

## I. DOZIMETRIAI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEK

### 1) Iondózis/Besugárzási dózis (ro: *Doza de ioni*): $\Delta$

A levegő egy adott  $V$  térfogatában létrejött ionok  $Q$  össztöltésének és az adott térfogatban található anyag  $m$  tömegének hányadosa:  $\Delta = Q/m$ .

Mértékegysége a röntgen (1  $R$ ), vagy az újabban használt S.I.-beli mértékegysége a  $C/kg$  (1 r =  $2.58 \times 10^{-4}$  C/kg).

Egy röntgen az az  $X$ , vagy  $\gamma$  sugárdózis, amely 1.293 mg levegőben  $1/3$  nC töltést hoz létre, mindkét előjellel (+/-). Ezek szerint egy  $cm^3$  levegőben 1  $R$  hatására a létrejött ionok (ion-elektron párok) száma:

$$(1/3 \times 10^{-9}) / (1.6 \times 10^{-19}) \approx 2.08 \times 10^9.$$

Egy  $cm^3$  levegőben 1  $R$  által leadott energia kiszámítható tudva azt, hogy egy elektron-ion pár létrejöttéhez levegőben 32.5 eV energia szükséges. Figyelembe véve, hogy a levegő sűrűsége  $1.293$  g/ $cm^3$ , 1 grammnyi levegőnek 1 röntgen dózis által leadott energia 83.7 erg (ahol 1 erg  $\approx 10^{-7}$  J).

2) A sugárzási dózist egységnyi időre számítva kapjuk az **dózisteljesítményt** (ro: *Doza debit*):  $d = \Delta/t$ , melynek mértékegysége az 1  $r/s$ .

### 3) Az energetikai dózis/ elnyelt rádióaktív sugárdózis/ abszorbeált dózis (ro: *Doza energetica, D<sub>e</sub>*)

-függ a szövet (vagy egyéb anyag) által elnyelt  $W$  energia mennyiségétől. Megadja az elnyelő anyag (szövet) egységnyi tömege által abszorbeált (elnyelt) energiát:  $D_e = W/m$ .

Régi mértékegysége a "rad" (en: röntgen absorbed dose). Egy **rad** az a sugárzás mennyiség, mely 1 kg tömegű anyagnak 0.01 J ( $10^5$  erg) energiát ad le. (1 rad = 0.01 J/kg). Újabb S.I.-beli mértékegysége a **gray** (1 Gy = 100 rad = 1 J/kg).

4) A **Biológiai dózis/ dózisegyenérték** (ro: *Doza biologica, H*) egy fizikai-fiziológiai mennyiség, mely a következő összefüggéssel számolható:  $H = w_R D_e$ , ahol  $w_R$  egy relatív biológiai hatékonyság faktor ( $w_R$  értéke fotonok, elektronok, müonok esetében 1; proton esetére 5; neutronokra 5-20;  $\alpha$  sugárzás esetére 20).

A biológiai dózis régi mértékegysége a **rem** (en: röntgen equivalent men), vagy jelenlegi S.I.-beli mértékegysége a **sievert** (1 Sv = 100 rem, amely gamma foton esetére ( $w_{R\gamma}=1$ ) 1 Sv = 1 J/kg).

5) **Biológiai dózisteljesítmény/ Dózisegyenérték-teljesítmény** (ro: *Doza biologica debit, b*) meghatározható a  $b=H/t$  összefüggéssel, és rem/s mérjük. (Újabbban  $\mu Sv/h$  vagy  $\mu Sv/év$ )

6) A **maximális megengedett sugárzási dózis** (ro: *Doza maxima admisa*) a sorozatos és/vagy folytonos sugárzás által eredményezett biológiai dózisek összessége (legyen az úgy külső, mint belső tényezők által keltett besugárzás), mely a természetes sugárzáshoz hozzáadva, még nem eredményez káros hatást egy felnőtt egyén szervezetében.

! Sugárzásnak kitett szakmai személyek összdózisa élete folyamán nem érheti el a 200 rem értéket. A szakmában történő 40 évig tartó aktivitása során, évente átlagban maximálisan 5 rem dózis a megengedett, ami 100 mrem besugárzást jelent hetente. Ajánlott, hogy a 200 rem összdózisból 30 éves koráig ne kapjon többet 60 rem értéknél.

