

Gergely Pál–Erdődi Ferenc–Vereb György

Általános és bioszervetlen kémia

s z e r k e s z t e t t e
Gergely Pál



Semmelweis Kiadó

Gergely Pál – Erdődi Ferenc – Vereb György

ÁLTALÁNOS ÉS BIOSZERVETLEN KÉMIA

s z e r k e s z t e t t e

Gergely Pál

e g y e t e m i t a n k ö n y v

h a t o d i k k i a d á s



Semmelweis Kiadó

www.semmelweiskiado.hu

B u d a p e s t , 2 0 0 5

A könyv első kiadását lektorálta:

DR. ANTONI FERENC
DR. PENKE BOTOND

© *Dr. Gergely Pál, Dr. Erdődi Ferenc, Dr. Vereb György, 1992, 1997, 1999, 2001, 2003, 2005, 2015*

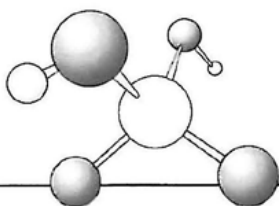
Az e-könyv alapja: Gergely Pál – Erdődi Ferenc – Vereb György: Általános és bioszervetlen kémia – szerkesztette: Gergely Pál 2005-ös kiadása (ISBN 963 9214 82 5)

e-ISBN 978-963-331-046-5

A könyv szerzői jogi oltalom és kizárólagos kiadói felhasználási jog alatt áll.
Bármely részének vagy egészének mindennemű többszörözése kizárólag a szerkesztő, a szerzők és a kiadó előzetes írásbeli engedélye alapján jogszerű.

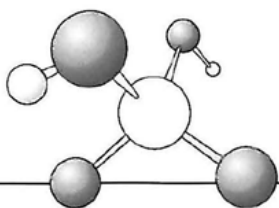


A kiadásért felel dr. Táncos László, a Simmelweis Kiadó igazgatója
A könyv felelős szerkesztője Vincze Judit
Az ábrákat rajzolta Czinege Mária
Terjedelem: 41 (A/5) ív



Rövid tartalom

Az Olvasóhoz	13
Általános kémia	15
Kémiai alapfogalmak	17
Az atomok elektronszerkezete és a periódusos rendszer	29
A molekulák szerkezete	49
Halmazállapotok	73
Oldatok és kolloidok	91
A víz és a vizes oldatok	113
Kémiai egyensúlyok	129
Kémiai termodinamika	155
Reakciókinetika	171
Elektrokémia	189
Bioszervetlen kémia	207
Komplex vegyületek	209
Az élethez szükséges elemek áttekintése	223
Az alkálifémek szerepe biológiai rendszerekben	229
A magnézium és a kalcium biológiai jelentősége	237
Az átmenetifémek komplexei	247
Az alumínium- és az óncsoport elemeinek biológiai szerepe	275
A szilíciumvegyületek biológiai szerepe	277
A nitrogén és foszfor szerepe a biológiai rendszerekben	285
Az oxigéncsoport elemeinek biológiai jelentősége	293
A halogének bioszervetlen kémiája	305
Irodalom a bioszervetlen kémia fejezeteihez	313
Név- és tárgymutató	317



Részletes tartalom

<i>Az Olvasóhoz</i>	13
Általános kémia	15
<i>Kémiai alapfogalmak</i>	17
SI-rendszer	17
Atomok és elemek	18
Tiszta anyagok és keverékek	18
Az atomok szerkezete	19
Az atom alkotórészei	19
Az atommag felépítése	20
Rendszám és tömegszám	20
Az izotópok	21
Atomok, molekulák és ionok	22
Sztöchiometria	23
A relatív atomtömeg (A_r)	24
A relatív molekulatömeg (M_r)	24
A mól és az Avogadro-állandó	25
Tapasztalati képlet	26
Molekulaképlet	26
Reakcióegyenletek	27
A kémiai reakciók alapvető típusai	28
<i>Az atomok elektronszerkezete és a periódusos rendszer</i>	29
A kvantumelmélet alapjai	29
A fény hullámtermészete	29
Az elektronhullámok és a kvantummechanika	31
Színképek	32
Emissziós és abszorpciós színképek	32
Atomszínképek	32
A hidrogénatom Bohr-féle modellje	33
A kvantummechanikai atommodell	35
Kvantumszámok	35
Atomorbitálok	36
Többelektronos atomok elektronszerkezete	37
Az elektronszerkezet energiaszintje	37
Az elektronszerkezet felépülésének törvényei	38
Az elemek periódusos rendszere	40
Elektronszerkezeti magyarázat	40
Az elemek csoportosítása	42
Fémek, félvezetők és nemfémek	44
Periodikus tulajdonságok	45
Az atomok mérete	45
Az ionizációs energia	46
Az elektronnegativitás	47

