

Radiokémia és nukleáris technológia 2017-II

Dozimetria és sugárvédelem

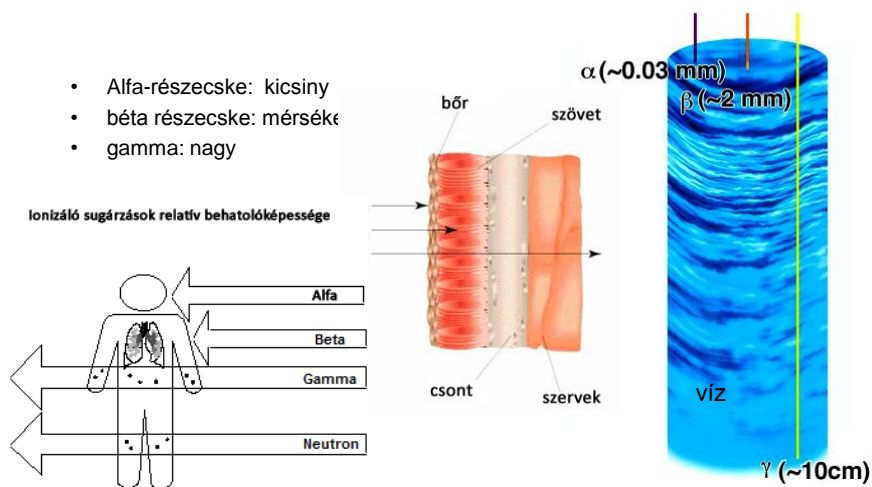
Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

1

A SUGÁRZÁSOK ÁTHATOLÓ KÉPESSÉGE

- Alfa-részecske: kicsiny
- béta részecske: mérsékelt
- gamma: nagy

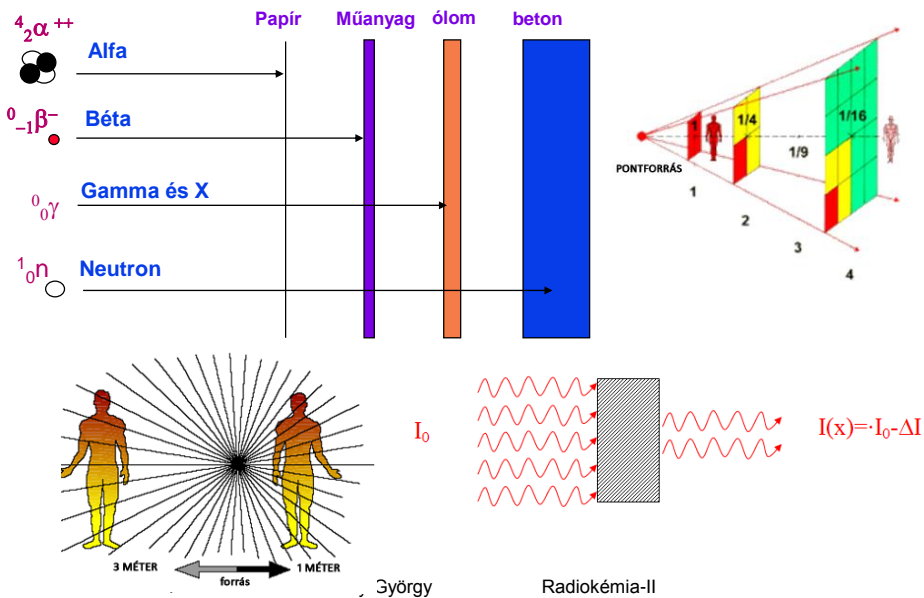


Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

2

A RADIOAKTÍV SUGÁRZÁSOK ÁTHATOLÓKÉPESSÉGE



Fogalmak

- Radioaktív anyag: a természetben előforduló, vagy mesterségesen előállított bármely anyag, amelynek egy vagy több összetevője ionizáló sugárzást bocsát ki, továbbá az ilyen anyagokat tartalmazó készítmények
- Nukleáris anyag: a radioaktív anyagok közül azok, amelyek önfenntartó nukleáris láncreakcióra képesek, vagy képessé tehetők, illetve ezek vegyületei, vagy az elemet és/vagy vegyületét tartalmazó anyag (urán, plutónium, tórium)

A sugárvédelem dozimetriai alapjai

- Dózis = a sugárzásnak az anyaggal való kölcsönhatása következtében a besugárzott anyagban egy adott (meghatározott) változást előidéző sugárzás-mennyiség(adag).
- A dozimetria feladata az ionizáló sugárzás felhasználásainál a besugárzott anyagban létrejövő következményt előidéző dózis számítása és mérése.
- A legelső jel az emberi bőr volt, mint ún. Biológiai detektor. Ezt a röntgensugárzás korai használatakor észlelték magukon a kutatók, a bőrpír (erythema)!

A sugárvédelem dozimetriában használt mennyiségei

- Két besugárzási módot különböztetünk meg
- 1) Külső: az emberi testen kívüli sugárforrásból (röntgen, gyorsító, radioaktív anyag) származó sugárzást külső sugárzásnak, az ebből származó dózist külső dózissnak, vagy külső sugárterhelésnek nevezzük
- 2) Belső: amikor az emberi szervezetbe belélegzés, bőrön (sérülésen) keresztüli felszívódás, vagy szájon át történő lenyelést követően radioaktív anyag jut, és ennek a radioaktív anyagnak a sugárzása az egyes szervekben belső sugárzás során, belső dózist, vagy belső sugárterhelést idéz elő.

Külső dózis

- Dózismérővel, dózisteljesítmény-mérővel mérhető
- Számítási egyenlet (foton-dózisteljesítményre)
- k_{γ} dózistényezők: pontforrásra, detektoranyagra határozható meg

Belső dózis közvetlenül nem mérhető

- Meghatározás módjai: egésztest-számlálás, vér- és exkrétum-analízis, bejutó anyagok (levegő, víz, ételek) analízise
- DCF [Sv/Bq] dóziskonverziós tényező – egységnyi radioaktivitás inkorporációjához köthető effektív dózis
- A dózist főként a radioaktivitást hordozó anyag tartózkodási ideje határozza meg
- Akut (pillanatszerű) vagy krónikus (folyamatos) bevitel – eltérő effektív dózist eredményeznek

A sugárvédelem dozimetriában használt mennyiségei

- Az ionizáló sugárzások két csoportba sorolhatók
- 1) Közvetlenül ionizáló sugárzás: az elektromos töltéssel rendelkező sugárzások (alfa, béta) az emberi szervezetben, a felépítő atomokkal ütközve, közvetlenül hoz létre elektron-ion párokat
- 2) Közvetetten ionizáló sugárzás: az elektromos töltéssel nem rendelkező sugárzások (gamma, neutron), a gamma sugárzás az emberi testszövet atomjainak elektronhéjával foto-, Compton-kölcsönhatással, vagy párképzéssel elektromosan töltött részecskéket eredményez. A keletkező elektronok, pozitronok már alkalmasak arra, hogy az emberi testszövetben ionizációt okozzanak. A neutronok, az energiájuktól függően gamma-fotonokat vagy protonokat hozhatnak létre, amelyek tudják környezetük atomjait ionizálni.

Besugárzási dózis, X

- Röntgen vagy gamma-sugárzás által levegőben okozott ionizáció mértékét méri
- Mértékegysége a Röntgen ($1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$)
(1 Ncm^3 levegőben $2,09 \times 10^9$ ionpár)
- SI egysége a C/kg ($1 \text{ C/kg} \sim 3876 \text{ R}$)

$$X = \frac{Q(\text{töltés})}{M(\text{tömeg})}$$

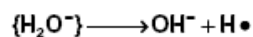
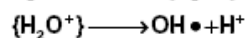
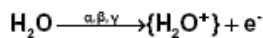
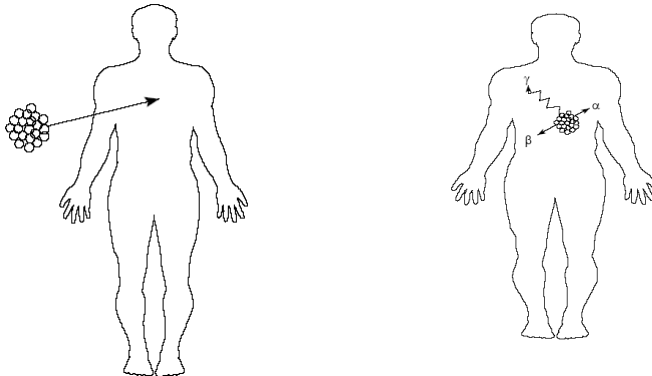
Elnyelt dózis, D

- Elnyelt dózis (vagy sugárzási dózis) azzal az energiával egyenlő, melyet az abszorber egységnyi tömege bármely sugárzástól elnyel
- Egysége a rad
- $1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 0.01 \text{ J/Kg}$
- SI egysége a gray, $1 \text{ Gray} = 1\text{Gy} = 100 \text{ rad}$

Ekvivalens dózis, H

- **Egységnyi dózisekvivalens azon bármely sugárzás mennyisége, mely biológiai rendszerben elnyelődve ugyanolyan biológiai hatást okoz, mint egy egységnyi alacsony LET sugárzás**
- **Az elnyelt dózis D és a minőségi faktor Q szorzata:**

$$H = D Q$$



Az ekvivalans dózis egységei

- Az emberi dózist rem (millirem) egységben mérik
- 1000 mrem = 1 rem
- 1 rem ekvivalens dózis ugyanazt a sugárzási kockázatot jelenti bármely sugárzás esetén
 - Belső vagy külső
 - alfa, béta, gamma, röntgen, neutron
- SI egysége a sievert, 1 sievert (Sv) = 100 rem
- A külső besugárzást a dozimetria méri
- A belső besugárzást biológiai (bioassay) minták elemzésével mérik

Minőségi faktorok különböző sugárzásokra

Minőségi faktorok

Röntgen és gamma	1
Elektronok és müonok	1
Neutronok < 10 kev	5
>10kev to 100 Kev	10
> 100 kev to 2 Mev	20
>2 Mev	10
Protonok > 30 Mev	10
Alfa részecskék	20

Effektív dózis

A test különböző szövetei, szervei

- azonos egyenérték dózissal jellemzett besugárzásra különbözőképpen érzékenyek,
- ugyanannyi idő alatt különböző mértékű besugárzást kaphatnak.

Ezeket figyelembe véve egy olyan mennyiséget keresünk, amely így is arányos a megbetegedés vagy a halál esélyével.

Effektív dózis. Az egyes testszövetek/szervek által kapott H_t egyenérték dózisoknak a testszövetek/szervek sugárzás-érzékenységét kifejező w_t súlytényezőkkel képezett

$$E = \sum_T w_t \times H_t$$

$$\left(\sum_T w_t = 1 \right)$$

súlyozott átlaga. Jele: E ;
egysége J/kg = Sv.

A w_t testszöveti súlytényezők becsült értékei:

Ivarmirigyek	0,2	máj	0,05
Csontvelő	0,12	nyelőcső	0,05
belek	0,12	pajzsmirigy	0,05
Tüdő	0,12	bőr	0,01
gyomor	0,12	csont	0,01
Húgyhólyag	0,05	egyebek	0,05
Emlők	0,05		

Dózisegységek hierarchiája

Elyelt dózis (Gy)

Egységnyi tömeg által elnyelt energia(J/kg)



Ekvivalens dózis (Sv)

Elyelt dózis súlyozva a különböző sugárzások biológiai károsító hatásával (w_R)



Effektív (egésztest) dózis (Sv)

Ekvivalens dózis súlyozva a különböző szövetek biológiai érzékenységgel (w_T)



Kollektív effektív dózis (manSv)

A teljes populációt ért sugárzás effektív dózisa

Lekötött dózis

$$H_C = \int_0^T \dot{H}_E(t) dt$$

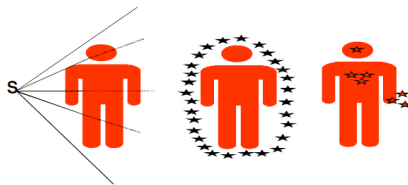
A szervezetben 1 évnél hosszabb ideig jelenlévő nuklid által T=50 vagy T=70 év alatt okozott effektív dózis

Kollektív dózis

$$C = \sum_i H_{E,i} \times n_i$$

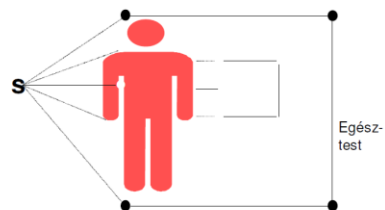
Adott forrásból i számú, egyenként n_i tagú embercsoportnak okozott dózis, egysége személy×Sv.

Besugárzás és szennyeződés



- Külső sugárforrásból eredő besugárzás
- Szennyeződés (belső és/vagy külső)

Külső besugárzás



Külső szennyeződés

A külső testfelszín (bőr) szennyeződése külső besugárzást és esetleg a sugárzó anyag testbe kerülését eredményezheti



Belső szennyeződés



A testbe kerülve az α és β -részecskék adják a legnagyobb dózist, mivel teljes energiájuk a testben nyelődik el.

A sugárvédelem alapelvei

- Determinisztikus hatáshoz vezető dózis legyen lehetetlen
- Csak az „alkalmazásokhoz” kapcsolható dózis korlátozható, a természetes eredetű nem – a korlátozás a többletdózisra vonatkozik
- **Indokoltság:** a sugárforrás alkalmazásának több előnye legyen, mint kára
- **Optimálás:** az „alkalmazás” a lehető legnagyobb előnnyel kell, hogy járjon – optimális dózisszint – tervezési alap – ALARA (As Low As Reasonably Achievable)
- **Egyéni korlátozás** – immissziós és emissziós korlátok – át nem léphetők, ha a tervezési alap helyes volt.

