH}_3\text{COONa}][\text{H}^+]}{[\text{bemért CH}_3\text{COOH}]}$$

$$[\text{H}^+] = K_s \cdot \frac{[\text{bemért CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COONa}]}$$

általánosítva

$$[\text{H}^+] = K_s \cdot \frac{[\text{gyenge sav}]}{[\text{só}]}$$

Az egyenlet mindkét oldalának negatív logaritmusát véve megkapjuk az oldat (pufferoldat) pH-ját kifejező összefüggést (*Henderson-Hasselbach*-egyenlet):

$$-\log [\text{H}^+] = -\log K_s - \log \frac{[\text{gyenge sav}]}{[\text{só}]}$$

$$\text{pH} = \text{p}K_s + \log \frac{[\text{só}]}{[\text{gyenge sav}]}$$

Hasonló összefüggés írja le a gyenge bázist (pl.  $\text{NH}_3$ ) és a bázis erős savval képzett sója (pl.  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) vizes oldatának kémhatását is:

$$pOH = pK_b + \log \frac{[s\acute{o}]}{[gyenge\ b\acute{a}zis]}$$

A pufferoldatok savak és lúgok pH-változtató hatásával szemben mutatott ellenállásának oka, hogy az oldatokhoz adott hidrogénionok, vagy hidroxidionok legnagyobb hányada semleges részékké koncentrálódik.

### VII.3.5 Sav - bázis titrálások elve, gyakorlata

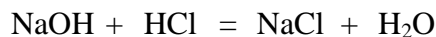
„A titrimetria alapgondolata az, hogy valamely elem, vagy vegyület mennyisége meghatározható, ha az oldatába egy vele azonnal reagáló más vegyület ismert erősségű oldatát csepegtetjük mindaddig, míg az átalakulás éppen végetért, amit könnyen észrevehető változásnak, pl. színváltozásnak kell jeleznie (*Zechmeister-Faurholt-Gjaldbaek*: Kémiai gyakorlatok).”

A szervetlen savak és bázisok mennyiségi meghatározásának még mai is gyakran alkalmazott módszere a vegyületek semlegesítési reakcióin alapuló térfogatós analízis (titrimetria).

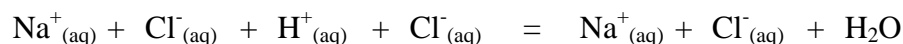
A semlegesítési reakciók térfogatós analízis céljaira alkalmas reakciók minden kritériumának eleget tesznek: a.) ekvivalens mennyiségek egymásra hatása során kvantitatívan végbemennek (nincs szükség reagensfeleslegre), b.) egyértelműek (nincsenek mellékreakciók), c.) gyorsak (a titrálás ideje alatt végbemennek), és d.) végpontjuk jelezhető. A mérés során ismeretlen erősségű savakat lúg mérőoldattal (acidimetria), vagy ismeretlen erősségű bázisokat sav mérőoldattal (alkalimetria) titrálunk.

#### VII.3.5.1 Titrálási görbe

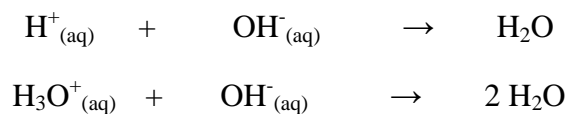
A sav-bázis titrálás során a reakcióelegy pH-ja folyamatosan változik. A pH a mérés tetszőleges pontján kiszámolható, vagy műszeres méréssel meghatározható. A pH-értékeket a fogyott mérőoldat mennyiségének függvényében grafikusán ábrázolva titrálási görbékhez jutunk. A VII-1. ábra ismeretlen koncentrációjú sósavoldat nátrium-hidroxid-mérőoldattal történő meghatározásának titrálási görbéjét mutatja be. A meghatározás alapjául a nárium-hidroxid és a sósav reakciója szolgál:

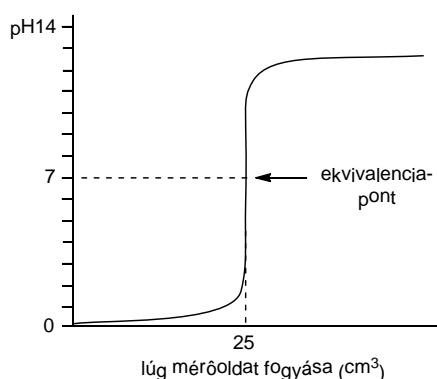


illetve, a valóságot jobban leíró ioneqyenletet felírva:



A semlegesítési reakció alapja a hidrogénionok (oxóniumionok) és a hidroxidionok vízmolekulákká történő kombinálódása.



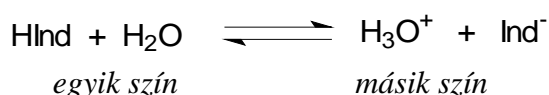
**VII-1. ábra:** Erős sav erős bázissal végzett titrálásának titrálási görbéje

A nátrium-hidroxid-mérőoldat adagolása közben először a pH alig változik, majd egyre meredekebben növekszik. A legnagyobb pH-változás az ún. *ekvivalenciapont* körül észlelhető, amikor viszonylag kis térfogatú mérőoldat fogyás 5-6 egységnyi pH-változást eredményez.

Az ekvivalenciapontban a meghatározandó anyag és a mérőoldat oldott anyaga egymással ekvivalens mennyiségben van jelen. A fenti példában az ekvivalenciapontban az oldatban csak vízmolekulák, hidratált nátrium- és kloridionok, valamint a víz disszociációjából származó hidrogén (oxónium)- és hidroxidionok vannak jelen. Mivel a nátrium- és kloridionok nem reagálnak vízzel (nem hidrolizálnak) az ekvivalenciapont pH-értéke a víz disszociációjának következtében pH 7. Az ekvivalenciapont eléréséhez szükséges mérőoldatfogyás alapján a sósavoldat koncentrációja meghatározható.

**VII.3.5.2 Sav-bázis indikátorok**

Amennyiben a titrálás célja az ekvivalenciapont meghatározása és nem a titrálási görbe felvétele, úgy az ekvivalenciapont jelzésére indikátorokat használhatunk. A sav-bázis titrálások ekvivalenciapontjának jelzésére olyan gyenge szerves savakat vagy bázisokat használhatunk, amelyek disszociálatlan formájának más a színe, mint a disszociált alaknak:



A savas (vagy bázikus) jellegű indikátorok disszociációs egyensúlyaira is felírható a tömeghatás törvénye alapján az egyensúlyi állandó:

$$K_{\text{HInd}} = \frac{[\text{Ind}^-][\text{H}^+]}{\text{HInd}}$$

Ennek az állandónak a negatív logaritmusát *indikátorkitevőnek* (indikátorexponensnek vagy indikátorállandónak) nevezzük.

Az indikátor *átcsapási pontjában* a két indikátorforma koncentrációja megegyezik:

$$[\text{HInd}] = [\text{Ind}^-]$$

Ebből

$$K_{\text{HInd}} = [\text{H}^+]$$

Az indikátor átcsapási pontjában a savas jellegű indikátorok esetén az oldat pH-ja, míg bázikus jellegű indikátoroknál az oldat pOH értéke megegyezik az indikátorkitevő értékével.

Az emberi szem nem elég érzékeny ahhoz, hogy észlelje azt a pontot, amikor az indikátor két alakja azonos koncentrációban van jelen. Kétszínű indikátorok esetén általában akkor látjuk az egyik forma tiszta színét, ha az a molekulák legalább 90 %-át teszi ki. Ennek megfelelően az indikátorok *átcsapási tartománya* savas jellegű indikátorok esetén az a pH-tartomány, ahol

$$\frac{Ind^-}{HInd} = \frac{1}{10} \text{ és } \frac{10}{1} \text{ közé esik.}$$

A fentiek alapján, savas jellegű sav-bázis indikátorok esetén az átcsapási tartomány:

$$\Delta pH = pK_{HInd} \pm 1$$

Bázikus karakterű (IndOH) indikátor esetén:

$$\Delta pOH = pK_{IndOH} \pm 1$$

Az indikátor helyes kiválasztásához ismernünk kell az adott titrálási görbét. Olyan indikátort kell választani, amelynek az indikátorexponense az ekvivalenciapont közelébe esik és teljes átcsapási intervalluma a görbe meredek szakaszára esik.

Leggyakrabban a *metilvörös* és a *fenolftalein* indikátorokat használjuk. A metilvörös átcsapási tartománya pH 4,2 - pH 6,2 között van, pH 4,4 alatt vörös, pH 6,2 felett sárga színű. A fenolftalein átcsapási tartománya pH 8,0 és 10,0 között van, pH 8,0 alatt színtelen, pH 10 fölött vörös színű. A fenolftaleinnel kapcsolatban még meg kell jegyezni, hogy az oldott CO<sub>2</sub> zavarja a pontos mérést és így a titrálás befejezése előtt az oldatból azt forralással el kell távolítani.

## VII.4 Feladatok

### VII.4.1 Elvégzendő feladatok

#### VII.4.1.1 Sav-bázis egyensúlyok

A következő kísérletekhez minden esetben vakpróbát kell végezni. Egy második kémcsőbe tegyen a vizsgálandó oldat helyett megegyező mennyiségű desztillált vizet, indikátort, majd adja hozzá a reagens éppenúgy, mint az elvégzendő kísérletben. Az eredményt a kísérletek és a vakpróba összehasonlításával értékelje!

- a.) Kb. 2 cm<sup>3</sup> híg ecetsavoldathoz adjon 2 csepp metilvörös indikátort és csepegtessen hozzá, gyakran összerázva, tömény nátrium-acetát-oldatot, míg az indikátor színe a vakpróbaéval azonossá válik.  
Értelmezze a kísérletet!
- b.) Ismételje meg az előző kísérletet ecetsav helyett híg sósavoldattal.  
Értelmezze a kísérletet!  
Kémcsőben adjon 3 cm<sup>3</sup> ammóniaoldathoz 2-3 csepp timolftalein indikátort, majd ugyanannyi ammónium-klorid-oldatot. Csepegtessen az elegybe nátrium-hidroxid-oldatot, míg az oldat színe a vakpróbaéhoz hasonlóvá válik.  
Értelmezze a kísérletet!
- c.) Két kémcsőbe tegyen 5-5 cm<sup>3</sup> ammónium-acetát-oldatot. Az egyikbe tegyen 2-3 csepp metilvörös indikátort és addig csepegtessen bele híg sósav-oldatot, míg az indikátor színe a vakpróbaéval azonos nem lesz. A másik kémcsőbe fenolftalein indikátor hozzáadása után nátrium-hidroxid-oldatot csepegtessen az előzőek szerint. Az oldat mind savval, mind lúggal szemben pufferként viselkedik.  
Értelmezze a kísérletet!

#### VII.4.1.2 Amfoter egyensúlyok

A következő kísérletekben szereplő fém-hidroxidok vízben oldhatatlanok, és némelyek amfoterek.

- a.) Cink-szulfát, timsó:  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ , ólom(II)-nitrát, krómtimsó:  $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$  vagy ón(II)-klorid valamelyikének 1 cm<sup>3</sup> térfogatú oldatát óvatosan lúgosítsa meg nátrium-hidroxid-oldattal, csapadék képződéséig. A leülepedett csapadékról öntse le a folyadék tisztáját és folytassa, időnként összerázva, a lúg hozzáadását oldódásig. Az oldat egy kis részét öntse át egy másik kémcsőbe, majd óvatosan savanyítsa vissza azt híg salétromsavval. A csapadék újra leválik, a sav feleslegében pedig feloldódik.  
Összehasonlításképpen adjon feleslegben nátrium-hidroxid-oldatot egy vas-, réz-, mangán- vagy magnéziumsó oldatához is.

### VII.4.1.3 Sók hidrolízise

- a.) Néhány cm<sup>3</sup> vas(III)-klorid (eredetileg erősen savanyú) oldatát hígítsa desztillált vízzel csapadék megjelenéséig. Utána cseppenként, összerázva, adjon hozzá sósavoldatot.  
Értelmezze a kísérletet!
- b.) 1 cm<sup>3</sup> bizmut(III)-klorid (eredetileg erősen savanyú) oldatát hígítsa desztillált vízzel csapadék megjelenéséig. Utána cseppenként, összerázva, adjon hozzá sósavoldatot.  
Értelmezze a kísérletet az alábbi egyenlet segítségével:  
$$\text{BiCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{BiOCl} + 2 \text{HCl}$$
- c.) Vizsgálja meg univerzál indikátorpapírral az alábbi sók oldatát: nátrium-hidrogén-karbonát, nátrium-karbonát, ammónium-szulfát, timsó:  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ , nátrium-dihidrogén-foszfát, trinátrium-foszfát.  
Értelmezze a kísérletet!

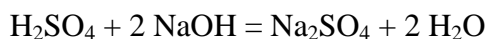
### VII.4.1.4 Heterogén egyensúlyok

- a.) Telített kalcium-szulfát-oldathoz (gipszes víz) adjon bárium-klorid-oldatot. Az eredményből következtessen, hogy a  $\text{CaSO}_4$  vagy  $\text{BaSO}_4$  oldhatósági szorzata a nagyobb.
- b.) Kevés magnézium-szulfát-oldathoz adjon annyi ammóniaoldatot, hogy csapadék keletkezzen. (Írja fe a reakcióegyenletet!) Most adjon a csapadékos oldathoz apránként, összerázva ammónium-klorid-oldatot, míg a csapadék feloldódik.  
Mivel magyarázza a csapadék oldódását?
- c.) Nátrium-klorid-oldathoz adjon ezüst-nitrát-oldatot, ezüst-klorid csapadék keletkezik. Hagyja a csapadékot leülepedni, majd a tisztáját öntse egy másik kémcsőbe és az utóbbihoz adjon kálium-jodid-oldatot.  
Magyarázza meg az észlelteket az ezüst-halogenidek oldhatóságáról tanultakkal!

### VII.4.1.5 Titrálás

- a.) **Ismeretlen koncentrációjú kénsavoldat titrálása nátrium-hidroxid mérőoldattal**

A kénsav vizes oldatban metilvörös indikátor használatával, nátrium-hidroxid mérőoldattal kétbázisú savként titrálható.