Egy nem szakmában dolgozó átlag ember éves dózisének maximálisan az 1.5 rem érték a megengedett.

Néhány a hétköznapi életben (és nemcsak) elszenvedett rádióaktív sugárzási dózisok értékei a WIKIPÉDIA internetes szabad enciklopédia szerint:

## Dózis példák [szerkesztés]

### Egyszeri dózisok [szerkesztés]

- Egy banán elfogyasztása: 0,1  $\mu\text{Sv}$
- 8 óra alvás egy ember mellett: 0,5  $\mu\text{Sv}$ <sup>[3]</sup>
- Fogászati röntgenfelvétel: 5  $\mu\text{Sv}$ <sup>[4]</sup>
- Mammográfiai** felvétel: 3 mSv<sup>[4]</sup>
- Komputertomográfiai** felvétel az agyról: 0,8-5 mSv<sup>[5]</sup>
- Komputertomográfiai felvétel a mellkasról: 6–18 mSv<sup>[5]</sup>

### Óránkénti sugárzási példák [szerkesztés]

- Közellítő sugárzási szintek a csernobili 4-es reaktor mellett, nem sokkal a **csernobili atomkatasztrófa** során bekövetkezett robbanás után: 10–300Sv/h
- Tipikus háttérsugárzás **Magyarországon**: Budapest - 0,059-0,135  $\mu\text{Sv/h}$ , Pécs - 0,15 $\mu\text{Sv/h}$ , Paks - 0,065-0,085  $\mu\text{Sv/h}$  <sup>[6]</sup>

### Éves sugárzási példák [szerkesztés]

- Atomerőmű közelében levő település: 0,1–10  $\mu\text{Sv/év}$ <sup>[7][3]</sup>
- Szénerőmű közelében levő település: 0,3  $\mu\text{Sv/év}$ <sup>[3]</sup>
- Kozmikus sugárzás a tengerszinten: 240  $\mu\text{Sv/év}$ <sup>[7]</sup>
- Földi sugárzás** (a talajból): 280  $\mu\text{Sv/év}$ <sup>[7]</sup>
- Természetes sugárzás az emberi testben: 400  $\mu\text{Sv/év}$ <sup>[7]</sup>
- Az Egyesült Államok Capitoliuma gránit anyagának sugárzása: 850  $\mu\text{Sv/év}$ <sup>[8]</sup>
- A **természetes háttérsugárzás** átlagos hatása egy emberre: 2 mSv/év; 1,5 mSv/év Ausztráliában, 3,0 mSv/év Amerikában<sup>[3][9][10]</sup>
- New York-Tokió légiutak a repülőgép személyzete számára: 9 mSv/év<sup>[10]</sup>
- Légköri hatások (többnyire radon): 2 mSv/év<sup>[7][11]</sup>
- A teljes átlagos dózis Amerikában: 6,2 mSv/év<sup>[12]</sup>
- Dohányzás** 1,5 csomag/nap: 13-60 mSv/év<sup>[8][11]</sup>
- Háttérsugárzás Irán, India és Európa egyes részein: 50 mSv/év<sup>[10]</sup>
- A legkisebb bizonyítottan **rákkeltő** szint: 100 mSv/év<sup>[10]</sup>

### Példák a dózishatárookra [szerkesztés]

- Nemzetközi ajánlás szerint önkéntesek számára megengedett határ komolyabb nukleáris veszélyhelyzet elhárítása esetén: 500 mSv, életveszély vagy súlyos sérülés elhárítása esetén: 1000 mSv<sup>[13]</sup>
- Kitelepítési kritérium a **csernobili atomkatasztrófa** után: 350 mSv/teljes élet<sup>[10]</sup>
- Megemelt dóziskorlát a **fukusimai atomerőmű-baleset** elhárításán dolgozóakra: 250 mSv/év<sup>[14]</sup>
- Jelenlegi átlagos korlát atomlétesítményekben dolgozók számára: 20 mSv/év<sup>[10]</sup> Ez a háttérsugárzás miatt és az orvosi vizsgálatok következtében kapott dózison felül értendő, azzal a követelménnyel együtt, hogy a dózist a reálisan elérhető legalacsonyabb szinten kell tartani, a szociális és gazdasági tényezők figyelembe vételével.<sup>[15]</sup>
- A lakossági dóziskorlát uránbányászat és atomerőművek esetén általában 1 mSv/év a természetes háttérsugárzáson felül.<sup>[15]</sup>