A sugárvédelem alapelvei - ICRP

- **Indokoltság:**
a sugárhatás járjon együtt valamilyen belőle származó haszonnal
- **Optimalizálás:**
a haszon legyen nagyobb a kockázatnál
- **Korlátozás:**
az egyéni dózis nem haladhatja meg az előre meghatározott, a körülményeknek megfelelő törvényes korlátot.

Természetes eredetű dóziszárulék összetevői

(1) Kozmikus sugárzás. A dózis évi átlaga 0,39 mSv, kissé nő a földrajzi szélességgel, jobban a tengerszint feletti magassággal.

(2) Földfelszín γ -sugárzása. A talajban és az épületek anyagában lévő ősi izotópok és bomlási sorok γ -sugárzásából. Évi átlag 0,46 mSv. Helyenként ennek tízszerese is lehet.

(3) Testen belüli izotópok sugárzásai (radon nélkül). Az emberi testbe beépült radioizotópok közül a legtöbb dózist sorrendben a ^{40}K , ^{14}C , ^{87}Rb és ^3H okozza, az évi átlagérték 0,23 mSv.

(4) Radon-izotópok és bomlástermékeik. Ezeket belélegezzük, a sugárzás főleg a légutakat éri. Ebből a forrásból származik a természetes eredetű dóziszárulék több mint fele, évi átlagban 1,3 mSv. A dózis túlnyomó hányadát a ^{222}Rn rövid felezési idejű, részben α -sugárzó termékei okozzák lakások belső terében. Uránban dúsabb talajú területeken ez a dóziszárulék elérheti a 10 mSv értéket is.

Háttérsugárzás

Az átlagos természetes radioaktív háttérsugárzás kb. 1.8 mSv/év.
Emberi tevékenységből, - döntő részben az orvosi röntgen átvilágítás és terápia, - még átlagosan 0.4 mSv/év,
együtt maximum kb 2,5 mSv/év.

A háttérsugárzás legjelentősebb komponensei:

- a helyiségben jelenlévő radon (kb. 0.5 mSv/év),
- az épületek sugárzása (kb. 0.4 mSv/év),
- kozmikus sugárzás, ami felfelé haladva erősen növekszik (0.3 mSv/év),
- a bennünk lévő kálium 40 izotóp sugárzása (kb. 0.2 mSv/év)

Mesterséges eredetű dóziszárulék összetevői

Ez csaknem teljes egészében orvosi eljárásokból származik. A többi forrás (iparcikkek, nukleáris fegyverkísérletek, atomenergetika, balesetek) járuléka 2-3 nagyságrenddel kisebb.

(1) Orvosi eljárások. Ebből világátlagban évi 0,3 mSv dózis származik. Ennek kb. 2/3 része röntgen-diagnosztikai vizsgálatokból, 1/3 része pedig radioizotópok diagnosztikai alkalmazásából és sugárterápiából ered. A páciens által beavatkozásonként kapott dózis néhány esetben (modern eljárások):

Fogröntgen	0,1 mSv
Mellkasfelvétel	0,2 mSv
Mammográfia	1,0 mSv
CT	4 mSv
Izotópos diagnosztika	néhány mSv
Sugárterápia	néhány Sv

Ez a dóziszárulék a legfejlettebb országokban eléri az 1-2 mSv értéket is, a szegény országokban viszont átlag alatti.

Léggöri nukleáris fegyverkísérletek. Ezek csúcspontján (60-as évek eleje) ebből világátlagban évi 0,1 mSv körüli dózis származott. Ez a dóziszárulék azóta kb. 0,003 mSv-re csökkent.

Atomenergia-ipar normál működése. Az ebből származó dózis világátlagban kb. tizedes részét a természetes eredetű dózishoz képest, de az üzemek közelében lakók kis létszámú csoportjában elérheti a 0,1-0,2 mSv értéket.

Nukleáris balesetek. Az utóbbi évtizedekben a csernobili balesetből (1986) származott messze a legtöbb dózis. Ennek területi eloszlása nagyon egyenetlen volt. A baleset utáni első évben átlagosan kapott dózisok néhány populációra:

- az erőmű közelében élők: 100 mSv körül
- Európa középső részén élők: néhány tized mSv
- hazánk lakossága: 0,23 mSv
- teljes világpopuláció: 10^{-4} mSv nagyságrend

A rákövetkező években gyors és nagymértékű csökkenés volt tapasztalható.

Foglalkozási eredetű dóziszárulék

Egyes speciális foglalkozási csoportok tagjai munkájuk során évente további 1-10 mSv nagyságrendű dóziszókat kapnak természetes vagy mesterséges forrásokból.

Ilyenek például a:

- bányászok,
- uránérc feldolgozásában részt vevők,
- műtrágya gyártásában és felhasználásában részt vevők,
- radioaktív izotópok ipari alkalmazásában részt vevők,
- atomerőművek és reprocesszáló üzemek dolgozói,
- nukleáris fegyvereket kezelő és reaktorhajtású járműveken szolgáló katonák,
- röntgenorvosok, fogorvosok és asszisztenseik,
- pilóták, légi utaskísérők,
- radarberendezések kezelői,
- űrhajósok.

Az embert körülvevő sugárzási tér

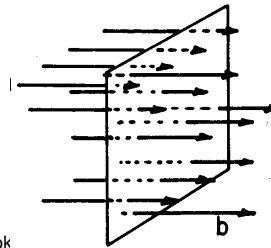
Egy átlagember (felnőtt) testét egy óra alatt nagyjából az alábbi sugárzásmennyiség éri:

- 1 400 000 szekunder kozmikus részecske,
- 200 000 000 környezeti eredetű γ -kvantum,
- 30 000 radon-, ill. radon-bomlástermék atom bomlik el a testben α -, β - és γ -sugárzást kibocsátva
- 25 000 000 testen belül bekövetkező egyéb radioaktív bomlás kelt β -részecskéket, γ -kvantumokat, és kevés α -részecskét.

A fentiek szinte mind természetes eredetűek, melyeknek állandóan ki vagyunk téve. Ezekhez időnként még hozzáadódik egy-egy orvosi eljárásból származó, néhány órán belül lezajló intenzív besugárzás hatása (sokmilliárdnyi sugárzás-részecske).

Fluencia, fluxus és energia fluencia

- Fluencia (Φ) = részecskék száma/keresztmetszet [cm^{-2}]
- Fluxus ($d\Phi/dt$) = fluencia intenzitás = fluencia/sec [$\text{cm}^{-2}\text{-sec}^{-1}$]
- Energia fluencia (Ψ) =
(részecskék/keresztmetszet)·(energia/részecskeszám) =
 $\Phi \cdot E$ [keV/cm^2] vagy [J/m^2]
- Energiafluxus ($d\Psi/dt$) = energia fluencia intenzitás =
energia fluencia/sec [$\text{keV}/\text{cm}^2/\text{sec}$]



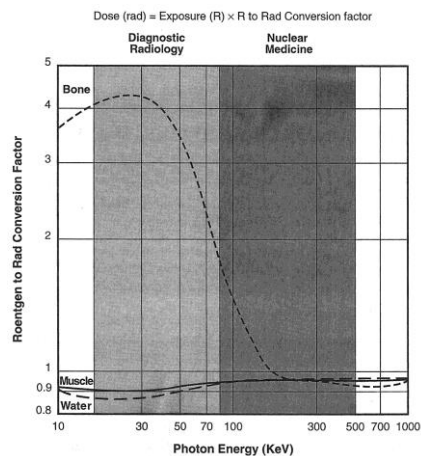
Dr. Pátzay György

Radiok

27

Besugárzási és elnyelt dózis

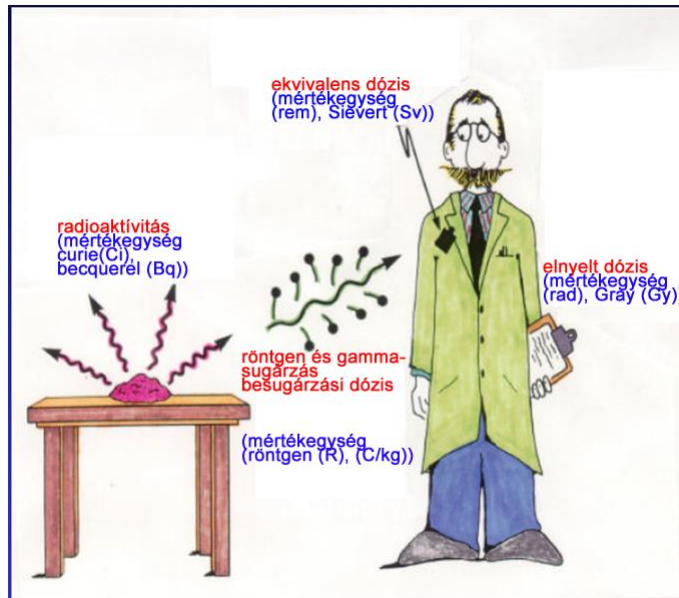
- Dózis (Gy) = X (R) átszámítás
- (R - Gray konverziós faktor)
 - R - Gray konverziós faktor = 0.00876 levegőre (8.76 mGy/R)
 - R - Gray konverziós faktor \approx 0.009 izomra és vízre
 - R - Gray konverziós faktor \approx 0.02 – 0.04 csontra (PE)



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

28



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

Egy sugárforrás által okozott dózisteljesítmény számítása a legegyszerűbb abban az esetben, ha egy pontszerű, homogén fotonenergiát kibocsátó gamma-sugárforrás dózisteljesítményét akarjuk meghatározni. A számítási egyenlet megadásához az is szükséges, hogy rögzítsük: a detektor un. levegőekvivalens anyagú, azaz abszorpciós sajátosságai megegyeznek az azonos tömegű levegőével. (Ez a feltétel a legtöbb gáztöltésű detektorra könnyen teljesül.) Ha ismert a forrás aktivitása (A), a forrástól r távolságra tapasztalható dózisteljesítmény a következő egyenlettel adható meg:

$$D = k_v * A / r^2$$

D : dózisteljesítmény [$\mu\text{Gy/h}$]

A : aktivitás [GBq]

r : forrás-detektor-távolság [m]

k_v : dózisállandó [$(\mu\text{Gy/h})/(\text{GBq/m}^2)$]

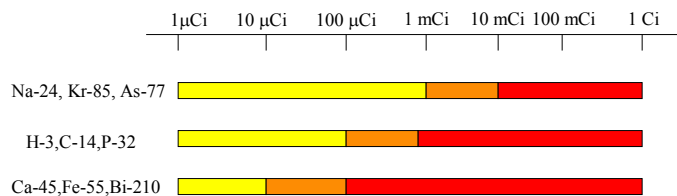
A dózisállandó egy arányossági tényező, melynek értéke tartalmazza a sugárzás gyakoriságát és energiáját, a pontforrás körül feltételezett gömbszimmetrikus alakzat miatt 4π -t, valamint az adott energiára és a levegőre jellemző tömegabszorpciós együtthatót, amely homogén sugárzási energia esetén - a többi tényezővel együtt - konstans. k_v értéke így állandó, számításokkal vagy táblázatokból határozható meg.

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

Radioaktív izotópok veszélyességének szempontjai

- Felezési idő
- Sugárzás energiája és a bomlás típusa
- Elhelyezkedése (szervezeten kívül-belül)
- Kiürülés sebessége
- Az alkalmazott mennyiségek és azok kezelési módjai



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

31

Radioizotópok csoportosítása Egységnyi aktivitásra eső relatív toxicitásuk alapján

I. csoport									
Pb-210	Po-210	Ra-223	Ra-226	Ac-227	Th-227	Ra-228	Th-228	Th-230	U-230
Pa-231	U-232	U-233	U-234	Np-237	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Am-241
Pu-242	Cm-242	Am-243	Cm-243	Cm-244	Cm-245	Cm-246	Cf-249	Cf-250	Cf-252
II. csoport									
Na-22	Cl-36	Ca-45	Sc-46	Mn-54	Co-56	Co-60	Sr-89	Sr-90	Y-91
Zr-95	Ru-106	Ag-110m	In-114m	Cd-115m	Sb-124	Sb-125	I-124	I-126	Te-127m
Te-129m	I-131	I-133	Cs-134	Cs-137	Ba-140	Ce-144	Ba-152	Ba-154	Tm-170
Hf-181	Ta-182	Ir-192	Tl-204	Bi-207	Bi-210	At-211	Pb-212	Ra-224	Ac-228
Pa-230	Th-234	U-236	Rk-249	Th-260					
III. csoport									
Be-7	C-14	F-18	Na-24	Cl-38	Si-31	P-32	S-35	A-41	K-42
K-43	Ca-47	Sc-47	Sc-48	V-48	Cr-51	Mn-52	Fe-52	Fe-55	Mn-56
Co-57	Co-58	Fe-59	Ni-63	Cu-64	Ni-65	Zn-65	Zn-69m	Ga-72	As-73
As-74	Se-75	As-76	As-77	Br-82	Sr-85	Kr-85m	Kr-87	Rb-86	Y-90
Sr-91	Y-92	Y-93	Nb-93m	Nb-95	Tc-96	Zr-97	Tc-97	Ru-97	Tc-97m
Tc-99	Mo-99	Ru-103	Pd-103	Ru-105	Rh-105	Ag-105	Pd-109	Cd-109	Ag-111
Sn-113	Cd-115	In-115m	Sn-125	Sb-122	I-125	Te-125m	Te-127	Te-129	I-130
Cs-131	Ba-131	Te-132	I-132	I-134	I-135	Xe-135	Cs-136	La-140	
Ce-141	Pr-142	Ce-143	Pr-143	Nd-147	Pm-147	Nd-149	Pm-149	Sm-151	Bu-152m
Sm-153	Gd-153	Bu-155	Gd-159	Dy-165	Dy-166	Ho-166	Er-169	Er-171	Tm-171
Yb-175	Lu-177	W-181	Re-183	W-185	Os-185	Re-186	W-187	Re-188	Ir-190
Os-191	Pt-191	Os-193	Pt-193	Ir-194	Au-196	Pt-197	Au-198	Au-199	Hg-197
Hg-197m	Tl-200	Tl-201	Tl-202	Hg-203	Pb-203	Bi-206	Bi-212	Rn-220	Rn-222
Th-231	Pa-233	Np-236							
IV. csoport									
H-3	O-15	A-37	Co-58m	Ni-59	Zn-69	Ge-71	Kr-85	Sr-85m	Rb-87
Y-91m	Zr-93	Nb-97	Tc-99m	Tc-99m	Rh-103m	In-113m	I-129	Xe-131m	Xe-133
Cs-134m	Cs-135	Sm-147	Re-187	Os-191m	Pt-197m	Th-232	Th-Nat	U-235	
U-238	U-Nat								