Mérési eljárás

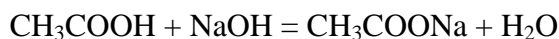
100 cm<sup>3</sup> térfogatú Erlenmeyer lombikba kb. 50 mg kénsavat tartalmazó, 10,00 cm<sup>3</sup> térfogatú kénsavoldatot pipettázunk. A kimért oldatot desztillált vízzel 30 cm<sup>3</sup> térfogatra hígítjuk, 3-4 csepp metilvörös indikátort adunk hozzá és ismert koncentrációjú 0,1 M nátrium-hidroxid-mérőoldattal hagymavörös átmeneti színig titráljuk. Három párhuzamos kísérletet végzünk.

Feladat: Számoljuk ki a kénsavoldat koncentrációját.



b.) **Ismeretlen koncentrációjú ecetsavoldat titrálása nátrium-hidroxid-mérőoldattal.**

Az ecetsav egybázisú gyenge sav, amely vizes oldatban nátrium-hidroxid-mérőoldattal megtitrálható. A meghatározáshoz olyan 7-es pH felett átcsapó indikátort használhatunk, amely a képződő só (nátrium-acetát) pH-jának felel meg. Erre a célra fenolftalein indikátor használható.



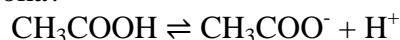
Mérési eljárás

100 cm<sup>3</sup> térfogatú Erlemeyer lombikba kb 60 mg ecetsavat tartalmazó, 10,00 cm<sup>3</sup> térfogatú ecetsavoldatot pipetázunk. Az oldatot kiforralt és lehűtött desztillált vízzel 30 cm<sup>3</sup> térfogatra hígítjuk, 3-4 csepp fenolftalein indikátort adunk hozzá, és ismert koncentrációjú 0,1 M nátrium-hidroxid-mérőoldattal rózsaszínig titráljuk. Az oldat rózsaszínének a titrálás befejezését követően 10-20 másodpercig meg kell maradnia. A második és a harmadik mérésnél várható, az első titrálásból már ismert végpont előtt 0,2-0,3 cm<sup>3</sup>-rel, a még savas oldatot - néhány darab horzsakövet adva hozzá - kiforraljuk, lehűtjük, és rózsaszínig titráljuk.

## VII.4.2 Számítási feladatok

### VII.4.2.1 Elektrolitos disszociáció

1. Mennyi a hidrogénion-koncentráció és az acetátion-koncentráció a 0,10 M vizes ecetsavoldatban 25°C-on, ha a disszociációállandó  $1,85 \cdot 10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup>, és mekkora az ecetsav disszociációfoka?



Mivel  $[\text{H}^+] = [\text{CH}_3\text{COOH}]$ :

$$K_s = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

Mivel  $[\text{CH}_3\text{COOH}] \cong 0,1$  M

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_s \cdot 0,1} = \sqrt{1,86 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-1}}$$

$$[\text{H}^+] = 1,36 \cdot 10^{-3}$$

Tehát  $[\text{H}^+] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 1,4 \cdot 10^{-3}$  M.

Definíció szerint

$$\alpha = \frac{\text{disszociált mólok száma}}{\text{bemért mólok száma}}$$

$$\alpha = \frac{[\text{H}^+]}{0,1} = \frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{10^{-1}} = 1,4 \cdot 10^{-2}$$

Tehát az ecetsavoldat disszociációfoka  $1,4 \cdot 10^{-2}$ .

2. Mennyi a kénessav első disszociációs állandója, ha a 0,010 M-os oldat pH-ja 2,16?

A pH 2,16 kémhatású oldatban

$$[H^+] = 10^{-2,16} = 6,92 \cdot 10^{-3}$$



Mivel

$$[H^+] = [HSO_3^-]$$

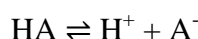
$$K_s = \frac{[H^+][HSO_3^-]}{[H_2SO_3]} = \frac{[H^+]^2}{[H_2SO_3]}$$

$$[H_2SO_3] = 0,010 - 6,92 \cdot 10^{-3} = 4,08 \cdot 10^{-3}$$

$$K_s = \frac{(6,92 \cdot 10^{-3})^2}{4,08 \cdot 10^{-3}} = \frac{4,79 \cdot 10^{-5}}{4,08 \cdot 10^{-3}} = 1,17 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$$

Tehát a kénessav első disszociációs állandója  $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ .

3. Mennyi annak az egyértékű gyenge savnak a disszociációállandója, amelynek 0,080 M oldatában 2,7-es pH-t mérünk? Mekkora a sav disszociációfoka ebben az oldatban?



Mivel

$$[H^+] = [A^-]$$

$$K_s = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \frac{[H^+]^2}{[HA]}$$

Definíció szerint:

$$[H^+] = 10^{-2,7} = 2,0 \cdot 10^{-3}$$

$$K_s = \frac{(2,0 \cdot 10^{-3})^2}{0,080 - 2,0 \cdot 10^{-3}} = \frac{4,0 \cdot 10^{-6}}{0,078} = 5,13 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

Tehát a gyenge sav disszociációállandója  $5,1 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .

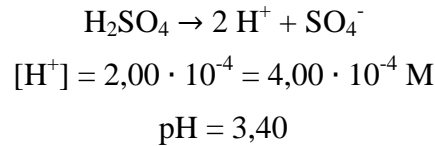
A gyenge sav disszociációfoka:

$$\alpha = \frac{\text{disszociált mólok száma}}{\text{bemért mólok száma}}$$

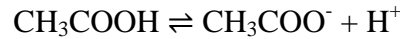
$$\alpha = \frac{2,0 \cdot 10^{-3}}{0,080} = 0,025$$

Tehát a gyenge sav disszociációfoka 0,025.

4. Mekkora annak az ecetsavoldatnak a molaritása, amelynek a pH-ja megegyezik a  $2,00 \cdot 10^{-4}$  M kénsav pH-jával?  $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup>.



Az ecetsav, mint gyenge sav



Mivel  $[\text{H}^+] = [\text{CH}_3\text{COO}^-]$

$$K_s = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

Feltételezve, hogy  $[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{egyensúlyi}} = [\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{bemérési}}$

$$K_s = \frac{(4,00 \cdot 10^{-4})^2}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{bemérési}}}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{bemérési}} = \frac{(4,00 \cdot 10^{-4})^2}{1,85 \cdot 10^{-5}} = \frac{16,00 \cdot 10^{-8}}{1,85 \cdot 10^{-5}} = 8,65 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Tehát az ecetsavoldat koncentrációja  $8,7 \cdot 10^{-3}$  M.

5. Mennyi a  $6,0 \cdot 10^{-3}$  M magnézium-klorid-oldatban a magnézium- és a kloridionok mol/dm<sup>3</sup> koncentrációja, és mennyi az oldat ionerőssége?

Teljes mértékű disszociációt feltételezve:

$$\begin{aligned} [\text{Mg}^{2+}] &= 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ M} \\ [\text{Cl}^-] &= 12,0 \cdot 10^{-3} \text{ M} \end{aligned}$$

Az oldat ionerőssége:

$$I = \frac{6,0 \cdot 10^{-3} \cdot 4 + 12,0 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{2} = \frac{0,024 + 0,012}{2} = 0,018 \text{ M}$$

Tehát az oldat ionerőssége  $0,018$  M.

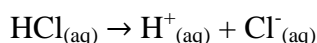
6. Mennyi lesz az m/V%-os összetétele annak az ammóniaoldatnak, aminek a pH-ja 10,70?  $K_b = 1,79 \cdot 10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup>.
7. Hány %-ban disszociál az ecetsav olyan vizes oldata, amelyben 0,1 M ecetsav van?  $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup>.
8. Mekkora annak az ammóniaoldatnak a molaritása, amely 0,5%-ban disszociál?  $K_b = 1,19 \cdot 10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup>.

9. A hidrogén-cianid 0,375 M vizes oldatában a disszociációfok  $3,57 \cdot 10^{-3} \%$ .  
Mekkora a disszociációs egyensúlyi állandó ( $K_s$ ) értéke?
10. A 0,01 M hidrogén-fluorid-oldatban az anionkoncentráció  $7,6 \cdot 10^{-3}$  M.  
Hányszorosára kell az oldatot hígítani, hogy a disszociáció 90%-os legyen?

#### VII.4.2.2 Hidrogénion-koncentráció

1. Mennyi a pH-ja 25°C-on a 0,050 M sósavoldatnak?

Teljes disszociációt feltételezve:



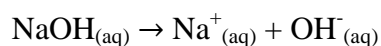
$$[\text{H}^+] = 0,050 \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log 0,050 = 1,30$$

Tehát az oldat pH-ja 1,30.

2. Mennyi a pH-ja 25°C-on a 0,44 m/V%-os nátrium-hidroxid-oldatnak?  
 $M(\text{NaOH}) = 40,0 \text{ g/mol}$

Teljes disszociációt feltételezve:



$$100 \text{ ml oldatban} \quad 0,44 \text{ g NaOH}$$

$$1000 \text{ ml oldatban} \quad x \text{ g NaOH}$$

---


$$x = 4,4 \text{ g}$$

$$1 \text{ mol NaOH} \quad 40 \text{ g}$$

$$x \text{ mol NaOH} \quad 4,4 \text{ g}$$

---


$$x = \frac{4,4}{40} = 0,11 \text{ mol}$$

Tehát  $[\text{NaOH}] = [\text{OH}^-] = 0,11 \text{ mol}$

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 0,11 = 0,96$$

$$\text{pH} = 14 - 0,96 = 13,04$$

Tehát az oldat pH-ja 13,04.

3. Mennyi a vízionszorzat 32°C-on, ha a  $2,00 \cdot 10^{-2}$  M nátrium-hidroxid-oldat pH-ja 12,05?

Definíció szerint:

$$[\text{H}^+] = 10^{-12,05} = 8,91 \cdot 10^{-13} \text{ M}$$

Teljes disszociációt feltételezve:



$$[\text{OH}^-] = [\text{NaOH}] = 2,00 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$K_w = 8,91 \cdot 10^{-13} \cdot 2,00 \cdot 10^{-2} = 1,78 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$$

Tehát a víz ionszorzata 32°C-on  $1,78 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$ .

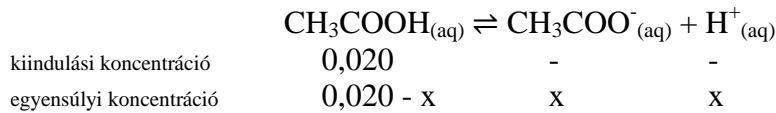
4. Mennyi a pH-ja 0,120 m/V%-os ecetsavoldatnak?  $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .  
 $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,01$

100 ml oldatban	0,120 g ecetsav
1000 ml oldatban	x g ecetsav
x = 1,20 g	

1 mol ecetsav	60,01 g
x mol ecetsav	1,20 g
x = $\frac{1,20 \cdot 1}{60,01} = 0,020 \text{ mol}$	

$$x = \frac{1,20 \cdot 1}{60,01} = 0,020 \text{ mol}$$

Az ecetsav disszociációja:



$$K_s = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{x \cdot x}{0,020 - x}$$

Az ecetsav kismértékű disszociációjára való tekintettel:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{egyensúlyi}} \cong [\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{kiindulási}}$$

$$K_s = \frac{x^2}{0,020} = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$x = \sqrt{1,85 \cdot 10^{-5} \cdot 0,020} = \sqrt{3,7 \cdot 10^{-7}} = 6,08 \cdot 10^{-4}$$

Tehát az oldat hidrogénion koncentrációja  $6,08 \cdot 10^{-4} \text{ M}$ .

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$\text{pH} = -\log 6,08 \cdot 10^{-4} = 3,2$$

Tehát az ecetsavoldat pH-ja 3,2.

5. Mennyi a m/V% koncentrációja, a molaritása és a normalitása annak a kénsavoldatnak, melynek a pH-ja 2,30.  $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,0 \text{ g/mol}$

Feltételezve, hogy a kénsav teljes mértékben disszociál:



$$[\text{H}^+] = 2 \cdot [\text{H}_2\text{SO}_4]$$

Definíció alapján:

$$[\text{H}^+] = 10^{-2,30} = 5,01 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Így:

$$[\text{H}_2\text{SO}_4] = \frac{5,01 \cdot 10^{-3}}{2} = 2,505 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Tehát az oldat molaritása  $2,51 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ .

Mivel 1 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 2$  ekvivalens  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , az oldat normalitása:

$$c = 2 \cdot 2,505 \cdot 10^{-3} = 5,01 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Tehát az oldat normaitása  $5,01 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ .

1000 ml oldatban	$2,505 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$
100 ml oldatban	x mol
$x = 2,505 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$	

1 mol $\text{H}_2\text{SO}_4$	98,0 g
$2,505 \cdot 10^{-4} \text{ mol H}_2\text{SO}_4$	x g
$x = 2,505 \cdot 10^{-4} \cdot 98,0 = 0,0245 \text{ g}$	

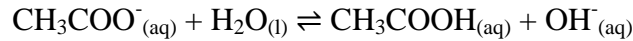
Tehát a kénsavoldat 0,025 m/V%-os.

6. Egy 1.8 pH-jú sósavoldat hány mg HCl-t tartalmaz  $\text{cm}^3$ -enként?  $M(\text{HCl}) = 36,46 \text{ g/mol}$ .
7. Mennyi a 0,005 M kénsavoldat pH-ja?
8. Mennyi a 0,005 M kénessavoldat pH-ja? ( $K_s = 1,54 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ )
9. Mennyi a 0,05 M ammóniaoldat pH-ja? ( $\alpha = 0,012$ ;  $K_b = 1,79 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ ).
10. Hány % hidrogén-fluorid van disszociált állapotban a 0,1 M 2,24-es pH-jú kémhatású oldatban?
11. Hány gramm nátrium-hidroxidot tartalmaz annak az oldatnak 200,0  $\text{cm}^3$  térfogata, amelynek a pH-ja ugyanakkora, mint a 0,1 M koncentrációjú ammóniaoldaté? ( $K_b = 1,79 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ ).
12. Mennyi a 0,15 M ecetsavoldat pH-ja? ( $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ ).
13. Hányszorosára kell hígítani a 0,01 M ecetsavoldatot, hogy a pH-ja egy egységgel változzon? ( $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ ).
14. 100  $\text{cm}^3$  2,0 m/V%-os kénsavoldatot 500  $\text{cm}^3$ -re hígítunk. Milyen pH-jú oldatot kapunk?  $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,08$
15. Milyen arányban kell összeönteni egy pH = 3,0 és egy pH = 5,0 kémhatású sósavoldatot, hogy a keletkezett oldat pH-ja 4,0 legyen?