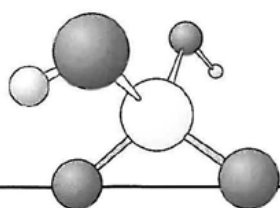
<i>A molekulák szerkezete</i>	49
Az elsődleges kémiai kötés alaptípusai	49
A fémes kötés	49
Az ionkötés	50
A kovalens kötés	53
Kovalens kötéshossz és kötési energia	55
Átmenet a kötéstípusok között	55
Elektronegativitás	57
A kovalens kötés elmélete	57
A vegyértékkötés-elmélet	57
Hibridorbitálok	58
Többszörös kovalens kötések	61
A rezonancia és a π -kötés delokalizációja	62
A molekulaorbitál-elmélet	64
Kéttomos molekulák molekulaorbitáljai	64
Többszörös kötések, delokalizált molekulapályák	67
Másodlagos kémiai kötések	68
A London-féle erők	68
Dipólus–dipólus kölcsönhatások	69
A hidrogénkötés	70
<i>Halmazállapotok</i>	73
Gázhalmazállapot	73
Kinetikus gázelmélet	73
Állapotjelzők	75
Gáztörvények	75
Nyomás–térfogat összefüggése állandó hőmérsékleten: Boyle törvénye	75
Térfogat–hőmérséklet összefüggés állandó nyomáson: Charles törvénye	76
Egyesített gáztörvény	77
Vegyülő gázok térfogatának viszonyai	77
Ideális gáztörvény	78
Diffúzió: Graham törvénye	79
Gázelegyek: Dalton törvénye	80
Eltérések a gáztörvényektől: reális gázok	81
Folyékony és szilárd halmazállapot	82
Kinetikus elmélet alkalmazása	82
Halmazállapot-változások	83
Halmazállapot-változások nyomás- és hőmérsékletfüggése: fázisdiagramok	84
A folyadékok tulajdonságai	85
A kristályos anyagok tulajdonságai	87
A kristályrácsok típusai	88
<i>Oldatok és kolloidok</i>	91
Az oldatok típusai	91
Az oldás folyamata. Telített és túltelített oldatok	91
Molekulaszerkezet és oldhatóság	92
Hőmérséklet és nyomás hatása az oldhatóságra	93
Megoszlás és megoszlási hányados	94
A kromatográfia alapjai	95
Az oldatok töménysége: koncentrációegységek	98
Ideális és reális oldatok	100
Raoult törvénye	100
Az oldatok gőznyomása: fagyáspontcsökkenés és forráspont-emelkedés	101
A molekulatömeg meghatározása	103
Ozmózis	104
Fordított ozmózis	107
Az ozmózis biológiai jelentősége	107
Kolloidok	108

A kolloidok tulajdonságai	108
A kolloidok előállítás és felosztása	109
A kolloidok stabilitása	110
Hidofil és hidrofób kolloidok	110
Asszociációs kolloidok	112
<i>A víz és a vizes oldatok</i>	113
A vízmolekula szerkezete és tulajdonságai	113
A folyékony víz és a jég szerkezete, tulajdonságai	114
Vizes oldatok	115
Hidrátok	116
Természetes vizek és szennyvizek	117
A víz keménysége	118
Szennyvizek és szennyvíztisztítás	119
Elektrolitok	120
A víz disszociációja (ionizációja)	121
Arrhenius sav–bázis elmélete	121
Az elektrolitok vezetőképessége	122
Brønsted–Lowry sav–bázis elmélete	124
Savak és bázisok erőssége	125
A kémiai kötés és a savi erősség viszonya	127
Lewis sav–bázis elmélete	128
<i>Kémiai egyensúlyok</i>	129
A kémiai egyensúly törvénye	129
Az egyensúlyi állandó	130
Az egyensúlyi állandó alkalmazása	131
Le Châtelier elve	134
Egyensúlyok elektrolitoldatokban	135
A víz disszociációs egyensúlya: K_v , pH és pOH	135
Savak disszociációs egyensúlya: K_s	137
Bázisok disszociációs egyensúlya: K_b	139
Összefüggés a K_s , K_b és K_v között	140
Ionok reakciója vízzel	140
Vizes sóoldatok kémhatása: hidrolízis	142
A közös ion hatása	143
Titrálási görbék	145
A sav–bázis indikátorok	146
Többértékű savak disszociációja	147
Pufferoldatok	148
Foszfátpuffer	150
Hidrogén-karbonát–szén-dioxid puffer	150
Elektrolitok oldhatósága és az oldhatósági szorzat	152
<i>Kémiai termodinamika</i>	155
Az energia különböző fajtái	155
A belső energia	155
A termodinamika I. főtétele	156
Entalpia	157
Kémiai és fizikai folyamatok entalpiaváltozása	158
Képződési entalpiák	158
Reakcióhő	159
Égéshő	160
Kötési energiák	160
Fizikai folyamatok entalpiaváltozása	161
Ionvegyületek oldáshője	161
Az entrópia és a termodinamika II. főtétele	162
A termodinamika II. főtétele	163

