



EFOP-3.4.3-16-2016-00014

KÉMIA

Felzárkóztató tananyag élelmiszertudomány szakterületen
tanulmányokat folytató hallgatók részére

Szerkesztette: Szabó Mária
SZTE MK ÉMI

Jelen tananyag a Szegedi Tudományegyetemen készült az Európai
Unió támogatásával.

Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014

A jegyzetet lektorálta dr. Jójárt Balázs és Németh József Lukács

ISBN szám: 978-963-306-622-5

Bevezetés és célmeghatározás

A körülöttünk lévő világ megismerésében, a lejátszódó folyamatok miértjeinek megértésében elengedhetetlen fontosságú a természettudományos alapismeretek megszerzése, és azok készség szintű használata. Ezen alapismeretek egyike a kémiatudomány.

Az élelmiszer-mérnöki képzés egyik meghatározó alappillére a kémia magas szintű ismerete és összefüggéseinek felismerése, hiszen több technológiai jellegű tárgy erre a tudásbázisra alapoz.

Tapasztalataink szerint az egyetemi képzésbe érkező hallgatók meglehetősen hiányos ismeretekkel érkeznek a középiskolából. Pont ezért fontosnak tartjuk, hogy azt a szükséges ismeretanyagot, amire az egyetemi oktatás épül, a hallgatók kezébe adjuk ezen felzárkóztató tananyag formájában.

A tananyag segítséget nyújt az alapvető kémiai és tudományos gondolkodásmód kialakításához. Segítségével a hallgatók egy olyan tudásbázist szereznek meg, ami jelentősen megkönnyítheti a további tanulmányaikat.

A jegyzet megírásakor a tanulási eredmény alapú szemlélet szem előtt tartására törekedtünk. Jelen jegyzet elsajátítása után a hallgató a következő tanulási eredményekkel fog rendelkezni:

1; tudás

- Ismeri az általános kémiai alapfogalmakat.
- Érti a kötéstípusok és a rácsípusok közötti kapcsolatot
- Ismeri és érti a periódusos rendszer felépítését és a periodikusan változó tulajdonságokat.
- Jellemzi a reakciótípusokat.
- Ismeri és jellemzi a különféle anyagi halmazokat.

2; képesség

- Számítási feladatok megoldásakor alkalmazza az általános kémiai alapfogalmakat.

- A periódusos rendszer segítségével meg tudja mondani a kialakuló kötés milyenségét, jellemezni tudja a keletkező anyagféleséget, reakcióegyenleteket ír.
- Különbséget tesz a kémiai reakciók között, és magyarázza a változásokat.
- Magyarázza a kémiai kötések és az anyagi tulajdonságok kapcsolatát.

3; Attitűd

- Elfogadja a szakmai segítséget.
- Hajlandó bepótolni a szakterületen fellépő hiányosságait.
- Tudományos pontosságot igényel.

4; Autonómia, felelősség

- Önállóan old meg számolási feladatokat.
- Önállóan tanul, saját hibáit javítja.

Reményeink szerint a hallgatók újratanulhatják a középiskolában megismerteket, átismételhetik és elmélyíthetik azokat, és így sokkal könnyebben veszik majd az egyetemi képzés akadályait.

Tartalomjegyzék

Bevezetés és célmeghatározás.....	2
Tartalomjegyzék.....	4
A kémia tárgya és eredete	1
Felkészülést segítő kérdések	3
Anyagok és tulajdonságaik.....	4
Atomok.....	8
Felkészülést segítő kérdések	15
Periódusos rendszer.....	16
Felkészülést segítő kérdések	18
Az atomok és atomcsoportok kapcsolódása	19
Elsődleges kötések	19
Másodlagos kötések	24
Felkészülés segítő kérdések.....	28
Kristályszerkezetek.....	29
Ionos kristályok-ionrácsos anyagok	29
Kovalens kristályok-atomrácsos anyagok	31
Fémes kristályok-fémrácsos anyagok	31
Molekulakristályok- molekularácsos anyagok.....	33
Amorf anyagok.....	34
Felkészülést segítő kérdések	35
A kémiai reakciók	36
A reakciók típusai.....	37
A kémiai reakciók sebessége.....	38
Egyensúlyi reakciók	40



A katalizátorok hatása	43
Redoxireakciók.....	44
Savak és bázisok egyensúlya vizes közegben és a sav-bázis reakciók	47
Kémhatás	49
Felkészülést segítő kérdések	51
Keverékek, elegyek és azok összetétele	53
Felkészülést segítő kérdések	55
Feladatok	56
Az atom felépítése	56
Atomok kapcsolódása	58
Sztöchiometria.....	59
Feladat megoldás menete	59
Önállóan elvégzendő feladatok	60
Redoxi-reakciók	61
Sav-bázis egyensúlyok	62
Elegyek, oldatok összetétele	63
Feladatmegoldás menete	63
Önállóan elvégzendő feladatok	64
Összetett feladatok	65
Feladatok megoldása	67
Az atom felépítése	67
Atomok kapcsolódása	69
Sztöchiometria.....	71
Önállóan elvégzendő feladatok	71
Redoxi-reakciók	72
Sav-bázis egyensúlyok	73
Elegyek, oldatok összetétele	74
Önállóan elvégzendő feladatok	74
Összetett feladatok	75
Felhasznált irodalom	77

A kémia tárgya és eredete

A kémia a körülöttünk lévő anyagok tulajdonságaival, szerkezetével, összetételével és azok átalakulásaival foglalkozó tudományterület.

A természettudományok egyik viszonylag fiatal ágazata, 3-4000 éves. Azonban ennél régebbi „tudományos tevékenységek” is ebbe a témakörbe tartoznak.

Maga a kémia elnevezés az egyiptomi Kemi szóból ered, ami a fáraók nyelvén az ország nevét jelentette.

Az ókori egyiptomiak viszonylag sok kémiai ismerettel rendelkeztek. Orvosságokat és kozmetikai szereket gyártottak, textíliákat festettek vagy szappant főztek. Ez a gyakorlati tudás és az arisztotelészi filozófia (a világ 4 öselemből áll, amelyek különböző aránya alkotja a különböző anyagféléseket) ötvöződött, mikor Nagy Sándor elfoglalta Egyiptomot. Ekkor különféle kísérletezések vették kezdetüket, amik pedig a természettudományok fejlődésének elengedhetetlen feltételei. Az ókori Egyiptom legnagyobb kísérleti munkája az aranycsinálás volt, ami kémiai művészet néven vált ismertté, innen ered a kémia név, amit először a 4. szdban jegyezték le.

Az Arab Birodalom hódításai után, a már meglévő egyiptomi/makedón tudásanyag egyesült az arabok tudományával, és mivel az arabok arabosították a neveket, a kémiából alkímia lett. Majd közel kétezer éven keresztül azon dolgoztak az alkímisták, hogy aranyat csináljanak, és bár ez nem sikerült nekik, de a hatalmas mennyiségű kísérleti munka, amit végeztek, rengeteg felfedezést eredményezett. Ilyenek voltak például az ásványi savak, az alkohol, a puskapor. Ez az időszak eredményezte pl.: a lombikok, a vízfürdő vagy a desztilláló berendezés használatának elterjedését.

A 16. században kezdett megrendülni a bizalom az alkímiában, főleg abban, hogy mesterségesen lehetséges az arany előállítása. Ekkor egy új irány, az orvosi kémia erősödött meg. Paracelsus a 16. szdban azt vallotta, hogy az emberi test folyamatai kémiai folyamatok, így a betegségek is, tehát ezek gyógyítása is lehetséges kémiai úton. Ezután a kémia az orvosi egyetemi

oktatás része lett, ez a jatrokémia korszaka. Ebben az időszakban kezdték rendszerezni és csoportosítani az addig felfedezetteket, magyarázni a történeteket. Bevezették a savak, bázisok, sók fogalmát. Felismerték halmazállapotok létezését, azt is, hogy nem minden levegő, ami légszerű, hogy vannak egyéb légnemű anyagok is, és ezeket gázoknak nevezték el a görög káosz szó alapján. Hogy elkülönítsék magukat az alkémikusoktól, a kémikus nevet használták.

A 18. században elsősorban a gázokkal foglalkoztak, így az a gázkémia kora. Ekkor fedezték fel az oxigént, a nitrogént és a hidrogént; jöttek rá, hogy a víz és a levegő sem homogén, egynemű anyag, hanem összetett. Olyan tudósok munkálkodtak ekkor, mint például Boyle, Priestley, Cavendish, Lavoisier, Richter. A század végén bevezették a ma is használatos kémiai nevezéktant, a 19. század elején tisztázták az elem és a vegyület, az atom és a molekula fogalmát.

Ekkor a kémiát úgy definiálták, hogy tárgya azon változások vizsgálata, amelyek során egyes anyagok minőségileg más anyagokká alakulnak. Különválasztották a szervetlen és a szerves kémiát.

A 20. szd-i fejlődéseknek és kutatásoknak köszönhetően a kémia tárgyának definiálása is módosult, hiszen felfedeztük, hogy az atomok ugyan kémiailag oszthatatlan egységek, de további kisebb alkotókból állnak. A mai definíció úgy szól, hogy a kémia tárgya az atomok és a molekulák elektronszerkezetében bekövetkező változásokkal foglalkozó természettudomány.

A kémia, a többi természettudománnyal ellentétben nem csupán a természet törvényszerűségeivel és változásaival foglalkozik és magyarázza azokat, hanem képes új anyagok előállítására is. Ezek az anyagok lehetnek a természetben elő nem fordulók is, vagy már létező anyagok, amikből nem áll rendelkezésünkre elegendő. A vegyipar igen széles termékpalettajával életünk minden részében jelen van, szinte nélkülözhetetlen szerepet tölt be.

Felkészülést segítő kérdések

- Mi a kémia?
- Milyen kémiai ismeretekkel rendelkeztek az ókorban?
- Mi az alkémia?
- Mi a jatrokémia?
- Mikor választották szét a szerves és szervetlen kémiát?

Anyagok és tulajdonságaik

A körülöttünk lévő világ elemei, az egyes dolgok, természeti formációk, különböző összetételű anyagokból épülnek fel. Az anyagokat tulajdonságaik alapján ismerjük fel és különböztetjük meg egymástól. Egyes tulajdonságok érzékszerveink segítségével is megállapíthatók (szín, szag, halmazállapot), míg más tulajdonságok mérések elvégzésével határozhatók meg (sűrűség, olvadás vagy forráspont).

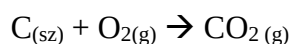
Az érzékszervekkel és mérésekkel megállapítható tulajdonságok az anyagféleség fizikai tulajdonságai.

Ha mérés helyett valamiféle változást hozunk létre az anyagban (kölsönhatást idézünk elő), kétféle eredményt kaphatunk. Előfordulhat, hogy az anyag mindenféle összetételi változás nélkül alakul át, gondoljunk például a vízre. Ha lehűtjük jeget, ha melegítjük, vízgőzt kapunk, szobahőmérsékleten pedig a jól ismert folyadék formában van jelen. A hőmérsékletváltozás hatására jelentős változások mennek végbe az anyag szerkezetében, halmazállapota megváltozik, de az anyag összetétele változatlan marad. A víz jég, illetve gőz formájában is ugyanaz az anyag, de merőben más tulajdonságokkal rendelkezik. Az ilyen változásokat, amikor az anyag bizonyos tulajdonságai megváltoznak, de az összetételében állandó marad, fizikai változásoknak nevezzük.

Vannak olyan változások, amelyek a kiindulási anyaghoz képest egy új összetételű és minőségű anyagot eredményeznek. Az új anyagok keletkezésével járó folyamatok a kémiai változások, vagyis a kémiai reakciók.

Az anyag azon tulajdonságait, melyeknek vizsgálata valamiféle új anyag keletkezésével jár együtt, kémiai tulajdonságoknak nevezzük (éghetőség).

Az anyag változásait legtöbbször valamiféle energiaváltozás kíséri, minek során az anyag belső energiája megváltozik. Gondoljunk a faszén égésére.



Miközben a szén a levegő oxigénjével egyesülve szén-dioxiddá ég (a fenti reakció szerint), jelentős hőmennyiség (energia) szabadul fel. A felszabadult

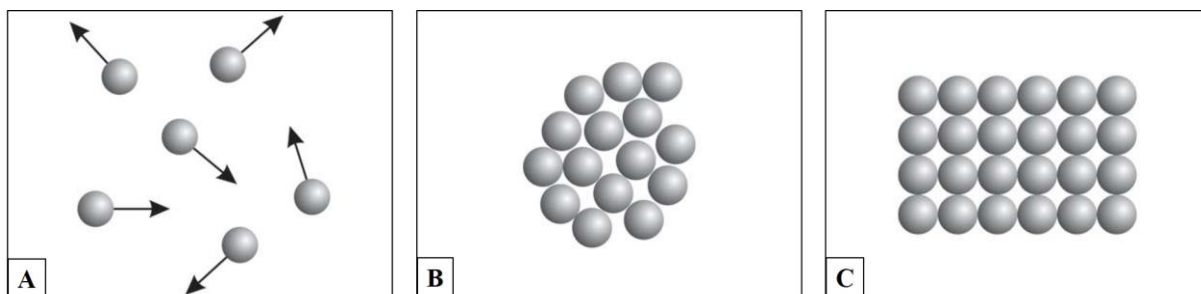
energia miatt felmelegszünk a tűz mellett, meg tudjuk sütni a szalonnát, vagy a bográcsban meg tud főni a pörkölt. Az ilyen és ehhez hasonló folyamatok energialeadással járnak, ezeket exoterm folyamatoknak nevezzük.

A szén égése által termelt energiát felveszi a környezete, például a bográcsban rotyogó étel. Ahhoz, hogy az étel megfőjön folyamatos energiát (hőt) kell közölnünk vele, melegítenünk kell. Az energiafelvétellel járó folyamatokat endoterm folyamatoknak nevezzük.

Az exoterm és az endoterm folyamatok lehetnek kémiai és fizikai változások is.

A körülöttünk lévő anyagok apró részecskék sokaságából, halmazából állnak. A halmazokat az őket alkotó részecskék tulajdonságai és egymással való kölcsönhatásaik alapján három csoportba, három halmazállapotba soroljuk. Így megkülönböztünk gáz, folyadék és szilárd halmazállapotú anyagokat (Létezik az ún. plazma állapot, amit a negyedik halmazállapotnak tekintünk, jelen jegyzet nem igényli ennek bemutatását).

Gáz halmazállapotban az anyagot alkotó részecskék halmaza kitölti a rendelkezésére álló teret, önálló alakkal nem rendelkezik. Térfogata könnyen megváltoztatható, összenyomható. A halmazt alkotó részecskék között nagyon kis mértékű kölcsönhatás figyelhető meg, ami normál körülmények között elhanyagolható. A részecskék önállóan mozognak (1. ábra A), egymással, illetve a tárolóedény falával ütközhetnek és mozgásuk rendezetlen.



1. ábra: A halmazokat alkotó részecskék: A, gázokban; B, folyadékokban; C, szilárd anyagokban¹

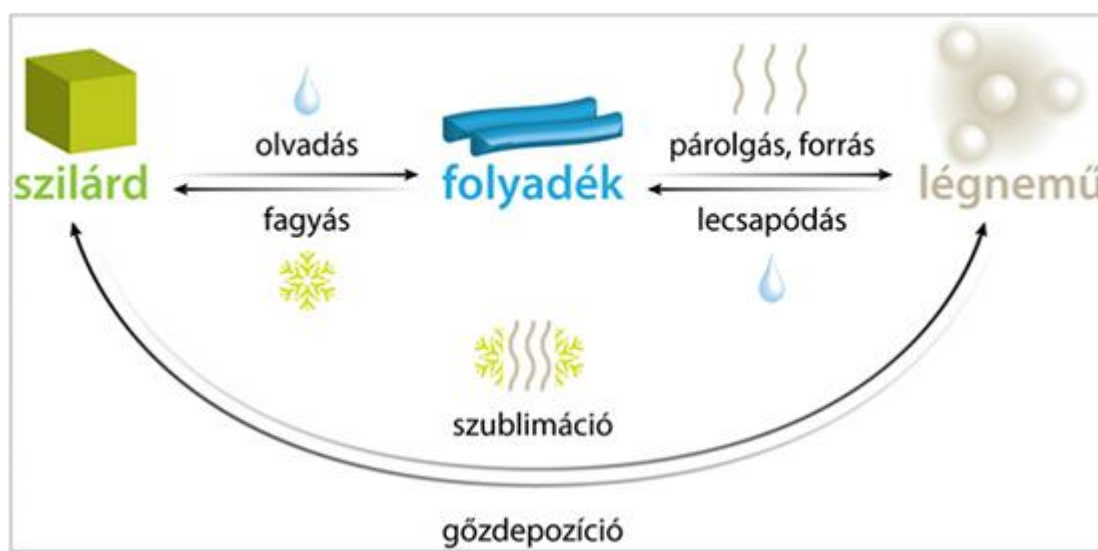
A folyadékokban a részecskék között jelentős mértékű kölcsönhatás figyelhető meg (1. ábra B). A részecskék nincsenek helyhez kötve, elmozdulhatnak, ezért a halmaz önálló alakkal nem rendelkezik, de térfogatuk már állandó. Kis mértékben nyomhatók össze,

¹ forrás: <http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesettudomanyok/kemia/altalanos-kemia/ismerkedes-a-kemiaival/halmazallapotok>

valamint kis mértékű rendezettség jellemzi őket.

A szilárd anyagok részecskéi között erős kölcsönhatás van, így helyhez kötöttek (**1. ábra C**). A részecskék a rácspontok környezetében rezgőmozgásra képesek, de elmozdulni nem tudnak. A halmaz állandó alakkal és térfogattal rendelkezik.

Az egyes halmazállapotú anyagok átalakulhatnak más halmazállapotba, viszont a változás csak energiabefektetéssel vagy energiaelvétellel lehetséges. Minél rendezetlenebbek a halmazok részecskéi annál nagyobb energiával rendelkezik az anyag. Gondoljunk például a vízre. A szobahőmérsékletű vízzel energiát közlünk, tehát melegítjük, a nagyobb energiájú vízgőzt kapjuk eredményül, ami gáz halmazállapotú. Ha viszont energiát vonunk el tőle, tehát lehűtjük, szilárd halmazállapotú jeget fogunk kapni. Az átalakulások energiabefektetéseit illetve neveit legjobban a következő ábra mutatja be (**2. ábra**). A felső nyilak minden esetben az energiabefektetés irányát mutatják, míg az alsó nyilak az energiaelvételt.