32

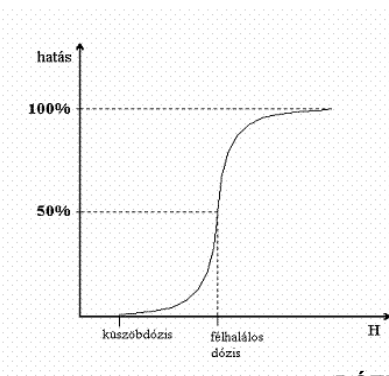
Az ionizáló sugárzás hatása az emberi szervezetre

- A sejt 80%-a víz, 20 %-a komplex biológiai molekulákból áll.
- Az ionizáló sugárzás sejten történő áthaladásakor, akkor töltéssel rendelkező vízmolekulák keletkeznek, ezekből pedig szabadgyökök, amelyek rendkívül reakcióképesek, így képesek megváltoztatni a sejt molekuláit.
- A DNS sérülése bekövetkezhez
 - Közvetlenül (direkt) ekkor egy töltéssel rendelkező részecske ütközik
 - Közvetetten (indirekten), amikor szabadgyökökön keresztül reagál
- Abban az esetben a kémiai elváltozásokat a sejt nem képes kijavítani az súlyos biológiai következményekkel járhat, így keletkezik a mutáció, a kromoszóma aberráció, a sejt rosszindulatú sejtté alakulhat (rákos sejt)

Dózis-hatás összefüggések

- Determinisztikus hatás: Olyan sugárhatás, amelynek dózis-küszöbértéke van, amely felett a hatás súlyossága a dózissal növekedik.
- Sztochasztikus sugárhatások: Olyan sugárhatások, amelyeknek küszöbdózisuk nincs, előfordulásuk valószínűsége arányos a dózissal, súlyosságuk azonban független a dózistól.

Dózis-hatás összefüggések



DÓZIS

A determinisztikus hatás tulajdonságai:

- Küszöbdózis alatt nem jelenik meg
- Küszöbdózis fölött minden egyednél megjelenik, az eset súlyossága a dózistól függ (a dózisonak egy monoton függvénye (sigmoid))
- A besugárzás után rövid időn belül (pl: egy hónapon belül) megjelennek a tünetei (a sejtek egy része elpusztul)
- Oka minden esetben a sejtpusztulás!!!
- A függőleges tengelyen felvett hatás az egyedek halálhozása

Küszöbdózis: az az érték, amely alatt nincs semmiféle hatás (»1Sv)

Félhalálos dózis: az emberek fele meghal, a másik fele túléli (»5Sv)

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

35

Egyes determinisztikus hatások küszöbdózisai

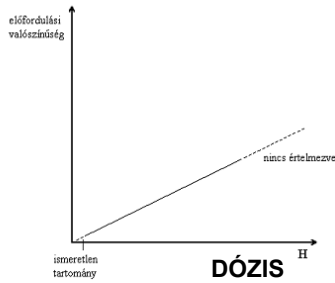
- | | | |
|------------------|------------------|----------------|
| ◆ SUGÁRBETEGSÉG: | $D_R=1\text{Gy}$ | |
| | ≈10Gy | a HALÁL biztos |
| | ≈1-5Gy | TÚLÉLHETŐ |
| ◆ SUGÁRÉGÉS | | |
| | ≈2-3Gy | szövetkihullás |
| | ≈3-6 | 1 fokú égés |
| | ≈9-10 | 2 fokú égés |
| | ≈20 | 3 fokú égés |
| ◆ STERILITÁS | | |
| | ≈Férfi id. 0.5Gy | végleg 6Gy |
| | ≈Nő id. 1.7Gy | végleg 3Gy |

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

36

Dózis-hatás összefüggések



A sztochasztikus hatás tulajdonságai:

- Nincs dózisküszöb, küszöb nélkül jelentkezik
- Csak néhány egyednél jelentkeznek, és annál nagyobb valószínűséggel, minél nagyobb a dózis
- Az előfordulás valószínűsége arányos H-val
- Az eset súlyossága nem függ a dózistól
- Hosszú lappangási idő (10-20 év)
- Legújabb eredmények szerint: a halálos rák valószínűsége = halálos rák/Sv
- A háttérsugárzás tartományánál nem tudjuk, hogyan alakul a függvény, csak feltételezzük, hogy továbbra is lineáris
- A sugárzás által keltett rákeset megkülönböztethetetlen a spontántól

A függőleges tengelyen felvett valószínűség lehet például halálos végű rák előfordulási valószínűsége.

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

37

A sugárvédelem alapvető célja, hogy senkit se érjen determinisztikus sugárhatás, és a sztochasztikus hatás kockázata elviselhető legyen. A szabályzás tárgya a „többlet”-dózis, tehát a természetes sugárterhelés (legalább is annak emberi beavatkozással nem befolyásolható része) nem tárgya a szabályzásnak

A sugárvédelmi szabályzás három „hagyományos” alapelve (ICRP#26 – 1976 óta):

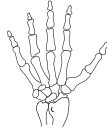
- **indokoltság** = a sugárzás alkalmazásának nagyobb legyen a haszna, mint a kára (kockázata),
- **optimálás** (ALARA – as low as reasonably achievable) = az észszerűen elérhető legalacsonyabb sugárzási szint valósuljon meg az egyes alkalmazások során (ez „tervezési szint” legyen az egyes tevékenységekre),
- **immissziós (egyedi) korlátozás** = a sugárzást „elszenvedő” egyénekre vonatkoznak a korlátok, bárhol is tartózkodjanak a sugárforrásokhoz képest.

Dr. Pátzay György

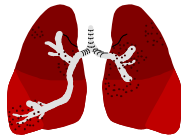
Radiokémia-II

38

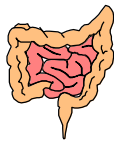
Kritikus szervek



P-32
Ra-226
Pu-239



Rn-222



Cr-51
Co-60
Tc-99m
Au-198
Ir-192
U-235



vagy



H-3

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

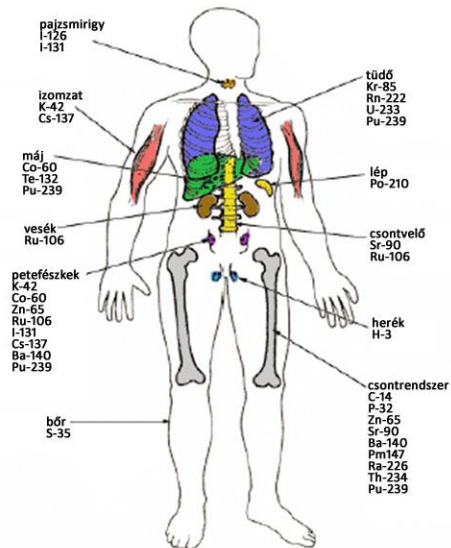
39

**Csökkenés a szervezetben:
Effektív felezési idő**

$$T_{\text{effektív}} = \frac{T_{1/2} * T_{1/2b}}{T_{1/2} + T_{1/2b}}$$

$T_{1/2}$ -felezési idő

$T_{1/2b}$ -biológiai felezési idő



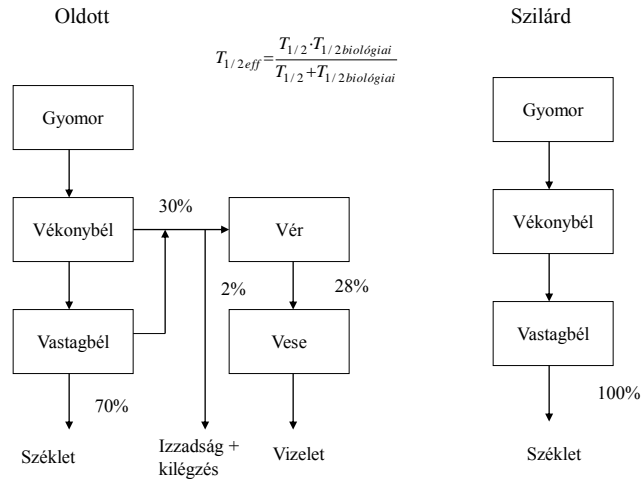
Radioaktív izotópok felhalmozódása az emberi testben

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

40

Oldott és szilárd halmazállapotú radioaktív izotópok távozási útvonalai a szervezetből



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

41

A radioaktív anyagok nyilvántartása

- Az Országos Atomenergia Hivatal számítógépes rendszert üzemeltet a radioaktív anyagok és készítmények (és hulladékok) nyilvántartására.
- Az említett anyagok tulajdonosainak az általuk birtokoltokról olyan helyi nyilvántartást kell vezetni, amelyből bármikor megállapítható az anyagok aktuális készlete, fajtája, aktivitása, rendeltetése, alkalmazása.
- A készletváltozást azonnali hatállyal jelenteni kell (papíron és elektronikusan, az átadónak és az átvevőnek is)
- Az engedélyesek évente leltárt készítenek a készleteikről és leltárjelentést küldenek a központi nyilvántartásnak

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

42

Sugárhatást módosító tényezők

- Fizikai jellegű
 - A sugárzás lineáris átadási értéke (LET)
 - A sugárzás dózisteljesítménye
 - A besugárzás jellege (akut, krónikus, frakcionált)

- A Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) ezért alkalmazza, a dózis-dózisteljesítmény-hatékonysági tényező értéket (DDREF). Fontos megállapítás, hogy ugyanazon dózis kis dózisteljesítménnyel való expozíciója kisebb biológiai hatást eredményez.

Sugárhatást módosító tényezők

- Kémiai jellegű
 - Az endogén és az exogén antioxidáns sugárvédő , illetve sugárérzékenyítő vegyületeket soroljuk ide
 - Megjegyzés az oxigéntartalmú szabad gyökök száma antioxidánsokkal csökkenthető
 - Endogén (Sejten belüli) C-,E- vitamin, aminosavak, enzimek
 - Exogén (sejten kívüli)

- A jó általános élettani állapotban levő személyek ellenállóbbak (mely fokozható antioxidánsokkal)

Sugárhatást módosító tényezők

- Biológiai jellegű
 - Az osztódó és nem osztódó sejt közötti különbség
 - A sejt osztódási cikluson belüli helye
- Újabb kutatások további összefüggéseket tártak fel
- A kockázatot növelik
 - A gén instabilitás kialakulása
 - A szomszédsági („bystander”) hatás
- A kockázatot csökkenti
 - Az alkalmazkodási válaszreakciók és a kis dózisu sugárzás sejtfolyamatokat stimuláló hatása (hormesis)

„Kis dózis” dilemma

- 200 mSv alatt a rákos megbetegedési statisztikák bizonytalanává váltak, a dózis-hatás összefüggés nem volt szignifikáns
- Sejtbiológiai szempontból érdekes jelenség, hogy néhányszor 10 mSv is vált ki hatást
 - Szabadgyök semlegesítés fokozódik
 - Alkalmazkodási válasz megjelenik
 - Apoptózis megindul
- Mikrodozimetriai vizsgálat szükséges (abban az esetben, ha a sejtek 20 %-át éri találat), 10 μ Sv/év alatt (további kutatások zajlanak)

Sugárbetegség

- Különböző tünetegyüttese a szövetek, szervek,, szervrendszerek sugárérzékenységétől függően alakulnak ki.
- A tünetek súlyossága és időbeli megjelenése függ
 - az elszennvedett sugárdózistól
 - És az érintett szervek, szövetek biológiai jellegzetességeitől
- A legérzékenyebb a csontvelő
 - 1-6 Gy csontvelői szindróma
 - 6-15 Gy gyomor-bélrendszer nyálkahártya károsodás
 - 15 Gy felett a kardiovaszkuláris és a központi idegrendszer is károsodik

Sugárbetegség szakaszai

- Kezdeti vagy prodromális (a betegség előjele, kezdeti tünetek) állapot
- Latencia (lappangás, rejtettség) időszaka
- Fő vagy kritikus betegség stádiuma
- Lábadozás vagy reconvalescentia (felépülés, gyógyulás) ideje

A kezdeti vagy prodromális szakasz

- A sugársérülést követően 1-2 napon át
- Az is megtörténhet, hogy a túlexpozíciót nem veszi észre a sérült (és csak a tünetek jelzik számára, hogy történt valami)
- Az enyhe sérüléskor a tünetek is enyhék, hamar elmúlnak
- Fő tünetek: étvágytalanság, hányinger, hányás, fáradtság (hasmenés megjelenése, amennyiben hányással együtt jelentkezik súlyos sugársérülés jele, ha 1-2 órán belül előfordul)
- A prodromális tünetek megjelenésének időpontja segítséget nyújt a korai dózisbecsléshez, és így a szükséges intézkedések meghozatalához

Helyi tünetek

- A bőr és nyálkahártyák sugárérzékeny szövetek
- Korai bőrpír, kötőhártya-gyulladás megjelenéséből a besugárzott testrésze és a sérült terület nagyságára lehet következtetni
- 3 Gy-nél, már átmeneti epiláció alakul ki

Látens szakasz

- Az első és harmadik szakasz közötti, tünetszegény, vagy tünetmentes időszak
- 2-3 Gy esetén akár 10-20 nap is lehet
- Viszont 10 Gy felett ez a szakasz ki is maradhat

Fő szakasz

- A dózis nagyságától függően 3 szindrómában (tünetegyüttesben) nyilvánulhat meg
 - 1-6 Gy csontvelői szindróma
 - 6-15 Gy gyomor-bélrendszer nyálkahártya károsodás
 - 15 Gy felett a kardiovaszkuláris és a központi idegrendszer is károsodik
- Helyi sugársérülés, amikor kis testtérfogatot, pld. Végtagot érintett a sérülés.
 - A dózistól függően napok-hetek alatt alakul ki
 - 25 Gy alatt reverzibilis elváltozások
 - 25 Gy felett nekrosis (Sejt vagy szövet elhalása az élő szervezetben.)