Abszolút entrópia	163
A kémiai reakciók entrópiaváltozása	164
Szabadentalpia (szabadenergia)	165
Standard szabadentalpia-változás	166
A szabadentalpia és a kémiai egyensúly	167
Biokémiai reakciók szabadentalpia-változásai	168
<i>Reakciókinetika</i>	171
Reakciósebesség és -mechanizmus	171
Elemi reakciók – molekularitás	171
Reakciósebesség és -rendűség	173
Elsőrendű reakciók	174
Másodrendű reakciók	175
Hőmérséklet és reakciósebesség	177
Ütközési elmélet	177
Az átmeneti állapot (aktivált komplex) elmélete	178
Kémiai reakciók energiaváltozása	179
Több elemi lépésből álló reakciók	179
Egyensúlyra vezető reakciók	180
Sebességmeghatározó lépés	180
Sorozatreakciók	181
Párhuzamos reakciók	181
Láncreakciók	182
Fotokémia	183
Katalízis	185
Homogén katalízis	185
Heterogén katalízis	185
<i>Elektrokémia</i>	189
A redoxifolyamatok áttekintése	189
Oxidáció és redukció	189
Az oxidációs szám	190
Redoxirendszerek	190
Az elektrokémia alapjai	191
Galvánelemek	191
Elektródok	192
Elektródpotenciál	194
A redoxifolyamatok termodinamikája	196
A Nernst-egyenlet	197
Redoxifolyamatok az anyagcserében	199
Az elektrokémia gyakorlati alkalmazásai	200
Koncentrációs elemek: pH-mérés	200
Ionszelektív elektródok	201
Elektrolízis	202
Szárzelemek	203
Akkumulátorok	204
Tüzelőanyag-elemek	205
Korrózió	205

Bioszervetlen kémia	207
<i>Komplex vegyületek</i>	209
Komplexek képződése vizes oldatokban	209
A fémkomplexek szerkezete	210
Kelátok	211
A komplexek elnevezése	211
A komplexek képződése és stabilitása	212
A komplexek geometriai felépítése és izomériája	213
A komplexek kötéselmélete	214
Vegyértékkötés-elmélet	215
Kristálytérelmélet	216
Fémion–ligandum kölcsönhatások	218
A Pearson-féle sav–bázis elmélet	219
Komplexbiztosítás biológiai rendszerekben	220
<i>Az élethez szükséges elemek áttekintése</i>	223
<i>Az alkálifémek szerepe biológiai rendszerekben</i>	229
Alkálifémionok komplexei	230
A sejt transzportfolyamatai	231
A plazmamembrán $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ pumpa	232
A káliumkoncentráció szabályozása a vesében	234
A lítium biológiai hatása	235
<i>A magnézium és a kalcium biológiai jelentősége</i>	237
A magnézium bioszervetlen kémiája	237
Magnéziumkomplexek	237
A kalcium élettani szerepe	240
A kalciumjel	241
Kalciumkötő fehérjék	242
Kalciumtranszport-rendszerek	244
<i>Az átmentifémek komplexei</i>	247
A vas biológiai jelentősége	248
A vas szerepe az oxigénkötésben és az oxigéntranszportban	249
Hemoglobin és mioglobin	249
A hemoglobin és mioglobin szerkezete	250
Hemeritinek	251
Oxigénkötő szintetikus molekulák	251
Vas–kén fehérjék biológiai funkciói	252
Citokrómok	254
Kataláz, peroxidáz, citokróm-P450	255
Vasanyagcsere	256
Transzferrin	257
Ferritin	257
Laktoferrin és sziderofórok	258
A réz biológiai jelentősége	259
A réz biokémiai evolúciója. Fontosabb rézfehérjék	259
Rézcentrumok a fehérjékben	260
Hemocianin	261
Szuperoxid-dizmutáz	261
Rézfehérjék az elektrontranszportban	261
Plasztocianin	261
Azurin	262
Réztartalmú oxidázok	262
Citokróm-oxigenáz	262
Cöruoplazmin	263
A rézanyagcsere és zavarai	263