2. ábra: A halmazállapotváltozások²

Az anyagokat a kémiában elsődlegesen az összetételük alapján csoportosítjuk. Megkülönböztetünk tiszta anyagokat és keverékeket.

A tiszta anyagok összetétele és tulajdonságai állandók, lehetnek elemek (például oxigén gáz) vagy vegyületek (például víz). A keverékek lehetnek homogének (az alkotók nem elkülöníthetők, például

² forrás: <http://ttko.hu/kbf/kisalkalmazas.php?id=374&c=fizika>

sóoldat) vagy heterogének (az alkotók elkülöníthetők, például homok a vízben).

Atomok

A tiszta anyagok, mint az előző fejezetben tárgyaltuk lehetnek elemek, vagy vegyületek. Az elemek olyan egyszerű anyagok, amelyeket kémiai azonos tulajdonságú részecskék, az ún. atomok alkotnak. A vegyületek pedig különböző atomok összekapcsolódásával létrejövő ún. molekulák halmazai. A kémiában az atomok jelölésére a vegyjeleket használjuk, ez nem lesz más, mint az atom és egyben az elem kémiai jele. A vegyjel egy olyan egy-két betűből álló rövidítés, ami az adott elem nevének görög vagy latin eredetű nevének kezdőbetűje (pl. oxigén O). Ha két elem neve ugyanazzal a betűvel kezdődik, akkor a nevének még egy betűjét használjuk a vegyjel esetében (pl. magnézium Mg, mangán Mn).

Az anyagok kémiai módszerekkel tovább nem bontható része az atom, az elnevezés is a görög oszthatatlan szóból ered. Már Démokritosz feltételezte az anyag ezen apró alkotóit, majd a 19. szd. elején Dalton elevenítette fel ezt az elméletet, ami a századfordulóig meg is állta a helyét. Viszont az 1800-as évek végén Thomson kísérletileg igazolta az elektronok létezését, melyek olyan negatív részecskék, amik az atom részei. Azt ekkor már tudták, hogy az atomok elektromosan semleges részecskét, tehát, ha tartalmaznak negatív alkotókat, akkor kell, hogy ezt a töltést valami kompenzálja. Thomson úgy képzelte, hogy az atomban a pozitív és negatív töltésű részek egymás mellett helyezkednek el (ez a mazsolás puding modell). Ez volt az első atommodell, azonban nem tudta magyarázni a kísérleti eredményeket. Rutherford és munkatársai vékony fémfóliát bombáztak pozitív töltésű részecskékkel, és azt tapasztalták, hogy a részecskék egy része áthalad a fólián, egy kisebb részük, viszont visszapattan arról. A fólia nagy része pozitív töltések számára átjárható „üres” tér. Az a rész, ahonnan pozitív részecskék visszapattantak, szintén pozitív töltésűnek kellett, hogy legyen, az elektrosztatikus taszítás miatt. Ez a térrész a fólia atomjainak pozitív töltésű része. Ezt a térrészt atommagnak nevezték el. A visszapattanó és áthaladó részecskék aránya arra engedett következtetni, hogy az atommag az atomnak csupán egy kis részét tölti ki. Ezen eredmények alapján alakult ki a Rutherford-féle atommodell, ahol az atomot a naprendszerhez hasonlították, ahol, mint ahogy Nap körül

keringenek a bolygók, úgy keringenek az elektronok is a központi atommag körül. Bohr feltételezte, hogy az elektronok csak egy meghatározott pályán mozoghatnak. 1914-ben Rutherford igazolta kísérlettel a pozitív atomalkotó, a proton létezését. Közel 20 évvel később, azonban Chadwick bebizonyította, hogy atommag a protonok mellett, semleges részecskéket, neutronokat is tartalmaz. Az 1930-as évekre a tudomány fejlődésének köszönhetően egyre bonyolultabb atommodellek születtek meg (Heisenberg, Schrödinger), ezek az atommodellek egyre jobban le tudták már írni az anyagok tulajdonságait és viselkedésüket. Napjainkban több (párszáz) kisebb-nagyobb élettartamú atomalkotó létezése igazolt. Sőt az is, hogy az atomalkotó részecskék is kisebb részekből, ún. kvarkokból állnak.

Az atomalkotó részecskéket elemi részecskéknak hívjuk. Azok az elemi részecskék, amelyekkel mi jelenleg foglalkozunk az elektron, proton és a neutron.

Az atom két nagy részből áll a pozitív töltésű atommagból, amiben a protonok és az neutronok foglalnak helyet, és az atommag körüli térrészből, az elektronfelhőből, ahol az elektronok helyezkednek el.

Az atom mérete kb. 10^{-10} m méretű, ennek nagyságrendekkel kisebb méretű része az atommag, csupán 10^{-15} m nagyságú. Ezt úgy tudjuk elképzelni, hogy ha azt mondjuk, hogy az atommag egy szem szőlő, akkor az atom mérete nagyjából egy nagy futball stadion mérete lenne, a lelátókkal együtt.

Az atommag az atom kis része ugyan, de tömegének közel 99%-a ebbe a kicsi térrészbe összpontosul. Az atommagot az ún. magerők tartják össze, melyek nagy energiájúak és kis hatótávolságúak.

Az anyagok atomjainak mindegyikét elektronok, protonok és neutronok alkotják, azt azonban tudjuk, hogy az anyagok jelentősen eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek. A különböző tulajdonságok oka, hogy eltérő az anyagok atomjait alkotó elemi részecskék száma. Az atomok kémiai minőségét a protonszámuk határozza meg. A protonszám megegyezik az adott elem/atom rendszámával, ami pedig a periódusos rendszerben elfoglalt helyet fogja adni.

Mivel az atom semleges töltésű, ezért az atomban annyi elektronnak kell lennie, ahány protont tartalmaz. Az atomok tömegét a neutronok és a protonok adják

(a protonok és neutronok számának összege a tömegszám). Az elektronok tömege elhanyagolhatóan kicsi ezekéhez képest. A protonok és a neutronok tömege valójában nagyon kicsit különbözik, de közel azonos, így egységnyinek tekintjük.

Például nézzük a nitrogént, a periódusos rendszerből leolvasható, hogy a rendszáma 7, a tömegszáma 14. A rendszám a protonok számát fogja mutatni, tehát a nitrogén atomja 7 protont tartalmaz. A 7 db pozitív töltésű protont 7 db negatív töltésű elektron kell kompenzáljon, így az atom kifelé semleges töltést mutat. A tömegszám a neutronok és a protonok számának összegéből adódik, hiszen az elektronok tömegét elhanyagoljuk; a nitrogén esetében a 14-es tömegszám és a 7-es rendszám különbsége megadja, hogy az atommagban a protonok mellett 7 db neutron található.

Az elemi részecskék tulajdonságait bemutató összefoglalót a **1. táblázat** mutatja be.

Részecske		Tömege		Töltése	
neve	jele	abszolút (g)	relatív	abszolút (C)	relatív
elektron	e^-	$9,109 \times 10^{-28}$	0	$-1,602 \times 10^{-19}$	-1
proton	p^+	$1,673 \times 10^{-24}$	1	$+1,602 \times 10^{-19}$	+1
neutron	n	$1,675 \times 10^{-24}$	1	0	0

1. táblázat: Az elemi részecskék összefoglaló táblázata

Előfordulhat, hogy egy adott elem több tömegszámú változata is ismert. Ilyenkor a protonok számállandósága mellett (hiszen ugyanarról az elemről beszélünk) a neutronsám változik, ezeket izotópoknak nevezzük. A természetes elemek, legtöbbször izotópjaik keverékei. Például a szén esetében három természetben előforduló izotópot ismerünk (léteznek mesterséges szén izotópok is), ezek a 12-es, 13-as és a 14-es tömegszámú izotópok, melyek közül a 12-es tömegszámú fordul elő a legnagyobb arányban.

Az atommag körül helyezkednek el az elektronok. Az elektronok meghatározott energiájú pályákon foglalnak helyet, folyamatosan mozognak az atommag körüli térrészben. Az a rész, ahol az elektronok 90%-os valószínűséggel előfordulnak, az atompálya. Egy-egy atompályán maximálisan kettő elektron tartózkodhat (ennek magyarázatát kicsit később tárgyaljuk). Az atom több atompályát tartalmaz, az ezeken a pályákon

tartózkodó elektronok eltérő energiájúak lehetnek. Az azonos energiájú elektronokat tartalmazó atompályák elektronhéjakat alkotnak.

Az elektronok a héjakon a következő szabályok szerint foglalhatnak helyet:

- Energiaminimum elve: Az alapállapotú (lehető legkisebb energiájú állapot) atomban az elektronok mindig a lehető legkisebb energiájú szabad helyet foglalják el.
- Pauli-elv (kizárási elv): Az atomban nem lehetnek olyan elektronok, amelyeknek összes kvantumszáma (lásd később) megegyezik. Egy atompályát három kvantumszám határoz meg, így az azonos atompályán lévő elektronok csak a negyedik kvantumszámban, a spinquantumszámban különbözhetnek egymástól. A spinquantumszám csak kétféle értéket vehet fel, tehát egy atompályán csak két ellentétes spinű elektron tartózkodhat.
- Hund-szabály (maximális multiplicitás elve): Egy alhéjon adott számú elektron úgy helyezkedik el, hogy közülük minél több legyen párosítatlan.

Ha egy adott atompályán csak egy elektron van, az elektront párosítatlan elektronnak nevezzük. Amikor egy adott atompályán két ellentétes spinű elektron van, párosított elektronnak beszélünk. Amennyiben egy alhéjon annyi elektron van, amennyit a Pauli-elv maximálisan megenged, telített alhéjról beszélünk. Abban az esetben, ha az elektronok száma ennél kevesebb, az alhép telítetlen.

Az elektron állapotát (energiáját, tulajdonságait) az ún. kvantumszámokkal jellemezzük, írjuk le. Négy kvantumszám létezik, ezek:

- Főkvantumszám: az elektron atommagtól való átlagos távolságának mértékét adja meg. A főkvantumszám határozza meg az elektron energiáját. Jele: n . Értéke: 1, 2, 3, 4 stb. kis egész szám. Egy adott atomban az azonos főkvantumszámú pályák alkotják a héjakat. Jelölésük nagybetűvel történik: K-tól ABC sorrendben. A növekvő értékek egyre nagyobb (de nem kétszer, háromszor stb.) méretű pályákat jelölnek.
- Mellékvantumszám: az atompálya térbeli alakját jellemzi. Jele: ℓ . Értéke: 0, 1, 2, 3, ... $n-1$, egész szám. Egy adott atomban az adott főkvantumszámhoz tartozó, azonos mellékvantumszámú

pályák alkotják az alhéjakat. A mellékkvantumszámot gyakran nem számmal, hanem betűvel jelöljük. A betűk és számok közötti kapcsolat a következő: 0-s; 1-p; 2-d, 3-f. A mellékkvantumszám az atompálya alakját határozza meg pl. az s atompályák mindig gömbszimmetrikusak, a p atompályák pedig tengelyszimmetrikusak (lásd **3. ábra**).

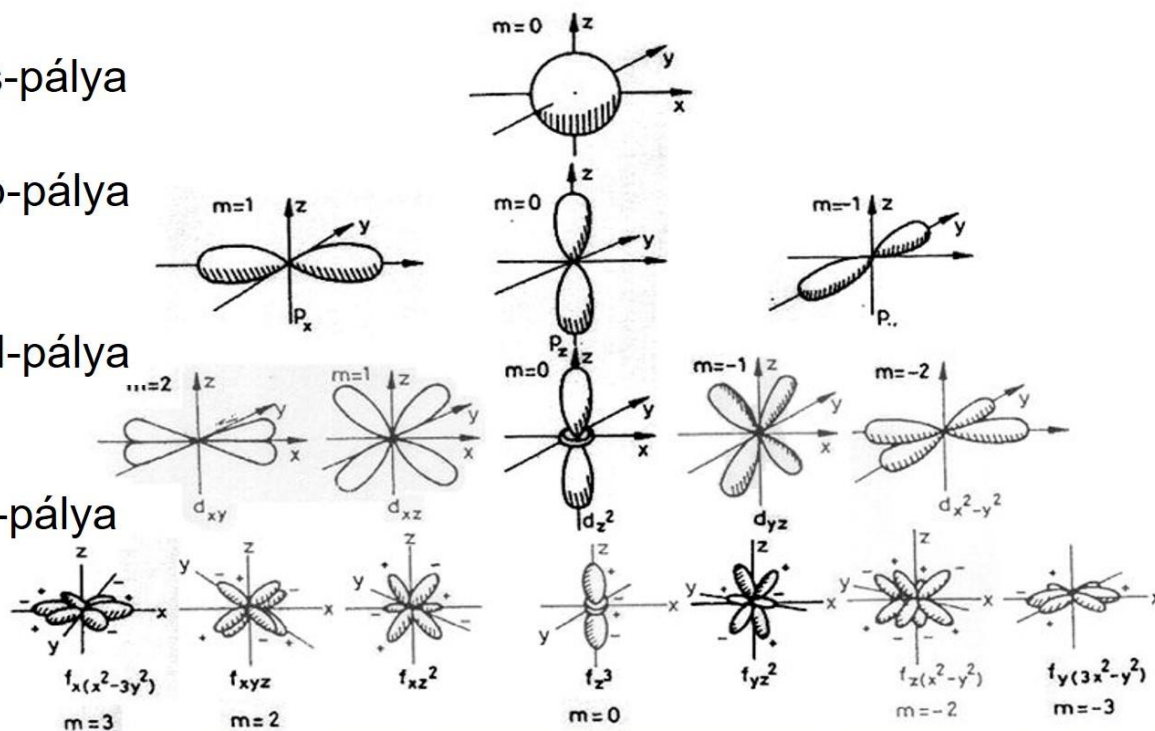
- Mágneses kvantumszám: az atompálya mágneses térben való viselkedésére utal. Jele: m . Értéke: $-\ell, \dots, 0, \dots, +\ell$. Értéke a mellékkvantumszámtól függ, minél bonyolultabb, azaz minél nagyobb mellékkvantumszámú a pálya, annál többféleképpen helyezkedhet el az a mágneses térben. Az s-pályák esetén $m = 0$; p pályáknál $m = -1, 0, 1$ háromféle, a 2-es mellékkvantumszámú d pályákból $m = -2, -1, 0, 1, 2$ ötféle, az f-pályákból hétféle létezik. A következő ábra a pályák alakját mutatja, illetve a következő linkre kattintva egy Youtube videó segítségével mutatjuk be, hogy ezen pályák hogyan épülnek fel az atommag köré (<https://www.youtube.com/watch?v=sMt5Dcex0kg>).

s-pálya

p-pálya

d-pálya

f-pálya



3. ábra: Az atompályák alapja³

- Spinkvantumszám: az elektronok saját impulzuszóráját jelenti. Jele: m_s . Értéke: $\pm 1/2$.

Az előbbieket figyelembe véve a következőképpen alakul az egyes elektronhéjak atompályáinak és a rajtuk található elektronok száma a következő táblázatban összefoglaltak szerint alakul.

³ forrás: Bodonyi F. – Pitter Gy.: Kémiai összefoglaló
(http://images.slideplayer.hu/8/2088341/slides/slide_12.jpg)

Elektronhéj	fő k.sz.	mellék k. sz.	mágneses kvantumszám	spin kvantumszám	elektron-szám	Alhéj	Atom-pályák
K	1	0	0	-1/2, +1/2	2	1s	1
L	2	0	0	-1/2, +1/2	2	2s	1
		1	-1, 0, +1	-1/2, +1/2 -1/2, +1/2 -1/2, +1/2	6	2p	3
M	3	0	0	-1/2, +1/2	2	3s	1
		1	-1, 0, +1	3 (-1/2, +1/2)	6	3p	3
		2	-2, -1, 0, +1, +2	5 (-1/2, +1/2)	10	3d	5
N	4	0	0	-1/2, +1/2	2	4s	1
		1	-1, 0, +1	3 (-1/2, +1/2)	6	4p	3
		2	-2, -1, 0, +1, +2	5 (-1/2, +1/2)	10	4d	5
		3	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	7 (-1/2, +1/2)	14	4f	7
O	5	0	0	-1/2, +1/2	2	5s	1
		1	-1, 0, +1	3 (-1/2, +1/2)	6	5p	3
		2	-2, -1, 0, +1, +2	5 (-1/2, +1/2)	10	5d	5
		3	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	7 (-1/2, +1/2)	14	5f	7
P	6	4	-4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4	9 (-1/2, +1/2)	18	5g	9
		0	0	-1/2, +1/2	2	6s	1
		1	-1, 0, +1	3 (-1/2, +1/2)	6	6p	3
		2	-2, -1, 0, +1, +2	5 (-1/2, +1/2)	10	6d	5
		3	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	7 (-1/2, +1/2)	14	6f	7
		4	-4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4	9 (-1/2, +1/2)	18	6g	9
		5	-5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5	11 (-1/2, +1/2)	22	6h	11

2. táblázat: Az elektronhéjak atompályái és a rajtuk található elektronok száma⁴
⁴ forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Elektronszerkezet>

Felkészülést segítő kérdések

- Mik a fizikai tulajdonságok?
- Mik a kémiai tulajdonságok?
- Mit jelent, hogy egy folyamat endoterm?
- Mit jelent, hogy egy folyamat exoterm?
- Milyen halmazállapotokat ismerünk?
- Milyen kölcsönhatások figyelhetők meg a különböző halmazállapotú anyagok részecskéi között?
- Hogyan alakulnak át egymásba a halmazállapotok? Mi az egyes lépéseknek a neve?
- Mi a homogén és a heterogén rendszer definíciója?
- Mik az atomok?
- Mikor és hogyan fedezték fel az atomok alkotóit?
- Mi a Thomson és a Rutherford-féle atommodellek közötti különbség?
- Mik az elemi részecskék?
- Mik az atom részei?
- Hogyan jellemezhetők az elemi részecskék?
- Mi a rendszám?
- Mi a tömegszám?
- Mik az izotópok?
- Mik a kvantumszámok, és minek a jellemzésére szolgálnak?
- Mik az elektronszerkezet kiépülésének szabályai?

