

# Dozimetria, sugárvédelem Nukleáris mérés technika



Dr Smeller László Semmelweis Egyetem, Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

## A magsugárzások kölcsönhatása az anyaggal

magsugárzások — elnyelődése  
mérés

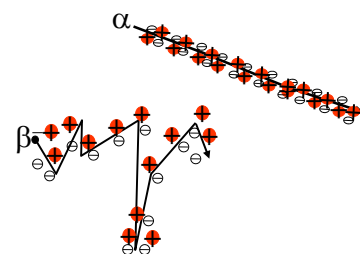
kölcsönhatás  $\Rightarrow$  energiaátadás

$\alpha$	} töltött részecske	$\rightarrow$ direkt ionizáció
$\beta$		
$\gamma$	} töltéssel nem rendelkezik	$\rightarrow$ indirekt ionizáció
$n$		

## Alapfogalmak

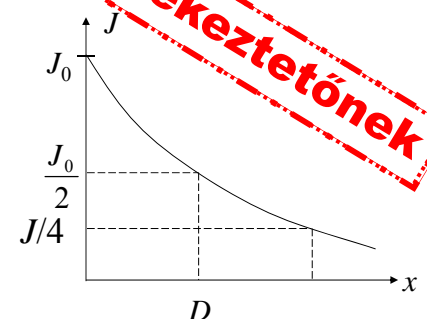
- Magsugárzás:
  - Az atommag átalakulásakor keletkezik.
  - $\alpha$  ( $\text{He}^{2+}$ ),  $\beta$  ( $e^-$ ,  $e^+$ ),  $\gamma$  (em.),  $n$  ... sugárzás
- Izotóp (azonos protonszám eltérő neutronszám)
- Radioaktív izotóp (instabil, bomlik, sugároz)
- Aktivitás ( $\text{Bq} = \text{bomlás/s}$ )
- Exponenciális bomlástörvény

## Sugárzások gyengülése: töltéssel rendelkező sug. $\gamma$ -sugárzás



Ionizáció  $\Rightarrow$  energiavesztés:  
Az energia egy bizonyos úton elfogy.

Hatótávolság



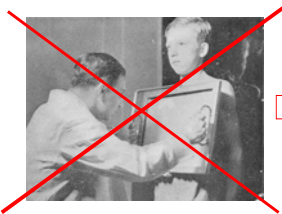
Exponenciális gyengülés  
**nincs** hatótávolság

# A mag sugárzások mérése

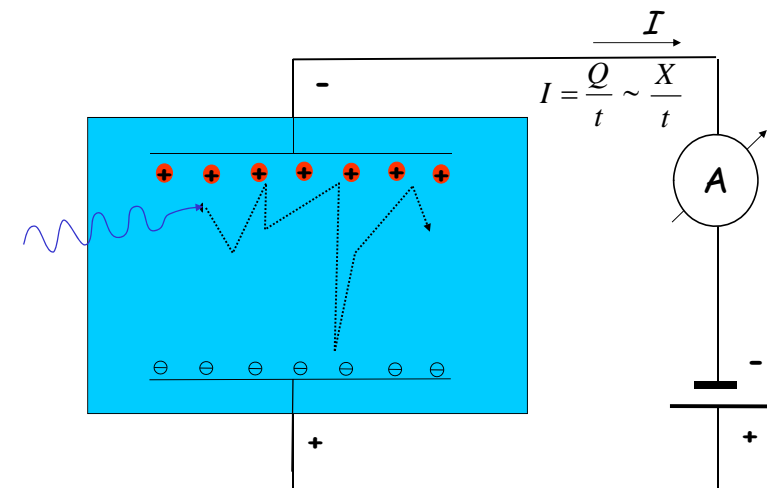
szcintillációs számláló  
gázionizáción alapuló detektorok  
termolumineszcens doziméter  
fotográfiai (film) módszerek  
félvezető detektor