### VII.4.2.3 Hidrolízis

1. Mekkora a vízben oldott 0,010 M nátrium-acetát-oldat pH-ja?  $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup>.

Az acetátion vízben lúgosan hidrolizál:



Az acetátion, mint bázisra jellemző disszociációs állandó:

$$K_b = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

$$K_b = \frac{K_v}{K_s} = \frac{1,0 \cdot 10^{-14}}{1,85 \cdot 10^{-5}} = 5,41 \cdot 10^{-10} \text{ mol/dm}^3$$

Mivel

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{OH}^-], \text{ és}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{bemérési}} = [\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{egyensúlyi}}:$$

$$K_b = \frac{[\text{OH}^-]^2}{0,01} = 5,41 \cdot 10^{-10} \text{ (mol dm}^{-3}\text{)}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{5,41 \cdot 10^{-10} \cdot 1,0 \cdot 10^{-2}} = 2,33 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

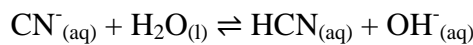
$$\text{pOH} = -\log 2,33 \cdot 10^{-4} = 3,63$$

$$\text{pH} = 14,0 - 3,63 = 10,37$$

Tehát az oldat pH-ja 10,4.

- c.) Mennyi a 0,10 M kálium-cianid vizes oldatának pH-ja?  $K_s = 6,2 \cdot 10^{-10}$  mol/dm<sup>3</sup>

A cianidion vízben lúgosan hidrolizál:



A cianidra, mint bázisra jellemző disszociációs állandó:

$$K_b = \frac{[\text{HCN}][\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]}$$

mivel

$$K_b = \frac{K_v}{K_s} = \frac{1,0 \cdot 10^{-14}}{6,2 \cdot 10^{-10}} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

Mivel

$$[\text{HCN}]_{\text{aq}} = [\text{OH}^-]$$

$$K_b = \frac{[\text{OH}^-]^2}{[\text{CN}^-]}$$

Mivel a hidrolízis kismértékű  $[\text{CN}^-]_{\text{bemérési}} \cong [\text{CN}^-]_{\text{egyensúlyi}}$

Így:

$$K_b = \frac{[\text{OH}^-]^2}{0,10} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{0,10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-5}} = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

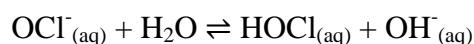
$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 1,26 \cdot 10^{-3} = 2,90$$

$$\text{pH} = 14,0 - 2,90 = 11,10$$

Tehát az oldat pH-ja 11,1.

2. NaOCl 0,040 M vizes oldata 0,22 %-ban hidrolizál. Milyen ionok és molekulák, milyen koncentrációban találhatók az oldatban?  $K_s = 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3$ .

A hipokloritonok vízben lúgosan hidrolizálnak:



$$K_b = \frac{[\text{HOCl}][\text{OH}^-]}{[\text{OCl}^-]}$$

Mivel az oldatban  $[\text{OH}^-] = [\text{HOCl}]$ , és

$$[\text{OCl}^-]_{\text{bemérési}} \cong [\text{OCl}^-]_{\text{egyensúlyi}}$$

$$\text{Hidrolízis \%} = \frac{[\text{HOCl}]}{0,040} \cdot 100 = 0,22 \%$$

Így az oldatban levő ionok molaritása a következő:

$$[\text{HOCl}] = \frac{0,22 \cdot 0,040}{100} = 8,8 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

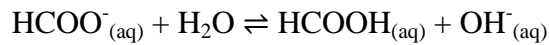
$$[\text{OH}^-] = [\text{HOCl}] = 8,8 \cdot 10^{-5} \text{ M}, \text{ és}$$

$$[\text{OCl}^-] \cong 0,04 \text{ M}$$



3. Mennyi annak a kálium-formiát-oldatnak a molaritása, amelynek a pH-ja 9,21?  $K_s = 1,77 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ .

Vizes oldatban a formiátion lúgosan hidrolizál



$$K_b = \frac{[\text{HCOOH}][\text{OH}^-]}{[\text{HCOO}^-]}$$

$$K_b = \frac{K_v}{K_s} = \frac{1,00 \cdot 10^{-14}}{1,77 \cdot 10^{-4}} = 5,65 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3.$$

Az oldat kémhatása alapján:

$$\text{pOH} = 14,0 - 9,21 = 4,79$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-4,79} = 1,62 \cdot 10^{-5}$$

mivel az oldatban

$$[\text{OH}^-] = [\text{HCOOH}], \text{ és}$$

$$[\text{HCOO}^-]_{\text{bemérés}} \cong [\text{HCOO}^-]_{\text{egyensúlyi}}$$

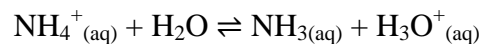
$$K_b = \frac{[\text{OH}^-]^2}{[\text{HCOO}^-]}$$

$$[\text{HCOO}^-] = \frac{K_b}{[\text{OH}^-]^2} = \frac{5,65 \cdot 10^{-11}}{(1,62 \cdot 10^{-5})^2} = \frac{5,65 \cdot 10^{-11}}{2,62 \cdot 10^{-10}} = 2,16 \cdot 10^{-1} = 0,216 \text{ M}$$

Tehát a kálium-formiát-oldat koncentrációja 0,22 M.

4. Mennyi a 0,050 M vizes ammónium-szulfát-oldat pH-ja?  $K_b = 1,79 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .

Vizes oldatban az ammóniumion savasan hidrolizál:



Az ammóniumion, mint savra jellemző disszociációs állandó:

$$K_s = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$K_s = \frac{K_v}{K_b} = \frac{1,00 \cdot 10^{-14}}{1,79 \cdot 10^{-5}} = 5,59 \cdot 10^{-10} \text{ mol/dm}^3$$

Mivel az oldatban

$$[\text{NH}_3] = [\text{H}^+], \text{ és}$$

$$[\text{NH}_4^+]_{\text{bemérési}} \cong [\text{NH}_4^+]_{\text{egyensúlyi}} = 0,10 \text{ M}$$

$$K_s = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{0,10}$$

$$[H^+] = \sqrt{5,59 \cdot 10^{-10} \cdot 0,10} = 7,48 \cdot 10^{-6} \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log 7,48 \cdot 10^{-6} = 5,13$$

Tehát az oldat pH-ja 5,13.

- Mekkora a 0,050 M nátrium-karbonát-oldat pH-ja?  $K_{s1} = 4,3 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ ,  $K_{s2} = 5,6 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3$ .
- Számítsa ki az 0,050 M benzoésav- és a 0,050 M nátrium-benzoát-oldatok pH-ját!  $\text{p}K_s = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .
- A nátrium-fenolát 0,020 M-os oldatának a pH-ja 11,10. Mekkora a fenol savi disszociációs állandója?
- A nátrium-szalicilát 12,0 m/V%-os oldatának a pH-ja 8,42. Mekkora szalicilsav disszociációs állandója?  $M(\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3) = 160,1 \text{ g/mol}$ .
- Hány mól nátrium-acetát kell 500,0 cm<sup>3</sup> olyan oldat készítéséhez, amelynek pH-ja 8,89?  $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .

#### VII.4.2.4 Oldhatósággal kapcsolatos feladatok

- Hány dm<sup>3</sup> víz szükséges 1,00 g BaSO<sub>4</sub> feloldásához?  $K_{sp} = 1,00 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$ .  $M(\text{BaSO}_4) = 233,4$

Mivel az oldatban  $[\text{Ba}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}]$

$$K_{sp} = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = [\text{Ba}^{2+}]^2 = 1,00 \cdot 10^{-10}$$

tehát:  $[\text{Ba}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}] = 1,00 \cdot 10^{-5} \text{ M}$

1 mól BaSO <sub>4</sub>	233,4 g
x mól BaSO <sub>4</sub>	1,00 g

$$x = \frac{1,00}{233,4} = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

1,00 dm <sup>3</sup> vízben	1,00 · 10 <sup>-5</sup> mol BaSO <sub>4</sub>
x dm <sup>3</sup> vízben	4,28 · 10 <sup>-3</sup> mol BaSO <sub>4</sub>

$$x = \frac{4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 1,00}{1,00 \cdot 10^{-5}} = 428 \text{ dm}^3$$

Tehát 1,00 g BaSO<sub>4</sub> feloldásához 428 dm<sup>3</sup> víz kell.

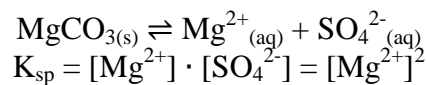
2.  $400,0 \text{ cm}^3$  vízben  $0,312 \text{ g}$  magnezit oldódik fel. Mennyi a  $\text{MgCO}_3$  oldhatósági szorzata? ( $M(\text{MgCO}_3) = 84,3 \text{ g/mol}$ )

$$\begin{array}{r} 400,0 \text{ cm}^3 \text{ vízben} \\ 1000,0 \text{ cm}^3 \text{ vízben} \end{array} \quad \begin{array}{r} 0,312 \text{ g MgCO}_3 \text{ oldódik} \\ x \text{ g MgCO}_3 \text{ oldódik} \end{array}$$

$$x = \frac{1000,0 \cdot 0,312}{400,0} = 0,78 \text{ g}$$

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mól MgCO}_3 \\ x \text{ mól MgCO}_3 \end{array} \quad \begin{array}{r} 84,3 \text{ g} \\ 0,78 \text{ g} \end{array}$$

$$x = \frac{0,78 \cdot 1}{84,3} = 9,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$



$$K_{sp} = (9,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (9,25 \cdot 10^{-3}) = 8,56 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$$

Tehát a  $\text{MgCO}_3$  oldhatósági szorzata  $8,56 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$ .

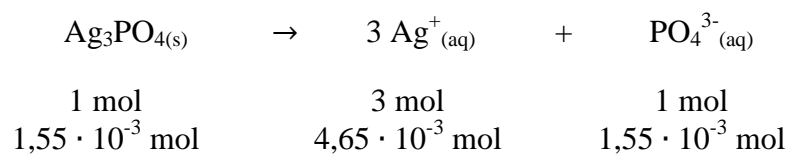
3.  $200,0 \text{ cm}^3$  telített  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ -oldat  $130,0 \text{ mg}$  sót tartalmaz oldott állapotban. Számítsuk ki a vegyület oldhatósági szorzatát. ( $M(\text{Ag}_3\text{PO}_4) = 418,6 \text{ g/mol}$ )

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mmól Ag}_3\text{PO}_4 \\ x \text{ mmól Ag}_3\text{PO}_4 \end{array} \quad \begin{array}{r} 418,6 \text{ mg} \\ 130,0 \text{ mg} \end{array}$$

$$x = \frac{130,0 \cdot 1}{418,6} = 0,31 \text{ mmol}$$

$$\begin{array}{r} 200,0 \text{ cm}^3 \text{ oldatban} \\ 1000 \text{ cm}^3 \text{ oldatban} \end{array} \quad \begin{array}{r} 0,31 \text{ mmól Ag}_3\text{PO}_4 \\ x \text{ mol Ag}_3\text{PO}_4 \end{array}$$

$$x = \frac{0,31 \cdot 1000}{200,0} = 1,55 \text{ mmol} = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$



$$K_{sp} = [\text{Ag}^+]^3 [\text{PO}_4^{3-}]$$

$$K_{sp} = (4,65 \cdot 10^{-3})^3 (1,55 \cdot 10^{-3}) = 1,00 \cdot 10^{-7} \cdot 1,55 \cdot 10^{-3} = 1,55 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^4/\text{dm}^{12}$$

Tehát az ezüst-foszfát oldhatósági szorzata  $1,55 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^4/\text{dm}^{12}$ .

