

# Dozimetria, sugárvédelem Nukleáris mérés technika

## A magsugárzások

- keletkezése
- tulajdonságai
- mérése
- dozimetriája
- orvosi alkalmazása



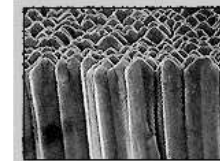
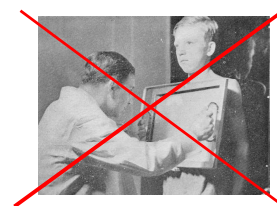
Dr Smeller László    Semmelweis Egyetem, Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

## A magsugárzások mérése

- szcintillációs számláló
- gázionizáción alapuló detektorok
- termolumineszcens doziméter
- ~~fotográfiai (film) módszerek~~
- félvezető detektor

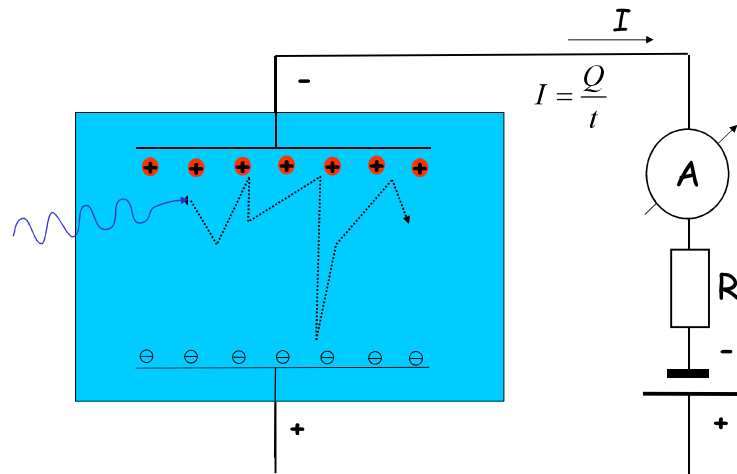
# Szcintillációs detektor

ld. gyakorlat



# Ionizáció alapuló detektálás

## 1. Ionizációs kamra

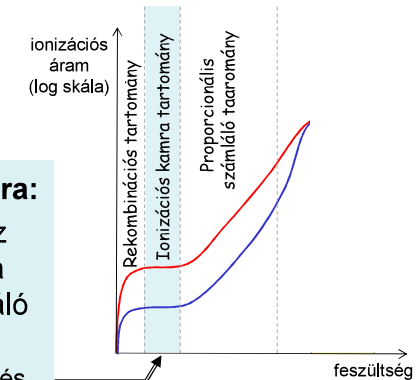


# Ionizáció alapuló detektálás

## 1. Ionizációs kamra

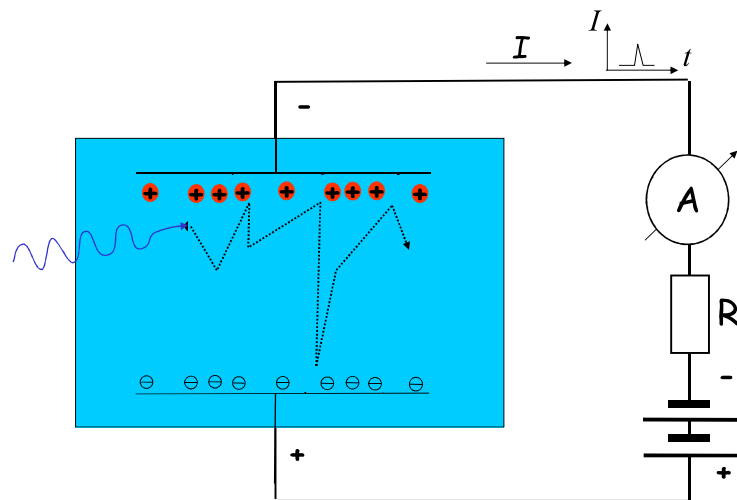
### Ionizációs kamra:

összegyűjti az összes iont, a sugárzás ionizáló hatását méri  
ld. még dózismérés