Krónikus sugárdermatitis

- A bőr nagyobb fokú sugárbetegsége után megjelenő tünet
- hámsejtrák fejlődhet ki
- A bőr alatti kötőszövetben az erek is károsodhatnak (elpusztulhatnak)
- 10 Gy feletti kumulált dózist követően jelenik meg

Lencsehályog (sugárcataracta)

- A szemlencse átlátszósága a hámsejtekből differenciálódó, rendeződött lencserostok és ezek fehérjéi (krisztallinok) biztosítják.
 - Ha ezek károsodnak, akkor csökken a szemlencse átlátszósága
 - E folyamatot előidézheti a röntgen, gamma-, neutron- és a nagy energiájú béta-sugárzás
 - Krónikus esetben az expozíció 15 Gy okozhat hályogot
 - Az expozíció és a tünet közötti lappangási időszak dóziszfüggő (2-7 Gy 8 év, 7-12 Gy 4év)

Kockázatbecslés

- Az ionizáló sugárzás és a radioaktív anyagok a természetben állandóan jelen vannak, ezért a sugárterheléssel járó kockázatot csak csökkenteni lehet, teljesen megszüntetni nem lehetséges.
- A mesterséges sugárforrások felhasználásából adódó kockázat, a felhasználásból eredő haszon és a kockázat társadalmi elfogadhatóságának optimális relációja. A kockázatot szabályozni kell, óvórendszabályok alkalmazása szükséges.

Kockázatbecslés

- Hazai jogszabályok
 - 1996. évi CXVI. Törvény
 - 16/2000. EüM rendelet
- A hazai rendelkezések megfelelnek az EU-előírásoknak
 - Az ionizáló sugárzást csak indokolt esetben szabad használni
 - A sugárvédelmet optimalni kell (csak az ésszerűség szerinti legkisebb mértékben érje a felhasználókat és a lakosságot)
 - Dóziskorlátok, melyek feletti érték nem megengedett
- A sztochasztikus hatások valószínűségének csökkentése, a determinisztikus hatások kialakulásának megelőzése a cél!

Magyarországi szabályozás

- Atomtörvénynek hívják röviden, 1996. évi CXVI. Törvény az atomenergiáról, http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99600116.TV
- Sugárvédelmi alapszabványok egészségügyi miniszteri rendelet 16/2000. (VI.18.) illetve a módosító 64/2005. (XII.22.)
 - 1.melléklet alapvető sugárvédelmi követelmények és meghatározások
 - 2.melléklet számszerű dóziskorlátok, veszélyhelyzeti és baleseti beavatkozási és cselekvési szintek
- 47/2003. (VIII.8.) ESzCsM (egészségügyi szociális és családügyi minisztérium) rendelet, érckohászat, műtrágyagyártás
- 30/2001. (X.3.) EüM rendelet, külső munkavállalók sugárvédelme
- 15/2001. (VI.6.) KöM rendelet kibocsátási normák (az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és a vízbe történő radioaktív kibocsátások)

Magyarországi szabályozás/ Környezetellenőrzés

- OKSER (Országos Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer) 275/2002. (XII.21.) Korm.rendelet
- Magyarországon a hatóságok, egyetemi intézmények, kutatóhelyek is végeznek környezeti méréseket, ezen mérési eredmények egységes rendszerbe gyűjtése, és rendszeres közzététele az OKSER lényege

Magyarországi szabályozás/ Környezetellenőrzés

- OKSER (Országos Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer) 275/2002. (XII.21.) Korm.rendelet
- Magyarországon a hatóságok, egyetemi intézmények, kutatóhelyek is végeznek környezeti méréseket, ezen mérési eredmények egységes rendszerbe gyűjtése, és rendszeres közzététele az OKSER lényege

Orvosi ellátások

Napjainkban a fejlett országokban a lakosság sugárterhelésének számottevő része az alábbi csoportokba sorolható

- Diagnosztika (orvosi beavatkozások, vizsgálatok)
- Terápia (orvosi kezelések)
- 31/2001. (X.3.) EüM rendelet (amely a 97/43/Euroatom irányelvvel összeegyeztethető)

Szállítás országhatárokon át

- 34/2009. (II.9.) a radioaktív hulladékok és a kiégett fűtőelemek országhatárokon át történő szállításának engedélyezéséről
- 2008/117/Euroatom irányelvre alapozódik

Nyilvántartás (nyílt és zárt sugárforrások)

- 302/2005/Euroatom rendelete szabályozza az ellenőrzésekkel kapcsolatos Uniós előírásokat
- 2003/122/Euroatom tanácsi irányelv a nagy aktivitású zárt radioaktív sugárforrások és a gazdátlan sugárforrások ellenőrzése, továbbá a radioaktív anyagok nyilvántartása
- 33/2004.(VI.28.) BM rendelet a nyilvántartás rendjéről
- 17/1996. (I.37.) Korm.rendelet a talált, ill. a lefoglalt radioaktív vagy nukleáris anyagokkal kapcsolatosan
- Magyarországon (szigorúbban, mint az Uniós szabályozásnál) a nyilvántartás vonatkozik minden hatósági ellenőrzés alá tartozó zárt és nyitott sugárforrásra

A dóziskorlátozás rendszere

DL – immissziós korlát

foglalkozási korlát 20 mSv/év (5 év átlagaként)

lakossági korlát 1 mSv/év

DC - emissziós korlát (dózismegszorítás)

$$A_{\max, i} \leq \frac{DC}{DCF_i} \text{ és } \sum_i A_{\max, i} * DCF_i \leq DC$$

$$A_{\max, i} \ll A_{ki, i}$$

$$DL \neq \sum_s \sum_i DC \text{ és } DC < DL$$

Az emissziós és immissziós korlátok nem keverhetők

A kibocsátott aktivitás a környezeti terjedés során jelentősen hígul

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

63

Szabályzásból kizárt sugárzási helyzetek (Exclusion) – természetes radioaktivitás az emberi testben, kozmikus sugárzás a Föld felszínén

Elhanyagolható dózis: $H_i \approx 10 \mu\text{Sv/év}$

Mentességi szint: (Exemption) egy sugárforrás, illetve egy adott radioaktív koncentrációval jellemzett anyag a legkedvezőtlenebb forgatókönyv mellett sem okoz H_i -nél nagyobb dózist (foglalkozási vagy lakossági helyzetben). [Bq], [Bq/kg] Mentességi aktivitás koncentráció **MEAK** [Bq/kg]

Felszabadítási szint: (Clearance) egy korábban sugárvédelmi szabályozás alá tartozó anyag kivonható a szabályzás alól (lakossági helyzetben.) [Bq/kg], [Bq/m²]

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

64

A dóziskorlátozás rendszere



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

65

Elsődleges határértékek

- ▶ Egyenérték dózisban illetve effektív dózisban megadott korlátok
 - Közvetlen kapcsolatban vannak a biológiai hatással
 - Közvetlenül nem mérhető, számított értékek

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

66

Dóziskorlátok, dózismegszorítás

- A dóziskorlátok, vagy időarányos részei olyan sugárvédelmi előírások, amelyeket semmilyen körülmények között nem szabad túllépni (effektív dóziskorlát).
- A foglalkozási kategóriára vonatkozóan, 5 egymást követő naptári évre összegezve 100 mSv, időarányosan 20 mSv évente, vagy 400 μ Sv hetente.
- Lakosságra vonatkozó dóziskorlát 1 mSv/év, heti 20 μ Sv

Dóziskorlátok

	Foglalkozási sugárterhelés	Tanulók, gyakornokok (16-18 év között)	Lakosság (orvosi sugárterhelés nélkül)
<i>Egésztest</i>	100 mSv/5 év (egy évben sem lehet > 50 mSv)	6 mSv/év	1 mSv/év
<i>Szemlencse</i>	150 mSv/év	50 mSv/év	15 mSv/év
<i>Bőr</i>	500 mSv/év	150 mSv/év	50 mSv/év



Jelenleg hatályos dóziskorlátok Magyarországon (16/2000. EüM Rendelet szerint)

Normál lakosságra:	1 mSv/év
Sugárveszélyes munkakörben dolgozókra:	20 mSv/év
Természetes háttérsugárzás átlaga (OSSKI 2004.):	3,1 mSv/év

1 mSv dózisterhelés kockázatával azonos:

- egy csomag cigaretta elszívása
- 8 liter bor elfogyasztása
- 200 km hosszú kerékpározás
- 1000 km hosszú autózás
- 200 átkelés egy forgalmas úttesten
- 1 veseröntgen-vizsgálat



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

69

DÓZISKORLÁTOK 16/2000. (VI.8.) EüM rendelet

Csoport	Dóziskorlát
Munkavállalók	5 év átlagában 20 mSv max 50 mSv/év effektív dózis Szemlencsére: 150 mSv/év H_T Bőre (1 cm ²), végtagokra: 500 mSv/év H_T
Tanulók, gyakorolók oktatási célból 16-18 év	E = 6mSv/év Szemlencsére: 50 mSv/év H_T Bőre (1 cm ²), végtagokra: 150 mSv/év H_T
Lakosság	E = 1mSv/év Szemlencsére: 15 mSv/év H_T Bőre (1 cm ²), végtagokra: 50 mSv/év H_T

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

70

DÓZISKORLÁTOK

Veszélyhelyzeti sugárterhelésre

- ⇒ 50 mSv effektív dózis
- ⇒ 100 mSv effektív dózis népesség jelentős sugárterhelésének megakadályozása esetén
- ⇒ 250 mSv effektív dózis életmentésben résztvevőkre

Másodlagos korlátok

- ▶ Akkor használjuk, ha az elsődleges határértékek közvetlenül nem alkalmazhatóak.
 - ÉFEK (éves radionuklid felvételi korlát)
ALI (annual limit of intake)
 - Ha valamely radionukliból az ÉFEK-nek megfelelő mennyiség jut egy év alatt a szervezetbe, akkor a belőle származó sugárterhelés az elsődleges korlátnak megfelelő értéket veszi fel.

Az osztályozás az éves felvételi korlát (ÉFEK) alapján történik.

(Új neve alapmennyiség (AM))

Alapmennyiség (AM)

Az alapmennyiség (AM) egy radionuklid azon aktivitása (Bq), amelyet tipikus vegyületében lenyelve annak lekötött effektív dózisa az éves foglalkozási dóziskorlátot adná (MSZ 62-7:1999). Mivel a rendelet szerint az 5 egymást követő évben együttesen elszennvedett foglalkozási sugárdózis nem haladhatja meg a 100 mSv-et, **ezért az alapmennyiség lekötött effektív dózisa 20 mSv**. Ennek segítségével határozza meg a rendelet a különböző szintű izotóplaboratóriumokban felhasználható radioaktivitás mennyiségét.

Amint a táblázat mutatja, az izotóplaboratóriumok közül az orvosi célúakra (amelyekben a radioizotópok gyógyászati, azaz diagnosztikai vagy terápiás célú felhasználása folyik) más besorolási kritériumok és kategóriák vonatkoznak, mint a többi izotóplaborra; az utóbbiak közé tartoznak a biológiai kutatólaboratóriumok is.

A lila szín a Debreceni Egyetemen megtalálható izotóplaborokat jelöli; csak a legmagasabb, "A" szintű labor nincs

„Iparsí” (és kutató)		„Orvosi”
	< 1 · AM	<i>In vitro</i>
„C”	< 10 · AM	
	< 100 · AM	<i>In vivo</i> diagnosztikai
„B”	< 10 000 · AM	Terápiás
„A”	> 10 000 · AM	

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

73

Műveleti szorzók

Az alapmennyiségek a radionuklidok szokásos felhasználására vonatkoznak. Az igen egyszerű, illetve különösen veszélyes műveletek esetén a korábbi táblázat szerinti alapmennyiségeket az alábbi **műveleti szorzókkal** kell beszorozni:

tárolás:	100
egyszerű művelet (pl. kimérés):	10
cseppenés, fröccsenés:	0,1
száraz, porló anyag:	0,01

1. példa:

A I-125 alapmennyisége 400 kBq. Legfeljebb mekkora aktivitású folyadék lehet egy üvegedényben egy "in vitro" diagnosztikai laborban?

Válasz:

Ahhoz, hogy használhassuk a radioaktív készítményt, a legegyszerűbb szükséges művelet, hogy kimérjük belőle a felhasználni kívánt mennyiséget. Az egyszerű művelet szorzója 10, az "in vitro" diagnosztikai laboré 1, tehát az edényben maximum:

400 kBq * 1 * 10 = 4 MBq aktivitás lehet.

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

74

2. kérdés:

A fenti táblázat szerint TÁROLNI a laborra vonatkozó aktivitás-határ 100-szorosát lehet. Nem mond ennek ellent az előző válasz?