# Szcintillációs detektor

ld. gyakorlat

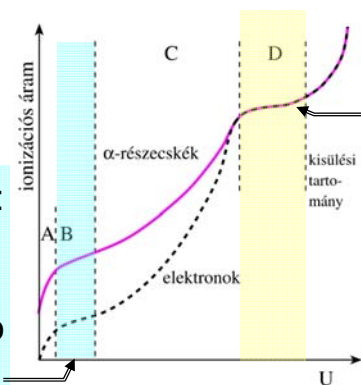


# Ionizáció alapuló detektálás



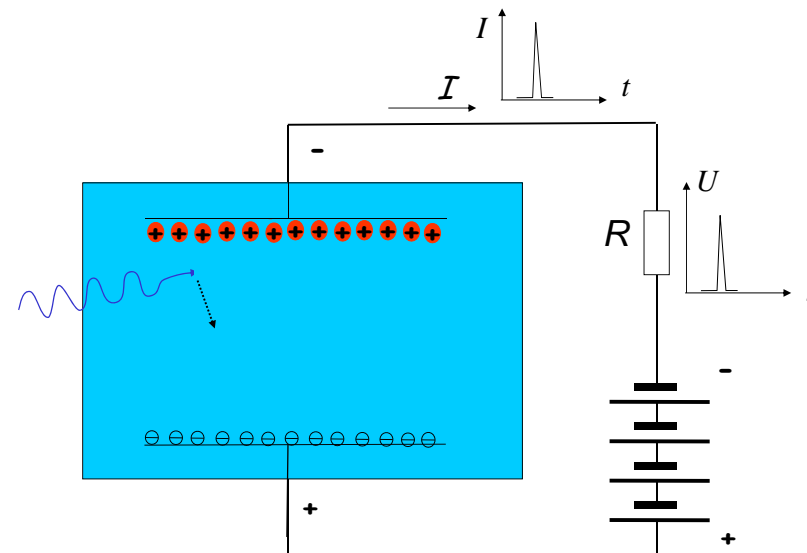
## Ionizáción alapuló detektálás

ionizációs kamra:  
összegyűjti az  
összes iont, a  
sugárzás ionizáló  
hatását méri  
ld. még dozimetria

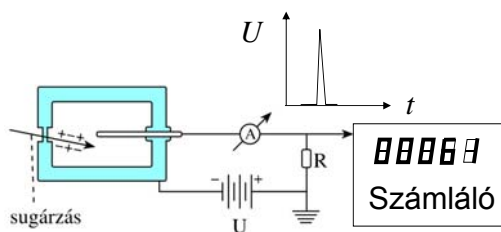


Geiger-Müller  
tartomány:  
lavina-  
effektus,  
részecske  
↓  
feszültség  
impulzus

## Geiger-Müller cső



## G-M cső



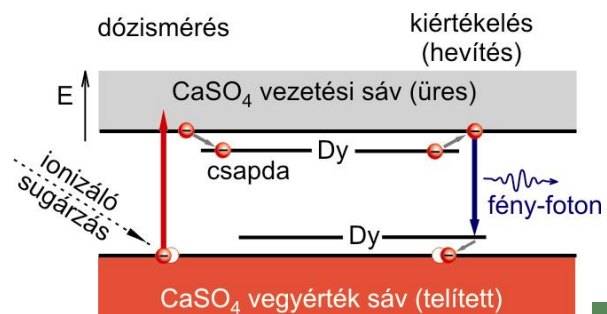
előnye: egyszerű felépítés

hátránya: kis érzékenység  $\gamma$  sugárzásra  
energiaszelektivitás hiánya

alkalmazása: főleg dozimetriában



# Termolumineszcencia



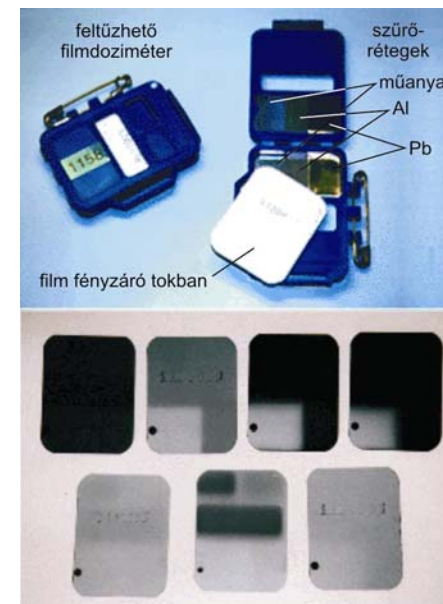
Jim Voss amerikai űrhajós a Pille kiértékelő egységébe helyezi a dózismérőt.  
(Fotó: NASA ISS002E7814)

