

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

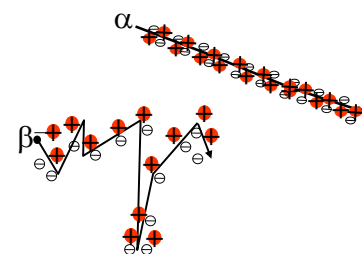
α	} töltött részecske	\rightarrow direkt ionizáció
β		
γ	} töltéssel nem rendelkezik	\rightarrow indirekt ionizáció
n		

Alapfogalmak

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

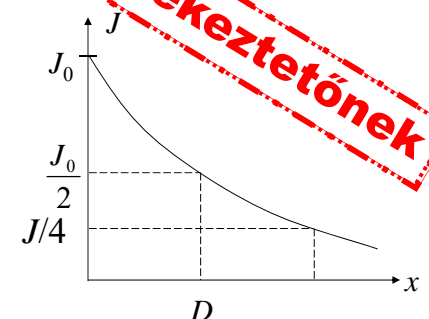
Emlékeztetőnek

Sugárzások gyengülése: töltéssel rendelkező sug. γ -sugárzás



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

Hatótávolság



Exponenciális gyengülés
nincs hatótávolság

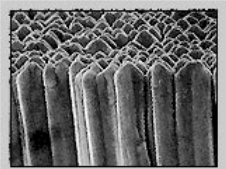
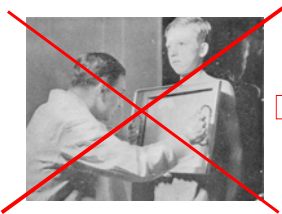
Emlékeztetőnek

A mag sugárzások mérése

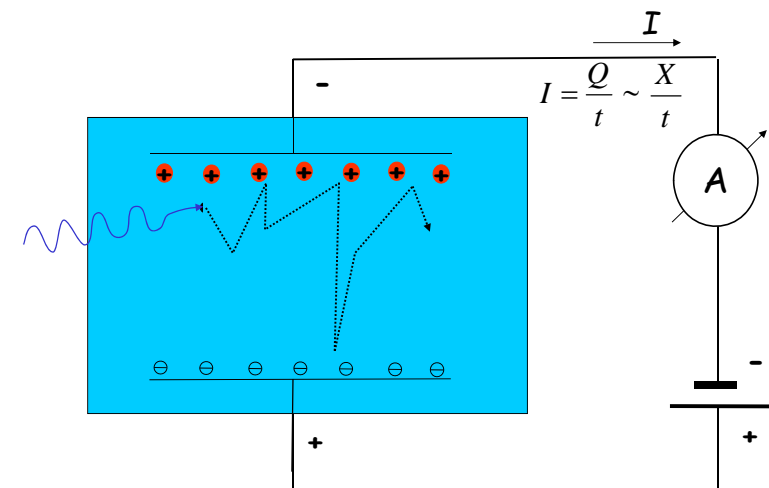
szcintillációs számláló
gázionizáción alapuló detektorok
termolumineszcens doziméter
fotográfiai (film) módszerek
félvezető detektor