Válasz:

Nem. A tárolási küszöb azt jelenti, hogy a fenti 4 MBq-es edényből egyszerre akár 10 db is lehet a hűtőszekrényben.

De külön-külön egyetlen edényben sem lehet 4 MBq-nél több, különben az "in vitro" laborban nem végezhetnénk vele semmilyen műveletet.

3. kérdés:

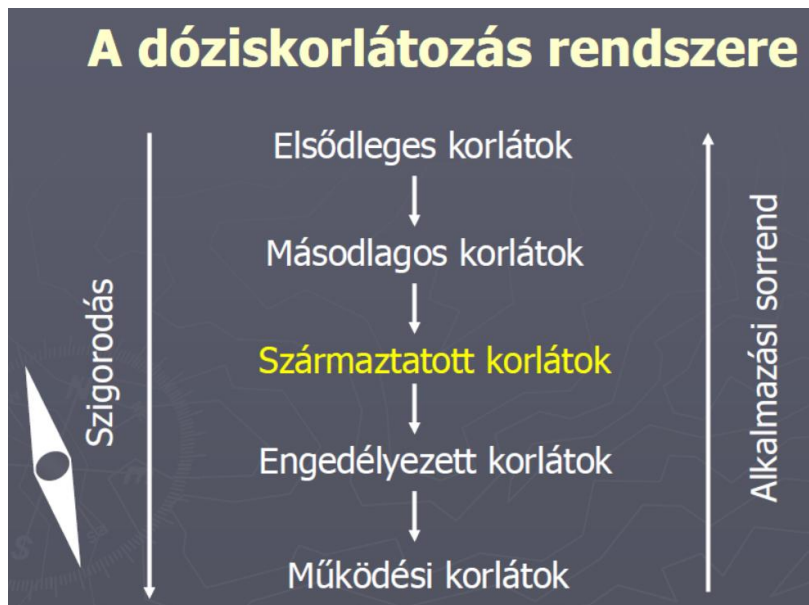
Tegyük fel, hogy az "in vitro" labor tároló szekrényében összesen 30 MBq I-125-tel jelzett készítmény van. Ezen kívül mennyi trícium lehet a laborban? (A H-3 alaplennyisége 1,2 GBq.)

Válasz:

A I-125 készlet a belőle tárolható aktivitás 75%-a, ezért - ha a I-125-ön kívül csak H-3 sugárzó anyag van a laborban - a belőle tárolható aktivitás a H-3 önálló tárolási aktivitáskorlátjának (ami 120 GBq) a 25%-a, vagyis 30 GBq.

Általában igaz, hogy külön-külön ki kell számolnunk az egyes radionuklidokra, hogy milyen hányadát teszik ki a saját aktivitás-korlátjuknak, és az így kapott hányadok ÖSSZEGE nem haladhatja meg a 100%-ot.

A dóziskorlátozás rendszere



Származtatott határértékek

- ▶ Meghatározott modell révén függnek össze az elsődleges határértékekkel.
- ▶ Levegő aktivitás koncentráció határérték (LAH)

$$\text{LAH} = \frac{\text{ÉFEK}}{1.2 \cdot 2000}$$

Könnyű fizikai munka során óránként belélegzett levegő 1.2 m³/h.
Az évi munkaórák száma 2000 óra.

ÉFEK és LAH értékek

Izotóp	ÉFEK (Bq)	LAH (Bq/m ³)
¹⁴ C	8·10 ⁹	3·10 ⁶
^{99m} Tc		
¹³¹ I	2·10 ⁶	7·10 ²
¹³⁷ Cs	6·10 ⁶	2·10 ³
¹⁹² Ir	1·10 ⁷	4·10 ³

Megjegyzés: Lenyelési ÉFEK, belégzési ÉFEK, vegyülettől való függés.

DÓZISMEGSZORÍTÁSOK vészhelyzeti sugárterhelésre vonatkozó BEAVATKOZÁSI SZINTEK

Védelmi intézkedés	Beavatkozási szint	
	Effektív dózis	Lekötött elnyelt dózis a pajzsmirigyben, D(τ)
Elzárkóztatás	10 mSv, max 2 nap	-
Kimenekítés	50 mSv, max 1 hét	-
Jódprofilaxis	-	100 mGy
Áttelepítés	Kezdeményezés Effektív dózis	Megszüntetés Effektív dózis
<i>Ideiglenes</i>	30 mSv/hó	10 mSv/hó
<i>Végleges</i>	>1 Sv/ élettartam	-

A felületi szennyezettség beavatkozási szintjei

Felületek	Beavatkozási szintek (Bq /cm ²)		
	α-sugárzók	β-sugárzók	³ H, ¹⁴ C, ^{99m} Tc
Helyiségek és tárgyak az ellenőrzött területen	5	50	500
Helyiségek és tárgyak felületén az ellenőrzött területen kívül, személyes öltözéken	0,5	5	50
Védőruha külső felületén	5	50	500
Védőruha belső felületén	0,5	5	50
Bőrön	0,5	5	50

Összefoglalás

Foglalkozási dóziskorlátok és 18 év feletti tanulók:

5 év összege	<100 mSv
Egyetlen év	<50 mSv
Bőr, végtagok	500 mSv/év
Szem	150 mSv/év

Foglalkozási dóziskorlátok:

Tanulók 16-18 éves korban

A felnőttekre vonatkozó értékek 30%-a:

Egyetlen év	<6 mSv
Bőr, végtagok	150 mSv/év
Szem	50 mSv/év

Lakossági dóziskorlát, összes mesterséges forrásból (nem foglalkozási, nem orvosi)

Egyetlen év	<1 mSv
Bőr, végtagok	50 mSv/év
Szem	15 mSv/év

Vészhelyzeti dóziskorlátok

- Veszélyhelyzet, balesetelhárítás: 50 mSv
- A népesség jelentős sugárterhelésének megakadályozása: 100 mSv
- Életmentés: 250 mSv

Intézkedési szintek

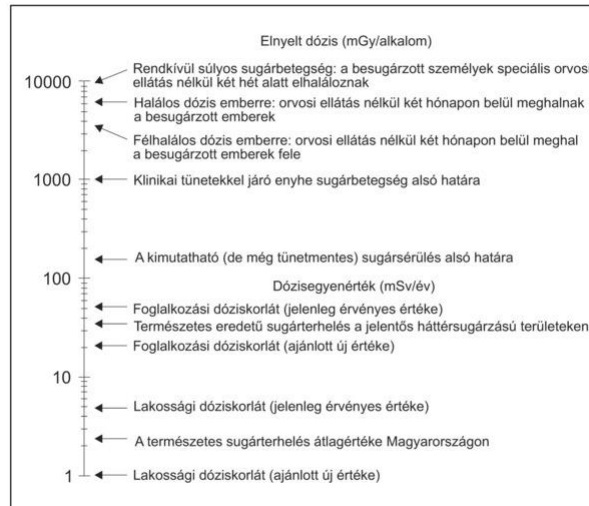
egy mérési időszakban (2 hó) mért dózisa

- Munkahelyi kivizsgálás: > 2 mSv
- Hatósági (ÁNTSZ) ellenőrzés: > 6 mSv
vagy > szervdózis-korlát 3/10-e
vagy > évi 20 mSv

Dr. Pátzay György

Forrás: Varga József, Debreceni Egyetem
Radiokémia-II

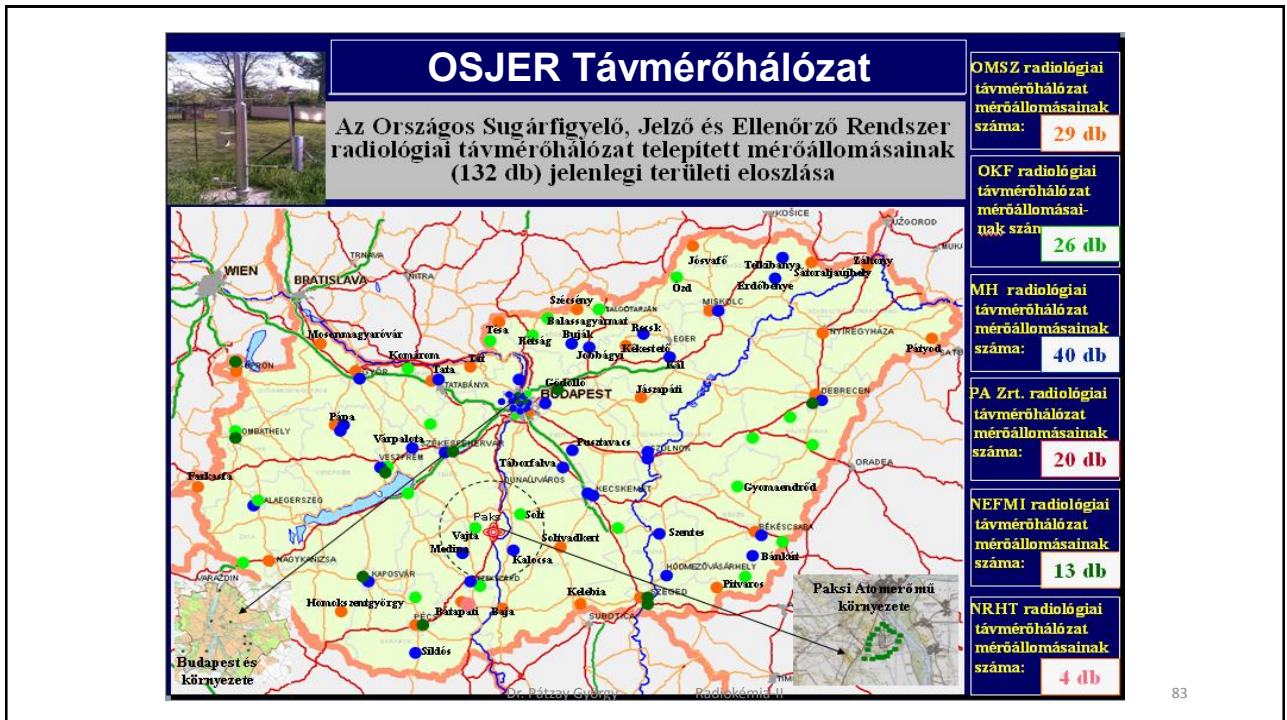
81



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

82



83

Dózismérés

Célok: Dozimetria vagy nukleáris analízis

Dozimetria: utólagos ellenőrzés = dózismérés vagy megelőzés (tervezés) = dózisteljesítmény-mérés

Követelmények dózismérőkkel szemben: energia- és sugárfajta-függetlenség. A dózismérők "energiafüggetlensége" – Bragg-Gray elv. Irányfüggetlenség, lineáris jelzés/dózis-függés, sok nagyságrend átfogása, felejtés, szövetekvivalencia vagy arányosság (korlátok, bizonytalanságok, hibák)

Eszközök:

1. dózismérők
2. dózisteljesítménymérők
3. analitikai detektorok

Dózismérők: általában "utólagos" ellenőrző mérésekre alkalmasak. Típusok:

1. **Kémiai dózismérők** (az elnyelt sugárzási energia kémiai változást okoz)
 - film "badge" AgBr bomlása, érzékenyítés, energiafüggés átalakítása előtét-lapok alkalmazásával. Egyszeri expozíciós lehetőség, a kalibráláshoz egy másik, ugyanolyan sajátosságú filmmel kell feketedés/dózis-arányt megállapítani.

Gamma- és neutrondózis mérésére alkalmas, utóbbi esetben a film előtt Cd-lemez van, ami a neutronokat magreakció során elnyeli, és a magreakciót kísérő „prompt” gammasugárzás feketíti a filmet. Országos Filmdozimetriai Szolgálat OFSz szintjei: feljegyzési, vizsgálási, intézkedési.

- Fricke-doziméter: Fe(II)-Fe(III) színreakciója, a színesség mértéke arányos a dózissal.

2. Elektronikus dózismérők (az elnyelt sugárzási energia szabad töltéshordozókat hoz létre, amelyek révén az addig szigetelő gáztér ideiglenesen vezető lesz)

elektroszkóp (a kondenzátorra vitt töltést csökkentik a gáztérben a sugárzás által keltett ionpárok),

gázionizációs detektorok (állandó potenciálkülönbség a fegyverzetek között, a sugárzás által keltett impulzusok regisztrálása)

3. Szilárdtestdetektorok (szigetelő ionkristályok – a bennük létrejött „szabad” töltéshordozók nem tudnak helyet változtatni, ezért a sugárzástól átvett energiátöbbletet nem elektromos jelként, hanem a kristályon áthatolni képes sugárzás formájában adják le) – a detektálási folyamat két, egymástól időben elkülönülő részből áll, az expozícióból és a kiolvasásból.

- RPL (radiophotoluminescence) UV fényel kiolvasható, Yokota-üveg
- TSEE (thermally stimulated exoelectron emission) (BeO: kis rendszámú ionkristály)
- TL (thermal luminescence - termolumineszcencia): Nagyobb rendszámú elemekből álló speciális ionkristályoknál fénykibocsátássá konvertálható az elnyelt energia. Jellemző anyagok: CaF_2 , CaSO_4 , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, Al_2O_3 , stb. Működési mechanizmus: ionkristályban szeparált = vezetési sávva alakulni nem képes lazító pályák – a mérés (expozíció) során a sugárzás által gerjesztett elektronok az aktivátor (Dy, Tm, Eu stb. ritka földfémek) betöltetlen elektronpályáiban „elektroncsapdába” esnek – a kiolvasás során a csapdaelektronokat termikus energiával gerjesztik, így alapállapotba jutnak és az energiakülönbségnek megfelelő fotont bocsátanak ki. A jó detektorral szembeni követelmények: Bragg-Gray-feltétel teljesülése, ne legyen elektronvesztés a csapdából (felejtés). Neutronok mérése: aktivációval létrejött „belső” radionuklidok által keltett gamma-dózist méri a detektor. „konverter” anyagok: Cd-film, $^6\text{Li}/^7\text{Li}$ stb.