# Személyi dozimetria



# Fotokémiai detektálás

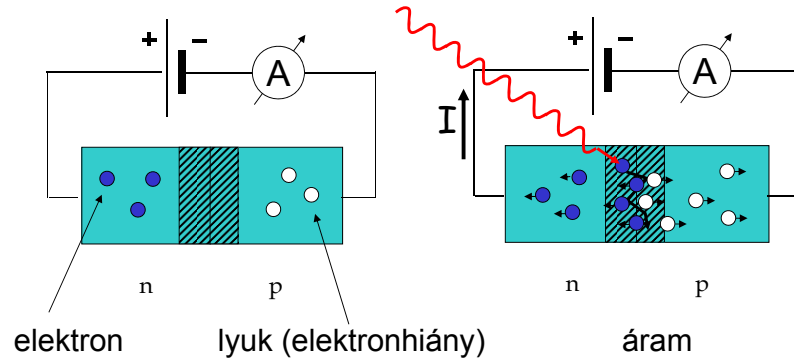
elavult





# Félvezető detektor

Elv: félvezető dióda záróirányban  
a sugárzás szabad töltéshordozókat kelt



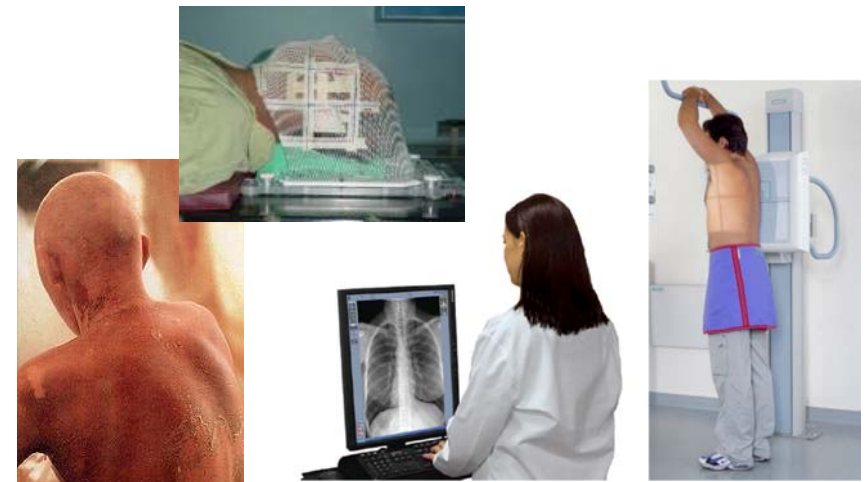
## Félvezető detektor a diagnosztikában



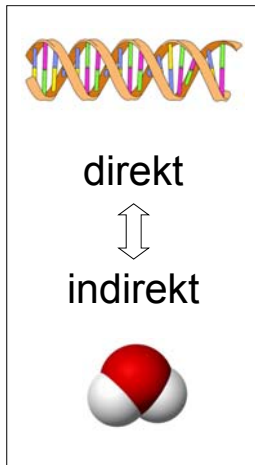
## Félvezető detektor a dozimetriában



## Az ionizáló sugárzások biológiai hatása



## A sugárhatás mechanizmusa



Fizikai fázis:

$10^{-17}$  -  $10^{-12}$  s Ionizáció

Kémiai (biokémiai) fázis:

$10^{-10}$  - 1s: szabad gyökös reakc.