Periódusos rendszer

A periódusos rendszer az elemek egy táblázatos megjelenítése, amelyben az elemek rendszámuk (vagyis protonszámuk), elektronszerkezetük, és ismétlődő kémiai tulajdonságaik alapján kerültek rendezésre.

Több tudós is próbálkozott az ismert elemek valamiféle táblázatba való rendezésével. A ma is használatos periódusos rendszer alapjául szolgáló táblázatot Dmitrij Mengyelejev orosz kémikus tette közzé 1869-ben. Felismerte, hogy az akkor ismert elemek tulajdonságai a rendszámuk alapján periodikusan váltakoznak. Mengyelejev emellett megjósolta a táblázat akkor még üres helyeire kerülő elemek néhány tulajdonságát.

A periódusos rendszer sorait periódusoknak, az oszlopait csoportoknak nevezzük.

Egy adott csoport elemeinek jellemzően több hasonló tulajdonságuk van. Ezeket a hasonlóságokat a külső elektronhéj elektronszerkezetének hasonlóságával magyarázhatjuk. Az azonos csoportba tartozó elemek kémiai viselkedése hasonló, és egyértelmű változást mutat az atomtömeg növekedésével. Nemzetközi elnevezési egyezmény alapján a csoportokat balról jobbra 1-18-ig terjedő számokkal jelöljük. Megkülönböztetjük a fő (1-2. illetve 13-18. oszlop) és mellékcsoport (3-12. oszlop) elemeit. A főcsoportoknak hétköznapi nevük is, balról jobbra haladva: alkálifémek, alkáliföldfémek, földfémek, szén csoport, nitrogén csoport, oxigén csoport, halogének és nemesgázok.

A mellékcsoportok tagjai sokszor a függőleges hasonlóság helyett vízszintesen hasonlítanak kémiai viselkedésükben egymásra pl. a vascsoport (vas, kobalt, nikkel). Az alapján, hogy az adott elem atomjainak melyik elektronpályán vannak a legkülső elektronjai (ún. vegyérték elektron), megkülönböztetjük az s-, p-, d- és f-mező elemeit.

Bizonyos tulajdonságok a periódusos rendszer soraiban és oszlopaiban jól definiált módon változást mutatnak. Ilyen tulajdonságok az atomsugár, az ionizációs energia, az elektronaffinitás és az elektronegativitás.

Az atomsugár az egyensúlyi helyzetben lévő atomban az atommag és a legkülső stabil elektronpálya távolsága.

Az ionizációs energia megmutatja, hogy mekkora energia szükséges 1 mol alapállapotban lévő szabad atom legkönnyebben leszakítható elektronjának eltávolításához.

Az elektronegativitás az egy mólnyi gázállapotú atom vagy molekula esetén egy elektron felvételéhez szükséges energiát adja meg. Az elektronegativitás a kötésben lévő atomok elektronvonzó-képességét jellemző viszonyszám. A következő fejezetben részletesebben tárgyaljuk az ionizációs energia, az elektronegativitás és az elektronegativitás jelentőségét.

Az azonos csoportban lévő elemek atomsugara, ionizációs energiája és elektronegativitása jellegzetes változásokat mutat. A csoporton belül lefelé haladva az atomsugár növekszik, mivel a több betöltött elektronhéj miatt a vegyértékelektronok egyre nagyobb méretű héjra épülnek be. Az ionizációs energia a csoportokon belül csökken, az atommagtól távolabb lévő külső elektronokra kisebb vonzóerő hat, ezért könnyebben eltávolíthatók. Emiatt csökken az elektronegativitás is.

A periódusos rendszer vízszintes sorai a periódusok.

Az azonos periódusban lévő elemek atomsugara, ionizációs energiája, elektronegativitása és elektronegativitása többé-kevésbé egyenletesen változik. A periódusban jobbra haladva az atomsugár csökken, mivel a protonok számának növekedésével az atommag egyre erősebb vonzó hatást gyakorol az elektronokra. Az atomsugár csökkenése miatt az ionizációs energia ugyanakkor balról jobbra haladva növekszik a periódusokon belül, mivel minél erősebben vonzza az atommag az elektronokat, azokat annál nehezebb eltávolítani az atomról. Az elektronegativitás szintén a növekvő magvonzás miatt nő. Az elektronegativitás szintén növekedést mutat a perióduson belül: a periódus bal oldalán elhelyezkedő fémek jellemzően alacsonyabb elektronegativitással bírnak, mint a periódus jobb oldalán található nemfémek (a nemesgázok kivételével).

A periódusos rendszer felhasználásával nyerhető adatok általában: az elem neve, vegyjele, rendszáma, esetleg tömegszáma is, relatív atomtömege, elektronszerkezete, elektronegativitása. Egyes interaktív online periódusos rendszerek⁵ az adott elemre való kattintás után az elemre jellemző fizikai tulajdonságokat is mutatják.

⁵ például: www.ptable.com

Felkészülést segítő kérdések

- Mi a periódusos rendszer?
- Mengyelejev mi alapján rakta sorba az ismert elemeket?
- Hogy nevezzük a periódusos rendszer oszlopait?
- Hogy nevezzük a periódusos rendszer sorait?
- Melyek a fő csoportok?
- Melyek a mellékcsoportok?
- Mi a főcsoportok hétköznapi neve?
- Milyen tulajdonságokat ismerünk, amelyek valamiféle rendszer alapján változnak a periódusos rendszerben?

Az atomok és atomcsoportok kapcsolódása

Elsődleges kötések

Az atomok, a nemesgázok kivételével, normál körülmények között nem fordulnak elő magányosan, hanem kölcsönhatásba lépnek egymással és molekulákat (néhány atom összekapcsolódása esetén) vagy kristályokat (sok atom kapcsolódásával) hoznak létre. A vegyértékelektronok⁶ közreműködésével kialakuló kötőerőket elsődleges kötéseknek hívjuk.

A molekula olyan összetett kémiai részecske, amely meghatározott számú atomból keletkezik, kémiai jelét képletnek nevezzük. Például két hidrogén atom összekapcsolódásával hidrogén molekula jön létre (képlete H_2). A molekulákat alkotó atomok közötti kölcsönhatást kovalens kötésnek hívjuk, mely közös elektronpárral kialakított kötés.

A nemesgázok elektronszerkezete igen stabil, külső elektronhéjuk is telített. Ebből adódik, hogy normál körülmények között nem lehet őket reakcióba vinni. Ezt a stabil elektronszerkezetet (az ún. 8-as (oktett) elektronszerkezetet, s^2p^6 , kivétel a He, ahol s^2) igyekeznek az elemek kialakítani, amikor kovalens kötések hoznak létre. Gondoljunk csak a hidrogén atomra, egyetlen elektronja van a külső héján, esetében a telített nemesgáz szerkezet a $1s^2$ elektronszerkezet elérése (1-es főkvantumszámú héj, így csak s pálya lehetséges), ezért még egy elektron „szerzésével” elérné a számára stabilis állapotot. Két hidrogén atom ütközése esetén, a megfelelő körülmények mellett, mindkét atom beadja az egy-egy elektronját a saját atompályájáról, egy mindkettőjükhöz tartozó közös molekulapályára, ahol az elektronok párosítottan helyezkednek el. És mivel kvázi mindkét atomhoz tartoznak, mindkét atom számára teljesül a stabil nemesgázszerkezet eléréséhez szükséges feltétel.

Kovalens kötés természetesen kialakulhat eltérő atomok között is, ekkor vegyületeket kapunk. Beszélhetünk egyszeres kovalens kötésről, ilyenkor egy kötő elektronpár alkotja a kötet a két atom között. Az ilyen kötet σ -kötésnek nevezzük. Abban az esetben, ha a kapcsolódó atomok több közös kötő elektronpár kialakítása révén alkotnak molekulát, π -kötések jönnek létre. az első elektronpárral kialakított kötés mindig σ -kötést, a

⁶ A vegyértékelektronok a le nem zárt héjak elektronjai

további elektronpárok π -kötéseket hoznak létre.

Ha kettőnél több atom kapcsolódik össze egy molekulában, az atomok térbeli elrendeződése nagyban függ a kapcsolódó atomok (ligandumok), illetve a kötés kialakításában résztvevő, ún. kötő elektronpárok és a kötésben részt nem vevő, ún. nemkötő elektronpárok számától.

A molekulák térbeli felépítését az atommagok közötti kötések hossza, és a kötések által bezárt szögek határozzák meg. A kapcsolódó atomok által bezárt szöget kötésszögnek nevezzük.

A molekulában kialakuló kötő és nemkötő elektronpárok taszítják egymást, egymástól a lehető legmesszebb igyekeznek kerülni. A molekulában a legnagyobb vegyértékű⁷ atomot, amelyhez a többi atom kapcsolódik, központi atomnak nevezzük.

- Ha két kötő elektronpár kapcsolódik a központi atomhoz, azok egymással 180° -os szöget zárnak be, a molekula alakja lineáris lesz.
- Ha három kötő elektronpár kapcsolódik a központi atomhoz, azok egymással 120° -os szöget zárnak be, a molekula alakja síkháromszög.
- Ha négy kötő elektronpár kapcsolódik a központi atomhoz, azok egymással $109,5^\circ$ -os szöget zárnak be, a molekula alakja tetraéderes lesz.

A központi atomhoz tartozó nemkötő elektronpár módosítja a kötésszöget, mivel térigénye nagyobb, mint a kötő elektronpároké.

- Ha három kötő és egy nemkötő elektronpár kapcsolódik a központi atomhoz, azok egymással $109,5^\circ$ -nál valamivel kisebb szöget zárnak be, a molekula alakja háromszög alapú piramis lesz.
- Ha két kötő és két nemkötő elektronpár kapcsolódik a központi atomhoz, azok egymással, a molekula alakja V-alak lesz.

A π -kötések a molekula alakját lényegesen nem befolyásolják, a kötés szögeket csak kis mértékben módosítják. A molekula alakját a σ -kötések, a molekula σ váza határozza meg.

A következő táblázat a fent említett molekula alakokat mutatja be, ahol az általános képletben szereplő „A” betű a központi atomot, a „B” betű az ehhez kapcsolódó atomokat jelöli. A táblázatban szereplő sematikus ábrákon az atomokat körökkel, a közöttük lévő

⁷ vegyérték: az a szám, amely megadja, hogy az atom hány elektronnal vett részt a közös kötés kialakításában.

kovalens kötések egyenes vonallal jelöltük, míg a nemkötő elektronpárt a központi atom felett rövid vonallal szemléltetjük.

általános képlet	alak	elnevezés	példa
AB_2		lineáris	$BeCl_2$,
AB_3		síkháromszög	BF_3
AB_4		tetraéder	CH_4 ,
AB_3		háromszög alapú piramis	NH_3
AB_2		V-alak	H_2O

3. táblázat: A molekula alakok bemutatása

Ha a molekulát különböző elektronegativitású (lásd lejjebb) atomok

építik fel. Akkor a molekula kötő elektronjai többet tartózkodnak a nagyobb elektronegativitású atom közelében, ezért ott lokális negatív pólus alakul ki, míg a másik atom lokálisan pozitív lesz. A két pólussal rendelkező molekulákat dipólus molekuláknak nevezzük.

Kétatomos molekulánál a kovalens kötés polaritása megadja a molekula polaritását is.

Többatomos molekulák polaritását a kovalens kötések polaritása és a molekula alakja együttesen határozza meg.

Dipólusos a molekula, ha a kovalens kötés poláris és az alakja nem szimmetrikus.

Apoláris a molekula, ha minden kovalens kötése apoláris, vagy ha szimmetrikus az alakja és poláris a kovalens kötés, hiszen ilyenkor a dipólusok kiegyenlítik egymást.

A periódusos rendszer első három főcsoportja és a mellékcsoportok a fémeket tartalmazzák. A fémek tulajdonságaikban nagyon hasonló anyagok. Az arany és a réz kivételével szürke színűek, a higany kivételével szobahőmérsékleten szilárdak (a gallium már a kéz melegétől megolvad). Jól megmunkálhatók és jól vezetik az elektromos áramot, valamint a hőt.

A fémek közös tulajdonságai a kötésrendszer minőségére vezethetők vissza. A fémekre jellemző elsődleges kötés a fémes kötés, ami nem lesz más, mint a kristály rácspontjaiban helyet foglaló fématomtörzsek⁸ és a körülöttük lévő közös elektronfelhőt (delokalizált elektronok) alkotó vegyértékelektronok között kialakuló elektrosztatikus vonzás.

Ezt úgy képzelhetjük el, hogy a fématomok beadják a vegyértékelektronjaikat egy közös elektronfelhőbe, ami a pozitív fématomtörzsek által alkotott rács körül helyezkedik el. Ebben a „tér részben” folyamatos mozgásban vannak és egyszerre tartoznak az összes atomhoz, ugyanakkor kötötten egyikhez sem tartoznak, nincsenek helyhez kötve. Az elektronok töltéssel rendelkező, mozgó részecskék, delokalizációjuk miatt lesznek képesek vezetni az elektromos áramot. A rácspontokban lévő fématommagok egymáson, mint az üveggolyók, képesek „elcsúszni” a megmunkáló erő hatás következtében, ezért lehetséges a fémek viszonylagosan könnyű megmunkálása, például az alumínium vékony fóliává hengerelhető.

A harmadik és egyben utolsó elsődleges kötés az ionos kötés. Ez fémes és nemfémes elemek között alakul ki. A

⁸ atomtörzs: egy olyan pozitív töltésű részecske, ami nem tartalmazza a vegyértékelektronokat.

kristályszerkezet pontjaiban pozitív, illetve negatív töltésű ionok szerepelnek. Az ionok olyan töltéssel rendelkező részecskék, amelyek az atomokból olyan módok keletkeznek, hogy azok elektront adnak le vagy vesznek fel. A fémek elemek külső elektronjaik leadásával pozitív töltésű ionok, kationok lesznek; míg a nemfémek elemek elektronok felvételével negatív töltésű ionokat, anionokat képeznek. Az elektron leadás vagy felvétel a korábban említett stabil nemesgáz szerkezet elérését eredményezi.

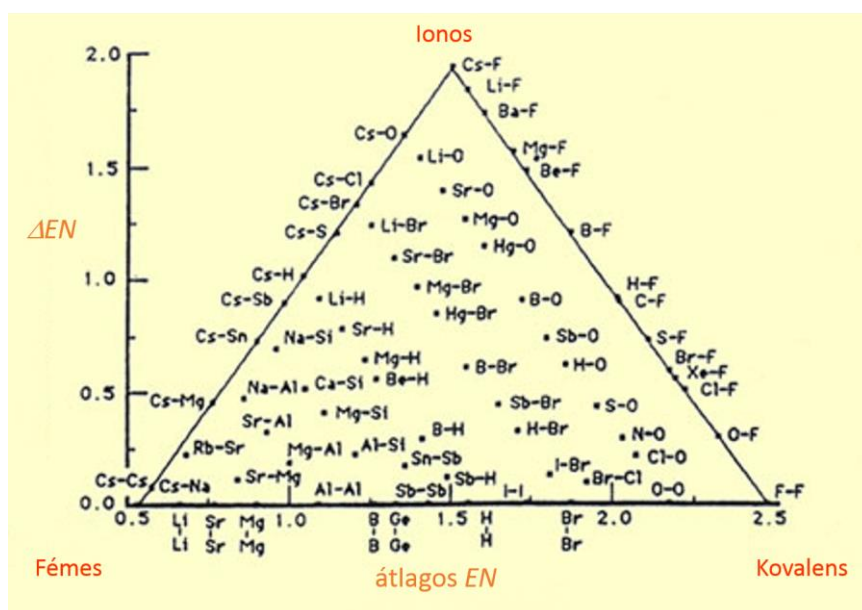
Az ionos kötés kialakulását a következő példa segítségével mutatjuk be:

A konyhasó az egyik talán legismertebb ionrácsos vegyület. Képlete NaCl , rácspontjaiban nátrium- és klorid-ionok ülnék. A nátrium pozitív, míg a klór negatív töltésű ionokat képez. Az ionok képződése energiaváltozás kíséretében jön létre. Az elektronok eltávolítása mindig energiabefektetéssel járó folyamat (Na atom külső elektronjának eltávolítása eredményezi az egyszerűen pozitív töltésű Na-iont). Az elektron eltávolítása után keletkező ion mérete kisebb lesz, mint a kiindulási atomé volt. Az elektron eltávolításához szükséges energiát ionizációs energiának nevezzük. Az első elektron eltávolítása kevesebb energiabefektetést igényel, mint a következő elektronok eltávolítása. Az első elektron eltávolításához szükséges energia az első ionizációs energia.

Az anionok képződése általában energia felszabadulással jár. Azt az energiát, ami 1 mol szabad gáz állapotú atom anionná alakulásakor szabadul fel, elektronegativitásnak nevezzük. A halogének elektronegativitása a legnagyobb, hiszen egy elektron felvételével elérik a stabil nemesgáz szerkezetet.

Az ionizációs energia és az elektronegativitás is periodikusan változó jellemzők.

A kötésben lévő atomok egyik jellemzője az elektronegativitás. Ez az érték az atomok elektronvonzó képességét jellemzi a kötésben. Az elektronegativitás értékek ismeretében megállapíthatjuk, hogy két atom között milyen jellegű kötés alakul ki. Ezt a következő diagram mutatja be.



4. ábra: Az elektronegativitás és a kötéstípusok közötti összefüggés⁹

A kovalens, ionos és fémes kötések elsőrendű kémiai kötések. Közös jellemzőjük, hogy erős kölcsönhatások és felbontásukhoz általában nagy energia befektetésére van szükség.