Szcintillációs detektor

ld. gyakorlat

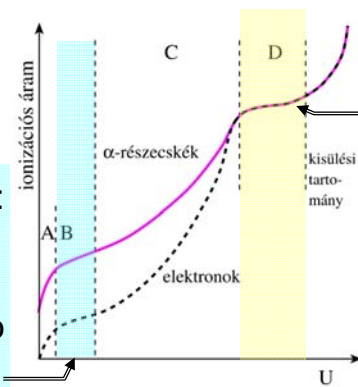


Ionizáció alapuló detektálás



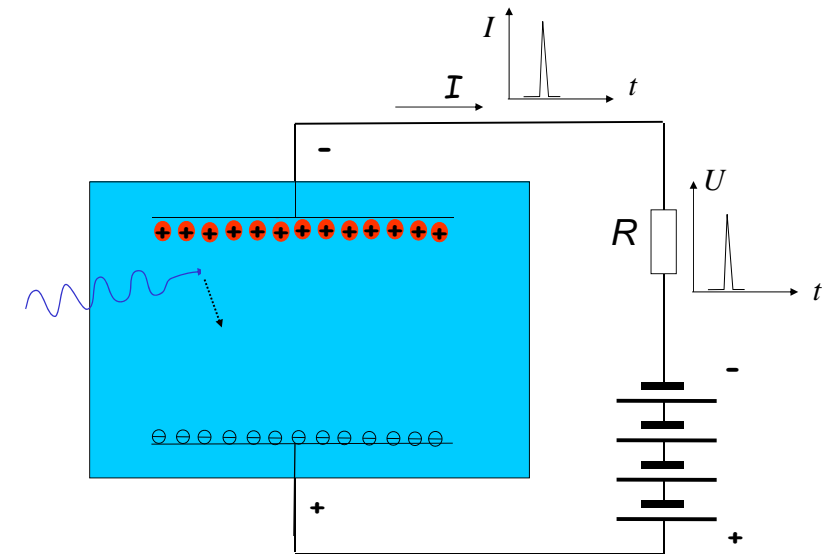
Ionizáción alapuló detektálás

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

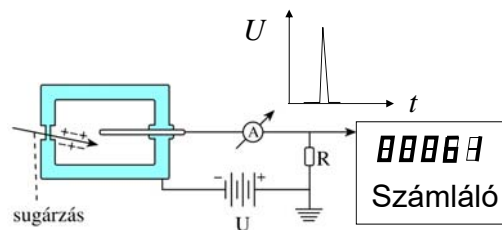


Geiger-Müller
tartomány:
lavina-
effektus,
részecske
↓
feszültség
impulzus

Geiger-Müller cső



G-M cső



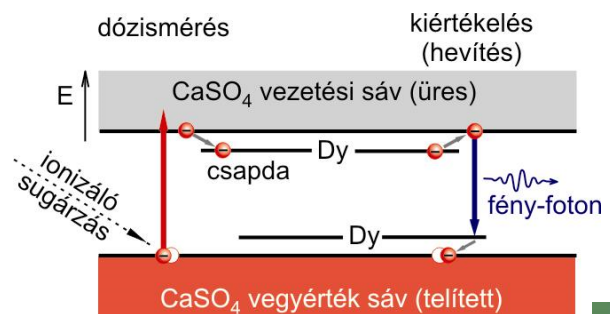
előnye: egyszerű felépítés

hátránya: kis érzékenység γ sugárzásra
energiaszelektivitás hiánya

alkalmazása: főleg dozimetriában



Termolumineszcencia



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

Személyi dozimetria



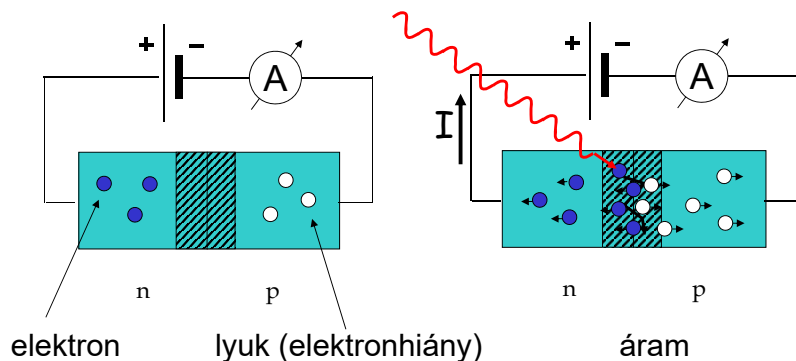
Fotokémiai detektálás

elavult



Félvezető detektor

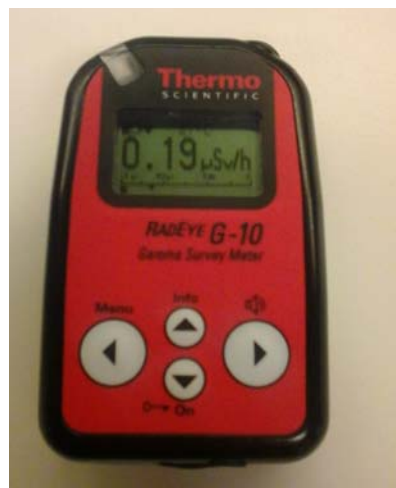
Elv: félvezető dióda záróirányban
a sugárzás szabad töltéshordozókat kelt



Félvezető detektor a diagnosztikában



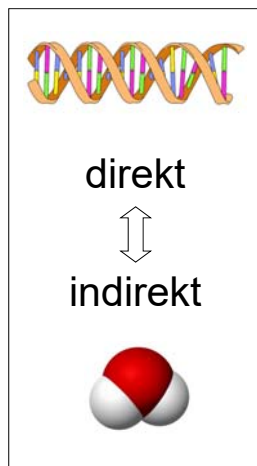
Félvezető detektor a dozimetriában



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:

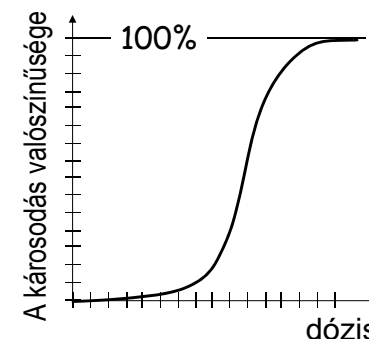
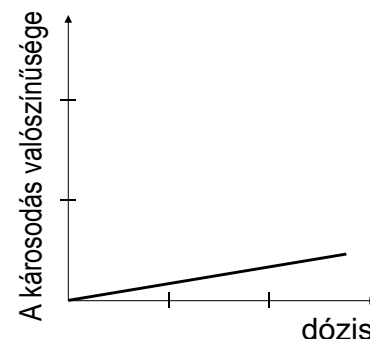
órák: szöveti változások

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 $\Delta T = 0,006 \text{ } ^\circ\text{C} / 4 \text{ Gy}$)
- indirekt módon
 - ionizációs kamra
 - félvezető detektor
 - termolumineszcens dózismérő
 - ...