4. Egyéb dózismérők: aktivációs detektorok neutronokra, biológiai dózismérés (nagyobb dózisok hatására a vérben keletkező mikronukleuszok számlálása)

Dózisteljesítménymérők

1. Gáztöltésű detektorok (ionizációs kamra, proporcionális számláló, GM-cső)

2.2. Szilárdtestdetektor: félvezető (Si, Ge, spec. oxidok) működés, energiafüggés, mint előbb.

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

87

Mi az izotóplaboratórium?

- **Mentességi aktivitás („MA“):**
Amely alatti aktivitás izotóplaboron kívül használható
– Ld. 23/1997. NM rendelet
- **Alapmennyiség („AM“):**
A különböző szintű izotóplaboratóriumok felhasználási határai ehhez vannak rögzítve.
– Amelynek lakóított effektív dózisa lenyelés esetén az évi dóziskorlátot adná (MSZ 62-7:1999)
– Vö. MSZ 62/1-1989: 0,4-del szorzandó!

Ellenőrzött munkaterület

- Ahol az évi egyéni sugárterhelés meghaladhatja az **1 mSv** effektív dózist,
- A dóziskorlátoknál az egyes szervekre megadott korlát 1/10-ét,
- vagy ahol a radioaktív szennyeződés terjedését korlátozni kell.

Dr. Pátzay György


Izotóplaborok szintjei

„Ipari” (és kutató)		„Orvosi”
	< 1 AM	<i>In vitro</i>
„C”	< 10 AM	
	< 100 AM	<i>In vivo</i> diagnosztikai
„B”	< 10 000 AM	Terápia
„A”	> 10 000 AM	

Műveleti szorzók:

- tárolás: 100
- egyszerű művelet (pl. kimérés): 10
- cseppenés, fröccsenés: 0,1
- száraz, porló: 0,01

Biztonsági előírások az ellenőrzött területeken

- az ellenőrzött terület határait egyértelműen ki kell jelölni,
- a bejáratot ellenőrizni kell, illetékelnek bejuttatás meg kell akadályozni,
- a bejáratot „Sugárveszély” felirattal, sugárveszélyt jelző tárcsával és a munkahely megnevezésével kell ellátni 
- a munkaterület (a telepített röntgen-laboratórium kivételével) műszeres sugárvédelmi ellenőrzését kell biztosítani,
- az ellenőrzött területen csak az atomenergia alkalmazásával összefüggő tevékenység végezhető és csak a tevékenységhez szükséges eszköz vagy anyag tartható,
- ahol a külső sugárterhelés az évi 6 mSv effektív dózist meghaladhatja, helyszínen tevékenységhatár dózismérőt is használni kell, melyek beszerzéséről a munkáltató gondoskodik.

Forrás: Varga József, Debreceni Egyetem Radiokémia-II

88

Felügyelt terület az a munkaterület:

- ahol az ellenőrzött területekre meghatározott különleges sugárvédelmi intézkedések és biztonsági szabályok alkalmazására szabályos körülmények között nincs szükség (A felügyelt területen is rendszeres sugárvédelmi ellenőrzést kell tartani.)
- **sugárveszély jelzés** kell: ahol a dózisegységérték-teljesítmény meghaladhatja a $20 \mu\text{Sv/h}$ -t
- **korlátozni kell a belépést:** ahol a felügyelt területen belül tartósan $20 \mu\text{Sv/h}$ -nál nagyobb dózisegységérték-teljesítmény, vagy rövid idejű besugárzásnál besugárzásonként $50 \mu\text{Sv}$ -nél nagyobb dózisegységérték fordulhat elő
- a felügyelt területen belül az állandó tartózkodásra szolgáló helyeken a dózisegységérték-teljesítmény bármely két óra vonatkozó átlaga nem haladhatja meg a $2,5 \mu\text{Sv/h}$ értéket.

Minősített területek

Ellenőrzött helyiségek:

- radiotarmakonok preparálása
- radioizotóp-készítmények kimérése
- izotóptároló
- radioaktív hulladék tároló
- beadó
- leképező

Felügyelt terület:

- környező folyosók, helyiségek
- akár a teljes intézet

Ellenőrzött v. felügyelt terület?

	Ellenőrzött	Felügyelt
Dózisintervallum:	Évi egyéni dózis > 1 mSv lehet	Bármely 2 óra átlaga < $2,5 \mu\text{Sv/h}$
Szem, bőr, végtagok dózisa:	> korlát 0,1-e	
Továbbá:	ha korlátozandó a szennyezés terjedése v. a sugárterhelés valószínűsége	rendszeres sugárvédelmi ellenőrzést kell tartani
„Sugárveszély” felirat:	mindig	ha > $20 \mu\text{Sv/h}$ lehet
Belépés korlátozása:	mindig	ha tartósan > $20 \mu\text{Sv/h}$
Megengedett tevékenység:	csak atomenergia alkalmazása	„korlátozható”
Helyszínen leolvasható doziméter:	ahol a külső sugárterhelés > 5 mSv/év lehet	

Tárgyi feltételek

- C:
 - jól felszerelt kémiai labor
 - lemosható felületek (résmentes bútor, padló, lemosható fal)
 - lekerékeltett fal-padló csatlakozás
 - vegyi tülle, benne villany, víz, (gáz)
 - izotóptároló: zárható, árnyékolat
 - hulladékátároló: műanyag zsákkal belet, lábbal nyitható, fém
 - könyökkel nyitható kézmosó
 - tökör a kézmosónál
 - papír törölköző vagy kézszárító
- B: még
 - vízgyűjtő rendszer
 - bejárati zsálp (2 öltöző, közte zuhany, szennyezettségmérő a kijáratnál)
- A: lehetőleg külön épület(rész)

Forrás: Varga József, Debreceni Egyetem Radiokémia-II

Dr. Pátzay György

89

4.számú melléklet a 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelethez

Sugárvédelmi képzés és továbbképzés

Az atomenergia alkalmazása körében szervezett munkavégzés, valamint bármely egyéb jogviszony alapján végzett munkatevékenységhez végzőket a tevékenység jellegéből fakadó kockázat mértékétől függően az alábbi fokozatú sugárvédelmi vizsgaköteles

- **képzésben és**
- **ötévenként továbbképzésben kell részesíteni.**

1. Képzés

1. Alapfokozatú sugárvédelmi képzésre kötelezettek, akik

sugárveszélyes tevékenységhez kapcsolódó munkakört töltenek be, de sugárforrással nem dolgoznak.

2. Bővített fokozatú sugárvédelmi képzésre kötelezettek, akik

a) az ionizáló sugárzást alkalmazó ipari, orvosi, radiológiai munkaterületen - beleértve a nyitott, vagy zárt sugárforrást felhasználókat is - dolgoznak, a sugárforrást önállóan kezelik, illetőleg ilyen munkakört felügyelnek,

b) ionizáló sugárforrást esetenként alkalmazó egészségügyi munkahelyen dolgoznak.

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

90

3. **Átfogó fokozatú** sugárvédelmi képzésre kötelezettek, akik
- a) az ionizáló sugárzás fokozott sugárterhelés kockázatával járó önálló, továbbá vezető munkakörben dolgoznak, illetőleg ilyet felügyelnek, vagy sugárbiztonsági szempontból ellenőriznek,
 - b) sugárveszélyes munkahelyek sugárvédelmét tervezik, vagy az ilyen terveket sugárvédelmi szempontból elbírálják,
 - c) egészségügyi munkahelyen ionizáló sugárzást alkalmazó terápiás eljárást terveznek, irányítanak, illetőleg sugárvédelmi szempontból felügyelnek,
 - d) a sugárveszélyes munkahelyek hatósági ellenőrzését végző személyeknek,
 - e) sugár-egészségügyi és sugárvédelmi szakértői tevékenységet folytatóknak,
 - f) bővített vagy ennél magasabb fokú sugárvédelmi tanfolyamokon oktatnak és vizsgáztatnak,
 - g) nukleárisbaleset-elhárítás területén intézkedési joggal felruházott vezetők, akik veszélyhelyzetben végzett tevékenységekre adhatnak utasítást.

Minimális óraszámok:

- Alapfokozatú: 8 óra
- Bővített fokozatú: 26 óra
- Átfogó fokozatú: 40 óra

IV. A sugárterhelés ellenőrzése

1. Foglalkozási sugárterhelés

1. Az atomenergia alkalmazójának kötelessége a foglalkozási sugárterhelésnek a sugárzás forrása, a munkavégzés körülményei és az előírások szerinti ellenőrzése.

2. A sugárveszélyes munkahelyek munkavállalóit sugárterhelésük ellenőrzése szempontjából két osztályba kell sorolni.

Az "A" besorolású munkavállalók azok, akiknél fennáll a lehetősége annak, hogy az évi effektív dózisa meghaladhatja a 6 mSv értéket, vagy az 1. pont 1.3. alpontjában meghatározott szervdózis korlátok bármelyikének 3/10 részét. "B" osztályba kell sorolni minden egyéb munkavállalót.

1.4. Az "A" besorolású munkavállalók külső forrásból eredő sugárterhelésének személyi dozimetriai ellenőrzése kötelező, és azt a 2. számú függelékben meghatározott előírások szerint kell végezni.

Nyitott radioaktív készítmény szervezetbe kerülésének lehetősége vagy ennek gyanúja esetén az érintett munkavállalók belső sugárterhelését ellenőrizni kell. Az ellenőrzés kötelezettségét a Sugáregészségügyi Decentrum állapítja meg. Az eredmények nyilvántartásának és jelentésének módját, illetve gyakoriságát az **MSSZ**-ben kell rögzíteni, és az ellenőrzés módját és eredményeit az Országos Személyi Dozimetriai Szolgáltatnak (OSSKI) kell megküldeni.

2. számú függelék a 2. számú melléklethez

Az egyéni sugárterhelés rendszeres ellenőrzése és központi nyilvántartása

1. A külső röntgen- és gamma-forrásokból származó foglalkozási sugárterhelés rendszeres, központi hatósági személyi dozimetriai ellenőrzését az OSSKI szervezi és végzi.

3. Az ellenőrzéshez szükséges dózismérőket (a továbbiakban: személyi dózismérő) az OSSKI szerzi be és adja ki a munkáltató részére. A detektorok kiértékelése - a lehetséges egyéni sugárterhelésektől és az alkalmazott mérési módszertől függően 1-6 havonta - az ellenőrzött munkahely bejelentésében indokolt mennyiségben történik. Az ellenőrzésre bejelentett munkavállaló munkaviszonyának, illetve sugárterhelése ellenőrzésének szünetelése vagy megszűnése esetén a munkáltató köteles a dózismérő kazettát az OSSKI-nak visszaküldeni.

4. A munkáltató a sugárvédelmi szolgálat útján gondoskodik arról, hogy a sugárterhelésük rendszeres hatósági ellenőrzésére kötelezett munkavállalók a dózismérőt megkapják, és **a teljes munkaidő, illetve tevékenység időtartama alatt viseljük.**

A tevékenységet végző a dózismérőt köteles viselni. Ha a munkavállaló a dózismérőt figyelmeztetés ellenére sem viseli, illetőleg nem rendeltetésszerűen használja, a munkavégzéstől a munkáltató eltiltja.

5. Munkaidőn kívül, illetve a napi sugárveszélyes tevékenység befejezésével a dózismérőt olyan helyen kell tárolni, ahol járulékos (nem a foglalkozás gyakorlása közben kapott) sugárzás nem érheti, a természetes háttérsugárzáson felül. A dózismérő kezelése vagy viselése során nem sérülhet meg és illetéktelenek nem férhetnek hozzá.

10. Ha a dózismérő jelzése, illetve az abból becsült dózis szabálytalan besugárzás vagy a dózismérőt viselő személy indokolatlan, a 2 mSv effektív dózist elérő, de a hatósági kivizsgálási szint 6 mSv alatti sugárterhelésének gyanúja ad okot, erről az OSSKI értesíti az engedélyest. A munkáltató a tényleges személyi sugárterhelés megállapítása és nyilvántartása, valamint - ha szükséges - a sugárvédelmi feltételek javítása érdekében a sugárvédelmi szolgálat bevonásával az eset **munkahelyi kivizsgálásáról** és az esetleges személyi felelősség megállapításáról intézkedik. Ennek eredményéről az OSSKI-t tájékoztatja.

24. Ha a munkavállaló nyilvántartott személyi dózisának **egy havi növekménye meghaladja a 6 mSv effektív dózist, vagy az adott naptári év folyamán összegzett dózisa a 20 mSv effektív dózist, az OSSKI haladéktalanul értesíti a Sugáregészségügyi Decentrumot.** Az értesített Sugáregészségügyi Decentrum helyszíni **hatósági kivizsgálást** végez, a kivizsgálás alapján intézkedik, és erről értesíti az OSSKI-t.

25. Ha a munkavállaló adott év során összegeződő sugárterhelése az engedélyezett bármelyik szerv-dózis korlát 3/10-ét túllépi, a 23. pont szerinti hatósági vizsgálatot kell lefolytatni.

5. számú melléklet a 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelethez

A munkahelyi sugárvédelem alapvető előírásai

1. Általános előírások

1. Az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos munkahelyi sugárvédelmet a sugárzás természetének és a sugárterhelés mértékének ismeretére, a **sugárvédelem optimalásának** végrehajtására kell alapozni.