Biológiai fázis:

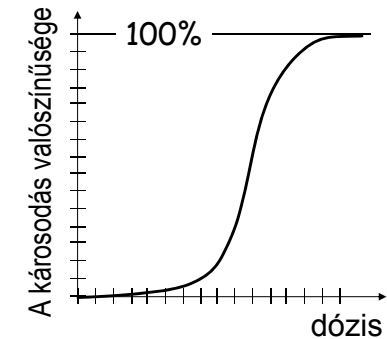
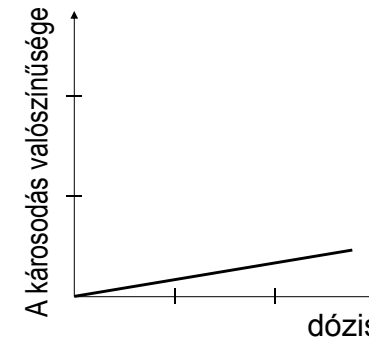
órák: szöveti változások

napok-évek: gyomor-béltraktus vált.  
vérképző rsz. károsod.  
szomatikus változások

## A sugárhatás osztályozása

Sztochasztikus

Determinisztikus



## A sugárhatás osztályozása

Sztochasztikus

Determinisztikus

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



Sugárveszélyes  
munkahelyen dolgozók,  
rtg. ill.  
izotópdiaosztikai  
vizsgálatok páciensei

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



sugárbaesetek  
*Sugárterápia*

## Sugárvédelem és dozimetria

A sugárvédelem feladata:

dózteljesítmény mérés

szennyezettség mérés

személyi dózismérés

# Dózisfogalmak

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:

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

Mérése:

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

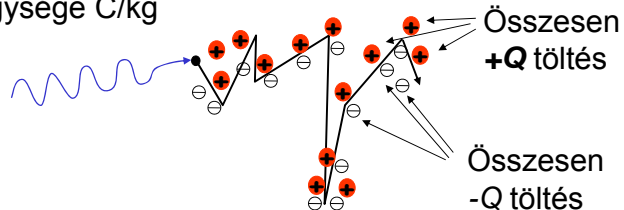
Besugárzási dózis:

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

$dm$  tömegben keltett + ill. - töltés

Csak  $\gamma$  és röntgensugárzásra, levegőben!

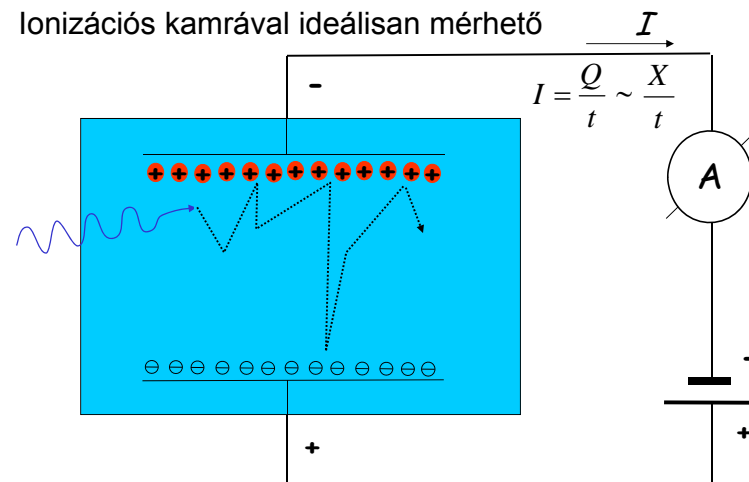
Mértékegysége C/kg



Besugárzási dózis:

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

Ionizációs kamrával ideálisan mérhető



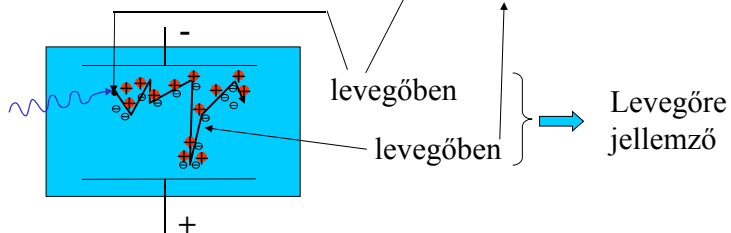
Besugárzási dózis:

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

Mire jellemző?

Hogyan számolhatjuk át elnyelt dózissra?