Másodlagos kötések

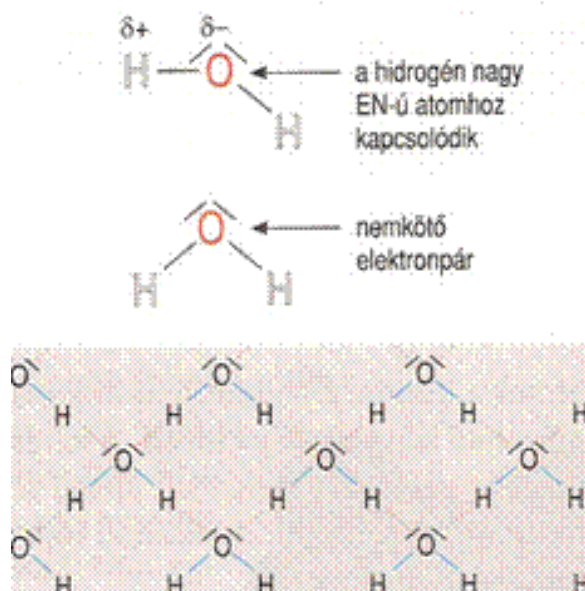
Léteznek gyengébb kémiai kötések, amik molekulák között (és a nemesgázok atomjai között) jönnek létre, ezek a másodlagos kémiai kötések.

Mivel a másodrendű kötések molekulák között jönnek létre, intermolekuláris kötőerőknek is nevezzük őket. A fémek kivételével a másodrendű kötések határozzák meg az anyagok makroszkópikus tulajdonságainak nagy részét.

A másodrendű kötések közül a hidrogénkötés a legerősebb. Akkor alakulhat ki, ha a hidrogén egy nagy elektronegativitású atomhoz kapcsolódik kovalens kötéssel és egy másik molekulában egy általában szintén nagy elektronegativitású atom nemkötő elektronpárjához másodlagos kölcsönhatást kialakítva kapcsolódik. A hidrogén és a nemkötő elektronpár között vonzó kölcsönhatás alakul ki. A hidrogénkötés kialakulásához egy nagy elektronegativitású, kisméretű és nemkötő

⁹ Forrás: Tarczay György (ELTE) jegyzete

elektronpárral rendelkező elem atomja szükséges, amelyhez közvetlenül kapcsolódik egy hidrogénatom. Elsősorban három elem képes ilyen kötés kialakítására: a fluor, az oxigén és a nitrogén. A következő ábra a víz molekula példáján mutatja be a hidrogénkötést.



5. ábra: A hidrogénkötés kialakulása vízmolekulák között

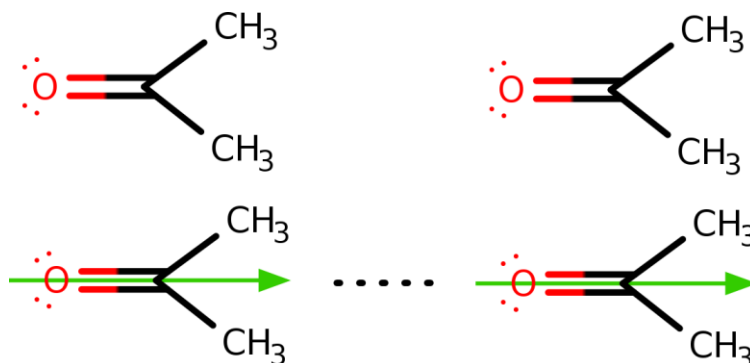
A másodrendű kötések következő csoportja a van der Waals kötések, melyeknek közös jellemzője, hogy a molekulákon belüli töltés-aszimmetriából származó vonzó kölcsönhatáson alapulnak. A van der Waals kölcsönhatások miatt, az így kapcsolódó molekulákból álló anyagok legtöbbször alacsony olvadás- és forráspontúak, szobahőmérsékleten gáz, vagy folyadék halmazállapotúak. Ezen kötőerők erőssége függ a molekulamérettől, minél nagyobb a molekula annál nagyobb. Így a nagyobb molekulatömegek esetében szobahőmérsékleten is előfordulhatnak szilárd anyagok, amik jellemzően puhák.

A van der Waals kötések három csoportba sorolhatjuk attól függően, hogy alaphelyzetben milyen a kapcsolódó molekulák polaritása.

Dipólus kötés vagy más néven dipól-dipól kölcsönhatás, a polarizált, vagyis nemzérus dipólnyomatékkal rendelkező molekulák között jön létre. A következő ábrán az acetón látható, a molekula részleges negatív pólusa az oxocsoportnál¹⁰ található, mivel az oxigén

¹⁰ oxocsoport: olyan csoport a molekulában, ahol az oxigénatom kettős kötéssel kapcsolódik egy szénatomhoz, főként a szerveskémiaiában használatos

elektronegativitása nagyobb, mint a hozzá kapcsolódó szénatomé; a részleges pozitív pólus az oxigénhez kapcsolódó szénatomnál található.



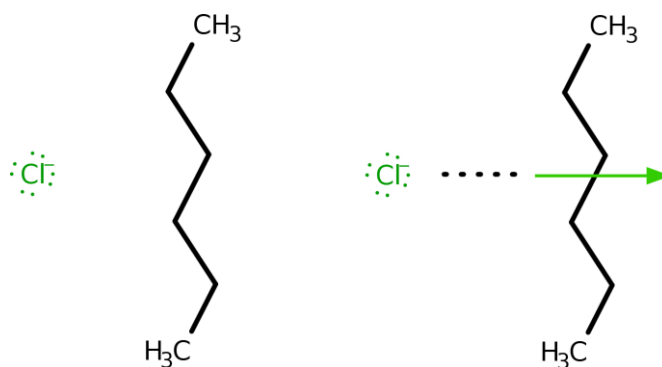
6. ábra: A dipól-dipól kölcsönhatás bemutatása aceton molekulák esetében¹¹

Az ellentétes lokális töltéssel rendelkező részek vonzzák egymást. A kötés erőssége kisebb, mint a hidrogénkötésé, de nagyobb a diszperziós kölcsönhatásnál (lásd lejjebb). A kötés erőssége legtöbbször nem teszi lehetővé, hogy gázhalmazállapotból folyadék kondenzálódjon, viszont a folyadék, vagy szilárd fázisban¹² lévő rendszerben a dipólusok orientálódása miatt rendezettség jelenik meg.

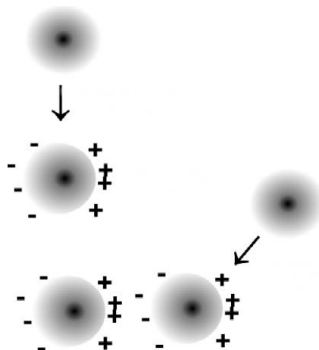
Ha a két molekulából az egyik poláros (vagy az egyik résztvevő tag ion), a másik apoláros, közöttük indukciós kölcsönhatás alakul ki. A poláros molekula hatására az apoláros molekula elektronegativitása torzul, így lesz egy indukált dipólnyomatéka és kialakulhat a dipólkötéshez hasonló kötés, viszont annál gyengébb lesz. A következő ábra ezt a jelenséget szemlélteti. A kloridion negatív töltése miatt megváltozik a hexán molekula töltéseloszlása, így vonzó kölcsönhatás alakul ki a két részecske között.

¹¹ forrás: Dr. Jójárt Balázs elektronikus tananyaga

¹² fázis: egy rendszer az azonos kémiai és fizikai tulajdonságokkal rendelkező része


7. ábra: az indukciós kölcsönhatás bemutatása¹³

Az előbbihez hasonló jelenség felléphet két apoláros molekula esetében is. Az elektronfelhő alakjának időbeni változásai töltéeloszlást okozhatnak, ezt felerősíti, ha a két molekula (vagy atom) egymás közelébe kerül, mivel az elektronfelhők és a magok is mind hatással lesznek egymásra. A két pillanatszerű dipólus már eléggé eltorzíthatja egymás elektroneloszlását, így kötés jöhet létre. Ez a diszperziós kölcsönhatás, amit a következő ábra mutat be.


8. ábra: A diszperziós kölcsönhatás¹⁴
¹³ forrás: Dr. Jójárt Balázs elektronikus tananyaga

¹⁴ forrás: Dr. Jójárt Balázs elektronikus tananyaga

Felkészülés segítő kérdések

- Mik az elsődleges kötések?
- Mi a kovalens kötés?
- Hogyan jön létre a kovalens kötés?
- Mik a kötő és mik a nem-kötő elektronok?
- Mi a központi atom?
- Mi a kötésszög?
- Hogyan jön létre egyszeres és többszörös kötés?
- Milyen tényezők határozzák meg a molekulaalakot?
- Mit jelent a kötéspolaritás?
- Mit jelent a molekulapolaritás?
- Mi a fémes kötés?
- Mi az atomtörzs?
- Mi a vegyértékelektron?
- Mit jelent, hogy egy elektron delokalizált?
- Mi az ionos kötés?
- Mi az anion?
- Mi a kation?
- Mi az első ionizációs energia?
- Mi az elektronegativitás?
- Mi az elektronegativitás?
- Hogyan állapítható meg, hogy két atom között milyen kötés jön létre az elektronegativitásuk alapján?
- Mik a másodlagos kötések?
- Jellemezzük a hidrogén kötet!
- Jellemezzük a dipól-dipól kölcsönhatást!
- Jellemezzük a diszperziós kölcsönhatást!

Kristályrács típusok

A kristályokban nagyfokú rendezettség uralkodik, az atomok, molekulák, ionok helye meghatározott. Az atomok, ionok vagy molekulák a rácspontok helyeit foglalják el, a rácspontok geometriai rendezettsége a rácsszerkezetet adja. Az atomok, molekulák és ionok által alkotott rácsok fő kristálytípusainak jellemzőit a **4. táblázat** foglalja össze.

Kristály típusa	A rácspontokban levő részecskék	Összetartó erők	Általános jellemzők	Példák
ionos	pozitív és negatív ionok	elektrosztatikus vonzás	Kemény, törékeny, magas olvadáspont, rossz hő és elektromos vezető	NaCl, LiF, MgO
kovalens	atomok	kovalens kötés	kemény, magas olvadáspont, rossz hő és elektromos vezető	C (gyémánt), SiO ₂ (kvarc)
fémek	atommagok	fémek kötés	lágytól keményig, alacsonytól magas olvadáspont, jó hő és elektromos vezető	minden fémek elem, pl. Na, Mg, Fe, Cu
molekuláris	atomok vagy molekulák	diszperziós erők, dipól-dipól erők, hidrogén hidak	lágú, alacsony olvadáspont, rossz hő és elektromos vezető	Ar, CO ₂ , H ₂ O, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (szaharóz)

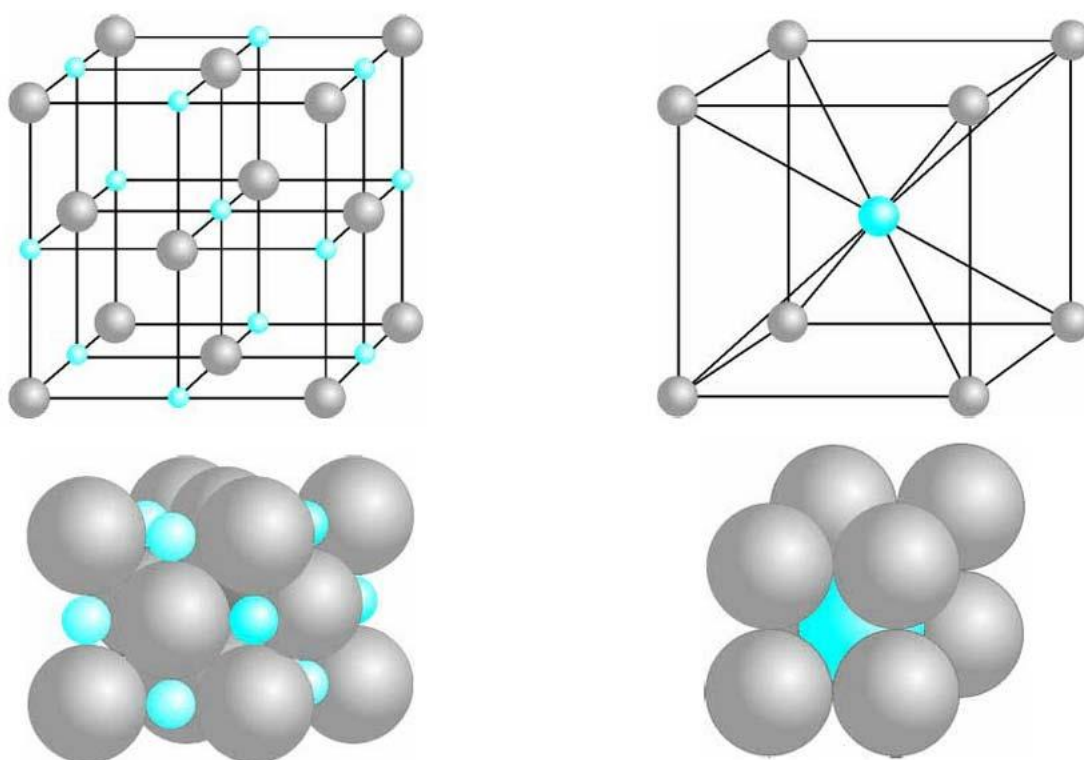
4. táblázat: A kristálytípusok jellemzői

Ionos kristályok-ionrácsos anyagok

Az ionrácsos anyagok kristályrácsában a rácspontokon ellentétes töltésű ionok, anionok, illetve kationok helyezkednek el.

Az ionvegyületek kristályában a koordinációs szám¹⁵ általában 6, illetve 8. Viszonylag szoros illeszkedésű kristályok ezek. A **9. ábra** két tipikus példát mutat be az ionrácsos anyagokra. A bal oldali képen a NaCl-ra jellemző szerkezet látható, ahol 6 a koordinációs szám. A jobb oldali képen a 8-as koordinációs számú CsCl szerkezetét mutatjuk be.

Az ionrácsos anyagokban a rácsösszetartó erő az ellentétes töltésű ionok között fellépő erős elektrosztatikus vonzás, amit ionkötésnek nevezünk. Az ionkötés erősségére a rácsenergia értékéből következtethetünk. A rácsenergiát az ionok mérete, töltése és az ionrás típusa (koordinációs szám) határozza meg.



9. ábra: A NaCl (bal) és a CsCl (jobb) rácsai¹⁶

Az ionok között fellépő erős elsőrendű kötések miatt az ionvegyületekre jellemző a magas olvadáspont és hogy közönséges körülmények között valamennyi képviselőjük szilárd halmazállapotú.

¹⁵ Koordinációs szám: bármely, tetszőlegesen kiválasztott atomtól egyenlő távolságra lévő legközelebbi szomszédos atomok száma

¹⁶ forrás: <http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszet tudomanyok/kemia/altalanos-kemia/anyag szerkezet/az-ionracsos-anyagok>

Az ionrácsos anyagok szilárd állapotban nem vezetnek az elektromos áramot, mivel az ionok helyhez kötöttek, olvadáskor vagy vizes oldatuk viszont már jó vezető (erős elektrolitok). Apoláris oldószerben nem vagy alig oldódnak, viszont poláris oldószerben, különösen vízben jól oldódnak.

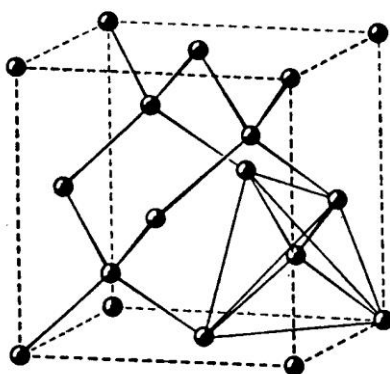
Kovalens kristályok-atomrácsos anyagok

Atomrácsos kristályt a periódusos rendszer középső oszlopaiban elhelyezkedő, viszonylag nagy elektronegativitású elemek (B, C, Si, Ge) képeznek.

A rácspontokon lévő atomokat erős, elsőrendű kovalens kötések tartják össze.

Az atomrácsos anyagok magas olvadáspontú, gyakorlatilag oldhatatlan, kemény anyagok. Az elektromos áramot olvadáskor sem vezetnek.

Az egyik legközismertebb atomrácsos anyag a gyémánt, amelynek rácspontjaiban szénatomok foglalnak helyet. A rácsban a koordinációs szám 4, a szén tetraéderesen helyezkednek el, ahogy a következő ábra mutatja.



10. ábra: A gyémánt kristályszerkezete

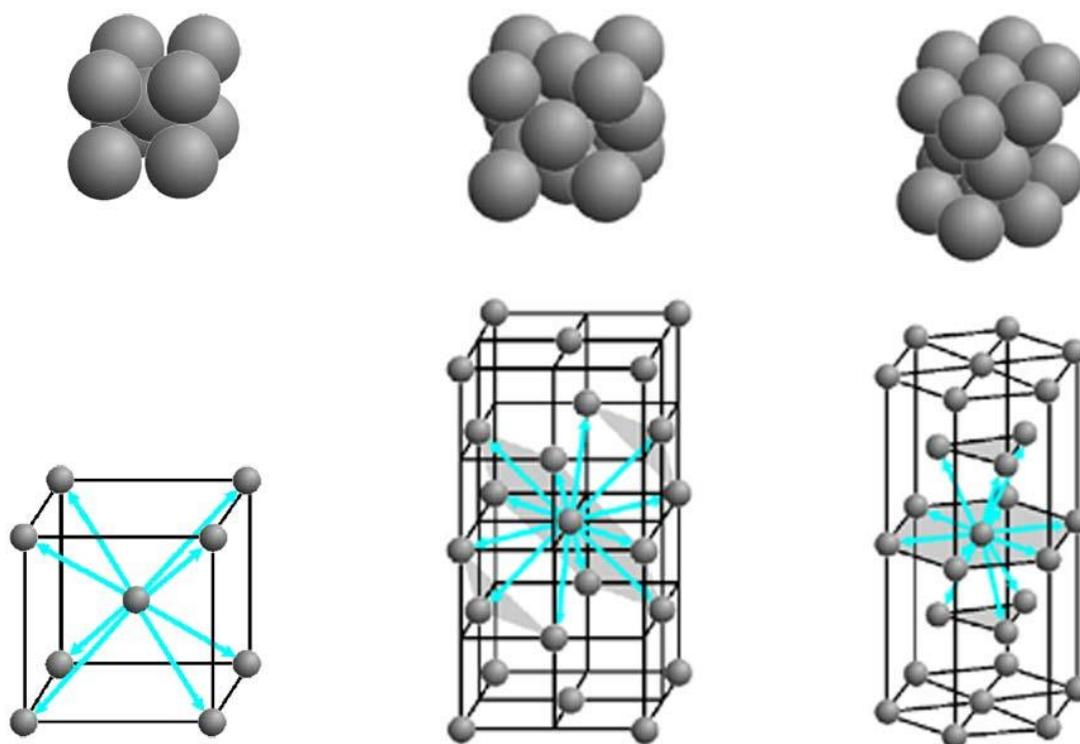
Fémes kristályok-fémrácsos anyagok

A fémrácsos anyagok általában szürkés színűek, csillogó felületűek. Jó elektromosság vezető képességük miatt arra következtethetünk, hogy bennük

viszonylag könnyen elmozduló, delokalizált elektronok vannak. A rács delokalizált elektronfelhője az atomok vegyértékelektronjaiból, illetve azok egy részéből jön létre. Ez az ún. fémescötés, amelynek feltétele a kis elektronegativitás.