# Ionizáció alapuló detektálás

## 2. Proporciónális számláló tartomány

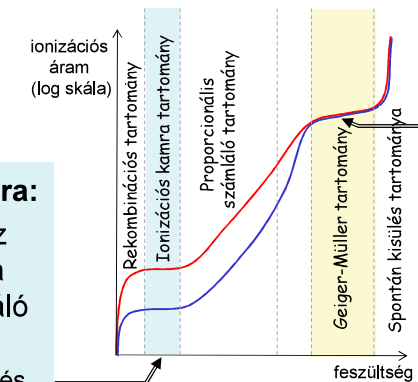


# Ionizáció alapuló detektálás

## 3. Geiger-Müller tartomány

### Ionizációs kamra:

összegyűjti az összes iont, a sugárzás ionizáló hatását méri  
ld. még dózismérés



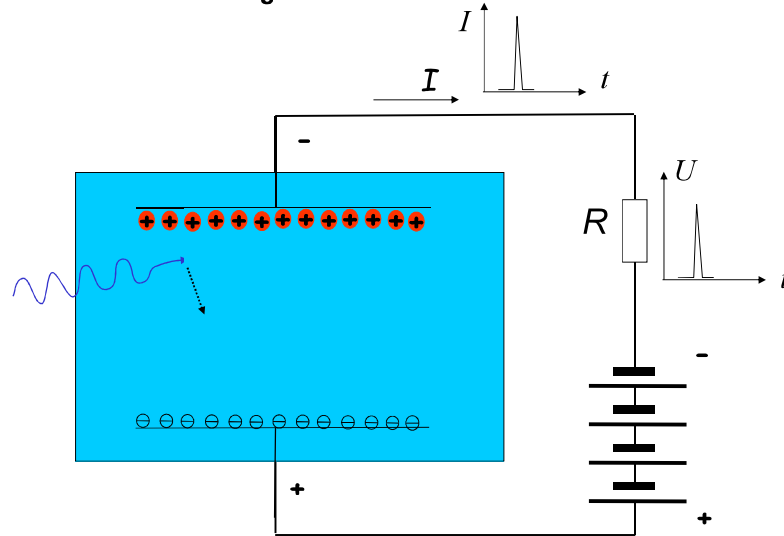
### Geiger-Müller tartomány:

lavina-effektus, részecske

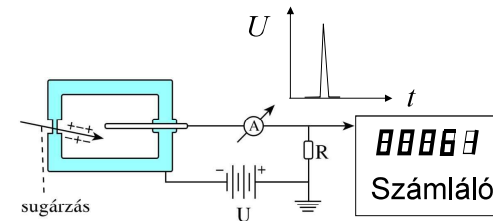
feszültség impulzus

# Ionizáció alapuló detektálás

## 3. Geiger-Müller számlálócső

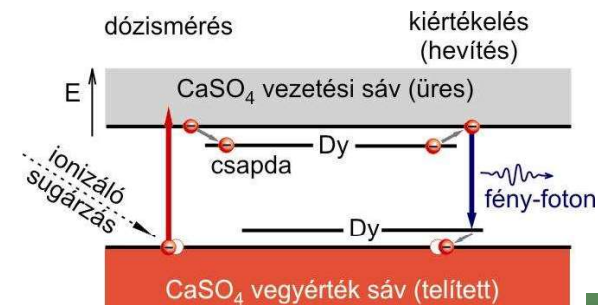


## G-M cső



- előnye: egyszerű felépítés
- hátránya: kis érzékenység  $\gamma$  sugárzásra
- energiaszelektivitás hiánya
- alkalmazása: főleg dozimetriában