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



Besugárzási dózis:

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

Levegőben mért besugárzási dózis átszámolása:

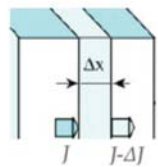
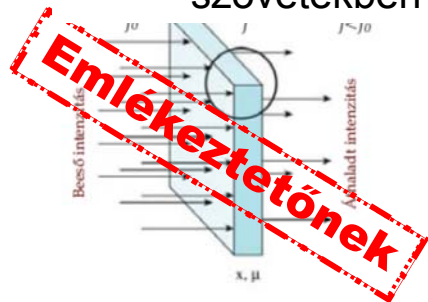
Levegőben 1 ionpár keltéséhez 34 eV energia szükséges\*

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

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

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

Levegőben mért dózis átszámolása a  
szövetekben elnyelt dózissra



Egy mennyiség (J) és  
annak megváltozása (ΔJ)  
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:

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

$$D_{\text{szövet}} = \frac{\mu_{m,\text{szövet}}}{\mu_{m,\text{levegő}}} f_0 X$$

$$f_0 = 34 \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

$E_{\text{foton}} < 0,6 \text{ MeV}$  esetén légyszövetre:

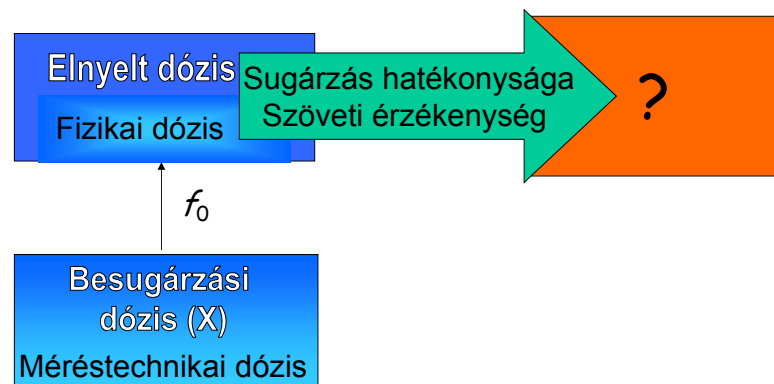
$$\frac{\mu_{m,\text{szövet}}}{\mu_{m,\text{levegő}}} \approx 1,1$$



## Eddigi dóziszfogalmak:

A sugárzást jellemző fizikai mennyiségek

Biológiai hatás

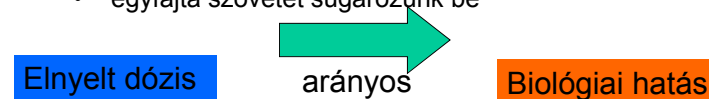


## A biológiai hatás...

### → Sugárterápiánál (Determinisztikus hatás)

Tipikusan

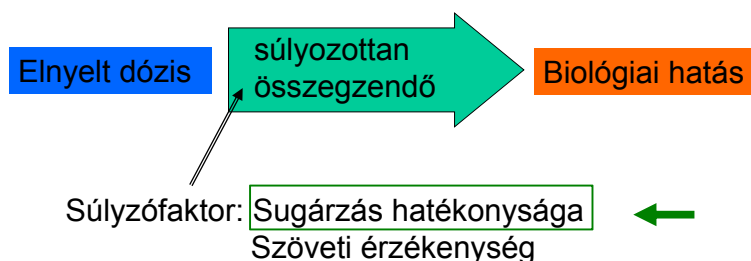
- egyfajta sugárzással
- egyfajta szövetet sugározzunk be



### → Sugárvédelemben (Sztokasztikus hatás)

Tipikusan

- többfajta sugárzás
- többfajta szövetet ér



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:

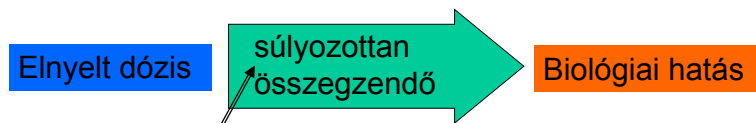
$$H_{\text{bőr}} = w_{\text{alfa}} D_{\text{bőr,alfa}} + w_{\text{beta}} D_{\text{bőr,beta}} + w_{\text{gamma}} D_{\text{bőr,gamma}}$$

## $w_R$ súlytényező

Az adott sugárzás hatékonysága (sztokasztikus 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	2
Alfa részecskék		20