Wilson-kór	263
Menkes-kór	264
A cinkcsoport elemeinek biológiai jelentősége	264
A cink biológiai funkciói	265
Cinkenzimek szerkezete	266
„Cinkujj” fehérjék szerkezete	267
Metallotioneinek és funkciójuk	268
A molibdén és a mangán biológiai szerepe	269
Molibdénkomplexek	269
Mangánkomplexek	269
A vanádium, króm, kobalt és nikkel élettani hatása	270
A platinakomplexek daganatellenes hatása	273
<i>Az alumínium- és az óncsoport elemeinek biológiai szerepe</i>	<i>275</i>
Az alumínium hatása az emberi szervezetre	275
Óncsoport: germánium, ón, ólom	276
<i>A szilíciumvegyületek biológiai szerepe</i>	<i>277</i>
A szilikátok kémiája	277
Biominalizáció: kovasavleválás az élő szervezetekben	279
A szilícium szerepe a magasabbrendű állatokban és az emberben	280
A szilikátok szerepe betegségek kialakulásában	281
A szilikátok orvosi alkalmazása	283
<i>A nitrogén és foszfor szerepe a biológiai rendszerekben</i>	<i>285</i>
A nitrogénkötés molekuláris alapjai	285
Nitrogenáz enzimkomplex	285
A nitrogén körforgalma	287
A foszforvegyületek biológiai szerepe	288
A foszforvegyületek körforgása	288
A foszfátvegyületek szerepe a sejt energiatermelő folyamataiban	289
<i>Az oxigéncsoport elemeinek biológiai jelentősége</i>	<i>293</i>
Az oxigén bioszervetlen kémiája	293
Az oxigénből keletkező reaktív származékok	293
Az oxigén aktiválásának mechanizmusa	294
Az elektródpotenciál irányító szerepe az oxigén redukciójában (aktiválásában)	295
Oxigént aktiváló enzimek	296
Oxigényökök képződése és eliminációja biológiai rendszerekben	297
A légköri oxigén és ózon kialakulása	300
Troposzférikus ózon képződése	302
A szelén biológiai jelentősége	302
A szelénvegyületek élettani hatásai	303
<i>A halogének bioszervetlen kémiája</i>	<i>305</i>
A fluor biológiai jelentősége	305
A klór biológiai jelentősége	307
A jód biológiai jelentősége	308
A jódforgalom és a pajzsmirigyfunkció vizsgálata	309
Pajzsmirigy-szcintigráfia	309
A pajzsmirigyfunkció vizsgálata	310
Egyéb orvosi alkalmazások	311
<i>Irodalom a bioszervetlen kémiai fejezeteihez</i>	<i>313</i>
<i>Név- és tárgymutató</i>	<i>317</i>



Az Olvasóhoz

A tankönyv átdolgozása során a legfontosabb feladatnak azt tekintettük, hogy az orvostanhallgatókat és a biológiát egyetemi szakként választó hallgatókat megismertessük egyrészt a kémia tudományának alapjaival, az *általános kémiával*, másrészt a fémek és nemfémek biológiai szerepével a *bioszervetlen kémiában* vagy szervetlen biokémiában. A válogatásnál ezúttal is két elvet tartottunk kiemelendőnek: (1) építsünk a középiskolában megszerzett kémiai alapokra és (2) megfeleljünk az élettudományok elvárásainak. Ezért számos helyen csak utalunk az adott terület már ismert alapjaira, viszont bővebben magyarázzuk a lehetséges kapcsolatokat a biokémiával, a biológiával, az élettannal és így tovább.

A válogatott fejezetek átfogják az *általános kémia* legfontosabb területeit, de a tárgyalásmód leíró jellege (a matematikai módszerek alkalmazásától eltekintettünk) számos fogalom vagy összefüggés bemutatását nem tette lehetővé. Az első rész az atomok és a molekulák felépítését tekinti át, továbbá a halmazok jellemző tulajdonságait mutatja be. A második részben a kémiai egyensúlyok alkalmazásait mutatjuk be, ezt követi a kémia egy-egy alapvető területének (kémiai termodinamika, reakciókinetika és elektrokémia) ismertetése. Az anyagot úgy rendszereztük, hogy az alapfogalmak felhasználásával a kémiai törvényszerűségek alkalmazására kerüljön a hangsúly. Ezért a könyv számos kidolgozott példát is tartalmaz. Javasoljuk, hogy a példákat előbb próbálják megoldani és csak ezután ellenőrizzék az eredményt. Az apróbetűs részek az ismeretek pontosítását és elmélyítését szolgálják.