4. Várható-e  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  csapadék kiválása, ha  $1,00 \text{ dm}^3$   $0,10 \text{ M}$   $\text{AgNO}_3$ -oldatot elegyítünk  $0,20 \text{ cm}^3$   $49,0 \text{ m/m}\%$   $1,380 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű kénsavoldattal?  $K_{\text{sp}} = 7,70 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{dm}^9$ ;  $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,0 \text{ g/mol}$

$$\begin{array}{r} 1,00 \text{ cm}^3 \text{ kénsavoldat tömege} \quad 1,380 \text{ g} \\ 0,20 \text{ cm}^3 \text{ kénsavoldat tömege} \quad x \text{ g} \\ \hline \end{array}$$

$$x = \frac{0,20 \cdot 1,380}{1,00} = 0,276 \text{ g}$$

$$\begin{array}{r} 100 \text{ g kénsavoldatban} \quad 49,0 \text{ g H}_2\text{SO}_4 \\ 0,276 \text{ g kénsavoldatban} \quad x \text{ g H}_2\text{SO}_4 \\ \hline \end{array}$$

$$x = \frac{0,276 \cdot 49,0}{100} = 0,135 \text{ g}$$

$$\begin{array}{r} 98,0 \text{ g H}_2\text{SO}_4 \quad 1 \text{ mól} \\ 0,135 \text{ g H}_2\text{SO}_4 \quad x \text{ mól} \\ \hline \end{array}$$

$$x = \frac{0,135 \cdot 1}{98,0} = 0,138 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Így a kénsavoldat koncentrációja:

$$\begin{array}{r} 0,20 \text{ cm}^3 \text{ oldatban} \quad 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ mól kénsav} \\ 1000 \text{ cm}^3 \text{ oldatban} \quad x \text{ mól kénsav} \\ \hline \end{array}$$

$$x = \frac{1,38 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3}{0,20} = 6,9 \cdot 10^{-1} \text{ M}$$

Elttekintve az oldat elegyítésekor bekövetkező térfogatváltozástól:

$$[\text{Ag}^+] = 10^{-1} \text{ M}$$

Figyelembe véve a kénsavoldat hígulását:

$$c_1 \cdot V_1 = c_0 \cdot V_0$$

$$6,9 \cdot 10^{-1} \cdot 0,20 = c_0 \cdot 1000,20$$

$$c_0 = \frac{6,9 \cdot 10^{-1} \cdot 0,20}{1000,20} = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$c_0 = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

Tehát

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

Az oldatba kerülő ionkoncentrációk megfelelő hatványon vett szorzata:

$$L = [\text{Ag}^+]^2 [\text{SO}_4^{2-}] = (1,0 \cdot 10^{-1})^2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-4} = 1,38 \cdot 10^{-6} \text{ mol}^3/\text{dm}^9$$

*Mivel az oldatba kerülő ezüst- és szulfátionok ionszorzata ( $1,38 \cdot 10^{-6} \text{ mol}^3/\text{dm}^9$ ) kisebb, mint az  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  oldhatósági szorzata ( $7,70 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{dm}^9$ ), az oldatból nem válik le csapadék.*

5. Számítsuk ki az AgBr oldhatóságát  $5,0 \cdot 10^{-3}$  M-os KBr oldatban!  
 $K_{sp} = 6,4 \cdot 10^{-13} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$ .
6. Hány mg AgOH oldható fel  $18^\circ\text{C}$ -on  $1,0 \text{ dm}^3$  pH 13-as nátrium-hidroxid-oldatban?  $K_{sp}(\text{AgOH}) = 1,52 \cdot 10^{-8} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$   $M(\text{AgOH}) = 124,9 \text{ g/mol}$
7. Mennyi annak az oldatnak a pH-ja, amelyben  $0,10 \text{ g Ca(OH)}_2$ -t  $1,0 \text{ dm}^3$  vízben oldattak fel?  $K_{sp}(\text{Ca(OH)}_2) = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ mol}^3/\text{dm}^9$
8. Hány liter víz szükséges  $1,0 \text{ g BaSO}_4$  feloldásához, ha a  $\text{BaSO}_4$  oldhatósági szorzata  $1,1 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$ .  $M(\text{BaSO}_4) = 233,4 \text{ g/mol}$
9.  $10,0 \text{ dm}^3$  telített  $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ -oldat  $1,38 \text{ mg}$  sót old. Hányszorosára csökken az oldhatóság, ha  $1,64 \text{ g Na}_3\text{PO}_4$ -et adunk az oldathoz?  $M(\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2) = 811,5 \text{ g/mol}$
10. Számítsuk ki a kadmium-hidroxid oldhatósági szorzatát, ha a csapadék feletti oldat pH-ja 9,23.
11. Legfeljebb mekkora lehet a kalciumionok koncentrációja egy  $0,01 \text{ M}$  nátrium-flourid oldatban?  $K_{sp}(\text{CaF}_2) = 5 \cdot 10^{-11} \text{ mol}^3/\text{dm}^9$ .
12. Mekkora a kalcium-hidroxid oldhatósága a  $0,10 \text{ M Ba(OH)}_2$ -oldatban?  $K_{sp}(\text{Ca(OH)}_2) = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ mol}^3/\text{dm}^9$ .
13. Válik-e le ezüst-szulfát csapadék a telített AgBr-oldatból, ha a szulfát-koncentrációját szilárd  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  hozzáadásával, tehát gyakorlatilag hígulás nélkül  $0,003 \text{ mol/dm}^3$ -re állítjuk be?  $K_{sp}(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{dm}^9$ ,  $K_{sp}(\text{AgBr}) = 5,6 \cdot 10^{-13} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$ .
14.  $10,0 \text{ cm}^3$   $0,010 \text{ M Ba(NO}_3)_2$ -oldathoz  $10,0 \text{ cm}^3$  telített  $\text{CaSO}_4$ -oldatot öntünk, amelynek koncentrációja  $0,148 \text{ g/dm}^3$ . Válik-e le  $\text{BaSO}_4$  csapadék, ha az oldhatósági szorzata  $1,1 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$ ?
15. Számítsuk ki a telített  $\text{Mg(OH)}_2$ -oldatnak a pH-ját  $20^\circ\text{C}$ -on, ha az oldat  $1,90 \text{ g MgCl}_2$   $1,0 \text{ dm}^3$  vízben való feloldásával készül.  $K_{sp}(\text{Mg(OH)}_2) = 5,61 \cdot 10^{-12} \text{ mol}^3/\text{dm}^9$ ,  $M(\text{MgCl}_2) = 95,21 \text{ g/mol}$

#### VII.4.2.5 Pufferoldatok

1. Mennyi lesz a  $0,005 \text{ M}$  ecetsavat és  $5,0 \cdot 10^{-4} \text{ M}$  nátrium-acetátot tartalmazó elegy pH-ja?  $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .

A *Henderson-Hasselbach* egyenlet alapján:

$$pH = pK_s + \log \frac{[\text{acetát}]_{\text{bemérés}}}{[\text{ecetsav}]_{\text{bemérés}}}$$

$$pK_s = -\log 1,85 \cdot 10^{-5} = 4,73$$

$$pH = 4,73 + \log \frac{5,0 \cdot 10^{-4}}{5,0 \cdot 10^{-3}}$$

$$pH = 4,73 + \log 10^{-1}$$

$$pH = 3,73$$

Tehát az elegy pH-értéke 3,73.

2. Mennyi egy ammóniára és egy ammónium-kloridra nézve egyaránt 0,050 M oldat pH-ja?  $K_b = 1,79 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .

A *Henderson-Hasselbach* egyenlet alapján:

$$pOH = pK_b + \log \frac{[\text{ammónium-ion}]_{\text{bemérési}}}{[\text{ammónia}]_{\text{bemérési}}}$$

$$pK_b = -\log 1,79 \cdot 10^{-5} = 4,75$$

$$pOH = 4,75 + \log \frac{0,050}{0,050}$$

$$pOH = 4,75$$

$$pH = 14 - 4,75 = 9,25$$

Tehát az oldat pH-ja 9,25.

3. Mekkora a sav és a só aránya abban az ecetsav/nátrium-acetát elegyben, melynek a pH-ja 4,30?  $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .

A *Henderson-Hasselbach* egyenlet alapján:

$$pH = pK_s + \log \frac{[\text{acetát}]_{\text{bemérési}}}{[\text{ecetsav}]_{\text{bemérési}}}$$

$$pK_s = -\log 1,85 \cdot 10^{-5} = 4,73$$

$$4,30 = 4,73 + \log \frac{[\text{acetát}]_{\text{bemérési}}}{[\text{ecetsav}]_{\text{bemérési}}}$$

$$-0,43 = \log \frac{[\text{acetát}]_{\text{bemérési}}}{[\text{ecetsav}]_{\text{bemérési}}}$$

$$0,37 = \frac{[\text{acetát}]_{\text{bemérési}}}{[\text{ecetsav}]_{\text{bemérési}}}$$

Tehát a pufferben a só:sav arány 0,37:1.

4. Milyen formiát/hangyasav arány szükséges a  $pH = 3,30$  kémhatású hangyasav/nátrium-formiát pufferoldat készítéséhez?  $K_s = 1,78 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ .

$$pH = pK_s + \log \frac{[\text{formiát}]_{\text{bemérési}}}{[\text{hangyasav}]_{\text{bemérési}}}$$

$$pK_s = -\log 1,78 \cdot 10^{-4} = 3,75$$

$$3,30 = 3,75 + \log \frac{[\text{formiát}]_{\text{bemérési}}}{[\text{hangyasav}]_{\text{bemérési}}}$$

$$-0,45 = \log \frac{[\text{formiát}]_{\text{bemérsi}}}{[\text{hangyasav}]_{\text{bemérsi}}}$$

$$0,35 = \frac{[\text{formiát}]_{\text{bemérsi}}}{[\text{hangyasav}]_{\text{bemérsi}}}$$

Tehát a pufferben a só:sav arány 0,35:1.

5.  $10,0 \text{ cm}^3$   $0,20 \text{ M}$  nátrium-acetát-oldathoz  $10,0 \text{ cm}^3$   $0,30 \text{ M}$  ecetsavoldatot adunk. Mekkora a keletkező oldat pH-ja? Mekkora a pH változása  $5,00 \text{ cm}^3$   $0,10 \text{ M}$  nátrium-hidroxid-oldat hatására?  $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .

A két oldat koncentrációja összeöntéskor felére csökken. Így a keletkező elegyben:

$$[\text{CH}_3\text{COONa}] = 0,10 \text{ M}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,15 \text{ M}$$

$$\text{p}K_s = -\log 1,85 \cdot 10^{-5} = 4,73$$

A Henderson-Hasselbach egyenlet alapján:

$$\text{pH} = \text{p}K_s + \log \frac{[\text{acetát}]_{\text{bemérsi}}}{[\text{ecetsav}]_{\text{bemérsi}}}$$

$$\text{pH} = 4,73 + \log \frac{0,10}{0,15}$$

$$\text{pH} = 4,73 + \log 0,67 = 4,73 - 0,18$$

$$\text{pH} = 4,55$$

Tehát a keletkező oldat pH-ja 4,55.

$10,0 \text{ cm}^3$   $0,20 \text{ M}$  nátrium-acetát-oldatban:  $10,0 \cdot 0,20 = 2,00 \text{ mmol}$  nátrium-acetát;

$10,0 \text{ cm}^3$   $0,30 \text{ M}$  ecetsavoldatban:  $10,0 \cdot 0,30 = 3,00 \text{ mmol}$  ecetsav;

$5,00 \text{ cm}^3$   $0,10 \text{ M}$  nátrium-hidroxid-oldatban:  $5,00 \cdot 0,10 = 0,50 \text{ mmol}$  nátrium-hidroxid található.

Összeöntés után az elegy pH-ja:

$$\text{pH} = 4,73 + \log \frac{2,00 + 0,50}{3,00 - 0,50}$$

$$\text{pH} = 4,73 + \log \frac{2,50}{2,50}$$

$$\text{pH} = 4,73$$

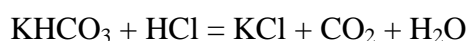
Tehát az elegy kémhatása nátrium-hidroxid hozzáadása után pH 4,73 lesz.

6.  $40,0 \text{ cm}^3$   $0,8 \text{ M}$ -os nátrium-formiát-oldathoz  $40,0 \text{ cm}^3$   $1,2 \text{ M}$  hangyasav-oldatot adunk. Mekkora a keletkező oldat pH-ja? Mekkora a pH-változása  $20,0 \text{ cm}^3$   $0,4 \text{ M}$  nátrium-hidroxid-oldat hatására?  $K_s = 1,78 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ .
7.  $20,0 \text{ cm}^3$   $0,4 \text{ M}$  nátrium-acetát-oldathoz  $20,0 \text{ cm}^3$   $0,6 \text{ M}$  ecetsavoldatot adunk. Mekkora a keletkező oldat pH-ja? Mekkora a pH változása  $10,0 \text{ cm}^3$   $0,1 \text{ M}$  salétromsav hatására?  $K_s = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .
8. Mekkora térfogatarányban kell összeönteni az  $1,0 \text{ M}$  ammóniaoldat és az  $1,0 \text{ M}$  ammónium-klorid-oldatokat, hogy  $8,50 \text{ pH}$ -jú oldatokat kapjunk?  $K_b = 1,79 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .
9. Hányad részére csökken a  $0,10$  mólos hangyasavoldatban a hangyasav disszociációfoka, ha literenként  $0,05 \text{ mol}$  nátrium-formiátot oldunk benne?  $K_s = 1,78 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ .
10. Azonos molaritású hidrogén-cianidot és kálium-cianidot tartalmazó vizes oldat pH-ja  $9,32$ . Mekkora a hidrogén-cianid disszociációs egyensúlyi állandója?

#### VII.4.2.6 Sav-bázis titrálás

1. Pontosan bemért  $0,1979 \text{ g}$  kálium-hidrogén-karbonát titrálására  $20,00 \text{ cm}^3$  közelítően  $0,1 \text{ M}$  sósavoldat fogyott. Számítsa ki a sósavoldat pontos koncentrációját.  $M(\text{KHCO}_3) = 100,12$

A meghatározás alapját képező egyenlet:



$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol KHCO}_3 \\ x \text{ mol KHCO}_3 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 100,12 \text{ g} \\ 0,1979 \text{ g} \end{array}$$

$$x = \frac{0,1979}{100,12} = 1,977 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Mivel  $1 \text{ mól KHCO}_3$   $1 \text{ mól HCl}$ -vel reagál:

$$\begin{array}{r} 20 \text{ cm}^3 \text{ mérőoldatban} \\ 1000 \text{ cm}^3 \text{ mérőoldatban} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1,977 \cdot 10^{-3} \text{ mol HCl} \\ x \text{ mol HCl} \end{array}$$

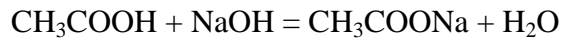
$$x = \frac{1,977 \cdot 10^{-3} \cdot 1000}{20} = 0,09885 \text{ mol}$$

Tehát a sósav-mérőoldat pontos koncentrációja  $0,0989 \text{ M}$ .



2. Hány mg ecetsav van egy 5,0 cm<sup>3</sup> borecet-mintában, ha 0,1000 M nátrium-hidroxid-oldattal titrálva a mérőoldat fogyása 35,00 cm<sup>3</sup> volt.  $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05$

A meghatározás alapját képező egyenlet:



1000 cm <sup>3</sup> mérőoldatban	0,1000 mol NaOH
35,00 cm <sup>3</sup> mérőoldatban	x mol NaOH

$$x = \frac{35,00 \cdot 0,1000}{1000} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Mivel 1 mól ecetsav 1 mól nátrium-hidroxiddal reagál:

5,0 cm<sup>3</sup> borecet-mintában 3,5 · 10<sup>-3</sup> mól ecetsav található

1 mol ecetsav	60,05 g
3,5 · 10 <sup>-3</sup> mol ecetsav	x g

$$x = 60,05 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} = 0,210 \text{ g}$$

*Tehát az 5,0 cm<sup>3</sup> borecet-mintában 0,210 g ecetsav van.*

3. 10,00 cm<sup>3</sup> ammóniaoldatra 7,35 cm<sup>3</sup> 0,0488 M kénsav-mérőoldat fogyott. Hány mg nitrogén volt az oldatban?  $M(\text{N}) = 14,01$ .