## II. ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁS DÓZISÁNAK SZÁMÍTÁSA

Az elnyelt dózis meghatározásából indulunk ki, mely az egységnyi tömeg által elnyelt energiát adja meg:

$$D_e = \frac{dW}{dm} = \frac{dW}{\rho dV}, \quad (2.1)$$

ahol  $dW$  az  $I$  intenzitású sugárzásból elnyelt energia, az elnyelő közeg  $dm$  tömege által, mely  $dV$  térfogatban található,  $\rho$  pedig a besugárzott anyag sűrűsége.

Ismerve az elektromágneses sugárzás intenzitásának elnyelődésének törvényét:

$$I = I_0 e^{-\mu_0 x}, \quad (2.2)$$

kiszámítható egy  $dx$  vastagságú közegben az intenzitáscsökkenést:

$$dI = -\mu_0 dx I_0 e^{-\mu_0 x} = -\mu_0 dx I. \quad (2.3)$$

A (2.2) és (2.3) kifejezésekben szereplő  $I$  intenzitás alatt a sugárnyalábnak az egységnyi időben, a sugárzás irányára merőleges egységnyi felületen szállított energiát értjük. Tehát a sugárzás  $dI$  intenzitás csökkenésével  $dW$  energialeadás jár, ahol a  $dW$  energiát az elnyelő test  $S$  nagyságú felülete egységnyi idő alatt nyel el:

$$dW = dI S t = \mu_0 I dx S t. \quad (2.4)$$

A (2.4) egyenletet leosztva a  $\Delta m$  tömeggel és felhasználva (2.3) egyenletet számolhatjuk az egységnyi tömeg által elnyelt energiát, vagyis az elnyelt dózist:

$$D_e = \frac{\mu_0 I dx S t}{\rho dV} = \frac{\mu_0}{\rho} I t. \quad (2.5)$$

A  $\Lambda$  aktivitású pontszerű forrás intenzitása, mely egyszerre több energia adagot ( $E_{\gamma i}$ ) bocsájt ki, a következőképpen írható fel:

$$I = \frac{\Lambda \sum_i E_{\gamma i} S_{\gamma i}}{4\pi r^2}, \quad (2.6)$$

ahol  $r$  a forrástól mért távolság,  $S_{\gamma i}$  az  $E_{\gamma i}$  energiával rendelkező kibocsátott gamma fotonok száma.

Figyelembe véve, hogy a dózisegységérték  $H = w_R D$ , ahol  $w_R$  a relatív biológiai hatékonysági állandó ( $w_{R\gamma} = 1$  rem/rad):

$$H_{\gamma} = w_{R\gamma} \frac{\mu_0 \Lambda \sum_i E_{\gamma i} S_{\gamma i}}{\rho} t. \quad (2.7)$$

Ezen (2.7) összefüggésben az elnyelődési együttható függ a gamma sugárzás energiájától. Víz esetére, 0.2-2 MeV gamma energia értékekre ezen együttható értéke jó közelítéssel állandó a 0.03 cm/g értékkel. 40 keV energiájú X sugárzás esetén ez az érték az előbbinek duplája.

Az  $\alpha$  valamint  $\beta$  sugárzási dózist a következőképpen számolhatjuk:

$$H_{\alpha,\beta} = w_{R\alpha,\beta} \frac{dW}{dx} = w_{R\alpha,\beta} \frac{I}{R_m} t, \quad (2.8)$$

ahol  $I$  az sugárnyaláb intenzitása, valamint  $R_m = \rho R$  a "tömeges" megtett út (ro: parcursul masic).