## Termolumineszcencia





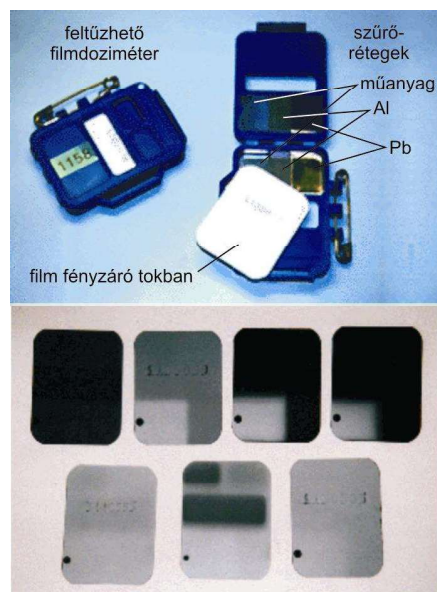
Jim Voss amerikai űrhajós a Pille kiértékelő egységébe helyezi a dózismérőt.  
(Fotó: NASA ISS002E7814)

## Személyi dozimetria



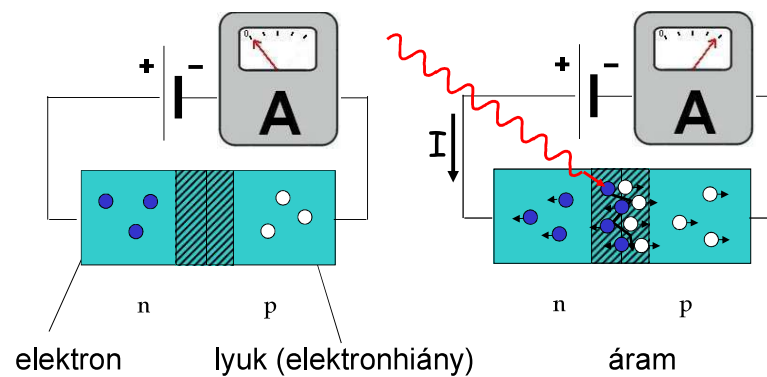
## Fotokémiai detektálás

elavult



## Félvezető detektor

Elv: félvezető dióda záróirányban  
a sugárzás szabad töltéshordozókat kelt





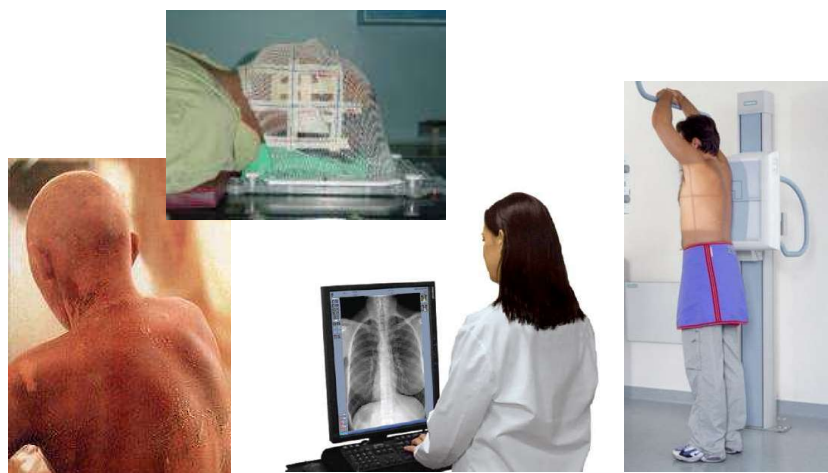
## Félvezető detektor a diagnosztikában



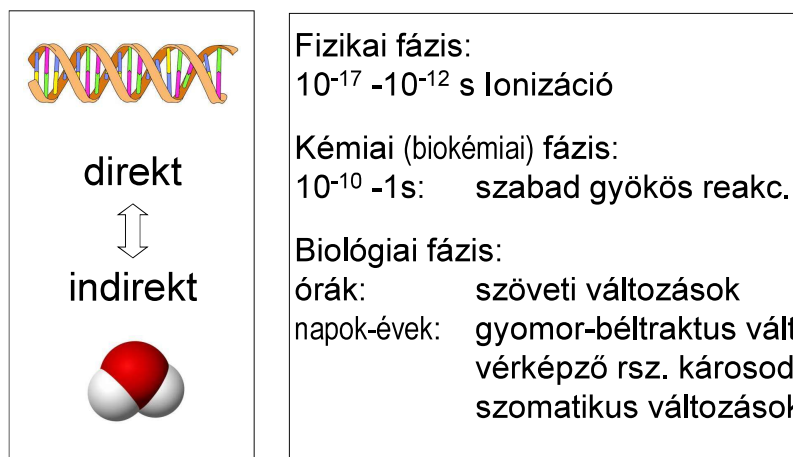
## Félvezető detektor a dozimetriában



## Az ionizáló sugárzások biológiai hatása

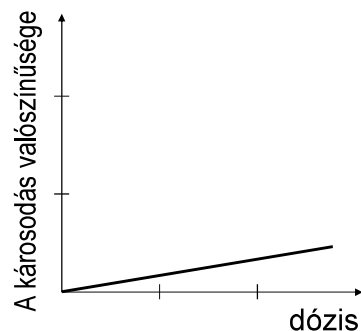


## A sugárhatás mechanizmusa

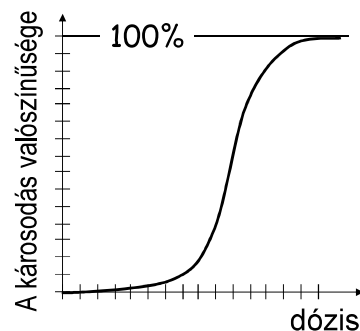


## A sugárhatás osztályozása

### Sztochasztikus



### Determinisztikus



## A sugárhatás osztályozása

### Sztochasztikus

Kis dózisok esetén  
Kevés számú találat  
Véletlenszerűen kialakuló  
Nincs küszöbdózis  
Súlyosság f. len a dózistól



Sugárveszélyes  