A meghatározás alapját képező egyenlet:



1000,00 cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -mérőoldatban	0,0488 mol H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
7,35 cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -mérőoldatban	x mol H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

$$x = \frac{7,35 \cdot 0,0488}{1000,00} = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Mivel 1 mól kénsav 2 mól ammóniával reagál:

1000 cm<sup>3</sup> ammóniaoldatban 2 · 3,59 · 10<sup>-4</sup> = 7,18 · 10<sup>-4</sup> mól ammónia található.

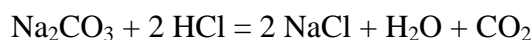
1 mol ammóniában	14,01 g N
7,18 · 10 <sup>-4</sup> mol ammóniában	x g N

$$x = 7,18 \cdot 10^{-4} \cdot 14,01 = 0,0101 \text{ g}$$

*Tehát az oldatban 0,0101 g nitrogén található.*

4. 150,0 mg analitikailag tiszta nátrium-karbonátra 30,06 cm<sup>3</sup> sósav-mérőoldat fogy. (A reakcióban a karbonácion teljes mennyiségben szén-dioxiddá és vízzé alakul.) Számítsa ki a sósav-mérőoldat pontos molaritását.  $M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 105,99$ .

A meghatározás alapját képező egyenlet:



1 mol Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	105,99 g
x mol Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,1500 g

$$x = \frac{0,1500}{105,99} = 1,42 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Mivel 1 mól nátrium-karbonát 2 mól sósavval reagál:

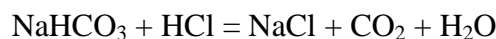
30,06 cm <sup>3</sup> sósav-mérőoldatban	2,84 · 10 <sup>-3</sup> mol HCl
1000 cm <sup>3</sup> sósav-mérőoldatban	x mol HCl

$$x = \frac{1000 \cdot 2,84 \cdot 10^{-3}}{30,06} = 0,0945 \text{ mol}$$

Tehát a sósav-mérőoldat pontos koncentrációja 0,0945 M.

5. Sósavval nem reagáló szennyezést tartalmazó nátrium-hidrogén-karbonát 1,0365 g-ját 100,00 cm<sup>3</sup> desztillált vízben, mérőlombikban feloldjuk. Az oldatból kiveszünk 10,00 cm<sup>3</sup>-t és azt 0,1010 M sósavval megtitráljuk. A fogyott mérőoldat mennyisége 10,45 ml volt. A szennyezett anyag hány %-a volt tiszta nátrium-hidrogén-karbonát?  $M(\text{NaHCO}_3) = 84,01 \text{ g/mol}$

A meghatározás alapját képező egyenlet:



1000 cm <sup>3</sup> sósav-mérőoldatban	0,1010 mol HCl
10,45 cm <sup>3</sup> sósav-mérőoldatban	x mol HCl

$$x = \frac{10,45 \cdot 0,1010}{1000} = 1,055 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

A megtitrált 10,00 cm<sup>3</sup>-es mintában 0,10365 g NaHCO<sub>3</sub> van oldva.

1 mol NaHCO <sub>3</sub>	84,01 g
1,055 · 10 <sup>-3</sup> mol NaHCO <sub>3</sub>	x g

$$x = 1,055 \cdot 10^{-3} \cdot 84,01 = 0,08867 \text{ g}$$

0,10365 g NaHCO <sub>3</sub>	100 %
0,08867 g NaHCO <sub>3</sub>	x %

$$x = \frac{0,08867 \cdot 100}{0,10365} = 85,55 \%$$

Tehát a szennyezett anyag 85,55 %-a NaHCO<sub>3</sub>.

## VIII Komplexképződési egyensúlyok

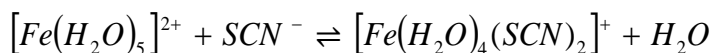
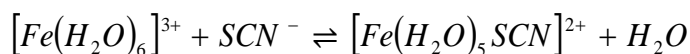
A szervetlen és szerves vegyületek biológiai szempontból egyik legfontosabb csoportját az ún. *komplex vegyületek* képezik. Komplex vegyületeknek azokat a vegyületeket nevezzük, melyekben egy központi fémionhoz (ritkábban fématomhoz) koordinációs kötéssel két vagy több ion vagy molekula kapcsolódik. Ezekben az összetett vegyületekben (ionokban) tehát megkülönböztethetők a központi fémionok (fématomok) és az azokhoz kapcsolódó ionok vagy molekulák, az ún. ligandumok. Az utóbbiak képezik az ún. *első koordinációs övet*.

A komplex ion töltése a *központi ion* és a *ligandumok* töltésének algebrai összege. Ha a ligandumok töltése nem kompenzálja túl a központi ion pozitív töltését, akkor *komplex kation*, ha a ligandumok negatív töltéseinek összege nagyobb, mint a központi fémion pozitív töltése, akkor *komplex anion* alakul ki. Előfordul az az eset is, hogy a koordinációs övben elhelyezkedő negatív ionok éppen semlegesítik a központi ion pozitív töltését (pl. a  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)\text{Cl}_3]$  komplex vegyületben) vagy 0 oxidációs számú fématomhoz töltéssel nem rendelkező ligandumok kapcsolódnak. Utóbbi esetre példa a  $[\text{Fe}(\text{CO})_4]$  komplex vegyület.

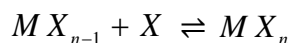
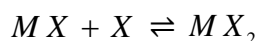
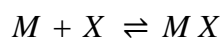
Az I. koordinációs övezeten kívül helyezkedik el a II. koordinációs szféra, ahol elektrolitosan gyakorlatilag teljesen disszociáló ionok foglalnak helyet. A második koordinációs zóna ionjai vizes oldatban izolált, hidratált ionokként viselkednek. Így pl. a  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]_2(\text{SO}_4)_3$  vegyület vizes oldatából a  $\text{SO}_4^{2-}$ -ionokat báriumionnal teljesen le lehet választani. Ezzel szemben a  $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$  komplex só vizes oldatából az ezüstiont kloridionnal nem lehet leválasztani, az oldatban gyakorlatilag nincsenek izolált, hidratált ezüstionok.

A komplex ionok különleges esetét képezik azok, amelyeknek liganduma vízmolekula. A vízmolekula nagy dipólusmomentuma következtében igen alkalmas koordinációs kötésben való részvételre. Ezen kötés következtében szokás a kationok hidratációjában résztvevő vízmolekulákat, mint az akvakomplex ligandumjait értelmezni. A fémionok és az azokhoz kapcsolódó vízmolekulák között kialakuló koordinatív kötés különböző erősségű lehet. A csekély komplexképzési hajlamú alkálifémek esetében a kötés laza, míg néhány fémion (pl.  $\text{Fe}(3+)$ ion vagy  $\text{Al}(3+)$ ion) esetén olyan erős, hogy a vízmolekulákból a második koordinációs szférában lévő vízmolekulák – sav-bázis reakcióban – protont vesznek át. Az első koordinációs övben lévő ligandum ekkor hidroxidion formájában marad vissza, más szóval a komplex hidrolizál. Az akvakomplexek stabilitása tehát a gyenge hidratációtól az erős kötődésig terjed.

Stabilis akvakomplexek esetén az erősen kapcsolódó ligandumokkal lezajló komplexképződés már tulajdonképpen a ligandumok kicserélődését jelenti, illetve az egyik (akva) komplex átalakulását egy másik komplexbe. Ez a kicserélődés több egymást követő lépésben lejátszódó folyamat, melyek során a központi fémionhoz kapcsolódó vízmolekulák kicserélődése egymást követő egyensúlyi folyamatok révén játszódik le:



A fentiek alapján a komplexekben a kapcsolódás erőssége különböző lehet, és ez szabja meg azok *termodinamikai stabilitását*. Ha a központi fémiont M-mel, a ligandumokat X-szel jelöljük (de a töltésüket nem tüntetjük fel), a komplexképződési egyensúlyokat a következő módon tüntethetjük fel:



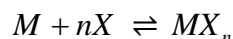
A komplexképződési reakció mindegyik lépésére felírható az egyensúlyi folyamatot jellemző stabilitási állandó:

$$K_1 = \frac{[MX]}{[M] \cdot [X]}$$

$$K_2 = \frac{[MX_2]}{[MX] \cdot [X]}$$

$$K_n = \frac{[MX_n]}{[MX_{n-1}] \cdot [X]}$$

A  $K_1, K_2, \dots, K_n$  értékeket a kérdéses komplex *lépcsőzetes stabilitási (képződési) állandóinak* nevezzük, ami a megfelelő disszociációállandó reciprokértékével egyenlő. A lépcsőzetes stabilitási állandók mellett az *összetett (kumulált) stabilitási állandót (komplex szorzatot) ( $\beta_n$ )* is használjuk:



$$\beta_n = \frac{[MX_n]}{[M][X]^n}$$

ahol,  $\beta_n$  a lépcsőzetes stabilitási állandók szorzataként adódik.

Tapasztalati tény, hogy a komplexképződés gyakran nem pillanatszerűen lejátszódó folyamat. E tapasztalat értelmezése során vegyük figyelembe, hogy a ligandumokat nem szabad központi fémiont kapcsolja magához, hanem az újonnan bekötődő ligandumoknak előbb a már a központi fémionhoz kapcsolódott ligandumokat (pl. vízmolekulákat) kell a koordinációs helyekről kiszorítaniuk. Ha ez a kicserélődés lassan megy végbe a komplexeket kinetikailag *inert*, ha a szabad ligandum gyorsan kicserélődik a komplex ionban kötöttel, a komplex kinetikailag *labilis*.

## VIII.1 Bemutató: Komplex sók képződése

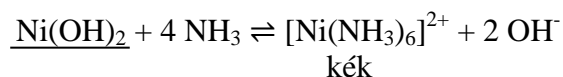
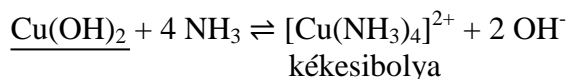
Két kémcső egyikébe öntsünk 1 cm<sup>3</sup> 0,2 M réz(II)-szulfát-oldatot, a másik kémcsőbe 1 cm<sup>3</sup> 0,5 M nikkell(II)-szulfát-oldatot. Mindkét kémcsőben lévő oldathoz adjunk tömény ammóniaoldatot, amíg csapadék nem képződik. Jegyezzük fel a csapadékok színét. Ezt követően adjunk mindkét kémcső tartalmához további ammóniaoldatot, míg a csapadékok fel nem oldódnak. Jegyezzük fel a keletkező oldat színét.

A kísérlet értelmezése:

A réz(II)-szulfát-, illetve nikkell(II)-szulfát-oldathoz adott ammóniaoldat hatására előbb mindkét kémcsőből kiválik a megfelelő hidroxid-csapadék:



A kivált csapadékok további ammóniaoldat hozzáadásakor komplexképződés közben feloldódnak:



## VIII.2 Elvégzendő feladatok:

### VIII.2.1 [Tetraammin-réz(II)]-szulfát-víz (1/1) ([Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>](SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O) előállítása

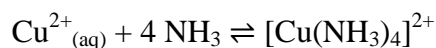
Réz(II)-sók vizes oldatából vizes ammóniaoldat hatására vízben oldhatatlan bázisos réz-sók válnak ki, melyek további ammóniaoldat hozzáadásakor komplexképződés közben feloldhatók. Mivel alkoholok csökkentik a keletkező komplex só oldhatóságát, a komplex só mélykék színű kristályok formájában hűtésre kiválik az oldatból.

Mozsárban elporított kristályos réz-szulfátból (CuSO<sub>4</sub> · 5 H<sub>2</sub>O) táramérlegesen mérjük le 5 grammot. A kimért kristályokat oldjuk fel 5 cm<sup>3</sup> desztillált vízben, majd fülke alatt adagoljunk hozzá 7,5 cm<sup>3</sup> tömény ammóniaoldatot. Ha az oldat alján világoskék csapadék maradna, kis részletekben adjunk hozzá még annyi ammóniaoldatot, ami a csapadék feloldásához szükséges. Az oldathoz adjunk 10 cm<sup>3</sup> metanolt, és az óraüveggel lefedett oldatot helyezzük 1-2 órán keresztül jeges vízbe. A kivált mélykék színű kristályokat Büchner-tölcséren, szívópalack segítségével kiszűrjük, majd kevés metanol-tömény ammónia 1:1 (V/V) eleggyel mossuk, a terméket kevés metanollal átöblítjük és levegőszívattal szárítjuk. A kristályokat tömegmérés után jól záró edényben tároljuk.