A (2.7) és a (2.8) egyenleteket leosztva  $t$ -vel megkapjuk a különböző sugárzások dózis hozamát. A  $\gamma$  sugárzásra ez a hozam:

$$b_{\gamma} = w_{R\gamma} \frac{\mu_0 \Lambda \sum_i E_{\gamma i} S_{\gamma i}}{\rho}. \quad (2.9)$$

Ahhoz, hogy a dózisokat rem-ben kapjuk meg, a (2.7) és a (2.8) összefüggéseket meg kell szoroznunk 100-al. Ezen esetben a biológiai dózis hozam értéke rem/s egységekben az alábbi módon számolható:

$$b_{\gamma} = 10^2 w_{R\gamma} \frac{\mu_0 \Lambda \sum_i E_{\gamma i} S_{\gamma i}}{\rho} \text{ (rem/s)}, \quad (2.10)$$

míg az összes többi mennyiség S.I.-ben van kifejezve.

Amennyiben a pontforrás valamint a dózisteljesítmény mérési helye között egy csillapító közeg található, figyelembe kell vennünk a sugárzás csillapítását is, vagyis a (2.10) a következőképpen módosul:

$$b_\gamma = 10^2 w_{R\gamma} \frac{\mu_0 \Lambda \sum_i E_{\gamma i} S_{\gamma i}}{\rho 4\pi r^2} e^{-\mu x} B_D, \quad (2.11)$$

ahol  $x$  a csillapítási közeg vastagsága,  $\mu$  a lineáris csillapítási együttható, valamint  $B_D = B_D(\mu x)$  egy korrekciós tényező, amelyet még dózis növekedési tényezőnek (ro: *factor de crestere a dozei*) is nevezünk, és a csillapító közeg hiányában az elnyelőtesthez érkezett sugárzás intenzitásának, valamint a közeg jelenlétében mért intenzitás hányadosaként számolunk (miután a korrekciós csillapítást figyelembe vettük).

Különböző elnyelő anyagok és gamma energiák esetére ezen állandók táblázatból olvashatók ki. A következő táblázatból ezt az állandót olvashatjuk le ólom elnyelő közeg esetére ( $\mu = 0.6 \text{ cm}^{-1}$ ), valamint 1 MeV gamma energia értékre.

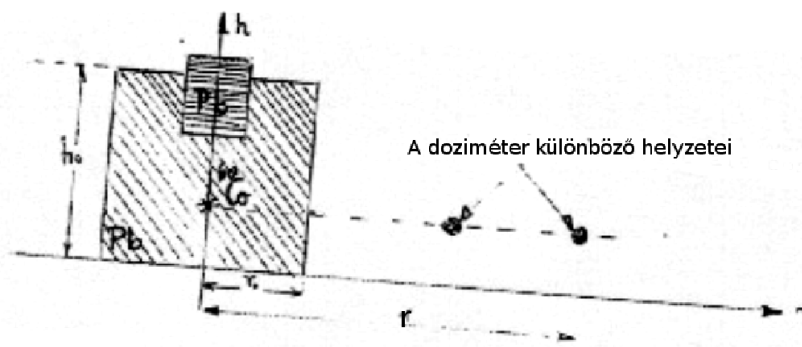
Foton energiája MeV	Csillapítási hossz ( $\mu\text{X}$ )				
	2	4	7	10	15
0.5	1.42	1.69	2.00	2.27	2.65
1	1.69	2.26	3.02	3.74	4.81
2	1.76	2.51	3.66	4.84	6.86
3	1.68	2.43	3.75	5.30	8.44
4	1.56	2.25	3.61	5.44	9.78
5	1.46	2.08	3.44	5.55	11.74
8	1.30	1.74	2.89	5.07	14.05
10	1.23	1.58	2.52	4.34	12.54

### III. A MÉRÉSEK MENETE

#### A laboratórium gyakorlat célkitűzései:

1. A gamma forrás helyzetének meghatározása egy ólom tömbben.
2. A dózisegyenértéknek a távolságtól való függésének vizsgálata.
3. A forrás aktivitásának meghatározása ( $\Lambda$ ).