A *bioszervetlen kémia* a fémek és nemfémek lehetséges szerepét tárgyalja. A „klasszikus” szervetlen kémia az elemek és vegyületeik (szénvegyületek kivételével) fizikai és kémiai sajátágaival, szerkezetével, reakcióival stb. foglalkozik, kapcsolata az élettudományokkal csak esetleges. Az utóbbi két-három évtized jelentős ismeretanyagot szolgáltatott a fémek és a biológiai rendszerek tulajdonságairól. Ennek tulajdonítható, hogy a két tudományterület: a szervetlen kémia (ezen belül is a komplex vegyületek kémiája) és a biokémia kapcsolata, ill. kölcsönhatása kifejezetté vált, új interdiszciplináris tudományág született.

A bioszervetlen kémia határait nem könnyű kijelölni, a fizikai kémiától a klinikai kémiáig, ill. a klinikai orvostudományokig terjed. Ezen terebélyesedő tárgy iránti érdeklődés számos forrásból ered: (a) a mikroanalitikai módszerek érzékenységének ugrásszerű növekedése, (2) fizikai-kémiai vizsgálati módszerek térhódítása pl. spektroszkópia, magmágneses rezonancia (NMR), elektronspin-rezonancia (ESR), (3) az ionok és a biológiai molekulák komplexekének tanulmányozása, (4) környezetvédelem, (5) fémion-komplex gyógyszerek, (6) a nyomelemek jelentőségének felismerése a növényi és az állati szervezetekben.

A bioszervetlen kémia egyúttal újszerű megközelítési módot, speciális szemléletet is jelent. Ez utóbbi pl. abban tükröződik, hogy a fémion fizikai-kémiai tulajdonságai megváltoznak a biológiai molekulákkal való kölcsönhatás során, ill. a fémion módosítja a biomolekula funkcióit. Ez a szemlélet jól kiegészítheti a biokémiai és a biológiai ismereteket elsősorban azokon a területeken, ahol már molekuláris szintű ismeretekkel rendelkezünk (pl. hemoglobin-Fe komplex).

A tankönyv első kiadásának lektorai *Prof. Dr. Antoni Ferenc* (Semmelweis Egyetem Orvosi Vegytani, Molekuláris Biológiai és Pathobiokémiai Intézet) és *Prof. Dr. Penke Botond* (SZTE Orvosi Vegytani Intézet) voltak. Értékes szakmai véleményeket kaptunk a Semmelweis Egyetem Orvosi Biokémiai Intézet oktatóitól (*Dr. Bauer Páltól, Dr. Katona Györgytől, Dr. Krajcsi Pétertől, Dr. Szikla Károlytól*) és *Prof. Dr. Tóth Gyulától* (PTE Orvosi Kémiai Intézet). Az átdolgozott kiadáshoz nagyon sok kollégától kaptunk ötleteket és külön köszönjük *Prof. Dr. Tóth Gyula* értékes kritikai észrevételeit és hasznos tanácsait a fotokémiai rész összeállításában. A tankönyv 4. kiadásában megújult a bioszervetlen kémiai rész és számos javítást, új példákat is illesztünk az általános kémia fejezeteibe. Az 5. kiadásban csak a kisebb hibákat javítottuk, újabb részleteket mutatunk be a bioszervetlen kémia néhány fejezetében, de lényeges átdolgozás nem történt.

A könyv írói mellett a Debreceni Egyetem Orvosi Vegytani Intézetének oktatói is jelentős szerepet vállaltak az anyag összeállításában. Külön megköszönjük *Dr. Csontos Csilla* és *Dr. Murányi Andrea* munkáját a technikai

szerkesztésében és a kémiai helyesírás alkalmazásában. *Dr. Bakó Évát* a nyomdai korrektúra átnézéséért illeti köszönet. Az ábrák gondos megrajzolását *Czinege Mária* végezte. A Semmelweis Kiadónak és munkatársainak köszönjük a sokoldalú segítséget és a pontos munkát. A kötetben maradt hibák, a szöveg ki nem javított gyengeségei pedig a szerzők „érdeme”. Kérjük az Olvasót, hogy hozza ezeket a szerzők tudomására (cím: Debreceni Egyetem Orvosi Vegytani Intézete, 4012 Debrecen, Pf. 7.).

Budapest, 2005 áprilisa