### VIII.3 Számítási feladatok

1.  $20,00 \text{ cm}^3$   $5,0 \cdot 10^{-1} \text{ M}$  ammóniaoldathoz  $5,00 \text{ cm}^3$   $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ M}$  réz(II)-szulfát-oldatot adunk. Számítsuk ki a szabad réz(II)ion koncentrációját! ( $\beta_4 = 2,0 \cdot 10^{12} \text{ dm}^{12}/\text{mol}^4$ )

A reakcióban [tetraammin-réz(II)] komplex ion képződik:



A komplex kumulatív stabilitási állandója:

$$\beta_4 = \frac{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}}{[\text{Cu}^{2+}][\text{NH}_3]^4} \text{ dm}^{12}/\text{mol}^4$$

Mivel jó közelítéssel  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} = [\text{Cu}^{2+}]_{\text{kezdeti}}$ , a komplexképződésre fogyott ammónia mennyiségét is figyelembe véve:

$$[\text{NH}_3]_{\text{egyensúlyi}} = [\text{NH}_3]_{\text{kezdeti}} - [\text{Cu}^{2+}]_{\text{kezdeti}}$$

Az oldatok keveredése okozta koncentrációváltozásokat figyelembe véve:

$$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{kezdeti}} = \frac{(5,00 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3})}{25,00} \text{ M};$$

illetve

$$[\text{NH}_3]_{\text{kezdeti}} = \frac{(20,00 \cdot 5,0 \cdot 10^{-1})}{25,00} \text{ M}$$

Így:

$$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} = \frac{(5,00 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3})}{25,00} \text{ M}$$

$$\beta_4 = 2,0 \cdot 10^{12} = \frac{\frac{(5,00 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3})}{25,00}}{[\text{Cu}^{2+}] \left[ \frac{(20,00 \cdot 5,0 \cdot 10^{-1})}{25,00} - \frac{(5,00 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3})}{25,00} \right]^4} \text{ dm}^{12}/\text{mol}^4$$

$$[\text{Cu}^{2+}] = \frac{(2,0 \cdot 10^{-4})}{2,0 \cdot 10^{12} \cdot (4,0 \cdot 10^{-1} - 2,0 \cdot 10^{-4})^4} \text{ M}$$

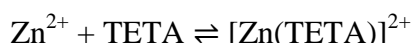
Elhanyagolva az ammónia koncentrációjában bekövetkező változást:

$$[\text{Cu}^{2+}] = \frac{(2,0 \cdot 10^{-4})}{2,0 \cdot 10^{12} \cdot (4,0 \cdot 10^{-1})^4} = \frac{2,0 \cdot 10^{-4}}{2,0 \cdot 10^{12} \cdot 2,56 \cdot 10^{-2}} = 3,906 \cdot 10^{-15} \text{ M}$$

Tehát az oldatban a szabad réz(II)ionok koncentrációja  $3,9 \cdot 10^{-15} \text{ M}$ .

2. Mennyi a szabad cinkion koncentrációja abban az oldatban, ami  $20,00 \text{ cm}^3$   $0,01 \text{ M}$  cink(II)-nitrát- és  $30,00 \text{ cm}^3$   $0,01 \text{ M}$  trietilén-tetramin-oldatok elegyítésével készült? Elegyítéskor csak 1:1 összetételű komplex képződik. ( $\beta = 1,0 \cdot 10^{12} \text{ dm}^3/\text{mol}$ )

A cinkionok és a trietilén-tetramin (TETA) molekulák közötti komplekképződési reakció:



Az oldatok elegyítését követően a reagensek koncentrációja:

$$[\text{Zn}^{2+}]_{\text{kezdeti}} = \frac{(20,00 \cdot 0,01)}{50,00} = 0,004 \text{ M}$$

$$[\text{TETA}]_{\text{kezdeti}} = \frac{(30,00 \cdot 0,01)}{50,00} = 0,006 \text{ M}$$

Gyakorlatilag minden cinkion elreagál, így:

$$[\text{TETA}]_{\text{egyensúlyi}} = 0,002 \text{ M}$$

$$[\text{Zn}(\text{TETA})^{2+}]_{\text{egyensúlyi}} = 0,004 \text{ M}$$

A komplekképződési állandójának ismeretében:

$$\beta = \frac{[\text{Zn}(\text{TETA})^{2+}]}{[\text{Zn}^{2+}][\text{TETA}]} \text{ dm}^3/\text{mol}$$

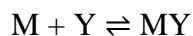
$$10^{12} = \frac{0,004}{[\text{Zn}^{2+}] \cdot 0,002}$$

$$[\text{Zn}^{2+}] = \frac{0,004}{10^{12} \cdot 0,002} = 2 \cdot 10^{-12} \text{ M}$$

Tehát az oldatban a szabad cinkionok koncentrációja  $2 \cdot 10^{-12} \text{ M}$ .

3. Egy MY komplex stabilitási állandója  $\beta = 2,0 \cdot 10^3 \text{ dm}^3/\text{mol}$ . Mennyi a szabad fémion koncentrációja a komplex  $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ M}$  oldatában?

A komplexképződési folyamat stabilitási állandója:



$$\beta = \frac{[\text{MY}]}{[\text{M}][\text{Y}]}$$

Mivel a komplex disszociációja során a fémionok és a ligandumok száma megegyezik:

$$[\text{M}] = [\text{Y}]$$

valamint a komplex egyensúlyi koncentrációjára felírható:

$$[\text{MY}]_{\text{egyensúlyi}} = [\text{MY}]_{\text{kezdeti}} - [\text{M}]$$

$$\beta = \frac{[\text{MY}]_{\text{kezdeti}} - [\text{M}]}{[\text{M}]^2}$$

$$2,0 \cdot 10^3 = \frac{2,0 \cdot 10^{-3} - [\text{M}]}{[\text{M}]^2}$$

$$2,0 \cdot 10^3 [\text{M}]^2 = 2,0 \cdot 10^{-3} - [\text{M}]$$

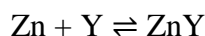
$$2,0 \cdot 10^3 [\text{M}]^2 + [\text{M}] - 2,0 \cdot 10^{-3} = 0$$

$$[\text{M}]_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - (4 \cdot 2,0 \cdot 10^3 \cdot (-2,0 \cdot 10^{-3}))}}{2 \cdot 2,0 \cdot 10^3} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 16}}{4,0 \cdot 10^3} = \frac{1 \pm 4,12}{4,0 \cdot 10^3} = \frac{5,12}{4,0 \cdot 10^3} = 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Tehát az oldatban a szabad fémion koncentráció  $1,28 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ .

4. Egyik cink-EDTA (ZnY) komplex stabilitási állandója  $\beta = 3,0 \cdot 10^{16} \text{ dm}^3/\text{mol}$ , vizes oldatának koncentrációja  $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ M}$ . A ZnY oldat  $0,100 \text{ M}$  EDTA (Y) oldatban készült. Mennyi az oldat szabad cinkion-koncentráció?

Az oldatban lejátszódó komplexképződési reakció (a töltések jelzését elhanyagolva):



A keletkező komplex stabilitási állandója:

$$\beta = \frac{[\text{ZnY}]}{[\text{Zn}][\text{Y}]}$$



Mivel a komplex só oldása 0,100 M EDTA (Y)-oldatban történt:

$$[Y] = 1,00 \cdot 10^{-1} \text{ M}$$

Ennek figyelembevételével:

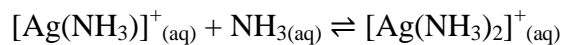
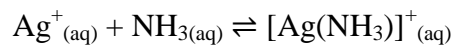
$$\beta = 3,0 \cdot 10^{16} = \frac{2,0 \cdot 10^{-2}}{[Zn] \cdot 1,00 \cdot 10^{-1}}$$

$$[Zn] = \frac{2,0 \cdot 10^{-2}}{3,0 \cdot 10^{16} \cdot 1,00 \cdot 10^{-1}} = 6,7 \cdot 10^{-18} \text{ M}$$

Tehát az oldatban a szabad cinkion-koncentráció  $6,7 \cdot 10^{-18} \text{ M}$ .

5. Mi az ezüstionok egyensúlyi koncentrációja, és milyen formában lesz jelen az  $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ M}$  ezüst-nitrát- és  $1,0 \cdot 10^{-1} \text{ M}$  ammóniaoldat elegyében? ( $K_1 = 2,0 \cdot 10^2 \text{ mol/dm}^3$ ;  $K_2 = 2,0 \cdot 10^7 \text{ mol/dm}^3$ )

Az oldatban lejátszódó komplekképződési folyamatok:



Így:

$$K_1 = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)]^+}{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]}$$

$$K_2 = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)]^+[\text{NH}_3]}$$

E kifejezésekből:

$$\beta_2 = K_1 \cdot K_2 = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2}$$

$$\beta_2 = 2,0 \cdot 10^2 \cdot 2,0 \cdot 10^7 = 4,0 \cdot 10^9 \text{ dm}^6/\text{mol}^2$$

Feltételezve, hogy az ezüstionok gyakorlatilag teljes mértékben a maximális koordinációs számú komplex  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  formában vannak jelen:

$$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = [\text{Ag}^+]_{\text{kezdeti}}, \text{ illetve}$$

$$[\text{NH}_3] = 1,0 \cdot 10^{-1} - (2,0 \cdot 10^{-2}) = 8,0 \cdot 10^{-2}$$

Ezt helyettesítve a  $\beta_2$  kifejezésbe:

$$[\text{Ag}^+] = \frac{1,0 \cdot 10^{-2}}{4,0 \cdot 10^9 \cdot (8,0 \cdot 10^{-2})^2} = \frac{1,0 \cdot 10^{-2}}{2,56 \cdot 10^7} = 3,91 \cdot 10^{-10} \text{ M}$$

Az egyes formák koncentrációi:

$$[\text{Ag}(\text{NH}_3)^+] = 2,0 \cdot 10^2 \cdot 3,91 \cdot 10^{-10} \cdot 8,0 \cdot 10^{-2} = 62,56 \cdot 10^{-10} = 6,26 \cdot 10^{-9} \text{ M}$$

$$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] = 2,0 \cdot 10^7 \cdot 7,81 \cdot 10^{-8} \cdot 6,4 \cdot 10^{-3} = 50,05 \cdot 10^{-6} = 5,01 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

*Tehát az oldatban található ezüstionok megoszlása a következő:*

$$[\text{Ag}^+] = 3,91 \cdot 10^{-10} \text{ M}$$

$$[\text{Ag}(\text{NH}_3)^+] = 6,26 \cdot 10^{-9} \text{ M}$$

$$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] = 5,01 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

## IX Elektrokémia

### IX.1 Redoxireakciók

Az elektrokémia a kémiai reakciók által kiváltott elektromos jelenségekkel, valamint az elektromos áram hatására bekövetkező kémiai változásokkal foglalkozik. Mindkét változás alapját az elektronátmenettel járó kémiai reakciók, az ún. *redoxi-reakciók képezik.*

*Redoxireakcióknak* azokat a kémiai reakciókat nevezzük, amelyekben elektronátadás történik egyik részecskéről egy másikra. *Oxidáció minden olyan reakció, amelyben egy anyag (atom, ion, molekula) elektront ad le. Redukció során elektronfelvétel történik.* Az oxidáció és a redukció mindig együtt játszódik le, az oxidációt mindig redukció kíséri és a redukcióval egyidőben mindig oxidáció is végbemegy.

A redoxireakciók további jellegzetességeit, a reakciók rendezésének alapelveit a II. fejezet tárgyalja.

### IX.2 Elektromos áram termelése kémiai folyamatokban

A kémiai reakciók által kiváltott elektromos jelenségek közös jellemzője, hogy az elektronátmenettel járó kémiai reakció (redoxireakció) önként végbemenő folyamat. Az önként végbemenő redoxireakciók irányát a reakció alapját képező redoxirendszerek egymáshoz viszonyított redoxipotenciáljának nagysága határozza meg.

Az elemeket elektrokémiai szempontból az eredeti *Nernst-egyenlet*ből levezethető elektródpotenciállal jellemezhetjük. Fémes elemek elektródpotenciálját 25°C hőmérsékleten a következő összefüggés alapján számíthatjuk:

$$E = E_0 + \frac{0,059}{n} \log c$$

ahol

$E$  = az aktuális elektródpotenciál;

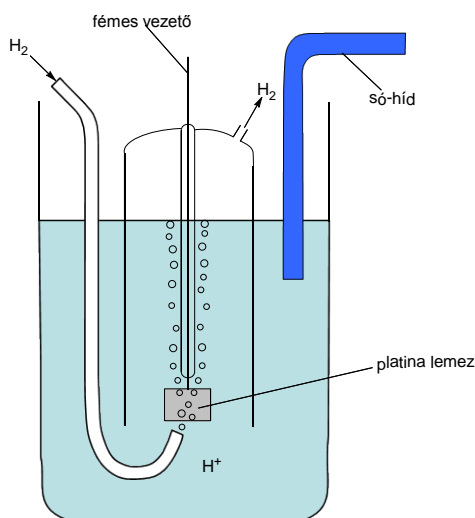
$E_0$  = a standard elektródpotenciál;

$n$  = a redoxireakció során bekövetkező elektronszám(töltés)-változás; és

$c$  = az elem oxidált formájának aktivitása (koncentrációja) ( $\text{mol}/\text{dm}^3$ ).

Az elemek (és további, elemi formákat nem tartalmazó reverzibilis redoxirendszerek) elektród-, illetve redoxipotenciáljának meghatározása csak potenciálkülönbségek mérése alapján lehetséges. Az elektródpotenciálokat az ún. *standard hidrogénelektrod* potenciáljával történő összehasonlítás alapján határozzák meg. A standard hidrogénelektrod (IX-1. ábra) potenciálját önkényesen 0 voltban definiálták ( $E_0 = 0,00\text{V}$ ).

**IX-1. ábra:** A hidrogénelektrod összeállítása



Az elemek standard elektródpotenciáljához hasonlóan kísérletesen meghatározható bármely más reverzibilis redoxirendszer potenciálja is. E meghatározások során a reverzibilis redoxirendszer oxidált és redukált formáját is tartalmazó oldatba egy redoxiszempontból indifferens (nehezen oxidálható) fém, pl. platinaszálat merítünk, és az így kapott elektród (redoxielektrod) potenciálját a standard hidrogénelektroddal összekapcsolva mérjük. A redoxpotenciál értékek a *Nernst*-egyenlet alapján számíthatók, melyek 25°C hőmérsékletre vonatkoztatott formája a következő:

$$E = E_0 + \frac{0,059}{n} \log \frac{[ox]}{[red]}$$

ahol

$E$  = az aktuális redoxipotenciál

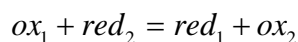
$E_0$  = a standard redoxipotenciál

$n$  = a redoxireakció során bekövetkező elektronszám változás

$[ox]$  = az oxidált forma aktivitása (koncentrációja) ( $\text{mol/dm}^3$ )

$[red]$  = a redukált forma aktivitása (koncentrációja) ( $\text{mol/dm}^3$ )

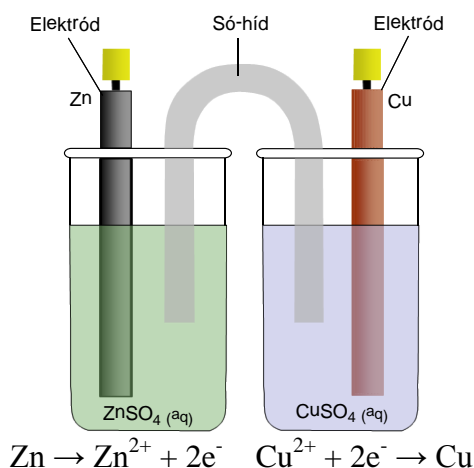
Az elektród- és redoxipotenciál-értékek összehasonlítása alapján megállapítható két redoxirendszer között lejátszódó elektronátmenettel járó önkéntesen lejátszódó folyamat iránya:



Amennyiben az önkéntesen lejátszódó redoxireakció iránya a fenti egyenletnek megfelelő, úgy megállapítható, hogy  $E(ox_1/red_1) > E(ox_2/red_2)$ . Szavakkal kifejezve: önként lejátszódó redoxireakciókban a pozitívabb elektród (redox) potenciállal rendelkező redoxirendszer oxidálja a nála negatívabb (kevésbé pozitív) redox-rendszert.