A fémrácsos anyagok térkitöltése nagy. Három különböző elrendeződésű rács a legjellemzőbb a fémekre, ezeket a **11. ábra** mutatja be. A tércentrált kockarácsban a koordinációs szám 8, a legszorosabb illeszkedésű lapcentrál kockarácsban és hexagonális rácsban pedig 12.

A rács típus jelentősen befolyásolja a fémek megmunkálhatóságát.



11. ábra: A fémekre jellemző rács típusok: tércentrál és lapcentrál kockos, illetve a hexagonális rács

A fémecötés elsőrendű, erős kölcsönhatás, ezért közönséges körülmények között a fémek, a higany kivételével, szilárd anyagok. Olvadáspontjuk a rács típus függvényében nagyon változatos. Az alkálifémek olvadáspontja viszonylag alacsony, viszont a d-mezőbeli fémek csak igen magas hőmérsékleten olvadnak meg.

Az olvadáspontot a fémeknél az atomsugár és a rács típus mellett az alapállapotú atomok párosítatlan, illetve a delokalizációban részt vevő

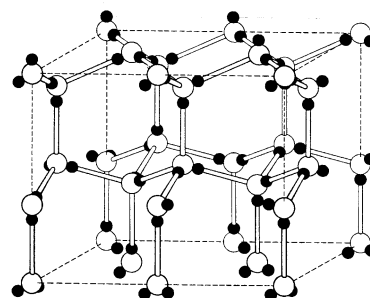
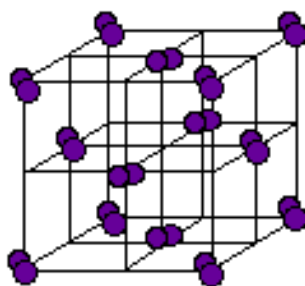
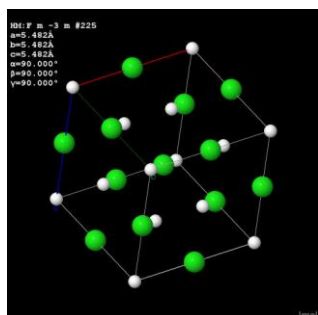
elektronjainak száma is befolyásolja.

A fémek felhasználását a sűrűségük is befolyásolja. Az 5 g/cm^3 -nél kisebb sűrűségű könnyűfémek közé a tömegükhöz képest nagy atomsugarú s-mezőbeli fémek, valamint a p-mezőből például az alumínium tartozik. A nagyobb moláris tömegű p-mezőbeli fémek (pl. ón, ólom), illetve a tömör, tömegükhöz képest kis atomtérfogató d-mezőbeli fémek a nehézfémek csoportját alkotják.

Az elemi fémek általában nem oldódnak sem apoláris, sem poláris oldószerekben, viszont egymás olvadékaiban jól oldódnak, ilyen esetekben ötvözeteket kapunk. De például a higany is sok fém kitűnő oldószere, az így kapott fémoldatokat összefoglaló néven amalgámoknak hívjuk.

Molekulakristályok- molekulárcsós anyagok

A molekulárcsós kristályokban a rácspontokon molekulák helyezkednek el, melyeket a másodrendű kötések tartanak össze. A molekulakristályokban a koordinációs szám általában kicsi. A 12. ábra három különböző másodlagos kötések segítségével kristályosodó anyag jellemző rácsát mutatja be.



12. ábra: A HCl, I₂ és H₂O molekulák rácsba rendeződése.¹⁷

A HCl molekulák (balról az első kép) között dipól-dipól kölcsönhatás alakul ki, kristályrácsa lapon középpontos ortorombos. A 12. ábra középső képe a jó kristályok rácsát mutatja, a jó kétatomos molekulái között diszperziós

¹⁷ Forrás: <https://chemistry.stackexchange.com/questions/73254/how-many-crystal-forms-of-hcl-have-been-identified-where-to-find-the-unit-cell>
<https://www.chemguide.co.uk/atoms/structures/molecular.html>
<https://learnbiochemistry.wordpress.com/category/ice-lattice/>

kölcsönhatás jön létre, az elemi cellája lapon középpontos köbös. A **12. ábra** jobb szélső képe a víz molekulák helyzetét mutatja a jégkristályokban. A víz molekulák között hidrogénkötések alakulnak ki, az elemi cella hexagonális.

Mivel a másodrendű kötések sokkal gyengébbek az elsőrendű kémiai kötésekénél, ezen anyagok olvadás- és forráspontja alacsony. Közülük sok csak igen alacsony hőmérsékleten rendeződik kristályba, közönséges körülmények között gáz vagy folyékony halmazállapotban megtalálható anyagok.

A hidrogénkötés kialakítására képes anyagok moláris tömegükhöz viszonyítva magasabb olvadáspontúak. Oldhatósági sajátságaik is jelentősen eltérnek a hasonló molekulatömegű anyagokétól, pl. a hidrogénkötések kialakulásának lehetősége miatt ezen anyagok sokkal jobban fognak vízben oldódni.

A hidrogénkötésnek köszönhető a földi életet alapjául szolgáló víz cseppfolyós halmazállapota. Kis molekulatömegű víz olvadás- és forráspontja a hidrogénkötések hiányában jóval alacsonyabb lenne. Az élő rendszerek működése nem lenne lehetséges az oldószerként, szállító és reakcióközegként funkcionáló víz hiányában. A Földről szinte teljesen hiányozna a cseppfolyós halmazállapot, hiszen néhány fém kivételével nincs más szervesetlen anyag a természetben, amelynek - a közönséges körülmények között - az olvadás- és forráspontja ezt lehetővé tenné.

Amorf anyagok

Ha a háromdimenziós rendezettség csak kis távon nyilvánul meg, de az anyag egészére hosszútávú rendezettség nem jellemző, akkor amorf anyagról beszélünk.

A legközismertebb amorf anyag az üveg vagy a vattacukor. Az üveg szervesetlen anyagok olvadáskor lehűlésekor képződő, nem kristályos, átlátszó termék. Bizonyos tekintetben inkább folyadékokhoz hasonlít, mint szilárd anyaghoz.

Felkészülést segítő kérdések

- Mik a kristályok?
- Mi az elemi cella?
- Jellemezzük az ionrácsot!
- Jellemezzük az atomrácsot!
- Jellemezzük a molekularácsot!
- Milyen szerkezeti tulajdonságokra vezethető vissza a víz magas olvadás és forráspontja?
- Jellemezzük a fémrácsot!
- Mik az amorf anyagok?

A kémiai reakciók

A kémiai reakciókat a kémiai egyenletekkel írjuk le, melyekben az egymással reagáló anyagok (reaktánsok) és a keletkező termékek vegyjelei, illetve képletei szerepelnek.

A kémiai reakciók tömeg és térfogatviszonyainak változásaival a sztöchiometria foglalkozik. A sztöchiometriai egyenlet azt adja meg, hogy milyen arányban reagálnak egymással a kiindulási anyagok és azokból milyen arányban keletkeznek végtermékek. A kémiai egyenlet rendezése alatt azt a műveletet értjük, amikor a reagáló anyagokhoz ún. sztöchiometriai együtthatókat rendelünk, amelyek megmondják, hogy az adott reakcióban milyen arányban reagálnak az anyagok, és milyen arányban keletkeznek belőlük termékek.

A kémiai egyenletírás szabályai

- 1. a reaktánsok a bal, a termékek a jobb oldalon vannak
- 2. tömegmegmaradás, elemek kémiai reakciókban való átalakíthatatlansága: az egyenlet két oldalán az egyes atomok száma, így a két oldal tömege megegyezik
- 3. a reakcióban szereplő anyagok képletét figyelembe kell venni (pl. az anyagmegmaradás szerint helyes az $N_2 + H_2 = 2NH$, de nincs stabil NH molekula, csak NH_3)
- 4. töltésmegmaradás (ionegyenleteknél kell rá odafigyelni)
- 5. a kémia törvényszerűségeit figyelembe kell venni, pl. bizonyos reakciók nem mennek végbe, bár az egyenlet formálisan felírható
- 6. egyenlőségjel azt fejezi ki, hogy az anyagok egymással maradék nélkül reagálnak; a nyíl, hogy a reakció során a reaktánsokból termékek képződnek; a kettős nyíl pedig az egyensúlyra vezető reakciókat jelöli.

A reakciók akkor jönne létre, ha a reagáló atomok/molekulák egymással hatásosan ütköznek. A hatásos ütközés feltétele, hogy az ütköző részecskék orientációja megfelelő legyen, és megfelelő energiával (aktiválási energia) rendelkezzenek. A reakció során a résztvevő molekulák eredeti kötéseit fel kell szakadjanak (aktivált komplex), mielőtt az új kötések ki tudnának alakulni. A kötések felszakításához nagy energia kell. Ezért kell, hogy az ütköző részecskék

elegendően nagy (mozgási) energiával rendelkezzenek, különben a reakció nem tud végbemenni.

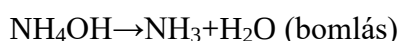
A reakciók típusai

A reakciókat többféleképpen csoportosíthatjuk.

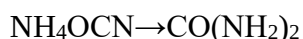
Lehetnek egyirányúak, ekkor a reakcióegyenletnek megfelelően a reaktánsok átalakulnak termékekké. Vagy lehetnek megfordíthatók, ilyenkor a termékek is vissza tudnak alakulni reaktánsokká. Egyensúlyi reakciók is esetében a reaktánsok termékké alakulása, illetve a termékek visszaalakulása ugyanolyan sebességgel játszódik le, így a rendszerünk állandónak látszik a külső szemlélő szemszögéből. Az egyensúlyi reakciókkal később még foglalkozunk.

A reakcióban résztvevő anyagok szerinti csoportosítás:

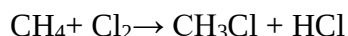
Egyesülés (addíció), amikor a reakció során két vagy több anyagból egy új anyag, bomláskor, amikor egy anyagból két vagy több új anyag keletkezik. Ha a bomlás során keletkező termékek aztán újra egyesülve a kiindulási anyagot adják, akkor bomlás helyett disszociációról beszélünk. Az etilén hidrogénnel egyesülve etánt ad, Míg az ammónium hidroxid ammóniára és vízre bomlik.



Ha az anyag összetételében nem változik, de a szerkezete átalakul, izomerizációról beszélünk. Például ammónium-cianid átrendeződve karbamidot ad.

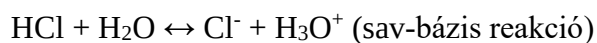
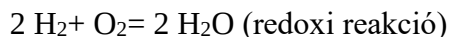


Ha a kiindulási molekula egy atomja vagy atomcsoportja egy másik atomra vagy atomcsoportra kicserélődik, szubsztitúcióról beszélünk, például a metán egyik hidrogénje a klórmolekula egyik klóratomjával cserélődik ki, miközben klórmétán és hidrogén-klorid keletkezik.



A reakció során lejátszódó részecskeátmenet jellege szerint beszélhetünk redoxi (elektronátmenet) és sav-bázis (protonátmenet) reakciókról.

Ezeket a későbbiekben részletesen tárgyaljuk.



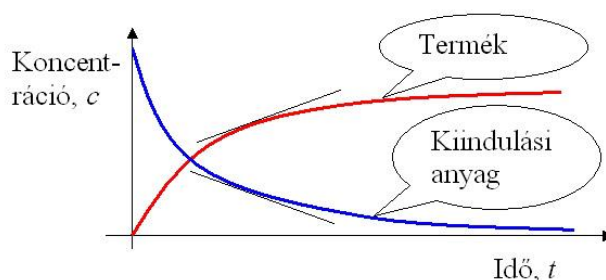
A reakciók termodinamikai jellege alapján beszélhetünk endoterm és exoterm folyamatokról.

A reakciók időbeli lefolyásuk alapján lehetnek pillanatszerűek (pl. egy robbanás) vagy időreakciók (hosszabb időt igénylő, pl. rozsdásodás).

A keletkező termékek milyensége alapján beszélhetünk gázfejlesztő vagy csapadékképzési reakciókról.

A kémiai reakciók sebessége

Egy kémiai reakcióban a kiindulási anyagok anyagmennyisége csökken, a termékek anyagmennyisége pedig növekszik az idő előrehaladtával (**13. ábra**).



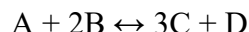
13. ábra: A reaktánsok és a termékek koncentrációinak időbeni változása a reakció előrehaladtával¹⁸

A reakciósebesség egy adott sztöchiometriájú kémiai reakció időbeli előrehaladásának pontos matematikai egyenletéből kapható meg. Az egyes reakciók nagyon eltérő sebességűek lehetnek, például a vas rozsdásodása a földi atmoszférában lassú, néhány évet is igénybe vehet, de a cellulóz égése néhány másodperc alatt lejátsszódik. A kémiai reakciók időbeni lefutásának tanulmányozásával a reakciókinetika foglalkozik.

A reakciósebesség nem lesz más, mint a reakcióban résztvevő anyagok anyagmennyiségeinek vagy koncentrációinak időbeni változása. Ha

¹⁸ forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Reakciósebesség>

például a következő reakcióegyenletet nézzük:



A reakciósebesség ebben az esetben az anyagmennyiségek időbeni változásaira a következő:

$$v = -\frac{\Delta n_A}{\Delta t} = -\frac{\Delta n_B}{2\Delta t} = \frac{\Delta n_C}{3\Delta t} = \frac{\Delta n_D}{\Delta t}$$

Ha a reakció során a rendszer térfogata állandó, akkor az anyagmennyiségek változása egyenesen arányos lesz a koncentrációk időbeni változásával.

$$v = -\frac{\Delta c_A}{\Delta t} = -\frac{\Delta c_B}{2\Delta t} = \frac{\Delta c_C}{3\Delta t} = \frac{\Delta c_D}{\Delta t}$$

Ha ismert a játszódó reakció egyenlete, elégséges egyetlen komponens¹⁹ mennyiségváltozásának sebességét ismerni, hiszen a reakció sztöchiometriájának ismeretében az össze többi komponens mennyiségének változása is számolható.

A reakció sebessége arányos lesz a koncentrációval, így bevezethetünk egy arányossági tényezőt is a reakciósebesség felírására. Az arányossági tényező a k reakciósebességi állandó lesz

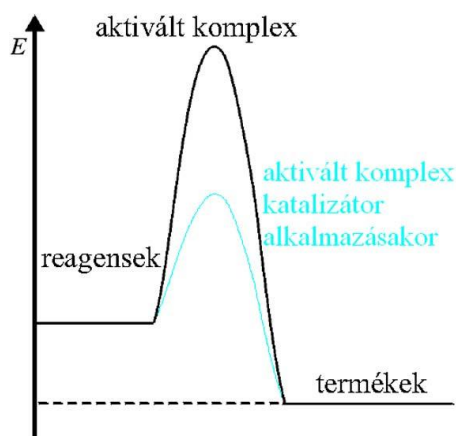
$$v = k[A]$$

ahol $[A]$ az A komponens koncentrációját jelöli.

A reakciósebesség nő a hőmérséklet emelésével, hiszen magasabb hőmérsékleten nagyobb a reagáló anyagok energiája és sebessége, így több a hasznos ütközések száma, mivel nagyobb a részecskék átlagos mozgási energiája is.

A reakciók játszódásának sebessége kétféle befolyásolható. Gyorsítható az ún. katalizátorok alkalmazásával (**13. ábra**). A katalizátorok olyan anyagok, amelyek olyan módon növelik a reakciósebességet, hogy olyan új reakcióutat nyitnak meg, aminek aktiválási energiája kisebb. A katalizátorok részt vesznek a reakcióban, de a reakció játszódása után változatlan formában visszamaradnak.

¹⁹ komponens: azonos atomokból, molekulákból álló részecskék halmaza

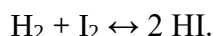


14. ábra: A katalizátorok alacsonyabb energiájú reakcióutat hoznak létre²⁰

A reakciósebesség lassítható, az ún. inhibitorok alkalmazásával, nevezhetjük őket negatív katalizátoroknak is. A reakcióban részt vesznek, viszont a katalizátorokkal ellentétben, nem nyerhetők vissza a reakció lezajlása után, mivel a folyamatban átalakulnak.

Egyensúlyi reakciók

Korábban említettük, hogy a megfordítható kémiai reakciók csoportjába tartoznak az egyensúlyi folyamatok. Nézzük a következő egyensúlyi reakciót:



A reaktánsok összekeverésének pillanatában az átalakulás (odaalakulás, v_1) sebessége maximális, a visszaalakulás (v_2) zérus

$$v_1 = k_1 \cdot [\text{H}_2] [\text{I}_2]$$

$$v_2 = k_2 \cdot [\text{HI}]^2$$

A folyamat során az átalakulás sebessége (v_1) csökken (mivel a kiindulási anyagok koncentrációja is csökken), a visszaalakulás (v_2) pedig nő (mivel a termékek koncentrációja nő) egészen addig, míg a két folyamat sebessége ugyanazt az értéket nem veszi fel (13. ábra).