munkahelyen dolgozók,  
rtg. ill.  
izotópdiagnosztikai  
vizsgálatok páciensei

### Determinisztikus

Nagy dózisok esetén  
Sok találat  
Törvényszerűen kialakuló  
Van küszöbdózis  
Súlyosság nő a dózissal



sugárbaesetek  
*Sugárterápia*

## Dózisfogalmak

### 1. Elnyelt dózis

Elnyelt dózis:

$$D = \frac{dE}{dm}$$

A  $dm$  tömegű  
anyaggal a  
sugárzás által  
közölt energia

Mértékegysége J/kg = Gy

➡ Egységnyi tömegnek átadott energia

Elnyelt dózis:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad [Gy]$$

Mérése:

- direkt módon nehéz (minimális hőmérséklet-emelkedés  $\Delta T = 0,006 \text{ °C} / 4 \text{ Gy}$ )
- indirekt módon
  - ionizációs kamra
  - félvezető detektor
  - termolumineszcens dózismérő
  - ...

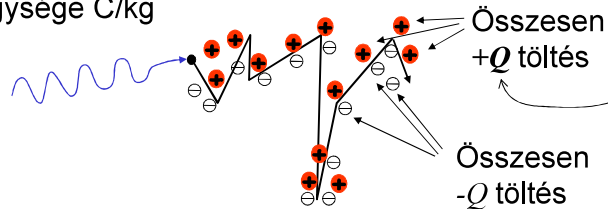
# Dózisfogalmak

## 2. Besugárzási dózis

Besugárzási dózis:  $X = \frac{dQ}{dm}$  ← a  $dm$  tömegben keltett pozitív töltés

Csak  $\gamma$  és röntgensugárzásra, levegőben!