Megmérjük a dózisegyenérték-teljesítményt (mrem/h), melyet  $^{60}\text{Co}$ -ot tartalmazó pontszerű forrás eredményez. A forrás egy 10 cm vastagságú ólom tömb (henger)  $C_\infty$  szimmetria tengelyén helyezkedik el, valamilyen egyelőre ismeretlen  $h$  magasságban (Lásd az alábbi ábrát).



1. ábra. A mérési eljárás sematikusán ábrázolva.

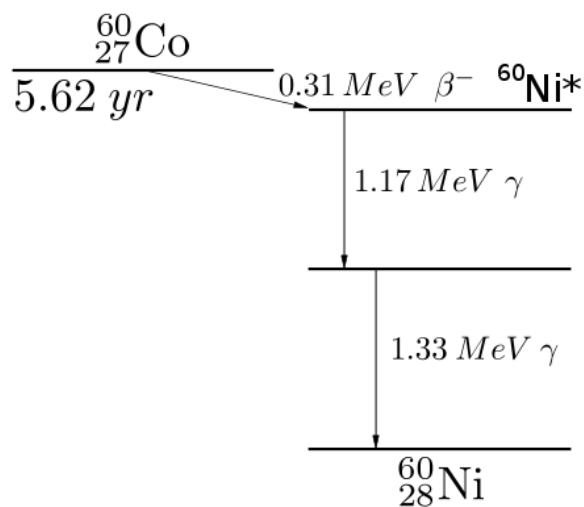
A méréseket egy DOZIPORT 537 típusú doziméterrel mérjük, mely egy 15 cm vastagságú, alumínium hengerrel védett, Geiger-Müller készülékkel van felszerelve.

1. Első lépésben a háttérből származó dózis hozamot mérjük meg ( $\mu Sv/h$ ). Ezután a  $b_\gamma$  mérjük meg az ólom tömeg falánál különböző  $h$  magasságokban, és grafikusan ábrázoljuk (milliméter papír) a  $b_\gamma = f_1(h)$  függvényt. A grafikonból azonnal leolvasható a  $^{60}\text{Co}$  forrás helyzetének magassága ( $h_x$ ).

2. Rögzítjük a dozimétert az adott  $h_x$  magasságba, és kezdve az  $r_0$  távolságtól (a tömb falától), 10 cm-ként távolodva megmérjük, majd ábrázoljuk  $b_\gamma = f_2(h)$  függvényt. Addig távolítjuk a dozimétert a forrástól, ameddig vissza nem kapjuk a háttérre mért értéket. A  $b_\gamma = f_2(h)$  ábrázolásánál, minden lépésben vonjuk le a háttérrel.

3. A forrás aktivitása a (2.11) összefüggés segítségével számolható, ahol  $w_\gamma = 1$ ,  $\mu_0/\rho = 0.03 \text{ cm}^2/g$  (levegő csillapítási közeg esetére), a  $B_D$  értéke az előbbi táblázatból olvasható ki, tudva hogy a gamma fotonok energiája  $^{60}\text{Co}$  bomlása esetén 1 MeV körüliek. A lineáris csillapítási együttható értéke  $\mu_r = 0.6 \text{ cm}^{-1}$ , valamint a lemérhető  $r_0$  hossz értéke 10 cm. A (2.11) egyenletben található összegzés számolásánál figyelembe kell vennünk a  $^{60}\text{Co}$  bomlási képét! A  $\Lambda$  aktivitást bomlás/másodperc (1 becquerel, vagyis 1 Bq) egységekben számoljuk. Az aktivitást különböző távolságokban mért dózis hozam esetére számoljuk ( $r = r_0$ ;  $r = 2r_0$ ; és  $r = 3r_0$ ).

Megjegyzés! Korrigálnunk kell a mért  $b_\gamma$  értéket a háttérre számított értékkel!



2. ábra. A  $^{60}\text{Co}$  bomlási képe. Első lépésben  $\beta^-$  kibocsátással a Co magja átalakul gerjesztett Ni maggá. Amely ezután két lépésben, két gamma foton kibocsátásával kerül nagyon rövid idő alatt a  $^{60}\text{Ni}$  stabil energiaállapotba.