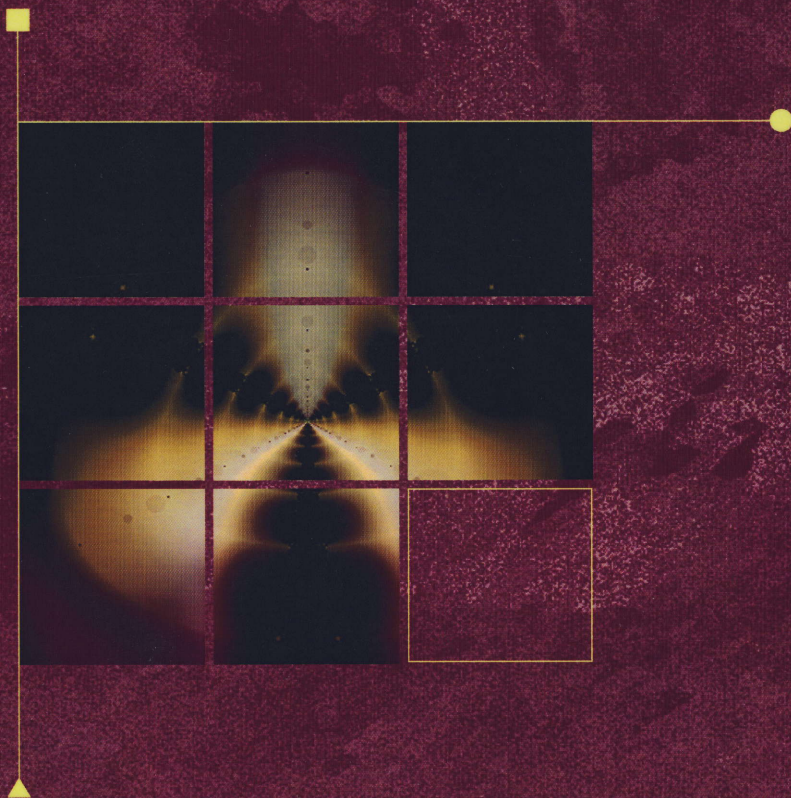


SUGÁRKÉMIA



Wojnárovits László

Sugárzások kémiai hatásai

Tartalomjegyzék

Előszó	9
1. Bevezetés	13
1.1. A sugárkémia tárgya	13
1.2. A sugárkémia rövid története	13
1.3. Irodalom	15
2. Sugárforrások	17
2.1. Nagyenergiájú elektromágneses sugárforrások	17
2.2. β^- -Sugárforrások	23
2.3. α -Sugárforrások	24
2.4. Részecskegyorsítókkal előállított sugárzások	25
2.4.1. Elektrongyorsítók általános jellemzői	25
2.4.2. Direkt gyorsítók	27
2.4.3. Mágneses fluxusváltozással működő gyorsítók	30
2.4.4. Nagyfrekvenciás gyorsítók	30
2.4.5. Lézer-plazmagyorsító	34
2.4.6. Nehézrészecske-gyorsítók	35
2.5. Irodalom	35
3. Sugárzások energiájának elnyelése	37
3.1. Molekulák gerjesztése és ionizációja	37
3.2. Foton- és elektronsugárzások energiájának elnyelődése	41
3.2.1. Elsődleges kölcsönhatások	41
3.2.2. Gerjesztett és ionizált molekulák keletkezése a közegben	47
3.3. Lineáris energiaátadási tényező	50
3.4. Ionizáció, rekombináció és gerjesztés	51
3.5. G -érték	54
3.6. Irodalom	56
4. Sugárkémiai reakciók vizsgálati módszerei, kémiai kinetika	59
4.1. Stacionárius technikák	59
4.2. Impulzusradiolízis	61
4.3. A sugárkémiai reakciók kinetikája	65
4.3.1. Elsőrendű reakciók	66
4.3.2. Homogén másodrendű reakciók	67