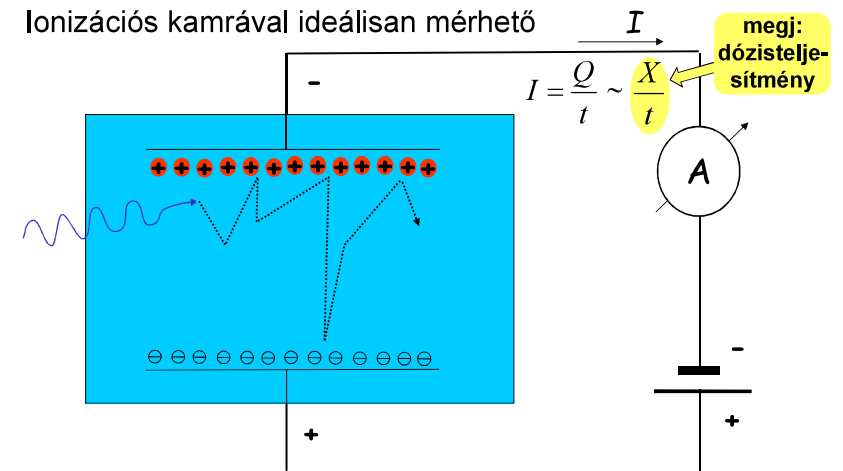
Mértékegysége C/kg



Besugárzási dózis:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Ionizációs kamrával ideálisan mérhető



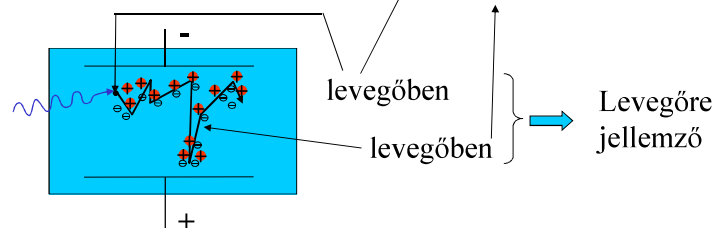
Besugárzási dózis:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Mire jellemző?

Hogyan számolhatjuk át elnyelt dózisra?

→ Lényeges, hogy hol történt az elnyelés (foton esetén), hol keletkeznek a töltések



Besugárzási dózis:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Levegőben mért besugárzási dózis átszámolása:

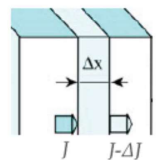
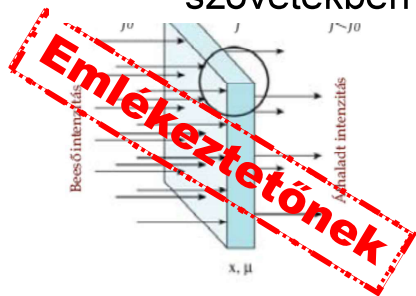
Levegőben 1 ionpár keltéséhez 34 eV energia szükséges\*

$$\begin{array}{ll} 34 \text{ eV} = 34 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} & \longrightarrow 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ 34 \text{ J} & \longrightarrow 1 \text{ C} \end{array}$$

$$1 \frac{\text{C}}{\text{kg}} \Rightarrow 34 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 34 \text{ Gy}_{\text{lev}}$$

\* Elektronok esetén. Protonok,  $\alpha$  részecskék esetén  $\approx 35 \text{ eV}$

## Levegőben mért dózis átszámolása a szövetekben elnyelt dózissra



Egy mennyiség ( $J$ ) és annak megváltozása ( $\Delta J$ ) egymással arányosak:

$$\Delta J = -\mu \Delta x J$$

Exponenciális függvény:  
 $J = J_0 e^{-\mu x}$

$$\Delta J = -\mu \Delta x J$$

$$J = \frac{E}{At}$$

$$\Delta E = |\Delta J| At$$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{|\Delta J| At}{\rho A \Delta x} =$$