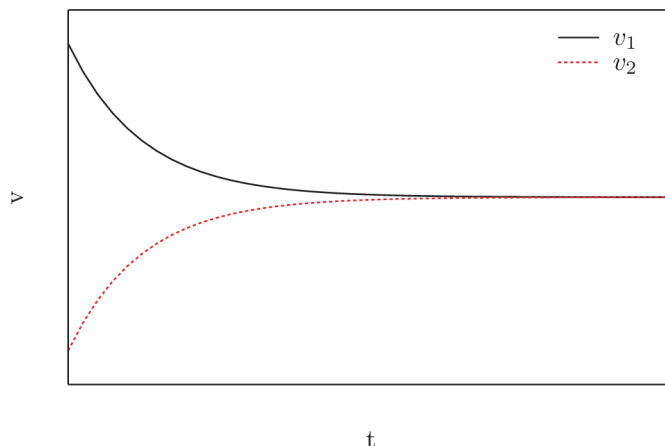
Az egyensúly beálltakor a külső szemlélő számára nincs megfigyelhető változás. A reaktánsok és a termékek koncentrációi

²⁰ forrás: <http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszet tudomanyok/kemia/altalanos-kemia/a-reakciosebesseg/a-katalizator-hatasa-a-reakciosebessegre>

nem változnak. Az oda és visszaalakulás sebessége megegyezik.

$$v_1 = v_2$$

Ez az ún. dinamikus egyensúly. A reakcióegyenletben az ilyen típusú reakcióknál az egyenlőségjel helyett a kettős nyílát használjuk.



15. ábra: A két ellentétes irányú reakció sebességeinek időbeni változása és az egyensúly kialakulása
Az egyensúlyi állapotot a két reakció reakciósebességi állandóinak (k_1 és k_2) hányadosa jellemzi, amely adja az egyensúlyi állandót (K).

$$k_1 \cdot [H_2][I_2] = k_2 \cdot [HI]^2$$

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$$

Mivel a két sebességi állandó hányadosa egy konstans értéket ad a HI képződési reakcióra felírt egyensúlyi állandó a következő:

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$$

ahol a szögletes zárójelek az adott komponens egyensúlyi koncentrációját jelölik.

A K , egyensúlyi állandó értéke adott hőmérsékleten jellemző egy reakcióra. Nem függ a kiindulási koncentráció értékektől, de adott reakciónál minden hőmérsékletre más-más az értéke (reakciósebességi együtthatók hőmérsékletfüggése miatt).

Az egyensúlyiállandó felhasználható a várható egyensúlyi helyzet becslésére:

- ha az egyensúlyi állandó értéke nagyon nagy ($K \gg 1$), akkor az egyensúly jelentősen a termékek, azaz a termékképződés irányába tolódott el (vagyis a kiindulási anyagok egyensúlyi koncentrációja alacsony),
- ha az egyensúlyi állandó értéke nagyon kicsi ($K \ll 1$), akkor az egyensúly jelentősen a kiindulási anyagokká való visszaalakulás irányába tolódott el, jelentős termékképződés nem várható.

Az egyensúlyi állapot érzékeny a külső körülmények megváltozására, amelyek minden esetben egy új egyensúly kialakulását eredményezik.

Az egyensúlyban lévő rendszer minden esetben úgy reagál a megváltozott körülményekre, hogy annak a folyamatnak az irányába tolódik el, amelyik az őt ért zavaró hatást csökkenteni igyekszik. Ez az ún. legkisebb kényszer elve, a Le-Chatelier-Braun elv.

A zavaró körülmények hatása jól értelmezhető a legkisebb kényszer elvének felhasználásával.

A koncentráció változtatásának hatása:

- ha az egyik komponens koncentrációját megnöveljük, akkor annak a folyamatnak lesz nagyobb a sebessége, amely a hozzáadott anyag koncentrációját csökkenti
- ha valamelyik komponens koncentrációját csökkentjük, akkor az egyensúly ezen anyag keletkezésének irányába tolódik el.

A koncentrációváltozással megzavart egyensúly egyensúlyi állandója a új egyensúly beállta után is változatlan marad.

Ha a HI egyensúlyi rendszer példáján figyeljük meg a komponensek koncentrációváltozásainak hatását, azt tapasztaljuk, hogy

- ha H_2 -t adunk az egyensúlyi rendszerhez, az egyensúly a termékképződés irányába fog eltolódni, hiszen így tudja a hozzáadott H_2 által idézett zavart csökkenteni.

A hőmérséklet változtatás hatása

- a hőmérséklet emelése az az endoterm reakcióiránynak kedvez
- a hőmérséklet csökkentése az exoterm reakcióiránynak kedvez

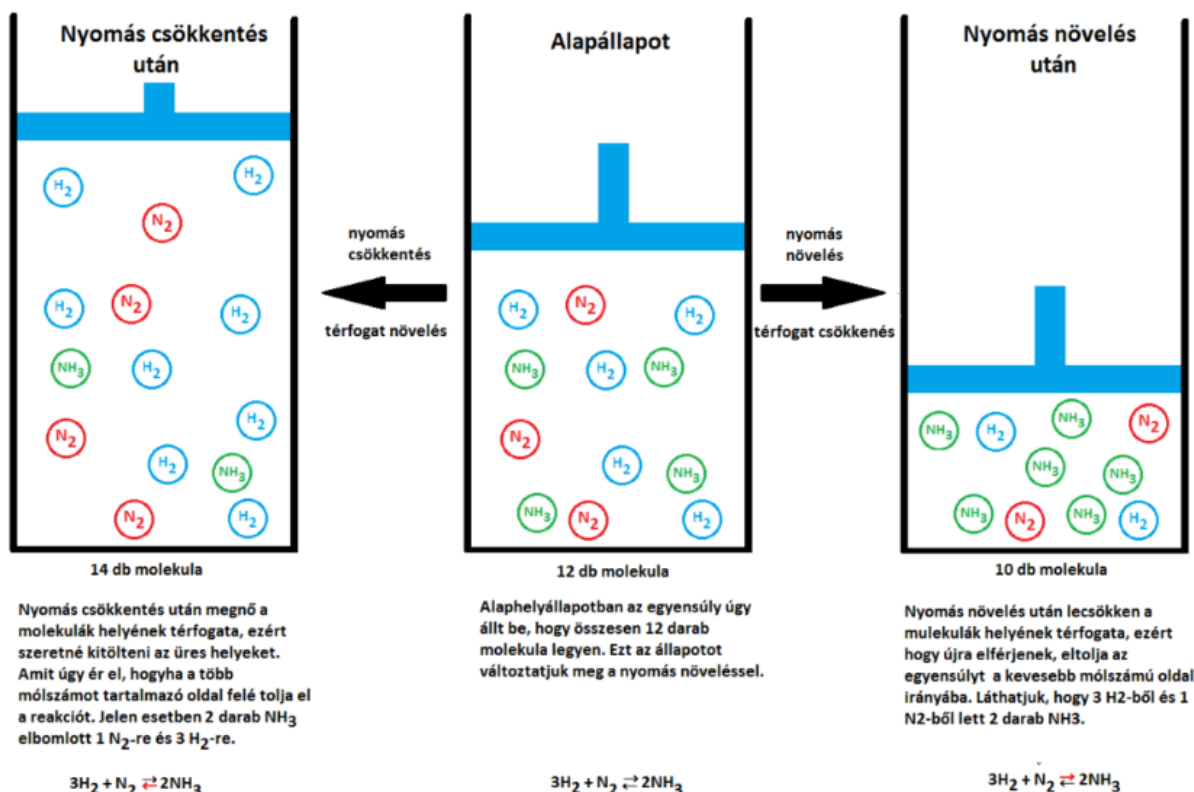
A hőmérséklet változása miatt a reakciósebességi állandók megváltoznak,

így az egyensúlyi állandó értéke is változni fog.

A nyomás hatása:

- a nyomás növelése a molekulaszám csökkenésnek kedvez,
- a nyomás csökkentése a molekulaszám növekedés irányába tolja el az egyensúlyt.

Nyomásváltoztatással csak akkor változik meg az egyensúlyi helyzet, ha a reakció molekulaszám változással jár. Ezt szemléletesen a **16. ábra** mutatja be az ammóniaszintézis példáján.



16. ábra: A nyomás egyensúlybefolyásoló hatása²¹

A katalizátorok hatása

A katalizátorok az oda és visszaalakulás sebességét is gyorsíthatják, viszont az egyensúlyi koncentrációkra nincs hatásuk,

²¹ forrás: <http://kemiainfo.hu/egyensuly-le-chatelier-elv>

tehát az egyensúly időben hamarabb beáll, de az egyensúlyi állandó értéke ugyan az lesz, mintha nem használtunk volna katalizátorokat.

Redoxireakciók

Redoxifolyamatoknak vagy redoxireakcióknak nevezzük azokat a kémiai reakciókat, melyek az oxidációs szám változással járnak. Ilyenkor az egyik reaktáns elektront ad le, amit a másik reaktáns felvesz.

Az elektront leadó reaktáns oxidálódik, eközben nő az oxidációs száma. Az elektront felvevő reaktáns redukálódik, oxidációs száma csökken.

Az a reakciópartner, amelyik oxidálódott, miközben elektront vett fel, a vele reagáló reaktánst redukálta, tehát redukálószerként viselkedett. Ugyanígy a redukálódott partner, az oxidálószer szerepét töltötte be.

Az oxidációs szám az elemi állapothoz viszonyított oxidációs állapotot mutatja meg, nem más mint egy tényleges vagy fiktív töltés. Az elemek oxidációs száma mindig 0. Az ionok (egyszerű ionok, pl. fémionok, oxidionok stb.) oxidációs száma megegyezik a töltéssel. A Na^+ oxidációs száma +1, azaz ennyivel oxidáltabb az ion az elemi állapotnál (egyel kevesebb elektronja van, mint a semleges atomnak). Kovalens vegyületeknél a kötést létesítő elektronpár(oka)t képzeletben a nagyobb elektronegativitású atomhoz rendeljük, és az így kialakult fiktív ionok töltését tekintjük az adott atom oxidációs számának. Így például a víz molekulában az O^{2-} és H^+ ionok töltése alapján az oxigénnek -2, a hidrogénnek +1 az oxidációs száma.

Az oxidációs számok a redoxireakciók rendezésekor nagy segítséget szolgáltatnak. A redoxi reakcióban az oxidáció és a redukció mértéke meg kell egyezzen, vagyis az elektron leadás és az elektron felvétel mértéke is egyenlő kell legyen.

Az oxidációs számok megállapításának szabályai:

- az elemek (és a két vagy többatomos molekulák) oxidációs száma, ahogy már korábban is említettük mindig nulla (pl. a Fe, Ne, O_2 , O_3 , P_4 és S_8 minden atomja 0 oxidációs számú),

- a fluor vegyületeiben mindig -1-es oxidációs számmal rendelkezik
- vegyületeikben az alkálifémek és az ezüst mindig +1-es oxidációs állapotú
- az alkáliföldfémek és a cink +2-es oxidációs számú
- alumínium vegyületeiben mindig +3
- a hidrogén nemfémekkel alkotott kovalens vegyületeiben általában +1-es oxidációs állapotú, viszont a fémekkel alkotott hidridekben -1 az oxidációs
- az oxigén vegyületeiben legtöbbször -2-es oxidációs számú, de a peroxidokban -1, a szuperoxidokban -0,5
- a semleges vegyületekben az alkotó atomok oxidációs számának összege nulla
- az egyszerű ionok oxidációs száma megegyezik a töltéssel, az összetett ionokban az oxidációs számok összege egyenlő az ion töltésével

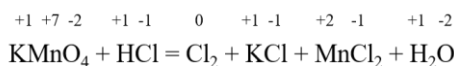
A redoxireakció egyenletének rendezési lépései:

- megállapítjuk az atomok oxidációs számát az egyenletben feltüntetett összes anyagban,
- kijelöljük az oxidációszám-változásokat (legalább egy anyagnak növekszik, illetve legalább egynek csökken az oxidációs száma),
- a sztöchiometriai együtthatók módosításával elérjük, hogy az oxidációs szám-csökkenés és -növekedés értéke megegyezzen,
- az egyenletben szereplő többi anyag sztöchiometriai számának változtatásával elérjük, hogy az egyenlet a tömeg-, és atommegmaradás (ioneqyenlet esetében a töltésmegmaradás) törvényének is megfeleljen.

Például nézzük a kálium-permanganát és a sósav reakcióját. Írjuk fel bal oldalra a reagáló, jobb oldalra pedig a keletkező anyagok képleteit.

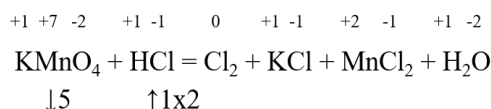


Majd a fent leírt szabályok alapján minden atom fölé írjuk oda a hozzájuk tartozó oxidációs számot.



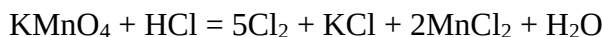
Az oxidációs számok felírása után kiderül, hogy a mangán oxidációs száma +7-ről +2-re csökkent, a klór oxidációs száma pedig -1-ről 0-ra nőtt. Tehát a mangán 5 elektront vett fel, vagyis redukálódott, miközben a klór elektron leadása mellett oxidálódott.

Jelöljük nyilakkal a leadott (↓) és felvett (↑) elektronok számát az egyenlet bal oldalán:

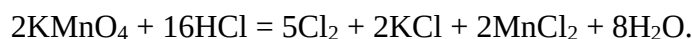


A kloridion elektronfelvételénél azért szerepel a kettes szorzó, mert a kétatomos klór molekula keletkezéséhez két klóratom kell elektront felvegyen, tehát egy kételektronos változásnak kell történnie. Tehát jelenleg van egy 5-ös és egy 2-es elektronszámváltozással járó folyamatunk. Hogy a reakciónk elektronszám növekedésének és csökkenésének mértéke megegyezzen, meg kell találnunk a két részfolyamat elektronszámváltozásainak legkisebb közös többszörösét. Ebben az esetben ez a szám a 10 lesz.

Az egyenlet jobb oldalára a megfelelő képletek elé írunk olyan sztöchiometriai együtthatót, amivel elérjük, hogy a felvett és a leadott elektronok száma is 10 legyen, vagyis a Klór molekula elé 5-öt, a mangán-klorid elé pedig 2-öt.

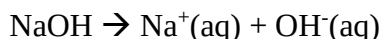
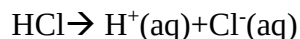


Ezek után a tömegmegmaradás törvényét alkalmazva rendezzük az egyenletet. Elsőként a Mn atomok számát egyenlítjük ki az egyenlet mindkét oldalán, majd folytatjuk a K, Cl atomokéval, végül a H atomok számát ellenőrizzük. Az egyenletrendezés akkor tekinthető helyesnek, ha az oxigénatomok száma is megegyezik az egyenlet mindkét oldalán. A rendezett egyenlet a következőképpen alakul:



Savak és bázisok egyensúlya vizes közegben és a sav-bázis reakciók

Az Arrhenius-féle elmélet szerint a savak olyan anyagok, amelyek hidrogénionra (és anionra), a bázisok pedig hidroxidionra (és kationra) disszociálnak vizes oldatban. Például:

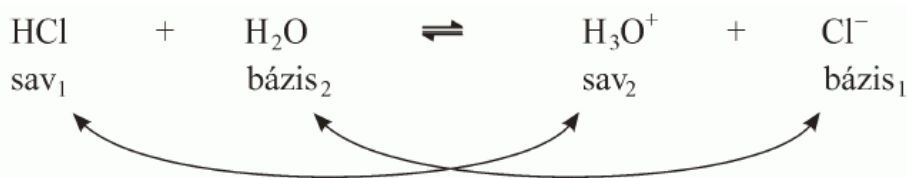


Ennél szélesebb körben alkalmazható elmélet a Brönsted-Lowry-féle megfogalmazás, miszerint a savak proton leadásra (pl. sósav), a bázisok proton felvételére képes anyagok (pl. ammónia). A Brönsted-féle sav-bázis fogalom magába foglalja az arrheniusi savakat és bázisokat is, illetve magyarázza az egyes ionok sav-bázis tulajdonságait, valamint a nem vizes közegben lejátszódó sav-bázis reakciókat is.



Egy adott anyag csak akkor nevezhető savnak vagy bázisnak, ha ismerjük a partnerét, csak valamihez viszonyítva lehet sav vagy bázis. A leadott proton szabadon nem létezhet, így egy anyag csak akkor tud savként viselkedni, ha van mellette egy másik anyag, amelyik képes megkötni a protont.

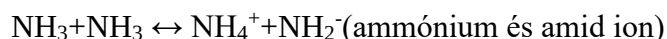
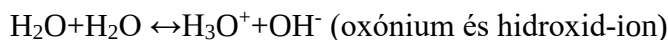
Egy reakcióban (17. ábra) savként viselkedő anyag (pl. HCl) olyan részecskévé (Cl^-) alakul, amely a mellette feltüntetett reakciópartnernek (H_3O^+) a protonját képes felvenni, vagyis bázis.



17. ábra: A HCl és víz reakciója

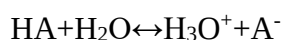
Az ilyen típusú reakciókban ún. konjugált sav-bázis párok vannak jelen, ezeket egy-egy alsó indexben jelzett számmal különböztetjük meg. A hidrogén-klorid konjugált sav-bázis párja a kloridion, a vízmolekulának az oxóniumion.

Vannak olyan anyagok, amelyek proton leadásra és felvételre is képesek, ezeket amfoter anyagoknak nevezzük. Ilyen anyagok például a víz vagy az ammónia. Az ekkor lejátszódó protolitikus reakció²² az autoprotolízis.



Azok az savak, amelyek könnyen adják át a protonjaikat és híg vizes oldatban disszociációjuk teljes, erős savak. Azok a bázisok, amik könnyen protonálódnak, és híg vizes oldatban teljes a disszociációjuk, erős bázisok.

A protolitikus reakciók is egyensúlyi reakciók. Így felírható a reakciók egyensúlyi állandója is. Például egy HA általános képletű sav vízzel való reakciójára:



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

Mivel a víz koncentrációja a savak híg oldatában sokkal nagyobb, mint az ionok vagy a sav koncentrációja, és csak igen kis mértékben változik a protolitikus folyamatban, állandónak tekinthetjük. Ezért a víz egyensúlyi koncentrációját bevonhatjuk az egyensúlyi állandóba, és így a savi disszociációs állandót kapjuk.

$$K_s = K \cdot [\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]}{[\text{HA}]}$$

Bázisok esetében, B általános képlettel jelölt bázis esetén, K_b bázisállandó írható fel:

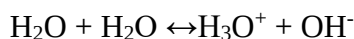
$$K_b = \frac{[\text{HB}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$$

Ha a K_s vagy K_b értéke nagy erős savakról (pl. HCl) és erős bázisokról (pl. NaOH) beszélünk, amikor az állandók értéke kicsi szám, a disszociáció nem lesz teljes, ilyenkor gyenge savakról (pl. H_2CO_3) és gyenge bázisokról (NH_3) beszélünk. A disszociáció mértékét a disszociáció fok adja meg. Jele α , értéke 0 és 1 között lehet, ahol az egy a teljes disszociációt jelenti.