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



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  $H_T$  dózisonak az egész test sugárkárosodásához való hozzájárulását.  $\sum_T w_T = 1$

Homogén egésztest besugárzás esetén:  $E = H$

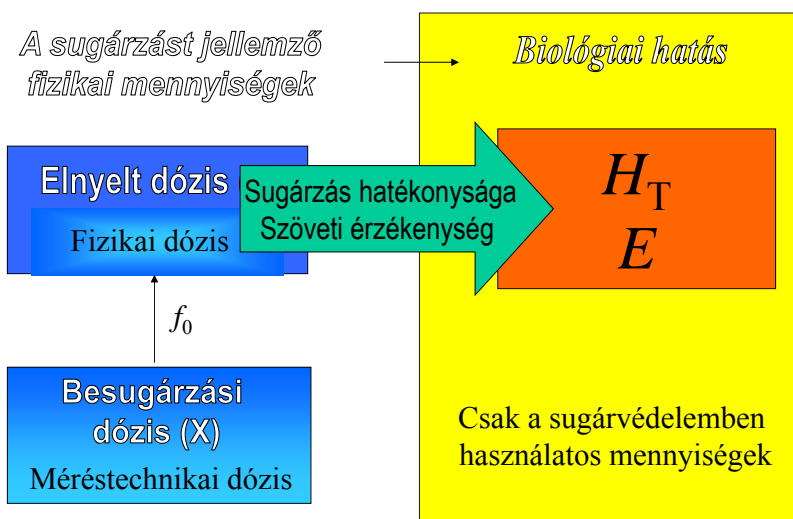
## $w_T$ súlytényező

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, nyirokesomók, izom, szájnyálkahártya, hasnyálmirigy, prosztata (férfiak), vékonybél, lép, csecsemőmirigy, méh/méhnyak (nők).  
487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet

## Dózisfogalmak összefoglalása



## Sugárvédelem

Sugárforrásokkal dolgozók:

Indokoltság

Determinisztikus hatás kizárása

Sztocasztikus hatás ésszerű redukálása:

ALARA elv

Dóziskorlátok

Páciensek:

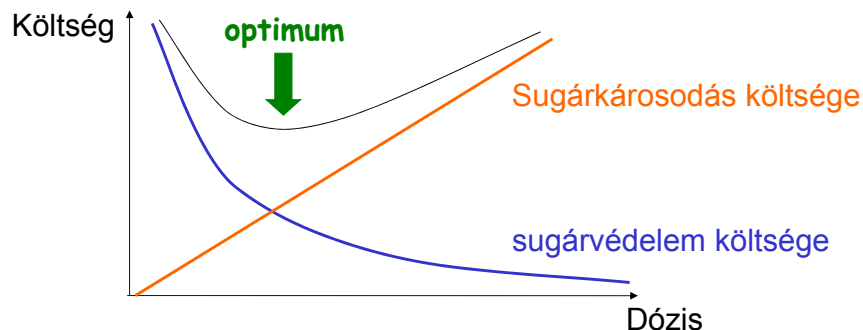
Indokoltság

Cost-benefit elv

Páciensdózisok mérése és dokumentálása

## ALARA elv

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



## Dóziskorlátok

Foglalkozási dóziskorlát munkavállalókra

- egész testre 100 mSv/5 év  
és 50 mSv/év  
(kb. 10 mSv/munkaóra)\*
- szemlencsére 150 mSv/év (csökkenni fog!)
- bőrre 500 mSv/év
- végtagokra 500 mSv/év

\*v.ö.: háttérsugárzás dózistelje:  $\approx 0,1 \mu\text{Sv/h}$

## 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

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

(ólomköpeny alatt): 0,5 mSv/2hó  
Páciens: akár 1 Gy!!



Sugárterápia: tipikusan 45-60 Gy (2 Gy frakc.)

# Dóziskorlátok-veszélyek

Elfogadható kockázattal járó sugárterhelés  
Ez alatt sem biztonságos a sugárzással végzett  
munka!  
(a sztochasztikus károsodás arányos a dózissal!)

Minden veszélyes!



# 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.