$$= \frac{\mu \Delta x J t}{\rho \Delta x} = \mu_m J t$$

$$D \sim \mu_m$$

## Levegőben mért dózis átszámolása a szövetekben elnyelt dózissra:

$$\frac{D_{szövet}}{D_{levegő}} = \frac{\mu_{m,szövet}}{\mu_{m,levegő}}$$

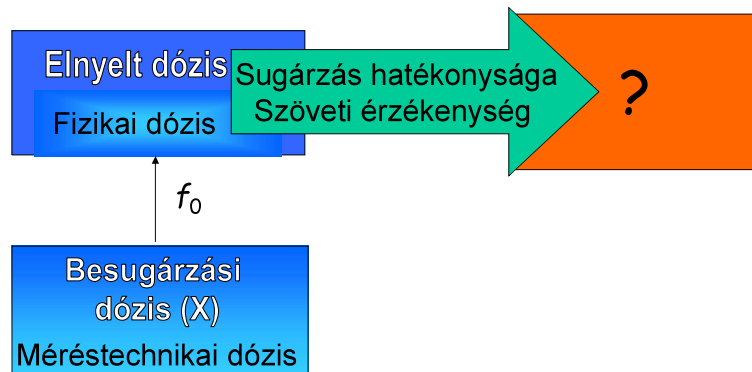
$$D_{szövet} = \frac{\mu_{m,szövet}}{\mu_{m,levegő}} f_0 X \quad f_0 = 34 \frac{J}{C}$$

$$E_{foton} < 0,6 \text{ MeV esetén lágyszövetre: } \frac{\mu_{m,szövet}}{\mu_{m,levegő}} \approx 1,1$$

## Eddigi dóziszfogalmak:

A sugárzást jellemző fizikai mennyiségek

Biológiai hatás



## A biológiai hatás...

### → Determinisztikus hatás (pl. sugárterápiánál)

Tipikusan

- egyfajta sugárzással
- egyfajta szövetet sugározunk be

Elnyelt dózis

arányos

Biológiai hatás

### → Sztochasztikus hatás (pl. sugárvédelemben)

Tipikusan

- többfajta sugárzás
- többfajta szövetet ér

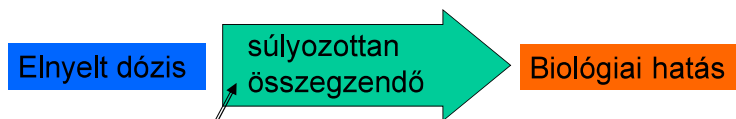
Elnyelt dózis

súlyozottan  
összegzendő

Biológiai hatás







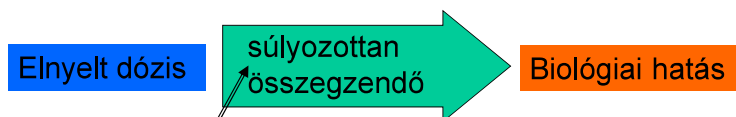
Súlyzófaktor: Sugárzás hatékonysága  
Szöveti érzékenység

Egyenérték dózis:  $H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$  [Sv]

Súlyozottan összeadja a különböző sugárzásokból (R) az adott szövetben (T) elnyelt dózisokat.

Például:

$$H_{\text{bőr}} = w_{\text{alfa}} D_{\text{bőr,alfa}} + w_{\text{beta}} D_{\text{bőr,beta}} + w_{\text{gamma}} D_{\text{bőr,gamma}}$$



Súlyzófaktor: Sugárzás hatékonysága  
Szöveti érzékenység

Effektív dózis:  $E = \sum_T w_T H_T$  [Sv]

Súlyozottan adja össze a különböző szöveteket (T) ért egyenérték dózisokat.

$w_T H_T$  jelenti a  $H_T$  dózisnak az egész test sugárkárosodásához való hozzájárulását.  $\sum_T w_T = 1$

Homogén egésztest besugárzás esetén:  $E = H$

## $w_R$ súlytényező

Az adott sugárzás hatékonysága (sztochasztikus hatás kiváltásában) hányszor nagyobb, a röntgen- ill.  $\gamma$ -sugárzáshoz képest.

Részecske	Energia	$w_R$
Foton		1
Elektron		1
Neutron	<10 keV	5
	10 keV-100 keV	10
	100 keV- 2 MeV	20
	2 MeV - 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Protonok	> 2 MeV	5
Alfa részecskék		20

\*2016 jan 1-től: folytonos fv.