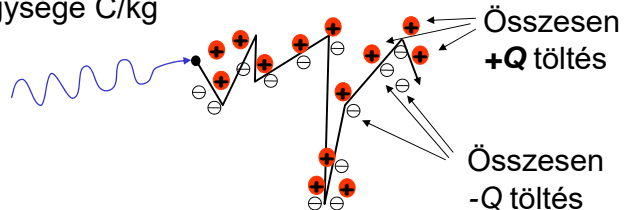
Besugárzási dózis:

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

dm tömegben keltett + ill. - töltés

Csak γ és röntgensugárzásra, levegőben!

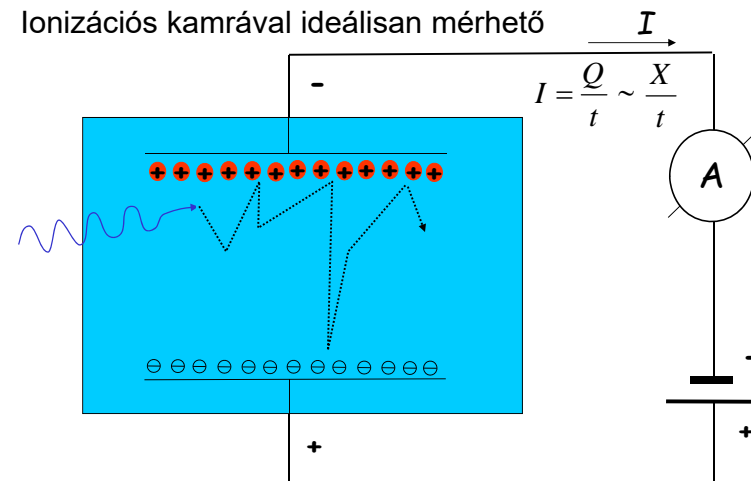
Mértékegysége C/kg



Besugárzási dózis:

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

Ionizációs kamrával ideálisan mérhető



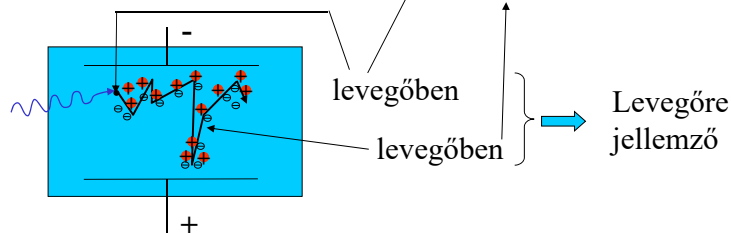
Besugárzási dózis:

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

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, α részecskék esetén $\approx 35 \text{ eV}$

Levegőben mért dózis átszámolása a
szövetekben elnyelt dózissra



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

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

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

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

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

$$D \sim \mu_m$$

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

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

Exponenciális függvény:

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

Levegőben mért dózis átszámolása a
szövetekben elnyelt dózissra:

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

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

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

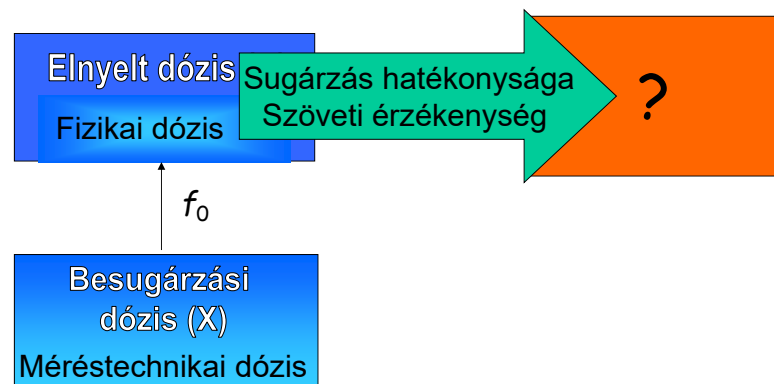
$E_{\text{foton}} < 0,6 \text{ MeV}$ esetén légyszövetre:

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

Eddigi dóziszfogalmak:

A sugárzást jellemző fizikai mennyiségek

Biológiai hatás

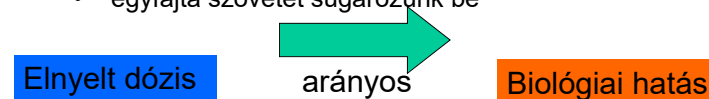


A biológiai hatás...