4.3.3. A diffúziószabályozott sebességi együttható	69
4.3.4. Nemhomogén másodrendű reakciók	71
4.4. Irodalom	72
5. Ionizáló sugárzások dozimetriája	73
5.1. Dózisegységek	73
5.1.1. Besugárzási dózis, elnyelt dózis	73
5.1.2. A sugárbiológiában alkalmazott egységek	74
5.2. Doziméterek	75
5.2.1. Fizikai doziméterek	76
5.2.2. Kémiai doziméterek	79
5.2.3. Dózisindikátorok	83
5.2.4. Impulzusdozimetria	84
5.2.5. Gázfázisú dozimetria	86
5.3. Mélységi dóziseloszlás	87
5.4. Irodalom	89
6. A víz és vizes oldatok sugárkémiaja	91
6.1. A tiszta víz besugárzásának közti- és végtermékei	91
6.1.1. Elsődleges bomlási reakciók	91
6.1.2. „Spur” reakciók	92
6.1.3. A bomlás végtermékei	94
6.1.4. pH-függés	94
6.2. A közttermékek megfigyelése, jellemzőik	95
6.3. Az egyedi reakciók vizsgálatának módszerei	98
6.4. A hidratált elektronok reakciói	101
6.5. A hidrogénatomok reakciói	102
6.6. A hidroxilgyökök reakciói	103
6.7. Jég	104
6.8. Gázállapotú víz	105
6.9. Víz mint reaktor-hűtőközeg	107
6.10. Irodalom	110
7. Szerves vegyületek	113
7.1. Telített szénhidrogének	114
7.2. Telítetlen szénhidrogének	119
7.3. Aromás szénhidrogének	120
7.4. Alkil-halogenidek	121
7.5. Alkohokok	122
7.6. Karbonilvegyületek	124
7.7. Irodalom	124
8. Polimerizáció és polimerbesugárzás	127
8.1. A sugárzásos polimerizáció	128
8.1.1. Kinetika és mechanizmus	128
8.1.2. Hidrogének sugárzásos szintézise	132
8.2. Polimerek besugárzása	135

8.2.1.	Fizikai és kémiai változások	135
8.2.2.	Láncszakadás	138
8.2.3.	Térhálósítás	140
8.2.4.	Polimerek sugárállósága	144
8.3.	Technikai megvalósítás	145
8.3.1.	Nagyipari eljárások	145
8.3.2.	Hazai technológiák	148
8.4.	Irodalom	150
9.	Biológiai érdekességű molekulák	153
9.1.	DNS és részegységei	154
9.1.1.	Reakciók <i>in vitro</i>	157
9.1.2.	Reakciók <i>in vivo</i>	161
9.1.3.	A D_{37} -dózis	164
9.1.4.	Sugárvédelem, sugárérzékenyítés, oxigénhatás	165
9.2.	Szénhidrátok	167
9.2.1.	Vizes oldatok	168
9.2.2.	Poliszacharidok	169
9.3.	Aminosavak és peptidek	172
9.4.	Lipidek	175
9.5.	Irodalom	177
10.	Gázok	179
10.1.	Oxigén és oxigén-nitrogén elegyek	180
10.2.	Hidrogén-deutérium elegyek, dinitrogén-oxid, ammónia	182
10.3.	Irodalom	183
11.	Szilárd szerves anyagok	185
11.1.	Alkáli-halogenid-kristályok	185
11.2.	Fémek	186
11.3.	Félvezetők	187
11.4.	Féldrága- és drágakövek besugárzása	188
11.5.	Üvegek	189
11.6.	Irodalom	190
12.	Élelmiszer-besugárzás	191
12.1.	Élelmiszerek besugárzása során végbemenő változások	191
12.1.1.	A sugárkezelés jellemzői	191
12.1.2.	Élelmiszer-kezeléskor alkalmazott sugárforrások	192
12.2.	A sugárhatás mechanizmusa	193
12.3.	Alkalmazási típusok	195
12.3.1.	Dózisigény	195
12.3.2.	Sugárérzékenység	196
12.3.3.	Engedélyeztetési kérdések	197
12.3.4.	A besugárzottság kimutatása	198
12.4.	Néhány élelmiszer sugárkezelése	199
12.4.1.	Gumós, hagymás termékek besugárzása	199