ICRP  
↓  
EU  
↓

\*487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről

## $w_T$ súlytényező

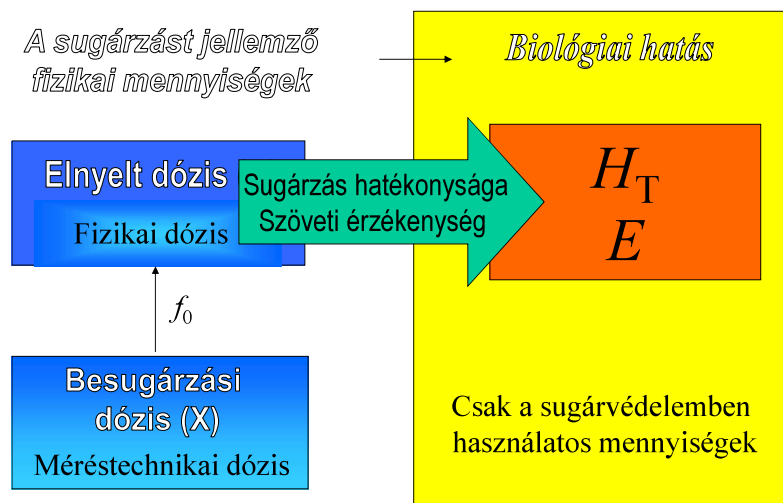
Megmutatja, hogy az illető szövet-szerv milyen hányadban vesz részt a teljes károsodásban akkor, ha homogén sugárzás érte a az egész testet.

Testszövet	$w_T$	Testszövet	$w_T$
Csontvelő	0,12	Nyelőcső	0,04
Vastagbél	0,12	Máj	0,04
Tüdő	0,12	Pajzsmirigy	0,04
Gyomor	0,12	Csontfelszín	0,01
Emlő	0,12	Agy	0,01
Egyéb szövetek*	0,12	Nyálmirigyek	0,01
Ivarmirigyek	0,08	Bőr	0,01
Hólyag	0,04		

\*Egyéb szövetek: mellékvesék, felső légutak, epehólyag, szív, vesék, nyirokcsomók, izom, szájnálkahártya, hasnyálmirigy, prosztata (férfiak), vékonybél, lép, csecsemőmirigy, méh/méhnyak (nők).

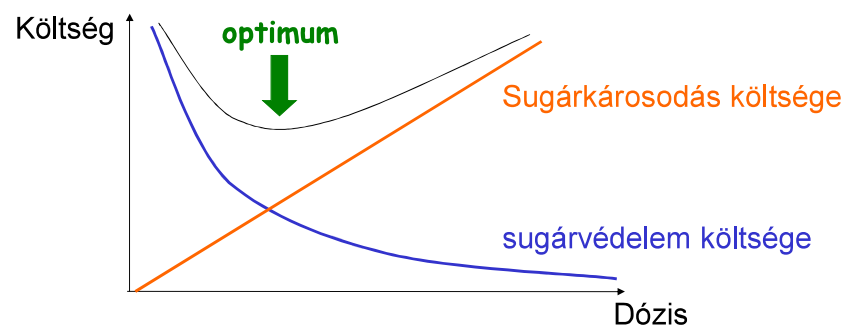
487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet

## Dózisfogalmak összefoglalása



## ALARA elv

- As Low As **Reasonably** Achievable
- Olyan kevés, ami **ésszerűen** elérhető



## Sugárvédelem

Sugárforrásokkal dolgozók:

Indokoltság

Optimálás

Korlátozás

Sztocasztikus hatás ésszerű redukálása: ALARA elv

Determinisztikus hatás kizárása, Dóziskorlátok

Páciensek:

Indokoltság: cost-benefit elv

Optimálás: diagnosztikai irányadó szintek

Páciensdózisok mérése és dokumentálása

## Az elnyelt dózis számolása $\gamma$ sugárzó izotóp esetén

Pontugárzó esetén:

$$D = \frac{K_{\gamma} A t}{r^2}$$

$K_{\gamma}$ : dóziskonstans  $\left[ \frac{\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}} \right]$   
 $A$ : aktivitás [Bq]  
 $r$ : az izotóptól való távolság [m]  
 $t$ : besugárzási idő [s,h]

Pl:  $K_{\gamma} = 80 \frac{\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}}$  a  $^{137}\text{Cs}$  izotópra:  
 1GBq  $^{137}\text{Cs}$  1 m távolságban 80  $\mu\text{Gy/h}$  -t okoz  
 800 x háttérsugárzás  $\uparrow$

# Dóziskorlátozás célja

- Elkerülni a determinisztikus károsodást
- A sztochasztikus sugárhatás kockázata ne haladja meg a társadalom egyéb, de elfogadott tevékenységeinek a kockázatát

Dóziskorlát  $\neq$  megengedett dózis!