²² protolitikus reakció: protonátmenettel járó reakció

Kémhatás

A víz autoprotolíziséből következően a tiszta víz is tartalmaz oxónium- és hidroxidionokat, igaz, csak igen kis mennyiségben.



Ilyenkor az egyensúlyra felírt állandó a következő:

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

Mivel a víz koncentrációja sokkal nagyobb, mint a hidroxid és oxóniumionok koncentrációja, összevonható az egyensúlyi állandóval. Így egy új állandót, a vízionszorzatot tudunk kifejezni.

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

K_v értéke 10^{-14} mol/dm³ 22°C-on (a vízionszorzat hőmérsékletfüggő).

A tiszta vízben az oxónium és hidroxid-ionok koncentrációja megegyezik.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$$

Ezek koncentrációját a hozzáadott savak és bázisok megváltoztatják (megzavarják az egyensúlyt). A bevitt sav, mivel protont ad át a vízmolekuláknak, növeli az oxóniumion-koncentrációt, ezzel - a Le-Chatelier-Braun el értelmében - csökkenti a víz autoprotolíziséből származó hidroxidion-koncentrációt. A bevitt bázis növeli a hidroxidion-koncentrációt, csökkenti a víz autoprotolíziséből származó oxóniumionok koncentrációját.

Amikor az oxónium- és hidroxidionok koncentrációja megegyezik, semleges kémhatásról beszélünk.

Savas kémhatású oldatban az oxóniumionok vannak többségben, míg a lúgos kémhatású oldatokban a hidroxidionok.

A kémhatás egyszerűbb kifejezésére vezették be a pH fogalmát, amely az oldat oxóniumion-koncentrációjának (mol/dm³-ben kifejezett) negatív, tízes alapú logaritmus:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+].$$

Ezek alapján a semleges oldatok pH-ja 7, a savas oldatok esetében $\text{pH} < 7$, a lúgos oldatoknál pedig $\text{pH} > 7$.

A vizes oldatok kémhatását az ún. sav-bázis indikátorokkal tudjuk jelezni. Ezek az indikátorok gyenge savak vagy bázisok, melyeknek a protonált illetve deprotonált formája közötti átalakulás során úgy változott meg a kötésrendszere, hogy ezen változást színváltozás kíséri. A 5. táblázat bemutat néhány sav-bázis indikátort és azok színeit különböző kémhatású közegekben.

	erősen lúgos	semleges	erősen savas
fenolftalein	piros	színtelen	színtelen
metilnarancs	sárga	sárga	piros
lakmusz	kék	lila	piros
univerzál indikátor	kék	zöld v. sárga	piros

5. táblázat: Sav-bázis indikátorok

Felkészülést segítő kérdések

- Mi a kémiai reakciók?
- Mik a kémiai egyenletek?
- Mi a sztöchiometria?
- Mi a sztöchiometriai együttható?
- Mi a tömegmegmaradás törvénye?
- Mik a kémiai egyenlet írás szabályai?
- Mi a kémiai reakció létrejöttének feltétele?
- Hogyan csoportosíthatók a reakciók?
- Hogyan változik a reakció során a kiindulási anyagok és a termékek koncentrációja?
- Mi a reakciósebesség?
- Mi a reakciósebességi állandó?
- Miért és hogyan változtatja meg a reakciósebességet a hőmérséklet változása?
- Mik a katalizátorok?
- Hogyan változtatják meg a reakciósebességet a katalizátorok?
- Mik az inhibítorok?
- Mik az egyensúlyi reakciók?
- Mi az egyensúlyi állandó?
- Mi a le-Chatelier- Braun elv?
- Hogyan tolható el az egyensúly?
- Mutassuk be az egyensúly befolyásolását az ammóniaszintézis példáján!
- Mik a redoxi reakciók?
- Mi az oxidáció?
- Mi a redukció?
- Mit jelent, hogy valami oxidálószer?
- Mit jelent, hogy valami redukálószer?
- Mi az oxidációs szám?
- Mik az oxidációs szám megállapításának szabályai?

- Mik a redoxi egyenletek rendezésének szabályai?
- Mik a savak?
- Mik a bázisok?
- Mi az autoprotolízis?
- Mi a savi disszociációs állandó?
- Mik a konjugált sav-bázis párok?
- Mi a disszociáció fok?
- Mit jelent, hogy valami erős sav vagy erős bázis?
- Mit jelent, hogy valami gyenge sav vagy gyenge bázis?
- Mik a sav-bázis indikátorok?
- Mi a kémhatás?
- Hogyan számolható a pH?

Keverékek, elegyek és azok összetétele

A keverékek olyan anyagi rendszerek, amelyeket kettő vagy több komponens²³ alkot. Egynemű, vagyis homogén a keverék, ha a komponensei között határfelület²⁴ nem figyelhető meg. Ha megfigyelhető az alkotórészek közötti határfelület, akkor heterogén keverékről beszélünk.

Azok a két- vagy többkomponensű keverékek, amelyekben nem különíthetők el fázishatárok és az egyes komponensek részecskéi (molekulái, ionjai, atomjai) teljesen elkeverednek egymással, az elegyek, illetve az oldatok.

A keverékeket az alkotórészek mérete alapján 3 csoportra bonthatjuk. Megkülönböztetünk homogén, heterogén és kolloid elegyeket. A heterogén keverékekben a szétosztatott, elkevert részecskék mérete nagyobb 500 nanométernél. A homogén keverékekben az anyag egyenletes eloszlású, az alkotórészek mérete kisebb 1 nanométernél, ezek az oldatok. A kolloid elegyekben a közeg 1-500 nanométer közötti méretű elosztatott részecskéket tartalmaz. Az ilyen méretű részecskék viselkedésével és tulajdonságaival a kolloidkémia foglalkozik. Az élelmiszerkolloidok esetében az előbb említett mérethatár 1000 nm-ig kiterjeszthető.

Elegyről akkor beszélünk, ha a keverék egyik összetevőjét sem emeljük ki a többivel szemben. Az elegy kifejezést leggyakrabban gázkeverékekre (levegő) és folyadékok keverékeire (kőolaj) használjuk. Az oldatok legtöbbször valamilyen folyékony oldószerből (például víz) és oldott anyagból (például só) állnak.

Fontos ismernünk, hogy milyen módon adható meg az egyes elegyek és oldatok összetétele.

Az elegyek mennyiségi viszonyainak jellemzésére az összetétel használható.

A tömegszázalék (w%) megmutatja, hogy 100 g elegy hány g-ot tartalmaz az adott komponensből. Vagyis, hogy mennyi az egyik összetevő tömege és az elegy teljes tömege hányadosának 100-szorosa.

A térfogatszázalék (φ%) megmutatja, hogy 100 cm³ elegy hány cm³-t tartalmaz az egyik összetevőből. Vagyis, hogy mennyi az egyik összetevő térfogata és az teljes térfogat hányadosának a 100-szorosa.

²³ komponens: alkotó elem

²⁴ határfelület: két fázis érintkezési felülete

Az anyagmennyiség-koncentráció (c_2) megmutatja, hogy 1 dm^3 oldatban hány mól oldott anyag található. Az anyagmennyiség-koncentráció az oldott anyag anyagmennyiségének és az oldat térfogatának a hányadosa, mértékegysége: mol/dm^3 , sokszor csak M -mel jelöljük.

Felkészülést segítő kérdések

- Mik az elegyek?
- Mik a keverékek?
- Mik az oldatok?
- Mit jelent, hogy egy elegy heterogén?
- Mit jelent, hogy egy elegy homogén?
- Mit jelent, hogy egy elegy kolloid?
- Mi a tömegszázalék?
- Mi a térfogatszázalék?
- Mi az anyagmennyiség koncentráció?

Feladatok

A feladatok megoldásához periódusos rendszer és számológép szükséges!

Az atom felépítése

Melyik atomot jellemzik a felírt adatok? A vegyjelnél jelöljük a tömegszámot (bal felső index) és a rendszámot (jobb alsó index) is! Az izotópokat jelöljük csillaggal!

Vegyjel	Protonsám	neutronsám
	17	18
	17	20
	8	10
	6	6
	6	7
	14	14
	13	14

Hány db proton és neutron van 4 mol 16-os tömegszámú oxigénatomban?

Hány elemi részecskét tartalmaz 43 g 13-as tömegszámú szénatom?

Mennyi atompálya tartozik az $n=4$ főkvantumszámhoz? Maximálisan hány elektron lehet ezen a héjon?

Melyik atomra elektronszerkezetét írtuk fel?

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$	
$1s^2, 2s^2, 2p^4$	

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^2$	
$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^7$	
$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6$	
$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^1$	
$1s^2, 2s^2$	

Írjuk fel a következő alapállapotú atomok elektronszerkezetét!

Li	
Ca	
Cr	
Al	
S	
Br	
Ar	

Hány db elemi részecske van a felsoroltakban?

2 db ^{24}Mg atomban	
$2 \cdot 10^{23}$ db ^{12}C atomban	
2 mol ^4He atomban	
5 g ^{14}C atomban	

Atomszerkezeti ismereteink alapján töltsük ki a következő táblázatokat!

1;

Az atom					
vegyjel	név	proton szám	neutron szám	rendszám	tömegszám
${}^7_3\text{Li}$					
	nátrium				23
			8	6	
		2			4
				16	32
		13	14		

2;

képlet	moláris tömeg	anyagmennyiség	tömeg	molekulák száma
CO		2 mol		
C ₃ H ₆			320 g	
SO ₂				3*10 ²⁴ db
CH ₄		3,5 mmol		
H ₃ PO ₄			52 kg	

Atomok kapcsolódása

Az elektronegativitás értékek alapján állapítsuk meg milyen kötés van a következő anyagokban!

N ₂	
HF	

NaCl	
NH ₃	
Al ₂ O ₃	

A I₂, CF₄, C₂H₄, CO₂ és H₂S molekulák közül melyik a poláros, miért?

A HF, CO, H₂O, CCl₄ molekulák közül melyik az apoláros, miért?

Milyen másodlagos kötés alakulhat ki a következő molekulák halmazában? Miért?

1; CH₄

2; HF

3; NH₃

4; He

Töltsük ki a táblázatot az anyagi halmazokra vonatkozó ismereteink alapján!

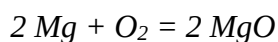
	rácstípus	rácspontokban lévő részecskék	részecskék közötti kötőerő
szárazjég			
jég			
alumínium			
gyémánt			
konyhasó			
jód			

Sztöchiometria

Feladat megoldás menete

Állítsunk elő magnézium-oxidot magnézium (Mg) elégetésével. Számoljuk ki, hány gramm magnézium szükséges 10 g magnézium-oxid előállításához!

Első lépésként fel kell írjuk a feladatban szereplő reakció egyenletét és rendeznünk kell azt!



A reakcióegyenlet alapján látjuk, hogy 2 mol magnézium 1 mol oxigéngázzal reagálva 2 mol magnézium-oxidot termel.

A moláris tömegek ismeretében, a kiindulási magnézium mennyisége számolható.

$$M_{\text{Mg}} = 24 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{O}_2} = 32 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{MgO}} = 40 \text{ g/mol}$$

	2 Mg	+ O ₂	= 2 MgO
anyagmennyiség	2 mol	1 mol	2 mol
tömeg ($m=n \cdot M$)	2 mol · 24 g/mol = 48 g	32g	2 mol · 40 g/mol = 80g
feladat	x g		10 g

A keresett mennyiség a következőképpen számolható:

$$x = 48 \text{ g} \cdot \frac{10 \text{ g}}{80 \text{ g}}$$

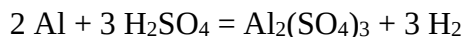
A számítást elvégezve megkapjuk, hogy x értéke 6 g.

Tehát 6 g magnézium elreagáltatásával kapunk 10 g MgO-ot.

Önállóan elvégzendő feladatok

Mekkora anyagmennyiségű hidrogén gáz fejlődik 0,35 mol alumínium elreagálása esetén az alábbi egyenlet alapján? $M_{\text{Al}}=27$

g/mol, $M_{\text{H}_2\text{SO}_4}=98$ g/mol, $M_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}=342,15$ g/mol, $M_{\text{H}_2}=2$ g/mol



Hány mol kénsav szükséges 2,5 g alumínium feloldásához?

Hány mol alumínium szükséges 18 g alumínium-szulfát előállításához?

Hány g kénsav szükséges 2 mol alumínium feloldásához?

Ha egy mol hidrogén gáz térfogata 22,41 dm³ molonként, mekkora térfogatú gáz keletkezik 93 g magnézium sósavval való reakciójakor, teljes átalakulás esetén?

Hány db vízmolekula lép reakcióba 3,4 g kalcium-oxiddal?

Hány mmol alumínium volt abban az ötvözetben, aminek 15 g-ját sósavval reagáltatva 17 mmol hidrogéngázt kaptunk (feltételezzük, hogy csak az alumínium oldódik a sósavban)?

Redoxi-reakciók

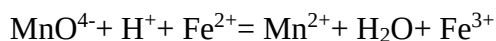
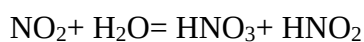
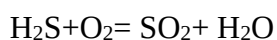
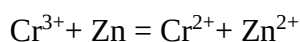
Csoportosítsuk a következőkben felsorolt molekulákat és ionokat a központi atomjuk oxidációs száma alapján!

SO_3 , CCl_4 , H_3PO_4 , H_2CO_3 , H_2S , SO_2 , H_2PO_4^- , HClO_4 , KMnO_4 , ClO_4^- , NH_3 , NH_4^+

oxidációs szám	képlet
-3	
-2	
-1	
0	
1	

2	
3	
4	
5	
6	
7	

Rendezzük a következő egyenleteket az oxidációs számok változásának függvényében! Mi oxidálódott, mi redukálódott? Jelöljük az oxidáló- és redukálószerket!



Sav-bázis egyensúlyok

Töltsük ki a táblázatot!

oldott anyag képlete	c [mol/dm ³]	pH	[H ₃ O ⁺] és [OH ⁻] viszonya	kémhatás
HCl	0,001			
KOH		10		
H ₂ SO ₄	0,00005			

HNO ₃		2,54		
NaCl	0,05			
LiOH	0,02			

Mekkora a pH-ja a következő oldatoknak, ha a koncentráció minden esetben 0,015 M?

a; HCl

b; NaOH

c; H₂SO₄

Egy sósav oldat pH-ja 2,7. Hány mólos ez az oldat?

Mennyi a 0,3 M NaOH oldat pH-ja?

Mennyi a 0,02 M H₂SO₄ oldat pH-ja?

Elegyek, oldatok összetétele

Feladatmegoldás menete

Számoljuk ki, hány mol kálium-hidrogénkarbonátot tartalmaz 20 cm³ 0,1025 mol/dm³ koncentrációjú oldat!

Ehhez a mólos oldat definícióját fogjuk felhasználni, miszerint az, hogy egy oldat koncentrációja 0,1025 mol/dm³, azt fogja jelenteni, hogy 1 dm³ oldat 0,1025 mol oldott anyagot tartalmaz.

A 20 cm^3 ($0,020 \text{ dm}^3$) oldatban lévő oldott anyag anyagszáma a következő aránypárral számoljuk ki:

Def: 1 dm^3 oldatban $0,1025 \text{ mol KHCO}_3$ van
oldva

akkor $0,020 \text{ dm}^3$ oldatban mennyi? (ez lesz az x)

$$x = \frac{0,020 \text{ dm}^3}{1 \text{ dm}^3} * 0,1025 \text{ mol} = 2,05 * 10^{-3} \text{ mol}$$

Önállóan elvégzendő feladatok

Hány g NaCl és víz szükséges 3 dm^3 16 w%-os oldat elkészítéséhez, ha a 16 w%-os oldat sűrűsége $1,175 \text{ g/cm}^3$? $M_{\text{NaCl}} = 58,5 \text{ g/mol}$

Hány w%-os az az oldat Na_2CO_3 -ra nézve, amelyet úgy készítettünk, hogy 5 g $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ -ot oldottunk fel 50 cm^3 vízben? $M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 106 \text{ g/mol}$, $M_{\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}} = 286 \text{ g/mol}$

Hány g HNO_3 van 200 cm^3 $0,1 \text{ mol/dm}^3$ oldatban? $M_{\text{HNO}_3} = 63 \text{ g/mol}$

Hány mólos²⁵ az az oldat, amelynek 300 cm^3 -ében 10,5 g KOH-t oldottunk fel? $M_{\text{KOH}} = 56 \text{ g/mol}$

Mennyi a 20 w%-os HCl oldat koncentrációja mol/dm^3 -ben, ha az oldat sűrűsége $1,1 \text{ g/cm}^3$. $M_{\text{HCl}} = 36,5 \text{ g/mol}$

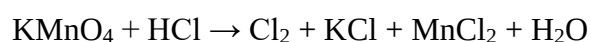
500 cm^3 $2,00 \text{ mol/dm}^3$ kénsavoldatot állítunk elő (sűrűsége $1,123 \text{ g/cm}^3$). $M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 98 \text{ g/mol}$
a; Hány cm^3 98% kénsavoldat (tömény kénsav) kellett az elkészítéséhez, ha a tömény kénsav koncentrációja $1,84 \text{ g/cm}^3$?

²⁵ mólos: anyagszáma koncentrációt jelenti

b; Ha az 500 cm^3 $2,00 \text{ mol/dm}^3$ kénsavoldathoz 250 cm^3 tömény kénsavat adunk, mekkora lesz a keletkező oldat anyagmennyiség koncentrációja, ha a sűrűsége $1,585 \text{ g/cm}^3$?