Az elektród(redox)potenciálok mérése során a kérdéses elektródot egy standard hidrogénelektroddal áramkörre kapcsolva egy ún. *galvánelemet* készítünk. A cink- és rézelektrodok összekapcsolásával készített ún. *Daniell-elem* felépítését a IX-2. ábra mutatja be.

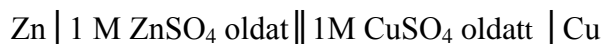
## IX-2. ábra: A Daniell-elem vázlata



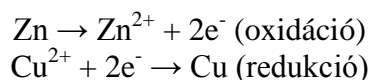
A galvánelem egy-egy redoxirendszerét ( $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$  és  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$ ) képviselő félcellákat tekintjük elektródnak. Gyakran rövidített jelölést alkalmazunk a galvánelemek leírására. A résztvevő anyagokat (utalva koncentrációjukra, gázoknál nyomásukra) képlettel, a fázishatárt függőleges vonallal, míg a sóhidat kettős függőleges vonallal jelöljük. Bal oldalra kerül az oxidálódó elektród, melyet *anódnak*, jobb oldalra pedig a redukálódó elektród, melyet *katódnak* nevezünk.



A galvánelemekben az oxidáció (pl.  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+}$ ) és a redukció ( $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}$ ) térben elkülönítve játszódik le, így az elektronátmenet elektromos áram termelésére használható. Galvánelem készítésére bármilyen két reverzibilis redoxrendszer felhasználható. A Daniell-elem fenti, egyszerűsített formában történő leírása így a következő:



A galvánelemek olyan berendezések, melyekben az anódon (negatív pólus) oxidáció, és ettől térben elválasztva, a katódon (pozitív pólus) redukció játszódik le. Az áramtermeléshez szükséges ionvándorlást a sóhíd biztosítja. A redoxreakció a két félcella-reakció formájában játszódik le:



A galvánelem *elektromotoros ereje* (EME) a két elektród között árammentes állapotban mérhető elektromos potenciálkülönbség. Az elektromotoros erő az oxidációs és a redukciós potenciálok összegeként számítható:

$$EME = E_{\text{red, katód}} + E_{\text{ox, anód}}$$

Mivel az elektród(redox)potenciálokat egységesen a redukciós folyamatokra adják meg, így az oxidációs potenciál:

$$E_{\text{ox, anód}} = -E_{\text{red, katód}}$$

Ennek megfelelően az elektromotoros erő a katód és az anód potenciálkülönbségeként is megadható:

$$EME = \Delta E = E_{\text{red, katód}} - E_{\text{red, anód}}$$

Mindezt a Daniell-elem példája a következőképpen mutatja be:

$$E_{\text{Zn}} = E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 + \frac{0,059}{2} \log [\text{Zn}^{2+}], \text{ valamint}$$

$$E_{\text{Cu}} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 + \frac{0,059}{2} \log [\text{Cu}^{2+}]$$

ahol

$E_{\text{Zn}}^0$  = a cinkelektrod aktuális potenciálja

$E_{\text{Cu}}^0$  = a rézelektrod aktuális potenciálja

$E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0$  = a cinkelektrod standardpotenciálja ( $E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 = -0,76 \text{ V}$ )

$E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0$  = a rézelektrod standardpotenciálja ( $E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 = +0,34 \text{ V}$ ).

Feltételezve, hogy mindkét elektrod standard elektrod (a fémion-koncentráció mindkét elektrodban 1,0 M), a galvánelem elektromotoros erejét a következőképpen számolhatjuk ki:

$$EME = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}$$

$$EME = +0,35 \text{ V} - (-0,76 \text{ V}) = 1,10 \text{ V}$$

*Tehát a standard cinkelektrodból és rézelektrodból összeállított galvánelem elektromotoros ereje 1,10 V. A galvánelem működése során a cinkionok oxidálódnak, a rézionok redukálódnak.*

### IX.3 Elektrometriás pH-mérés

Laboratóriumi munka során gyakran előforduló feladat vizes oldatok pontos hidrogénion-koncentrációjának (pH-jának) meghatározása. Vizes oldatok hidrogénion-koncentrációjának meghatározását az elektrodpotenciálok koncentrációfüggése (lásd *Nernst-egyenlet*) alapján ún. potenciometriás módszerrel is elvégezhetjük.

A *Nernst-egyenlet* szerint egy hidrogénelektrod elektrodpotenciálja függ az elektrolit-oldat hidrogénion koncentrációjától:

$$E = E_{\text{H}^+/\text{H}_2}^0 + \frac{0,059}{1} \log [\text{H}^+]$$

ahol

$E$  = a hidrogénelektrod aktuális potenciálja

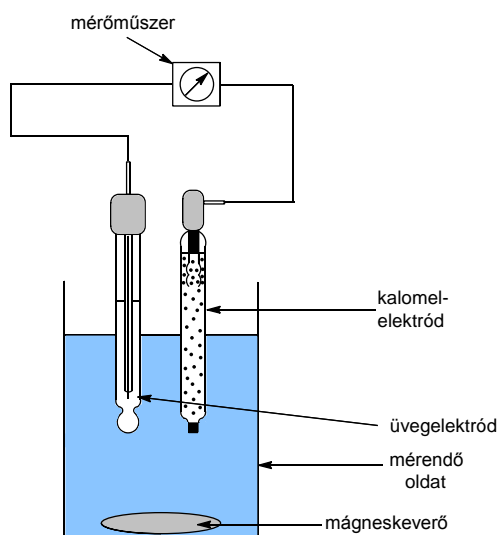
$E^0$  = a standard hidrogénelektrod potenciálja

$[\text{H}^+]$  = a hidrogénion koncentráció ( $\text{mol/dm}^3$ ).

Mivel egyetlen elektród potenciálját nem lehet megmérni, az ismeretlen hidrogénion-koncentrációjú oldatból készített hidrogénelektrodot egy másik, ún. összehasonlító elektróddal (referenciaelektroddal) galvánelemmé kapcsoljuk össze, és annak EME értékéből kiszámoljuk az ismeretlen hidrogénion-koncentrációt. Összehasonlító elektródként állandó elektródpotenciállal bíró, ún. másodfajú (fém/csapadék) elektródokat, pl. *kalomel-elektrod* ( $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ), vagy  $\text{Ag}/\text{AgCl}$ -elektrodot használunk.

Mivel a hidrogénelektrod használata a mindennapi laboratóriumi gyakorlatban számtalan nehézséggel jár, ma már mérőelektrodként leggyakrabban, ún. hidrogénion-szelektív elektródot (üvegelektrodot) használunk. Az üvegelektrodok működésének alapja, hogy ha üvegből vékonyfalú membránt készítünk és azt hidrogénionokat tartalmazó oldatba merítjük; az üvegmembrán két fala között fellépő potenciált az oldat hidrogénion-koncentrációja határozza meg. Következésképpen, ha egy ismeretlen hidrogénion-koncentrációjú oldatba üvegelektrodot merítünk és azt egy referenciaelektroddal galvánelemmé kapcsoljuk össze, akkor az így összeállított galvánelem EME értékét az oldat hidrogénion-koncentrációja határozza meg (IX-3-ábra).

### IX-3. ábra: Potenciometriás pH-mérés



## IX.4 Elektrolízis

Az elektromos áram hatására lejátszódó redoxireakciót elektrolízisnek nevezzük. Az elektrolizáló cellában lévő elektrolitba (ez lehet oldat vagy olvadék) két elektród merül. A két elektródra egyenáramot kapcsolva a cellában a pozitív és a negatív töltésű ionok elmozdulnak.

Az elektrolizáló cellában az alkalmazott egyenáram meghatározott feszültségértékénél (*bomlásfeszültség*) megindul a folyamatos elektrolízis. Az anódon (pozitív pólus) az anionok oxidációja, míg a katódok (negatív pólus) a kationok redukciója játszódik le.

A katódon olvadékok elektrolízise esetén a fémion redukálódik. Vizes oldatok elektrolízise esetén számolnunk kell a vízben lévő +1-es oxidációs számú hidrogénatomok redukációjával is. Az anódon általában az egyszerű anionok (pl.  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ) oxidálódnak. Ha az oldat összetett ionokat tartalmaz, akkor a víz oxigénje oxidálódik.

Az elektrolízis mennyiségi törvényszerűségei *Faraday* törvényeivel jellemezhetők. *Faraday I. törvénye* alapján, az elektródokon átalakuló anyag tömege ( $m$ ) egyenesen arányos az alkalmazott áramerősséggel ( $I$ ) és az elektrolízis időtartamával ( $t$ ):

$$m = k \cdot I \cdot t$$

ahol  $k = \text{arányossági tényező}$

Faraday II. törvénye szerint 1 mól  $z$  töltésű ion elektrolitikus átalakításához  $z \cdot 96500$  C töltés szükséges; vagyis az elektrolízishez szükséges töltés ( $Q$ ) egyenesen arányos az elektrolizálandó anyag mennyiségével ( $n$ ) és töltésével ( $z$ ).

$$Q = z \cdot n \cdot F$$

ahol  $F = 96500$  C/mol (Faraday-állandó)

A két törvény egyesítése útján kiszámítható az átalakuló anyagra jellemző arányossági tényező ( $k$ ):

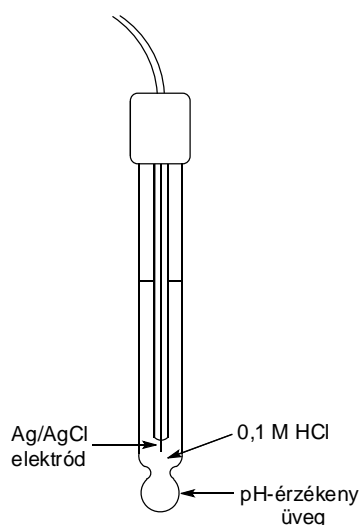
$$m = \frac{M}{z \cdot F} \cdot I \cdot t$$

$$k = \frac{M}{z \cdot F}$$

### IX.4.1 Bemutató: Ismeretlen hidrogénion-koncentrációjú oldat pH-jának potenciometriás meghatározása

A méréseket, ún. *kombinált üvegelektrod* alkalmazásával végezzük. A kombinált üvegelektrod (IX-4. ábra) két, koncentrikusan egymásba helyezett és "alul" a mérendő folyadékba érő részénél összeömlesztett üvegcső. A belső csőre forrasztják a pH-érzékeny – gömb alakú – membránt. Ez a mérőelektrod. A külső cső falába forrasztják a kerámia szűrőt és ebbe nyúlik a tú alakú ezüst/ezüst-klorid összehasonlító (referencia) elektród is.



**IX-4. ábra:** Kombinált üvegelektrod**Kalibrálás**

A mérés elvégzése előtt a készüléket kalibrálni kell.

A készüléket az ON/OFF gomb megnyomásával bekapcsoljuk. Kivesszük az elektródát a kálium-klorid-oldatból és desztillált vízzel alaposan leöblítjük, majd papírvatta segítségével szárazra töröljük. A CAL gomb segítségével kiválasztjuk a kalibráló oldatnak megfelelő pH-t. (pH = 4,00; 7,00 és 9,21 értékű hitelesített kalibráló oldataink vannak, ezek közül legalább 2 pH-értékre kalibráljuk a készüléket: 7,00 pH értékre minden esetben, ezen kívül 4,01-es pH értékre, ha savas pH-jú oldatot kívánunk készíteni, ill. 9,01-es pH értékre, ha lúgos pH-jú oldatot készítünk.) A száraz elektródát a kalibráló oldatba helyezzük, majd a CAL gomb újabb megnyomásával elindítjuk a kalibrációt, és megvárjuk, míg a kalibrálást a készülék elvégzi. Ezt egy csipogó hang jelzi. Az elektródát kivesszük a kalibráló oldatból és desztillált vízzel alaposan leöblítjük, majd papírvatta segítségével szárazra töröljük. A CAL gomb segítségével kiválasztjuk a következő kalibráló oldatnak megfelelő pH-t. A száraz elektródát a kalibráló oldatba helyezzük, majd a CAL gomb megnyomásával elindítjuk a kalibrációt és megvárjuk, míg a kalibrálást a készülék elvégzi. Az elektródát desztillált vízzel alaposan leöblítjük, papírvattával szárazra töröljük, mérésig az elektródát desztillált vízbe helyezzük.

**pH-mérés**

A mérést kalibráció után végezzük el.

Az elektródát desztillált vízzel leöblítjük, papírvattával szárazra töröljük, és a mérendő oldatba helyezzük. A READ gombbal visszatérünk a kalibrálásból a pH-méréshez. A pH érték végleges, ha a tizedespont villogása megszűnik. Mérés után az elektródát desztillált vízzel alaposan leöblítjük, és a következő mérésig 3 M KCl-oldatban tároljuk. A készüléket az ON/OFF gomb megnyomásával kikapcsoljuk.