**Dóziskorlátok:** 1. munkavállalókra  
2. lakosságra  
nincs: páciensre!

# Dóziskorlátok\*

$\neq$  megengedett dózis!

## Foglalkozási dóziskorlát munkavállalókra

– egész testre 20 mSv/ év

(kb. 10  $\mu$ Sv/munkaóra)\*\*

– szemlencsére 20 mSv/év

– bőrre 500 mSv/év

– végtagokra 500 mSv/év

\*változtak (csökkentek) az értékek a tankönyvi adatokhoz képest!!

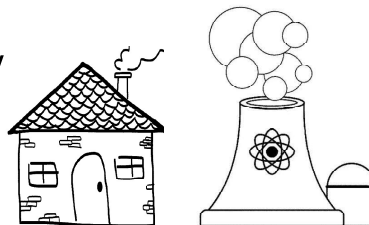
\*\*v.ö.: háttérsugárzás dózistelj:  $\approx 0,1 \mu$ Sv/h

# Dóziskorlátok

$\neq$  megengedett dózis!

## Lakossági dóziskorlát\*

- egész testre 1 mSv/ év\*\*
- szemlencsére 15 mSv/év
- bőrre 50 mSv/év



\* csak a mesterséges forrásokból származó dózisra vonatkozik

\*\*v.ö.: háttérsugárzás dózistelj:  $\approx 2,4$  mSv/év

# Determinisztikus sugárzási küszöbdózisok

## Csontvelő:

Vérképzéscsökkenés 0,5 Gy

## Herék:

átmeneti sterilitás 0,15 Gy

végleges sterilitás 3,5-6 Gy

## Szemlencse

Kimutatható homályok 0,5-2 Gy

Cataracta 5 Gy

## Bőr:

Korai átmeneti erythema 2 Gy

Erythema 6 Gy

Időleges epilálás 3 Gy

Egésztest besugárzás esetén: félhalálos dózis: 4 Gy

halálos dózis 6 Gy

# Néhány jellemző dózis

## ill. dózisteljesítmény

Természetes háttérsugárzás: 2,4 mSv/év

Ennek fele a Rn-ből.

Orvosi vizsgálatok (páciensdózis)

hagyományos felvétel: 0,2-1 mSv

CT felvétel: 2-8 mSv

beavatkozások:

Intervenciós radiológia

orvos: kéz: 100 mSv/2hó

szem: 30 msv/2hó

térd: 20 mSv/2hó

gonád

(ólmoköpeny alatt): 0,5 mSv/2hó

Páciens: akár 1 Gy!!



Sugárterápia: tipikusan 45-60 Gy (lokálisan, 2 Gy fracc.)

## Irodalom

(Az Orvosi Biofizika tankönyv mellett)

Köteles György: Sugáregészségtan (Medicina)

Fehér István, DemeSándor: Sugárvédelem (ELTE Eötvös kiadó)

Turák O., Osvay M.: A személyzet dózisa az intervenciós radiológia területén.

OSSKI [www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem/docs/kulonsz/.../szemelyzet.pdf](http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem/docs/kulonsz/.../szemelyzet.pdf)

Pellet Sándor, Giczi Ferenc, Gáspárdy Géza, Temesi Alfréda: Az intervenciós radiológia sugár-egészségügyi vonatkozásai. Magyar Radiológia 81 (2007) 32–39.

## Dóziskorlátok-veszélyek

Elfogadható kockázattal járó sugárterhelés

Ez alatt sem biztonságos a sugárzással végzett munka!

(a sztochasztikus károsodás arányos a dózissal!)

Minden veszélyes!