12.4.2. Tárolásra előkészített termék rovtalanítása	200
12.4.3. Paraziták elpusztítása	201
12.4.4. Gyümölcs, zöldség eltarthatóságának megnövelése	201
12.4.5. Nyershús és baromfitermékek besugárzása	202
12.4.6. Száraz élelmiszer-adalékok dekontaminálása	202
12.4.7. Élelmiszerek sterilizációja	203
12.4.8. Csomagolás	203
12.5. Technikai megvalósítás	203
12.5.1. Helyhez kötött és mobilis besugárzók	203
12.5.2. Hazai helyzet	205
12.6. Irodalom.	206
13. Gyógyászati eszközök és gyógyszerek sterilizációja	209
13.1. A sugársterilizáció során végbemenő átalakulások	210
13.1.1. Dózisfüggés	210
13.1.2. Mikroorganizmusok sugárérzékenysége	210
13.1.3. Dózisigény	211
13.1.4. Besugárzásra kerülő anyagok sugártűrése	212
13.1.5. Gyógyszerek sterilizációja	213
13.2. Sugársterilizációs eljárások	214
13.2.1. Sterilizációhoz alkalmazott sugárforrások	214
13.2.2. Hazai helyzet	216
13.3. Irodalom	216
14. Környezetvédelmi alkalmazások	217
14.1. Füstgázkezelés	217
14.1.1. Kémiai reakciók	217
14.1.2. Technikai megvalósítás	220
14.2. Ivóvíz és szennyvíztisztítás	223
14.2.1. Általános jellemzők	223
14.2.2. Kémiai átalakulások	226
14.2.3. Technikai megvalósítás	230
14.3. Irodalom	233
Függelékek	235
F1. A könyvben használt fontosabb egységek átszámításai	235
F2. A ^{60}Co bomlása	236
F3. ^{60}Co γ és ^{137}Cs γ -sugárzások gyengítési tényezői	237
F4. Különböző sugárzások behatolási mélységei és LET értékei	238
F5. Fricke-dozimetria	239
F6. Alkoholos klór-benzol dozimétria	241
F7. Irodalom	241
Jelölések	243
Tárgymutató	245

Előszó

Dobó János 1967-ben megjelent, mindössze 180 oldalas *Gyakorlati sugárkémia* című könyvéből (Műszaki Kiadó, Budapest) nemzedékek szerezték meg első ismereteiket a sugárkémiairól. Egyetemi hallgatók használták a művet tanulmányaik során, gyakran ebből készültek a vizsgákra azok, akik a doktori fokozat elérésén fáradoztak, jó szolgálatot tett az Izotóptanfolyam vizsgáinak letételekor, de ehhez a könyvhöz nyúltak azok a nukleáris szakemberek is, akiknek a nagyenergiájú sugárzások kémiai hatásait, ill. egyes sugártechnológiákat illetően ismereteik bővítésére volt szükségük. Bár a mű – részint viszonylag egyszerű megközelítése miatt – jórészt még ma is aktuális, néhány tényező mégis szükségessé teszi egy általánosan használható sugárkémiai könyv megírását. Dobó János könyvének megjelenése óta áttértünk az SI mértérendszerre*, és ezzel szinte valamennyi, a sugárkémiaiában is használatos egység megváltozott. A radioaktív bomlás egysége Curie-ről Becquerelre ($1 \text{ Curie} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bomlás s}^{-1}$), a sugárdózis rad-ról (100 erg g^{-1}) Gray-re módosult (1 Joule kg^{-1}) és a sugárkémiaiában az átalakulások jellemzésére használt G -értékeket is a korábbi 100 eV elnyelt energiára vonatkoztatott átalakult (képződött, bomlott stb.) molekulaszám helyett is egyre gyakrabban az SI rendszer szellemének jobban megfelelő mol anyagmennyiségre és joule elnyelt energiára vonatkoztatják, így mol J^{-1} egységekben fejezik ki.

Dobó János könyvében jelentős szerepet szánt a besugárzási technika ismertetésének, így a besugárzó berendezések és a sugárkémiai technológiák bemutatásának. Természetesen az elmúlt 40 évben alapvető változások következtek be mind a technika, mind a sugárkémia elmélete terén. E könyv az újabb szemléletet tükrözi.

A sugárkémia irodalmát az elmúlt 20 évben – angol nyelven – többen összefoglalták, ezek között még enciklopédia jellegű munka is van: Y. Tabata (szerk.): *CRC Handbook of Radiation Chemistry* (CRC Press, Boca Raton, 1991). A jelen könyv célja az is, hogy a fontosabb irodalmi munkák felsorolásával, felhívja a figyelmet azokra a forrásokra, amelyekből bővebb ismeretek meríthetők az adott témában.

* Az SI mértérendszer az atomfizikában megengedi, bár nem bátorítja az atomfizikai egységek, így az elektronvolt, eV, használatát. 1 eV annak a kinetikus energiának felel meg, melyre az elektron 1 V potenciálkülönbségű erőtér befutásával tesz szert. Átszámítás: $1 \text{ eV részecske}^{-1} = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ J részecske}^{-1} = 96,478 \text{ mol J}^{-1}$. A gyakrabban használt egységek átszámításait az F1. függelékben foglaltuk össze.

Az igazság kedvéért azt is meg kell jegyezni, hogy 1967-ben a Műszaki Kiadó gondozásában, magyar fordításban is megjelent I. V. Verescsinszkij és A. K. Pikajev: *Bevezetés a Sugárhatáskémiába* című, 1963-ból származó könyve, mely a maga idejében elkerülte a sugárkémikusok figyelmét.