Összetett feladatok

Kálium-permanganáttal tömény sósavból klórgázt fejlesztünk az alábbi (rendezendő!) reakcióegyenlet alapján:



a; 1 mol KMnO_4 hatására sósavfeleslegből hány mol klórgáz fejlődik?

b; 25 g KMnO_4 hatására sósavfeleslegből hány gramm klórgáz fejlődik?

c; 3 mol klór előállításához hány gramm KMnO_4 -ra van szükség?

d; 10 g KMnO_4 hány gramm hidrogén-kloriddal reagál?

e; 30 g KMnO_4 hatására hány dm^3 standard nyomású, 25°C -os klórgáz fejlődik? (1 mol standard állapotú gáz térfogata $24,5 \text{ dm}^3$)

f; 45 g KMnO_4 milyen térfogatú 37 w%-os, $1,18 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű sósavval reagál?

Nátrium-kloriddal szennyezett nátrium nitrát 5 g-ját vízben oldjuk. Ezüst-nitrát adagolásával a szennyező komponens mennyiségére utaló csapadékot választottunk le, aminek tömege 245,3 mg. Mi volt a kiindulási porkeverék tömegszázalékos összetétele?

Mennyi annak az oldatnak a pH-ja, amelynek 100 cm^3 -ében 0,01g NaOH van oldva? $M_{\text{NaOH}}=40\text{g/mol}$

Mekkora lesz a keletkező oldat pH-ja, ha összeöntünk egy 1-es és egy 3-as pH-jú sósavoldatot?

Feladatok megoldása

Az atom felépítése

Melyik atomot jellemzik a felírt adatok? A vegyjelnél jelöljük a tömegszámot (bal felső index) és a rendszámot (jobb alsó index) is! Az izotópokat jelöljük csillaggal!

Vegyjel	Protonsám	neutronsám
$^{35}_{17}\text{Cl} *$	17	18
$^{37}_{17}\text{Cl} *$	17	20
$^{18}_8\text{O}$	8	10
$^{12}_6\text{C} *$	6	6
$^{13}_6\text{C} *$	6	7
$^{28}_{14}\text{N}$	14	14
$^{27}_{13}\text{Al}$	13	14

Hány db proton és neutron van 4 mol 23-as tömegszámú nátriumatomban?

a nátrium rendszáma 11, tehát atomonként 11 db protonja van

ha a tömegszám 23, a neutronok számát úgy kapjuk meg, ha kivonjuk a tömegszámból a rendszámot, tehát ebben az esetben a neutronok száma 12 db atomonként

1 mol nátriumatom $6 \cdot 10^{23}$ db atomot jelent

így a protonok száma $4 \cdot 11 \cdot 6 \cdot 10^{23}$ db és a neutronsám $4 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 10^{23}$ db

Hány elemi részecskét tartalmaz 43 g 13-as tömegszámú szénatom?

a 43 g 13-as szén 3,31 mol

anyagmennyiségű

egy szénatom 6-6 protont és elektront,

valamint 7 neutronot tartalmaz

egy mol szénatom $6 \cdot 10^{23}$ db atomot jelent

így a proton és az elektronszám $3,31 \cdot 6 \cdot 10^{23}$ db, míg a neutronsám $3,31 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 10^{23}$ db

Melyik atom elektronszerkezetét írtuk fel?

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$	Na
$1s^2, 2s^2, 2p^4$	O
$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^2$	Si
$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^7$	Co
$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6$	Ar
$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^1$	Al
$1s^2, 2s^2$	Be

Írjuk fel a következő alapállapotú atomok elektronszerkezetét!

Li	$1s^2, 2s^1$
Ca	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2$
Fe	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^6$
Al	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^1$
S	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^4$
Br	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^{10}, 4p^5$
Ar	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6$

Hány db elemi részecske van a felsoroltakban?

2 db ^{24}Mg atomban	24 db proton, 24 db elektron, 24 db neutron
$2 \cdot 10^{23}$ db ^{12}C atomban	$12 \cdot 10^{23}$ db proton, $12 \cdot 10^{23}$ db elektron, $12 \cdot 10^{23}$ db neutron
2 mol ^4He atomban	$12 \cdot 10^{23}$ db proton, $12 \cdot 10^{23}$ db elektron, $12 \cdot 10^{23}$ db neutron
5 g ^{14}C atomban	$2,16 \cdot 10^{23}$ db proton, $2,16 \cdot 10^{23}$ db elektron, $2,88 \cdot 10^{23}$ db neutron

Atomszerkezeti ismereteink alapján töltsük ki a következő táblázatokat!

1;

Az atom					
vegyjel	név	proton szám	neutron szám	rendszám	tömegszám
${}^7_3\text{Li}$	<i>lítium</i>	3	4	3	7
${}^{23}_{11}\text{Na}$	nátrium	11	12	11	23
${}^{14}_6\text{C}$	<i>szén</i>	6	8	6	14
${}^4_2\text{He}$	<i>hélium</i>	2	2	2	4
${}^{32}_{16}\text{S}$	<i>kén</i>	16	16	16	32
${}^{27}_{13}\text{Al}$	<i>alumínium</i>	13	14	13	24

2;

képlet	moláris tömeg	anyagmennyiség	tömeg	molekulák száma
CO	28 g/mol	2 mol	56 g	$1,2 \cdot 10^{24}$ db
C ₃ H ₆	42 g/mol	7,62 mol	320 g	$4,57 \cdot 10^{24}$ db
SO ₂	64 g/mol	0,5 mol	32 g	$3 \cdot 10^{23}$ db
CH ₄	16 g/mol	3,5 mmol	56 mg	$2,1 \cdot 10^{21}$ db
H ₃ PO ₄	98 g/mol	0,53 kmol	52 kg	$3,18 \cdot 10^{26}$ db

Atomok kapcsolódása

Az elektronegativitás értékek alapján állapítsuk meg milyen kötés van a következő anyagokban!

N ₂	$\Delta EN=0$, apoláris
HF	$\Delta EN=1,78$, poláros
NaCl	$\Delta EN=2,23$, poláros
NH ₃	$\Delta EN=0,84$, poláros
Al ₂ O ₃	$\Delta EN=1,83$, poláros

A I₂, CF₄, C₂H₄, CO₂ és H₂S molekulák közül melyik a poláros, miért?

a H₂S, mert a S és H közötti kötés poláros, viszont a molekula alakja nem eredményez egyenletes töltéeloszlást a molekulában

A HF, CO, H₂O, CCl₄ molekulák közül melyik az apoláros, miért?

CCl₄, mert bár kötése polárosak, de a molekula szimmetrikus

Milyen másodlagos kötés alakulhat ki a következő molekulák halmazában? Miért?

1; CH₄

a molekulák apolárosak, így diszperziós kölcsönhatás lesz köztük jellemző

2; HF

a molekulák polárosak, hidrogénkötések alakul ki

3; NH₃

a molekulák polárosak, így dipól-dipól kölcsönhatás alakul ki, viszont mivel a H a nagy elektronegativitású N-nel alakít ki kötést, a molekulák között hidrogénkötés is létesül

4; He

a nemesgázok molekulái apolárosak, közöttük diszperziós kölcsönhatás lép fel

Töltsük ki a táblázatot az anyagi halmazokra vonatkozó ismereteink alapján!

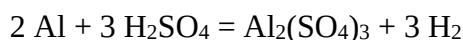
	rácstípus	rácspontokban lévő részecskék	készecskék közötti kötőerő
szárazjég	molekularács	CO ₂ molekulák	diszperziós kölcsönhatás

jég	molekularács	víz-molekulák	hidrogénkötés
alumínium	fémrács	fém-atomtörzsek	fémek-kötés
gyémánt	atomrács/ kovalensrács	szén-atomok	kovalens kötés
konyhasó	ionrács	nátrium-, és klorid-ionok	ionos kötés
jód	molekularács	jód-molekulák	diszperziós kölsönhatás

Sztöchiometria

Önállóan elvégzendő feladatok

Mekkora anyagmennyiségű hidrogén gáz fejlődik 0,35 mol alumínium elreagálása esetén az alábbi egyenlet alapján? $M_{\text{Al}}=27 \text{ g/mol}$, $M_{\text{H}_2\text{SO}_4}=98 \text{ g/mol}$, $M_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}=342,15 \text{ g/mol}$, $M_{\text{H}_2}=2 \text{ g/mol}$



0,525 mol hidrogén gáz fejlődik.

Hány mol kénsav szükséges 2,5 g alumínium feloldásához?

0,139 mol kénsav szükséges.

Hány mol alumínium szükséges 18 g alumínium-szulfát előállításához?

0,105 mol Al.

Hány g kénsav szükséges 2 mol alumínium feloldásához?

294 g kénsav szükséges.

Ha egy mol hidrogén gáz térfogata 22,41 dm³ molonként, mekkora térfogatú gáz keletkezik 93 g magnézium sósavval való reakciójakor, teljes átalakulás esetén?

85,77 dm³ gáz keletkezik

Hány db vízmolekula lép reakcióba 3,4 g kalcium-oxiddal?

$3,64 \cdot 10^{22}$ db vízmolekula lép reakcióba.

Hány mmol alumínium volt abban az ötvözetben, aminek 15 g-ját sósavval reagáltatva 17 mmol hidrogéngázt kaptunk (feltételezzük, hogy csak az alumínium oldódik a sósavban)?

11,33 mmol alumínium volt jelen.

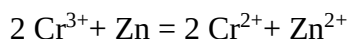
Redoxi-reakciók

Csoportosítsuk a következőkben felsorolt molekulákat és ionokat a központi atomjuk oxidációs száma alapján!

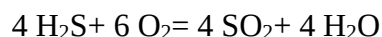
SO_3 , CCl_4 , H_3PO_4 , H_2CO_3 , H_2S , SO_2 , H_2PO_4^- , HClO_4 , KMnO_4 , ClO_4^- , NH_3 , NH_4^+

oxidációs szám	képlet
-3	NH_3 , NH_4^+
-2	H_2S ,
-1	
0	
+1	
+2	
+3	
+4	CCl_4 , H_2CO_3 , SO_2 ,
+5	H_3PO_4 , H_2PO_4^- ,
+6	SO_3 ,
+7	HClO_4 , KMnO_4 , ClO_4^- ,

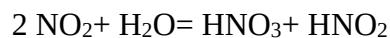
Rendezzük a következő egyenleteket az oxidációs számok változásának függvényében! Mi oxidálódott, mi redukálódott? Jelöljük az oxidáló- és redukálószereket!



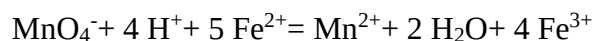
a Cr^{3+} ion redukálódott, tehát oxidálószer, a Zn oxidálódott, tehát redukálószer



a S redukálódott, tehát oxidálószer, az O oxidálódott, tehát redukálószer



a nitrogén az egyik részfolyamatban oxidálódott, a másikban redukálódott



a Mn redukálódott, tehát oxidálószer, a Fe²⁺ oxidálódott, tehát redukálószer

Sav-bázis egyensúlyok

Töltsük ki a táblázatot!

oldott anyag képlete	c [mol/dm ³]	pH	[H ₃ O ⁺] és [OH ⁻] viszonya	kémhatás
HCl	0,001	3	[H ₃ O ⁺] > [OH ⁻]	savas
KOH	0,0001	10	[H ₃ O ⁺] < [OH ⁻]	lúgos
H ₂ SO ₄	0,00005	4	[H ₃ O ⁺] > [OH ⁻]	savas
HNO ₃	0,0029	2,54	[H ₃ O ⁺] > [OH ⁻]	savas
NaCl	0,05	7	[H ₃ O ⁺] = [OH ⁻]	semleges
LiOH	0,02	12,3	[H ₃ O ⁺] < [OH ⁻]	lúgos

Mekkora a pH-ja a következő oldatoknak, ha a koncentráció minden esetben 0,015 M?

a; HCl

pH=1,8

b; NaOH

pH=12,2

c; H₂SO₄

pH=1,52

Egy sósav oldat pH-ja 2,7. Hány mólos ez az oldat?

c=0,001995 mol/dm³

Mennyi a 0,3 mol/dm³ NaOH oldat pH-ja?

pH=13,47

Mennyi a $0,02 \text{ mol/dm}^3$ H_2SO_4 oldat pH-ja?

$\text{pH}=1,38$

Elegyek, oldatok összetétele

Önállóan elvégzendő feladatok

Hány g NaCl és víz szükséges 3 dm^3 16 w%-os oldat elkészítéséhez, ha a 16 w%-os oldat sűrűsége $1,175 \text{ g/cm}^3$? $M_{\text{NaCl}}= 58,5 \text{ g/mol}$

564 g NaCl és 2961 g víz.

Hány w%-os az az oldat Na_2CO_3 -ra nézve, amelyet úgy készítettünk, hogy 5 g $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ -ot oldottunk fel 50 cm^3 vízben? $M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}= 106 \text{ g/mol}$, $M_{\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}}= 286 \text{ g/mol}$

$\text{w}\%=0,03$

Hány g HNO_3 van 200 cm^3 $0,1 \text{ mol/dm}^3$ oldatban? $M_{\text{HNO}_3}= 63 \text{ g/mol}$

1,26g salétromsav

Hány mólos az az oldat, amelynek 300 cm^3 -ében 10,5 g KOH-t oldottunk fel? $M_{\text{KOH}}= 56 \text{ g/mol}$

$0,625 \text{ mol/dm}^3$

Mennyi a 20 w%-os HCl oldat koncentrációja mol/dm^3 -ben, ha az oldat sűrűsége $1,1 \text{ g/cm}^3$.

$M_{\text{HCl}}=36,5 \text{ g/mol}$

$6,03 \text{ mol/dm}^3$

500 cm^3 $2,00 \text{ mol/dm}^3$ kénsavoldatot állítunk elő (sűrűsége $1,123 \text{ g/cm}^3$). $M_{\text{H}_2\text{SO}_4}=98 \text{ g/mol}$

a; Hány cm^3 98% kénsavoldat (tömény kénsav) kellett az elkészítéséhez, ha a tömény kénsav sűrűsége $1,84 \text{ g/cm}^3$?

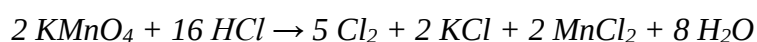
$54,35 \text{ cm}^3$ tömény kénsavat kell feloldani.

b; Ha az 500 cm^3 $2,00 \text{ mol/dm}^3$ kénsavoldathoz 250 cm^3 tömény kénsavat adunk, mekkora lesz a keletkező oldat anyagmennyiség koncentrációja? (a oldás során bekövetkező térfogatváltozástól eltekintünk)

7,47 mol/dm³ lesz a keletkező oldat koncentrációja.

Összetett feladatok

Kálium-permanganáttal tömény sósavból klórgázt fejlesztünk az alábbi (rendezendő!) reakcióegyenlet alapján:



a; 1 mol KMnO_4 hatására sósavfeleslegből hány mol klórgáz fejlődik?

2,5 mol klórgáz fejlődik

b; 25 g KMnO_4 hatására sósavfeleslegből hány gramm klórgáz fejlődik?

28,08 g klórgáz fejlődik

c; 3 mol klór előállításához hány gramm KMnO_4 -ra van szükség?

189,6 g-ra.

d; 10 g KMnO_4 hány gramm hidrogén-kloriddal reagál?

18,36 g hidrogén-kloriddal reagál

e; 30 g KMnO_4 hatására hány dm^3 standard nyomású, 25°C -os klórgáz fejlődik? (1 mol standard állapotú gáz térfogata $24,5 \text{ dm}^3$)

11,63 dm³ gáz fejlődik

f; 45 g KMnO_4 milyen térfogatú 37 w%-os, $1,18 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű sósavval reagál?

190,5 cm³ sósav kell

Nátrium-kloriddal szennyezett nátrium nitrát 5 g-ját vízben oldjuk. Ezüst-nitrát adagolásával a szennyező komponens mennyiségére utaló csapadékot választottunk le, aminek tömege 245,3 mg. Mi volt a kiindulási porkeverék tömegszázalékos összetétele?

2% NaCl és 98% NaNO₃

Mennyi annak az oldatnak a pH-ja, amelynek 100 cm³-ében 0,01g NaOH van oldva?

$M_{\text{NaOH}}=40\text{g/mol}$

$\text{pH}=11,4$

Mekkora lesz a keletkező oldat pH-ja, ha összeöntünk egyenlő térfogatú 1-es és 3-as pH-jú sósavoldatot?

$\text{pH}= 1,3$

Felhasznált irodalom

Könyvek:

Dr. Siposné Dr. Kedves Éva, Horváth Balázs, Péntek Lászlóné: Kémia 7. Kémiai alapismeretek, Mozaik Kiadó, 2018

Dr. Siposné Dr. Kedves Éva, Horváth Balázs, Péntek Lászlóné: Kémia 8. Szervetlen kémia, Mozaik Kiadó, 2018

Dr. Rózsahegyi Márta, Dr Siposné Dr. Kedves Éva, Horváth Balázs: Kémia 11-12. Érettségire felkészítő, Mozaik Kiadó, 2016

Szabadváry Ferenc: A kémia eredete és tárgya, Mundus Magyar Egyetemi Kiadó, 1998

Turányi Tamás, Reakciókinetikai alapismeretek c. jegyzete, ELTE

Villányi Attila, Ötösöm lesz kémiából példatár, Műszaki Könyvkiadó, 2007

Villányi Attila, Kémia a kétszintű érettségire, Műszaki Könyvkiadó, 2014

Online tartalmak:

<http://asztivaniskola.lapunk.hu/?modul=oldal&tartalom=848382>

<http://asztivaniskola.lapunk.hu/?modul=oldal&tartalom=858650>

https://hu.wikipedia.org/wiki/Kémiai_elemek_periódusos_rendszere

<http://erettsegizz.com/kemia/a-molekulak-terbeli-felepitesi/>

<http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszet tudomanyok/kemia/altalanos-kemia>

<http://web.uni->

miskolc.hu/~www_fiz/majar/Oktatas/anyagmernok_levelezo/Fizika2_KemiaiKotesek.pdf

<https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010->

[0019_Vizkemia_I/ch15.html](https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Vizkemia_I/ch15.html)

<http://www.sulinet.hu/tovabbtan/felveteli/2001/9het/kemia/kemia9.htmlA>

<http://cheminst.emk.nyme.hu/gyakorlat/02-koncentracio.pdf>

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Kever%C3%A9kek>