2. A sugárveszélyes munkavégzés feltételeit **úgy kell megállapítani, hogy a munkát végzők és a környezetben élők (tartózkodók) sugárterhelése a 2. számú mellékletben meghatározott dóziskorlátokat ne haladja meg, és a sugárvédelem optimált legyen.**

1.3. Az engedélyesnek minden lehetséges intézkedést meg kell tennie annak érdekében, hogy a **munkavállalók szabályos sugárterhelése**, valamint az esetleges sugárterhelés kockázata - a gazdasági tényezők figyelembevételével - **az ésszerűen elérhető legkisebb legyen.**

31/2001. (X. 3.) EüM rendelet az egészségügyi szolgáltatások nyújtása során ionizáló sugárzásnak kitétt személyek egészségének védelméről

5. § (1) Átvilágítást képerősítő vagy ehhez hasonló technikai eljárás alkalmazása nélkül nem szabad használni, dózisteljesítményt ellenőrző eszközök hiányában pedig alkalmazását a feltétlenül indokolt esetekre kell korlátozni.

(2) Az engedélyesnek biztosítania kell, hogy a gyermekeket érő besugárzásnál, az egészségügyi szűrőprogramok keretében végzett besugárzásnál, illetőleg a nagy sugárterhelést okozó beavatkozások végzésénél (pl. intervenciós radiológia, számítógépes rétegvizsgálat, sugárterápia) a külön jogszabályban foglaltaknak megfelelő radiológiai berendezés, technikai segédesszközök és kiegészítő berendezések álljanak rendelkezésre.

6. § (1) Fogamzóképes korban lévő nők esetében a beutaló orvos és a kezelőorvos tájékozódni köteles terhesség esetleges fennállásáról, illetve a szoptatás tényéről.

(2) Terhesség esetén, illetve amennyiben a terhesség nem kizárható, a radiológiai eljárás típusától függően, főként, ha a hasi vagy medencei tájék érintett, az anya és a magzat sugárvédelme érdekében különös figyelmet kell fordítani az alkalmazás indokoltságára és a sugárterhelés mértékére.

(3) Szoptató nőknél izotópdiaosztikai vizsgálatok, illetve kezelések csak olyan indokolt esetben végezhetők, ahol az eljárás alkalmazásával járó haszon meghaladja a radioizotóp-alkalmazással járó kockázatot. A radioizotóp-alkalmazást követően a szoptatást a radioizotóp fajtájától és mennyiségétől függően meghatározott időszakra be kell szüntetni.

I.csoport: **3 hétre** – ^{131}I és ^{125}I jelölt radiofarmakonok, kivéve a hippurán származékok; ^{23}Na , ^{67}Ga , ^{201}Tl -klorid

II.csoport: **12 órára** – ^{131}I , ^{125}I és ^{123}I -hippurán, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -jelzett radiofarmakonok, kivéve a III. csoportban felsoroltak

III.csoport: **4 órára** – $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -jelzett vörösvértestek, foszfonát vegyületek és DTPA

IV.csoport: **nem kell megszakítani** – ^{51}Cr -EDTA

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

95

1.6. A sugárveszélyes munka végzéséhez egyidejűleg legalább két munkavállaló jelenléte szükséges, akik közül legalább az egyik megfelelő szakmai és sugárvédelmi képesséssel rendelkezik. Ez a személy felelős a sugárvédelmi előírások betartásáért. Röntgenfelvételezést és -átvilágítást egy - megfelelő szakmai és sugárvédelmi képzettségű - munkavállaló is végezhet.

1.9. Radioaktív anyagot (készítményt) használaton kívül elzárva, engedélyezett tárolóhelyen kell tartani. A **tárolóhely külső hozzáférhető felületén a környezeti dózisegyenérték teljesítmény a 20 $\mu\text{Sv/h}$ értéket nem haladhatja meg.**

2.A munkahelyek besorolása

1. A munkahelyen az engedélyes ellenőrzött, illetve felügyelt területet jelöl ki.

2. **Ellenőrzött terület** az a munkaterület,

a) ahol a tevékenységből adódóan az évi egyéni sugárterhelés meghaladhatja az 1 mSv effektív dózist, illetve a szemlencse, a bőr és a végtagok esetében a 2. számú melléklet 1.3. bekezdésében meghatározott egyenérték dóziskorlátok 1/10-ét, vagy

b) ahol a radioaktív szennyeződés terjedését vagy az esetleges sugárterhelés valószínűségét korlátozni kell.

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

96

3. Ellenőrzött területen a szabályos sugárterhelés korlátozásának, és az esetleges sugárterhelés valószínűségének csökkentése érdekében, illetve radioaktív szennyeződés terjedésének megakadályozása céljából a következő különleges sugárvédelmi intézkedéseket és biztonsági előírásokat be kell tartani:

1. az ellenőrzött terület határait egyértelműen kell kijelölni;
2. az ellenőrzött területre való bejutást ellenőrizni kell, illetve az illetéktelen bejutást meg kell akadályozni;
3. a bejáratot a sugárveszélyre utaló jelzéssel és felirattal, valamint a munkaterület, illetve munkahely megnevezésével kell ellátni;
4. a munkaterület - a telepített röntgenlaboratórium kivételével - műszeres sugárvédelmi ellenőrzését - a sugárzás típusának, a sugárveszély mértékének megfelelő módon - biztosítani kell;
5. ellenőrzött területen csak az atomenergia alkalmazásával összefüggő tevékenység végezhető, és csak a tevékenységekhez szükséges eszköz vagy anyag tartható, kivéve az ipari radiográfiát, ahol indokolt esetben időben elkülönítve más jellegű anyagvizsgálatok is végezhetők;
6. azokon a munkahelyeken, ahol fennáll annak a lehetősége, hogy a külső sugárterhelés az évi 6 mSv effektív dózist meghaladja, a 2. számú melléklet 2. számú függelékének 3. pontjában megjelölt személyi dózismérő mellett, a helyszínen leolvasható személyi dózismérőt vagy hang-, illetve fényjelzést adó egyéni dóziszintjelzőt is használni kell. Ezek beszerzéséről a munkáltató gondoskodik.

2.4. **Felügyelt terület** az a munkaterület, ahol a 2.3. pontban meghatározott különleges sugárvédelmi intézkedések és biztonsági szabályok alkalmazására szabályos körülmények között nincs szükség. A felügyelt területen is rendszeres sugárvédelmi ellenőrzést kell tartani.

5.A felügyelt terület minimális követelményrendszerét az MSSZ tartalmazza, a következők figyelembevételével:

1. a sugárvédelmi szolgálat döntésétől függően a felügyelt terület bejáratát a sugárveszélyre utaló jelzéssel és felirattal, a munkaterület, valamint a munkahely megnevezésével el kell látni;
2. a sugárvédelmi szolgálat döntésétől függően, a munkahelyen előforduló sugárzás(ok) mérésére alkalmas, hitelesített sugárvédelmi műszer(ek)et kell beszerezni;
3. a sugárvédelmi szolgálat döntésétől függően, a munkahelyen végezhető tevékenységek, a tárolható eszközök, anyagok köre korlátozható;
4. ahol a felügyelt területen belül tartósan 20 $\mu\text{Sv/h}$ -nál nagyobb dózisegyenérték- teljesítmény, vagy rövid idejű besugárzásnál besugárzásonként 50 μSv -nál nagyobb dózisegyenérték fordulhat elő, de az ellenőrzött területté nyilvánítás nem indokolt, a területet határolással és a sugárveszélyre utaló jelzések elhelyezésével úgy kell megjelölni, hogy a területre véletlenül ne lehessen belépni;
5. a felügyelt területen belül az állandó tartózkodásra szolgáló helyeken a dózisegyenérték-teljesítmény bármely két órára vonatkozó átlaga nem haladhatja meg a 2,5 $\mu\text{Sv/h}$ értéket.

Feljegyzési szint (kellően jelentős ahhoz, hogy az egyéni sugárterhelés nyilvántartásában szerepeljen): 0,1 mSv

Kivizsgálási szint (a sugárterhelés okát, vagy előállításának körülményeit meg kell vizsgálni)

-*hatósági kivizsgálási szint*: 6 mSv növekmény/hó

20 mSv /év

-*munkahelyi kivizsgálási szint*: 2 mSv-t meghaladó dózismérő jelzés

Beavatkozási szint (intézkedni kell a sugárterhelés csökkentése érdekében) értékét külön-külön határozzák meg az egyes helyzetekre.

Védelmi intézkedés	Beavatkozási dózisszint		Az áttelepítés jellege	Beavatkozási szint az áttelepítés	
	Effektív dózis, E	Lekötött elnyelt dózis a pajzsmirigyben, D()		kezdemenyezésére (effektív dózis)	megszüntetésére (effektív dózis)
Elzárkóztatás	10 mSv, 2 napnál nem hosszabb időszak alatt	-	Ideiglenes	30 mSv/hónap	10 mSv/hónap
Kimenекítés	50 mSv, 1 hétnél nem hosszabb időszak alatt	-	Végleges	> 1 Sv/élettartam	-
Jódprofilaxis	-	100 mGy			

A felületi szennyezettség beavatkozási szintjei

Felületek	Beavatkozási szintek (Bq /cm ²)		
	α -sugárzók	β -sugárzók	^3H , ^{14}C , $^{99\text{m}}\text{Tc}$
Helyiségek és tárgyak az ellenőrzött területen	5	50	500
Helyiségek és tárgyak felületén az ellenőrzött területen kívül, személyes öltözéken	0,5	5	50
Védőruha külső felületén	5	50	500
Védőruha belső felületén	0,5	5	50
Bőrön	0,5	5	50

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

99

RADIOAKTÍV HULLADÉKOK

Aktivitás-koncentráció szerint osztályozva:

- kis aktivitású hulladékok (low level waste - LLW): $< 5 \cdot 10^5$ kBq/kg
- közepes aktivitású hulladékok (intermediate level waste - ILW): $5 \cdot 10^5$ - $5 \cdot 10^8$ kBq/kg
- nagy aktivitású hulladékok (high level waste - HLW): $> 5 \cdot 10^8$ kBq/kg

Halmazállapot szerint osztályozva:

- szilárd hulladékok
- cseppfolyós hulladékok (tűzveszélyes, nem tűzveszélyes)
- légnemű hulladékok

Felezési idő szerint osztályozva:

- rövid élettartamú hulladékok: max. 30 nap a felezési idő
- közepes élettartamú hulladékok: max. 30 év a felezési idő
- hosszú élettartamú hulladékok: 30 év feletti a felezési idő

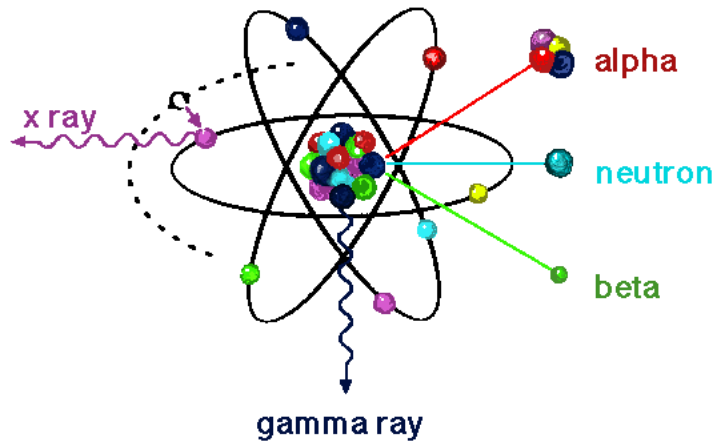
Felületi dózisteljesítmény szerint osztályozva:

- kis felületi dózisteljesítményű hulladékok: $< 3 \cdot 10^{-2}$ Gy/óra
- közepes dózisteljesítményű hulladékok: $3 \cdot 10^{-2}$ - 10^{-2} Gy/óra
- nagy dózisteljesítményű hulladékok: $> 10^{-2}$ Gy/óra

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

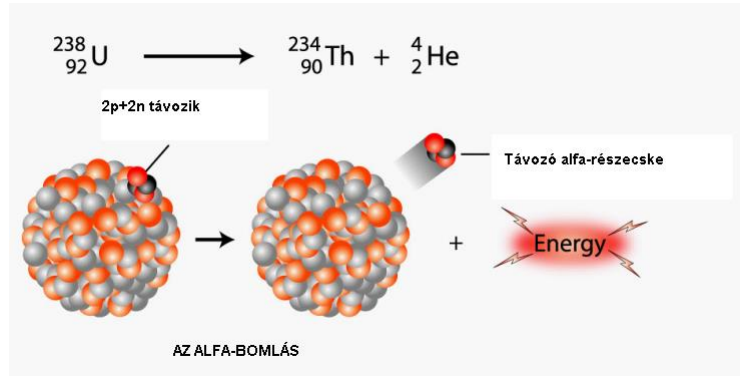
100



103

A sugárzások típusai

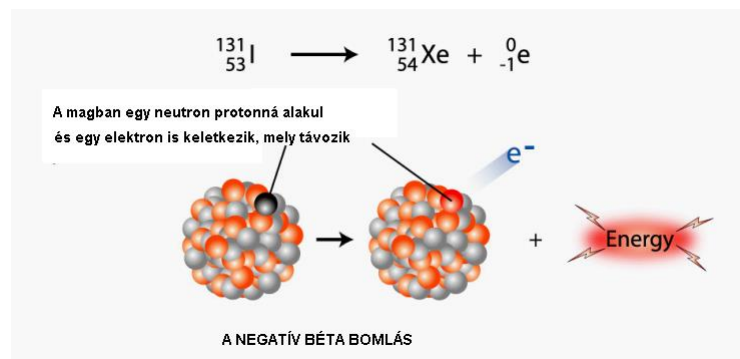
	Tömeg (amu)	Töltés	Úthossz levegőben
Alfa	4.0000	+2	néhány centiméter
Béta pozitív	0.0005	+1	Néhány méter
Béta negatív	0.0005	-1	Néhány méter
Gamma	0.0000	0	Sok-sok méter
Röntgen (X)	0.0000	0	Sok-sok méter
Neutron	1.0000	0	Sok-sok méter