Végül is a *Sugárkémia* megírásával arra törekedtem, hogy bővített, modernizált változatban töltsse be a *Gyakorlati sugárkémia* helyét.

A tématerület elnevezése érinti a könyv címét is. Mintegy 4 évtizedes az a vita, hogy melyik elnevezést használjuk, sugárkémia vagy sugárhatás-kémia. Mindkettő mellett érvek és ellenérvek sorolhatók fel. A sugárkémia elnevezés tömör és egyben hasonló a rokonterületek elnevezéséhez, termokémia, fotokémia, szonokémia stb. Ugyanakkor az is igaz, hogy nem a sugár vagy sugárzás kémiájáról, hanem a sugárzás hatásának kémiájáról beszélünk. Ebből a szempontból viszont a sugárhatás-kémia elnevezés jobb, de hosszabb, terjengőbb. Ezzel a könyvvel a vitát, nem kívánom lezárni. A könyv *Sugárkémia* címevel annak Dobó János művéhez való hasonlóságát emelem ki.

Nagyon fontos kérdés, kiknek a számára készült a könyv. A szerző tisztában van azzal, hogy külön könyv írására a sugárzó energia elnyelésével és hatásaival foglalkozó a sugárfizikában, -kémiában, -technológiában, -biológiában, az atomreaktorok üzemeltetésében érdekelt fizikusok, vegyészek, biológusok, orvosok számára, figyelembe véve a különböző szinteket is – egyetemi hallgatók, diplomások, doktoranduszok, oktatók és kutatók – a viszonylag kisszámú érintett miatt nincs lehetőség. Ezért meg kell kísérelni a lehetetlent, egyszerűen szólni minden érdekelthez. Ilyen megközelítésben természetesen a „mélységek” bemutatása nem lehetséges. A nehézségeken úgy kísérelem meg átsegíteni az olvasót, hogy a sugárenergia elnyelését tárgyaló és főként az egyetemi hallgatók, oktatók és kutatók számára fontos 3. fejezet elején, a 3.1. szakaszban, – elsősorban a nem vegyész végzettségű olvasók számára – némi bevezetést adok a molekulák elektronszerkezetének világába. Szerencsére a későbbi fejezetek a „nehezen emészthető” 3. fejezet nélkül is követhetők. A vizsgálati módszereket bemutató 4. fejezetben található és szintén nehezebben „emészthető” – a kémiai kinetika elméletével foglalkozó – rész a nem vegyész végzettségű olvasóhoz igyekszik közelebb hozni a kinetikai szemléletet, mely az egész könyvön érezhető.

A könyv első fejezetei a sugárforrások ismertetésével, a sugárenergia elnyelésének tárgyalásával, a kísérleti módszerek és eljárások taglalásával, az elnyelt energia mérési módszereinek bemutatásával előkészítik a későbbi, a víz és vizes oldatok, a szerves vegyületek, a biológiailag fontos anyagok, a folyékony, szilárd és gáznemű anyagok sugárkémijával foglalkozó fejezeteket. A könyv nagyobbik része a gyakorlati alkalmazásokkal foglalkozik. A vízzel kapcsolatban kitér a víz alkalmazására reaktor hűtőközegeként, a szénhidrogénekkel kapcsolatban pedig megemlékezik a sugárzás által iniciált termikus krakkolásról. A polimerizációval és a polimerekkel kapcsolatos fejezetet az elmélet bemutatása mellett alapvetően a megvalósított ipari eljárások, köztük a hazai technológiák ismertetése uralja. Nagyszámú sugárzásos eljárás kerül bemutatásra az élelmiszer-besugárzással, a sterilizéssel és a környezetvédelmi alkalmazásokkal kapcsolatos fejezetekben is.

Még egy egyszerűsített könyv megírása is lényegében csapatmunka. Munkámat sokan segítették, akiknek ezúton is köszönetet szeretnék mondani. A sugárforrásokkal kapcsolatos rész megírásához nagy segítséget kaptam Hargittai Pétertől, míg a dozimetriai és a techno-

lógiai fejezetek megírását Kovács András segítette. A polimerekkel foglalkozó résznél Takács Erzsébet tanácsait köszönöm meg. Hálás vagyok Putirszkaja Galinának (Hardy Gyuláné), Tétényi Pálnak és Stenger Vilmosnak a könyv átolvasásával nyújtott segítségükért, tanácsaikért, valamint Schiller Róbertnek a kézirat gondos lektorálásért.

Wojnárovits László

Budapest, 2006. február 24.