## IX.5 Számítási feladatok

1. Mennyi a  $\text{Zn} \mid 0,15 \text{ mol/dm}^3 \text{ ZnSO}_4\text{-oldat} \parallel 0,32 \text{ mol/dm}^3 \text{ CuSO}_4\text{-oldat} \mid \text{Cu}$  összeállítású galvánelem elektromotoros ereje ( $25^\circ\text{C}$ -on)? Melyik az elem pozitív és negatív pólusa? ( $E_{\text{Cu}}^0 = +0,34 \text{ V}$ ;  $E_{\text{Zn}}^0 = -0,76 \text{ V}$ .)

A rézelektród potenciálja:

$$E_{\text{Cu}} = E_{\text{Cu}}^0 + \frac{0,059}{2} \cdot \lg [\text{Cu}^{2+}]$$

$$E_{\text{Cu}} = 0,34 + \frac{0,059}{2} \cdot \lg [\text{Cu}^{2+}]$$

$$E_{\text{Cu}} = 0,34 + (-0,0146) = 0,325 \text{ V}$$

A cinkelektród potenciálja:

$$E_{\text{Zn}} = E_{\text{Zn}}^0 + \frac{0,059}{2} \cdot \lg [\text{Zn}^{2+}]$$

$$E_{\text{Zn}} = -0,76 + \frac{0,059}{2} \cdot \lg 0,15$$

$$E_{\text{Zn}} = -0,76 + (-0,0243) = -0,784 \text{ V}$$

Az elem elektromotoros ereje:  $E = E_{\text{Cu}} - E_{\text{Zn}} = 0,325 - (-0,784) = 1,11 \text{ V}$

*Tehát az elem elektromotoros ereje 1,11 V; a negatív sarok a cinkelektród, a pozitív sarok a rézelektród lesz.*

2. Mekkora a potenciálja egy vas(III)-szulfátra  $0,70 \text{ M}$  és vas(II)-szulfátra  $0,30 \text{ M}$  redoxielektroádnak, ha a  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  rendszer standard redoxipotenciálja  $+0,77 \text{ V}$ ?

Redoxielektroádoknál a következő összefüggés segítségével számíthatjuk ki a redoxipotenciált:

$$E = E^0 + \frac{0,0591}{z} \cdot \lg \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]}$$

ahol

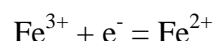
$E$  = redoxipotenciál

$E^0$  = standardpotenciál

$[\text{ox}]$  = oxidált forma koncentrációja =  $[\text{Fe}^{3+}]$

$[\text{red}]$  = redukált forma koncentrációja =  $[\text{Fe}^{2+}]$

$z$ : az elektroádfolyamatban bekövetkező oxidációs szám-változás



$$E = 0,77 \text{ V} + 0,0591 \cdot \lg \frac{0,70}{0,30} = 0,79 \text{ V}$$

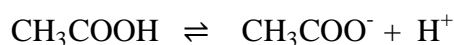
*Tehát, a  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  redoxielektroád potenciálja  $0,79 \text{ V}$ .*

3. Egy galvánelem egyik elektrolitja  $0,010 \text{ mol/dm}^3$  koncentrációjú, a másik pedig  $1,00 \text{ mol/dm}^3$  koncentrációjú ecetsavoldat. Az elem mindkét elektródja hidrogénelektrod. Határozzuk meg a negatív pólust és az elektromotoros erő nagyságát! Az ecetsav savi disszociációs állandója  $1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .

Az  $1,00 \text{ M CH}_3\text{COOH}$  illetve  $0,010 \text{ M CH}_3\text{COOH}$  elektrolitokat tartalmazó galvánelem egy hidrogénion-koncentrációs elem, melynek elektromotoros ereje a következő összefüggés segítségével számolható:

$$\text{EME} = 0,059 \cdot \lg \frac{[\text{H}^+]_1}{[\text{H}^+]_2} \quad [\text{H}^+]_1 > [\text{H}^+]_2$$

Az ecetsav egyensúlyi disszociációs állandójának ( $K_s$ ) ismeretében kiszámítható a különböző koncentrációjú oldatok hidrogénion koncentrációja:



$$K_s = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}^+] = x$$

$$K_s = \frac{x^2}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$x = \sqrt{K_s \cdot [\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$0,01 \text{ M CH}_3\text{COOH} : [\text{H}^+] = \sqrt{1,85 \cdot 10^{-5} \cdot 1,0 \cdot 10^{-2}} = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$1,00 \text{ M CH}_3\text{COOH} : [\text{H}^+] = \sqrt{1,85 \cdot 10^{-5} \cdot 1,00} = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{EME} = 0,059 \cdot \lg \frac{4,3 \cdot 10^{-3}}{4,3 \cdot 10^{-4}} = 0,059 \text{ V}$$

Tehát, a galvánelem (koncentrációs elem) elektromotoros ereje  $0,06 \text{ V}$ , a negatív pólus a hígabb ecetsav oldat.

4. Platinaelektrodok között  $\text{CuCl}_2$ -oldatot elektrolizálunk. Hány g réz és hány  $\text{dm}^3$  normálállapotú klórgáz válik le az elektródon, ha a berendezésen  $19300 \text{ coulomb}$  töltés halad át?

$$\begin{array}{r} 96500 \text{ coulomb} \quad \frac{63,5}{2} \quad \text{g rezt választ le} \\ 19300 \text{ coulomb} \quad x \quad \text{g rezt választ le} \\ \hline \end{array}$$

$$96500 : 19300 = 63,5/2 : x$$

$$x = \frac{63,5 \cdot 19300}{2 \cdot 96500} = 6,35 \text{ g réz}$$

$$\begin{array}{r} 96500 \text{ coulomb} \quad \frac{22,41}{2} \text{ dm}^3 \text{ Cl}_2\text{-gázt fejleszt} \\ 19300 \text{ coulomb} \quad x \text{ dm}^3 \text{ Cl}_2\text{-gázt fejleszt} \\ \hline \end{array}$$

$$96500 : 19300 = 22,41/2 : x$$

$$x = \frac{22,41 \cdot 19300}{2 \cdot 96500} = 2,24 \text{ dm}^3 \text{ Cl}_2$$

Tehát 19300 coulomb töltés hatására a pozitív póluson 2,24 dm<sup>3</sup> Cl<sub>2</sub>-gáz fejlődik, és a negatív póluson 6,35 g réz válik ki.

5. 200,0 g 10,0 m/m%-os réz(II)-szulfát-oldatot elektrolizálunk grafitelektródok között. Az elektrolízis során 800,0 cm<sup>3</sup> standardállapotú oxigéngáz fejlődik. Milyen az elektrolízis után az oldat m/m%-os összetétele? 1 mól standard állapotú gáz 24,5 dm<sup>3</sup> térfogatú. (M(Cu) = 63,55 g/mol; M(O<sub>2</sub>) = 32,00 g/mol; M(CuSO<sub>4</sub>) = 159,61 g/mol; M(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = 98,08 g/mol.)

A katódon réz válik ki, az anódon oxigéngáz fejlődik.



200,0 g 10,0 m/m%-os CuSO<sub>4</sub>-oldat 20,0 g CuSO<sub>4</sub>-ot tartalmaz.

$$n(\text{CuSO}_4) = 20,0/63,55 = 0,125 \text{ mol}$$

800,0 cm<sup>3</sup> standard állapotú O<sub>2</sub> anyagmennyisége:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol standard állapotú O}_2 \quad 24,5 \text{ dm}^3 \\ x \text{ mol standard állapotú O}_2 \quad 0,80 \text{ dm}^3 \\ \hline \end{array}$$

$$x = 0,80/24,5 = 0,0327 \text{ mol}$$

A fenti sztöchiometria alapján:

0,0327 mol O<sub>2</sub> fejlődésével párhuzamosan 2 · 0,0327 = 0,0654 mol Cu<sup>2+</sup>-ion redukálódik fém rézzé. Így az oldatban maradó réz mennyisége:

$$n(\text{Cu}^{2+}) = 0,1253 - 0,0654 = 0,0599 \text{ mol}$$

$$m(\text{CuSO}_4) = 0,0599 \cdot 159,61 = 9,56 \text{ g}$$

Tehát az eredeti oldat tömege csökken, mert

0,0327 mol O<sub>2</sub> fejlődik:  $m(\text{O}_2) = 0,0327 \cdot 32,00 = 1,05 \text{ g}$ , és

0,0654 mol Cu válik ki  $m(\text{Cu}) = 0,0654 \cdot 63,55 = 4,16 \text{ g}$

Az új oldat tömege:  $m(\text{oldat}) = 200 - (1,05 + 4,16) = 194,79 \text{ g}$

Az oldatban maradt CuSO<sub>4</sub> tömege:  $m(\text{CuSO}_4) = 9,58 \text{ g}$

Az új oldat m/m%-os összetétele:

$$m/m\% = \frac{9,58 \cdot 100}{194,79} = 4,92$$

Tehát az elektrolízis után az oldat 4,92 m/m%-os.

6. Az ón(II)-klorid-oldatba merülő ónlemez standard hidrogénelektroddal összekapcsolva a mért feszültség 0,30 V. Mekkora az  $\text{SnCl}_2$  koncentrációja az oldatban? Az  $\text{Sn}/\text{Sn}^{2+}$  rendszer standard elektródpotenciálja -0,14 V.
7. Mekkora az elektromotoros erő egy olyan koncentrációs elem elektródjai között, mely 0,20 M sósavoldatba és 0,05 M ecetsavoldatba merülő hidrogénelektrodokból áll? Az ecetsav savi disszociációs állandója  $1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .
8. Mekkora annak a galvánelemnek az elektromotoros ereje, melynek két ezüstelektrodja közül az egyik 0,40 M ezüst-nitrát-oldatba, a másik 0,02 M ezüst-nitrát-oldatba merül?
9. Két hidrogénelektrodot tartalmazó koncentrációs elem egyik elektrolitja 0,50  $\text{mol/dm}^3$  koncentrációjú ammóniaoldat. Mekkora a másik elektrolitoldat pH-ja, ha az elem két pólusa között mért elektromotoros erő 0,30 V volt? Az ammónia bázikus disszociációs állandója  $1,79 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .
10. Mekkora a disszociációfok a 0,10 mólos  $\text{ZnSO}_4$ -oldatban, ha a  $\text{Zn} \mid 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ M ZnSO}_4 \parallel 0,1 \text{ M ZnSO}_4 \mid \text{Zn}$  koncentrációs elemre  $E = 39 \text{ mV}$ , és a  $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ M ZnSO}_4$ -oldatban a disszociáció teljes?
11. Mekkora az  $\text{AgCl}$  oldhatósági szorzata, ha a  $\text{Ag} \mid \text{AgCl} \parallel 0,1 \text{ M Ag}^+ \text{-oldat} \mid \text{Ag}$  koncentrációs elem elektromotoros ereje +0,23 V?
12. Az  $\text{Pb} \mid \text{telített PbF}_2 + \text{NaF} \parallel$  elektród potenciálja -0,35 V. Mekkora az  $\text{PbF}_2$  oldhatósági szorzata, ha a  $\text{NaF}$ -oldatban  $[\text{F}^-] = 1,0 \text{ mol/dm}^3$ ?
13. Mennyi az  $m = k \cdot I \cdot t$  Faraday-féle törvényben a  $k$  arányossági tényező értéke az alumínium(III)-, vas(II)-, vas(III)- és nátriumionok elektrolízisének?
14. 5 órán keresztül 2,00 A áramerősséggel nátrium-klorid olvadékát elektrolizáljuk. Mekkora tömegű fémet nyerünk, ha az áramfelhasználás hatásfoka 85 %-os? 1 mol elektron töltése 96500 C.  $M(\text{Na}) = 22,99 \text{ g/mol}$ .
15. Nátrium-hidroxid híg oldatát 15,0 percen keresztül 1,70 A erősségű árammal elektrolizáljuk. Hány  $\text{dm}^3$  25°C hőmérsékletű, 93,4 kPa nyomású durranógáz fejlődik? Hogyan változik meg az elektrolízis folyamán az oldat töménysége?

## Irodalomjegyzék

P.W. Atkins:

Fizikai kémia I-III

Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.

Béni Szabolcs, Szakács Zoltán, Ungváriné Nagy Zsuzsanna:

Általános és Szervetlen Kémiai Gyakorlatok

Szerkesztette: Szakács Zoltán

Semmelweis Kiadó, Budapest, 2011.

Deli József, Fekete Tibor, Kele Marianna, Lóránd Tamás, Matus Zoltán, Molnár Péter, Ohmacht Róbert, Oszbach György, Perjési Pál, Szabó Tamás, Tóth Gyula:

Orvosi Kémiai Gyakorlatok

Szerkesztette: Oszbach György

Pécsi Tudományegyetem, Pécs, 1995.

Dolgosné Kovács Anita:

Általános Kémiai Praktikum

Környezetmérnök hallgatóknak

Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki Kar, Pécs, 2004.

Fodorné Csányi Piroska, Simándi László:

Szervetlen Kémiai Nevezéktan

Szerkesztette: Fodorné Csányi Piroska

Magyar Kémikusok Egyesülete, Budapest, 1994.

Gergely Pál, Erdődi Ferenc, Vereb György:

Általános és Bioszervetlen Kémia

Szerkesztette: Gergely Pál

Semmelweis Kiadó, Budapest, 2003.

Kiss László, Láng Győző:

Elektrokémia

Semmelweis Kiadó, Budapest, 2011.

Perjési Pál, Fodor Krisztina, Rozmer Zsuzsanna:

Gyógyszerészi Kémiai Gyakorlatok I.

Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Pécs, 2010.

Petz Andrea, Péczely Gábor:

Általános és Szervetlen Kémiai Laboratóriumi Gyakorlatok

Biológia szakos hallgatók részére

Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Pécs, 2005.

Szirovicza Lajos:

Laboratóriumi Gyakorlatok Általános Kémiából

Szeten-Györgyi Albert Orvostudományi Egyetem, Gyógyszerésztudományi Kar,

Szeged, 1994.

Tökés Béla, Donáth-Nagy Gabriella:

Kémiai Előadások és Laboratóriumi Gyakorlatok

Scientia Kiadó, Kolozsvár, 2002.