→ Sugárterápiánál (Determinisztikus hatás)

Tipikusan

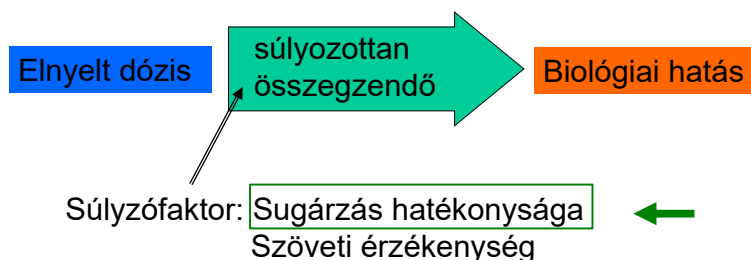
- egyfajta sugárzással
- egyfajta szövetet sugározzunk be



→ Sugárvédelemben (Sztochasztikus 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:

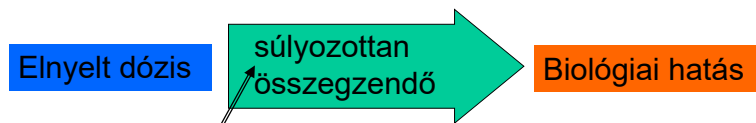
$$H_{\text{bőr}} = w_{\text{alfa}} D_{\text{bőr,alfa}} + w_{\text{beta}} D_{\text{bőr,beta}} + w_{\text{gamma}} D_{\text{bőr,gamma}}$$

w_R súlytényező

Az adott sugárzás hatékonysága (sztochasztikus hatás kiváltásában) hányszor nagyobb, a röntgen- ill. γ -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: $E = H$

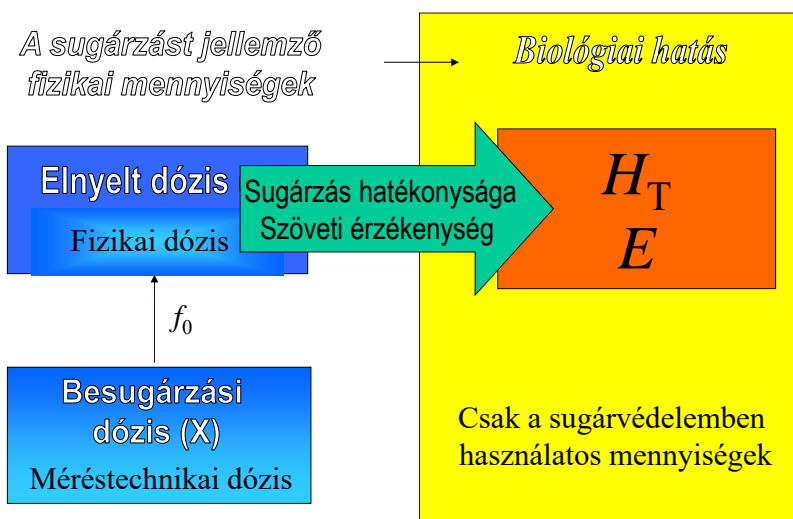
w_T súlytényező

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, nyirokcsomók, izom, szájnyalkahártya, 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:

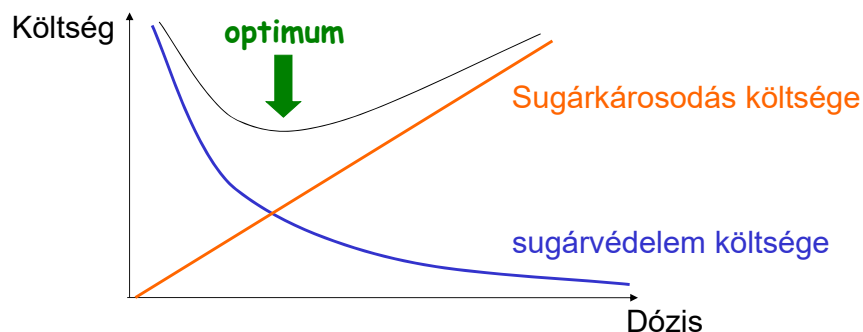
Indokoltság

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 20 mSv/ év

(kb. 10 μ Sv/munkaóra)**

– szemlencsére 20 mSv/év (csökkenni fog!)

– bőrre 150 mSv/év

– végtagokra 150 mSv/év

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

**v.ö.: háttérsugárzás dózistelje: $\approx 0,1 \mu$ 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

(ólmoköpeny alatt): 0,5 mSv/2hó

Páciens: akár 1 Gy!!



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