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

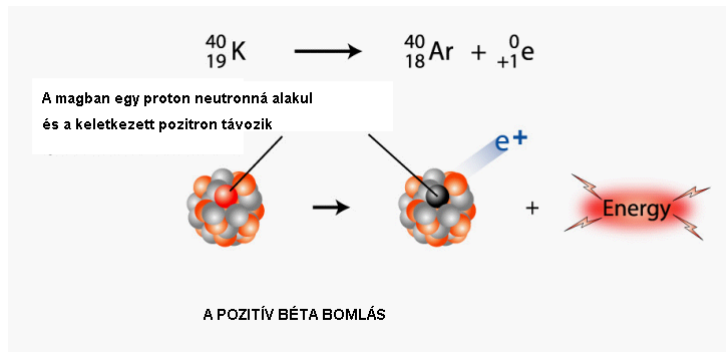
105



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

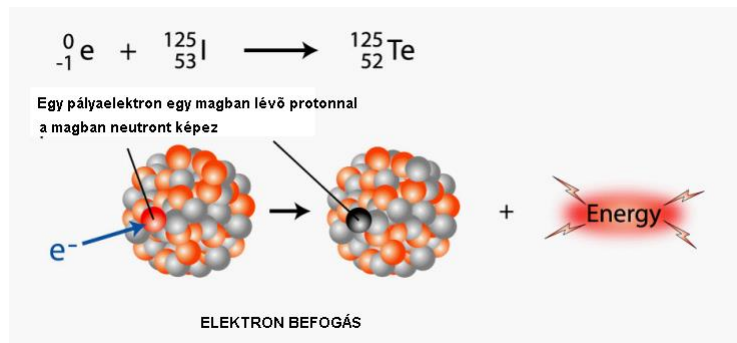
106



Dr. Páztay György

Radiokémia-II

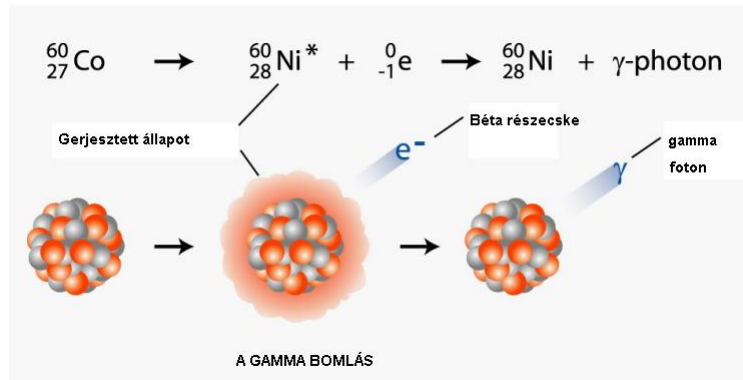
107



Dr. Páztay György

Radiokémia-II

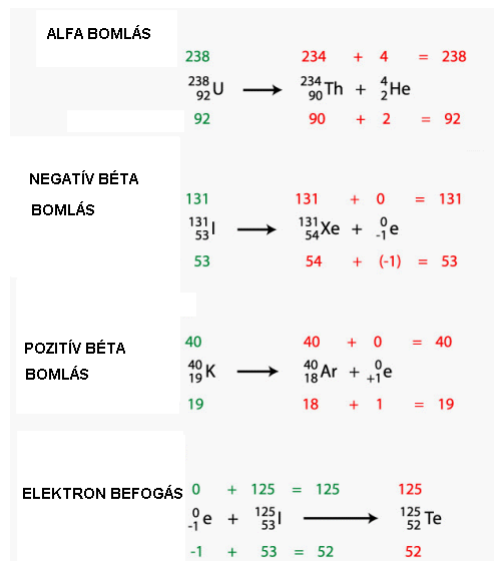
108



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

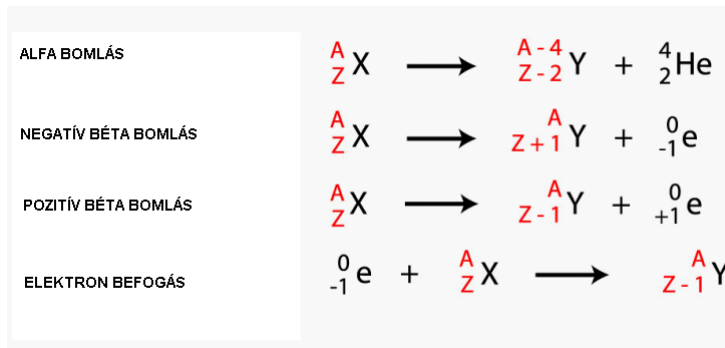
109



Dr. Pátzay György

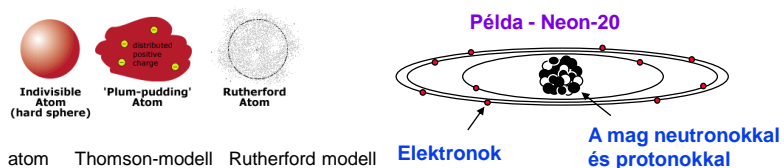
Radiokémia-II

110



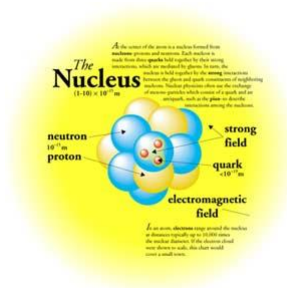
AZ ATOM

- Görögül – tovább nem osztható.
- Thomson „plum-pudding” modell. Elkent pozitív töltésekben (puding) negatív elektronok (szilvaszemek) vannak elkeverve. Semleges.
- 1911 Ernest Rutherford α -részecskék szóródása arany fólián. Kis pozitív mag, az atom főtömege, negatív elektronok helyezkednek el körülötte. Közpályán mozgó töltések energiát vesztenek. Miért nem zuhannak be a negatív elektronok a magba?
- Niels Bohr 1913 vannak olyan diszkrét elektronpályák, melyeken a keringő elektron nem veszít energiát. A kvantummechanika (kvantum –adag) kezdete.



AZ ATOMMAG

Az atommag **nukleonokból, protonokból és neutronokból** áll. A protonok és neutronok **kvarkokból** épülnek föl és a kvarkok közötti **glüon**-csere következtében létrejövő „**erős kölcsönhatások**” tartják őket össze a magban. A több nukleonból álló magokban az effektív erős kölcsönhatásokat a **mezonok** (kvark-antikvark párokból fölépülő részecskék) cseréjével írhatjuk le. Egy proton, illetve neutron 3-3 kvarkból áll



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

113

A NÉGY ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁS

- A négy alapvető kölcsönhatás a gravitációs, az elektromágneses, az erős és a gyenge kölcsönhatások.
- A gravitációs és az elektromágneses kölcsönhatások jól ismertek.
- A **gravitációs kölcsönhatás**. Cavendish 1-1g tömegű, 1cm távolságban lévő test közötti erőhatást mérte.

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

A gravitációs kölcsönhatás nagy hatótávolságú, de a leggyengébb kölcsönhatás! (γ rendkívül kicsi). Ne tévesszen meg a földi gravitációs erő, mert a föld tömege óriási az emberi tárgyakhoz képest. Még a gyenge kölcsönhatás is 10^{26} -szor erősebb, mint a gravitációs kölcsönhatás.

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

114

A NÉGY ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁS

- Az elektromágneses kölcsönhatás.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Ez is nagy hatótávolságú kölcsönhatás. Mintegy 10^{36} -szor erősebb ez a kölcsönhatás, mint a gravitációs. Két, egymástól $2 \cdot 10^{-13}$ cm távolságban lévő proton között a gravitációs erőhatás $5 \cdot 10^{-30}$ dyn, az elektromágneses taszítóerő pedig $6 \cdot 10^6$ dyn.

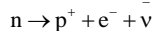
- Az erős kölcsönhatás

Az atommagokban kötést létesítő erőhatás a nukleonok között. Ezek vonzóerők, nem elektromos erők (a semleges neutronra is hatnak) és nem is gravitációs erők. Rendkívül kis tartományban ($1-2 \cdot 10^{-13}$ cm) fejtik ki a hatásukat, rövid hatótávolságú erő. Két protont közelítve eleinte csak az elektromágneses taszítóerők hatnak és csak 10^{-12} cm távolság után hatnak az erős kölcsönhatás vonzó erői. A magerők 100-1000-szer erősebbek, mint az elektromágneses erők, ezért az erős kölcsönhatás 100-1000-szer rövidebb idő alatt megy végbe (jellemző magidő 10^{-23} s).

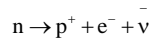
A NÉGY ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁS

Egy nukleon csak néhány szomszédos nukleonnal lép kölcsönhatásba. A magerők töltés-függetlenek, azaz azonos a p-p, n-p és n-n kölcsönhatás. A kölcsönhatás során kicserélődhet a két részecske töltése, neutronból proton, protonból neutron képződhet.

- A gyenge kölcsönhatás



• Az erős és elektromágneses kölcsönhatáshoz képest rendkívül gyenge, a gravitációs kölcsönhatáshoz képest erős kölcsönhatási forma, hatótávolsága rendkívül kicsi. A gyenge kölcsönhatás eredményeként nem jönnek létre kötött állapotok, ezért bomlási kölcsönhatásnak is nevezik. Példa: a neutronok béta-bomlása:

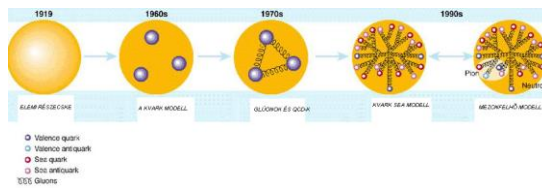


A neutron élettartama kb. 15 perc. A többi metastabil részecske (műonok, mezonok) élettartama lényegesen kisebb. A gyenge kölcsönhatás jellemző ideje 10^{-10} sec.

Két proton kölcsönhatása esetén mind a négy kölcsönhatás fellép. Ha az erős kölcsönhatás erősségét 1-nek vesszük, akkor az elektromágneses kölcsönhatás erőssége $10^{-2}-10^{-3}$, a gyenge kölcsönhatásé $10^{-13}-10^{-14}$, a gravitációs kölcsönhatásé pedig 10^{-39} .

A NÉGY ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁS

- Két proton között mind a négy kölcsönhatás fellép.
- Gyenge kölcsönhatás a béta-bomlásnál és a neutrino kölcsönhatásnál léphet föl.
- Az erős kölcsönhatás a magerőknél jelentkezik, a kvarkokat tartja össze, hogy barionokat(3 kvark) és mezonokat(1 kvark és 1 antikvark) képezzenek. Neutron (uud), proton (udd) kvarkokból áll.
- A nukleonokat összetartó magerők az egyes nukleonokban lévő kvarkok kölcsönhatásának az eredménye. (Hasonló a molekuláknál az elektronok kölcsönhatása révén kialakuló kovalens kötéshez.)
- Két objektum közötti erőhatás egy részecske cseréjével írható le. Energiát és momentumot visz át a két objektum között.



Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

117

A NÉGY ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁS

Kölcsönhatás	Gravitációs	Gyenge	Elektromágnesess	Erős
Cserélődő részecske	Graviton	Z0	Foton	Pion
Tömeg mc^2 (eV)	0	$91 \cdot 10^9$	0	$135 \cdot 10^6$
Csatolási állandó C^2 (J.m)	$1,87 \cdot 10^{-64}$	$3,22 \cdot 10^{-31}$	$2,31 \cdot 10^{-28}$	$2,5 \cdot 10^{-27}$
Hatótávolság (m)	Végtelen	$2 \cdot 10^{-18}$	Végtelen	$1,5 \cdot 10^{-15}$

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

118

NOBEL DÍJAS KUTATÓK A RADIOAKTIVITÁS KUTATÁSÁBAN

• Henry Becquerel Pierre Curie Marie Curie	A spontán radioaktivitás fölfedezése	1903
• Ernest Rutherford	Elemek bomlása, radioaktív elemek kémiaja	1908
• Marie Curie	A rádium és polónium felfedezése	1911
• Frederick Soddy	A radioaktív elemek kémiaja, radioaktív izotópok eredete és természete	1921
• Francis Aston	Izotópok felfedezése számos nem radioaktív elemben	1922
• Charles Wilson	Ködkamra kifejlesztése töltött részecskék detektálására	1927
• Harold Urey	A deutérium felfedezése	1934
• Frederic Joliot Irene Joliot-Curie	Számos új radioaktív elem szintézise	1935
• James Chadwick	A neutron felfedezése	1935
• Carl David Anderson	A pozitron felfedezése	1936

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

119

NOBEL DÍJAS KUTATÓK A RADIOAKTIVITÁS KUTATÁSÁBAN

• Enrico Fermi	Új radioaktív elemek előállítás neutron besugárással	1938
• Ernest Lawrence	A ciklotron megalkotása	1939
• George de Hevesy	Izotópok nyomjelzőként való alkalmazása kémiai folyamatok vizsgálatánál	1943
• Otto Hahn	Nehéz atommagok hasadásának felfedezése	1944
• Patrick Blackett	Ködkamra kifejlesztése, magfizikai és kozmikus sugárással kapcsolatos felfedezések	1948
• Hideki Yukawa	A mezonok létének előre jelzése	1949
• Cecil Powell	Nukleáris folyamatok tanulmányozására fotografikus módszer kidolgozása	1950
• Edwin McMillan Glenn Seaborg	Felfedezések a transzurán elemek kémiajában	1951
• John Cockroft Ernest Walton	A magok transzmutációja gyorsított részecskékkel	1951

Dr. Pátzay György

Radiokémia-II

120