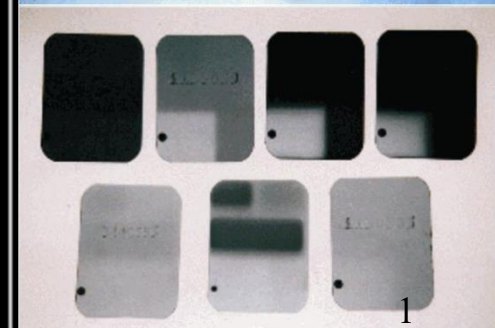
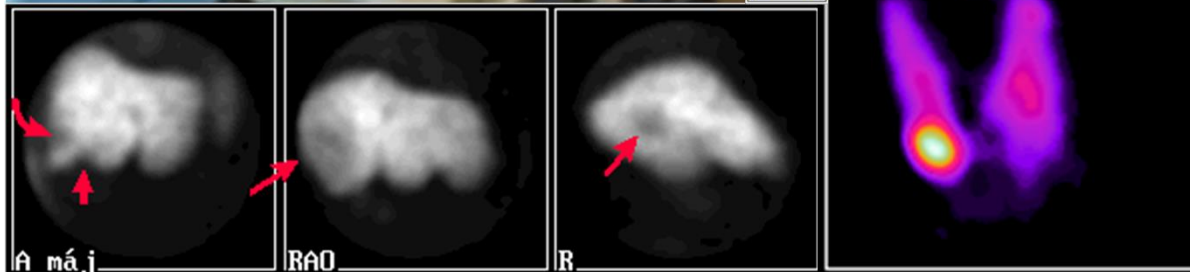


Dozimetria, sugárvédelem

Nukleáris mérés technika

A magsugárzások

- keletkezése
- tulajdonságai
- **mérése**
- **dozimetriája**
- orvosi alkalmazása



A mag sugárzások mérése

szcintillációs számláló

gázionizáción alapuló detektorok

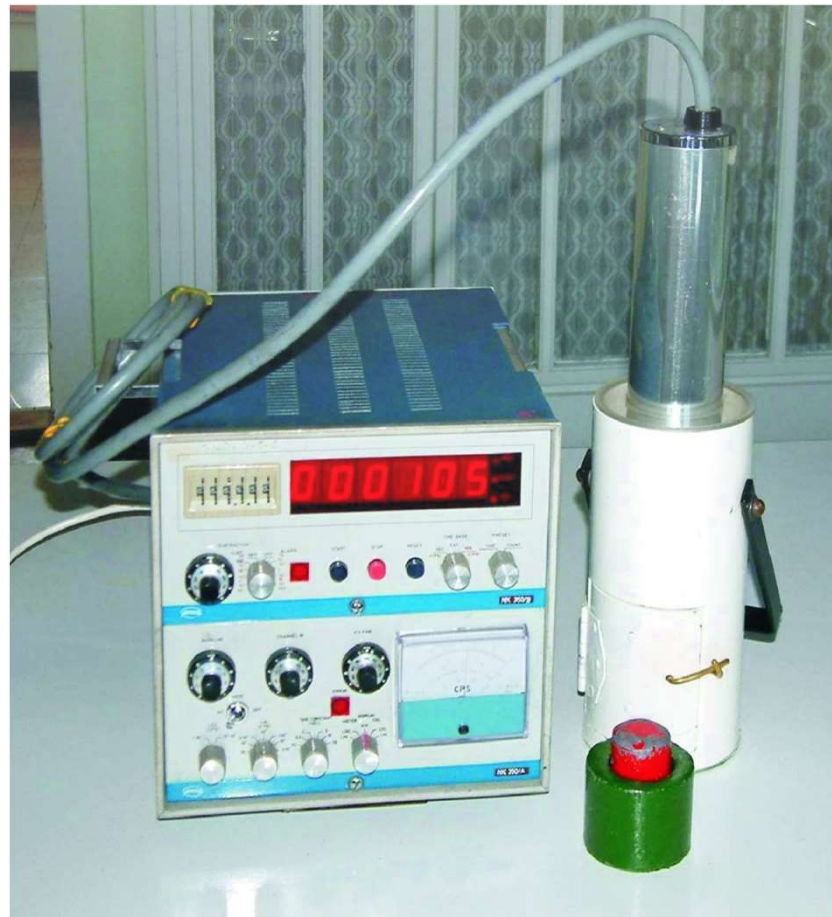
termolumineszcens doziméter

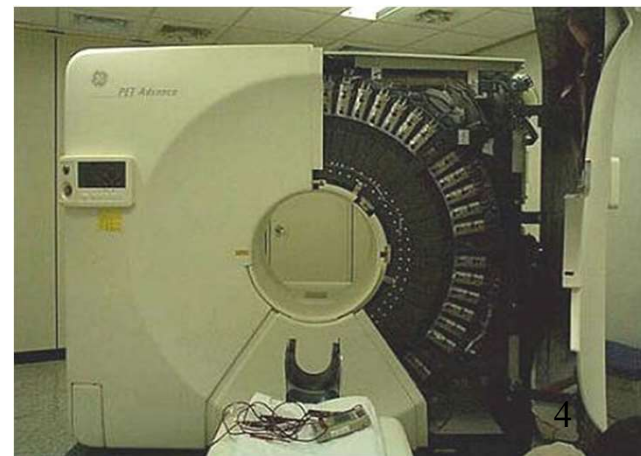
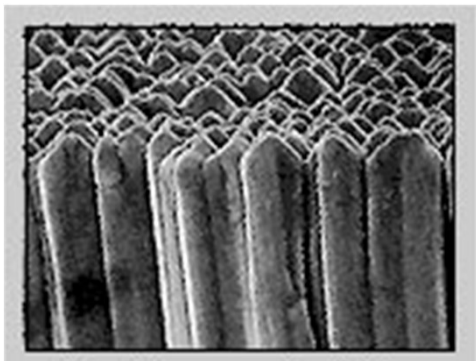
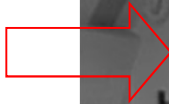
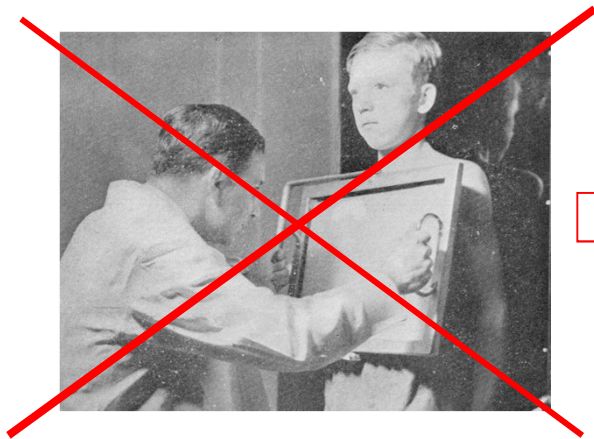
~~fotográfiai (film) módszerek~~

félvezető detektor

Szcintillációs detektor

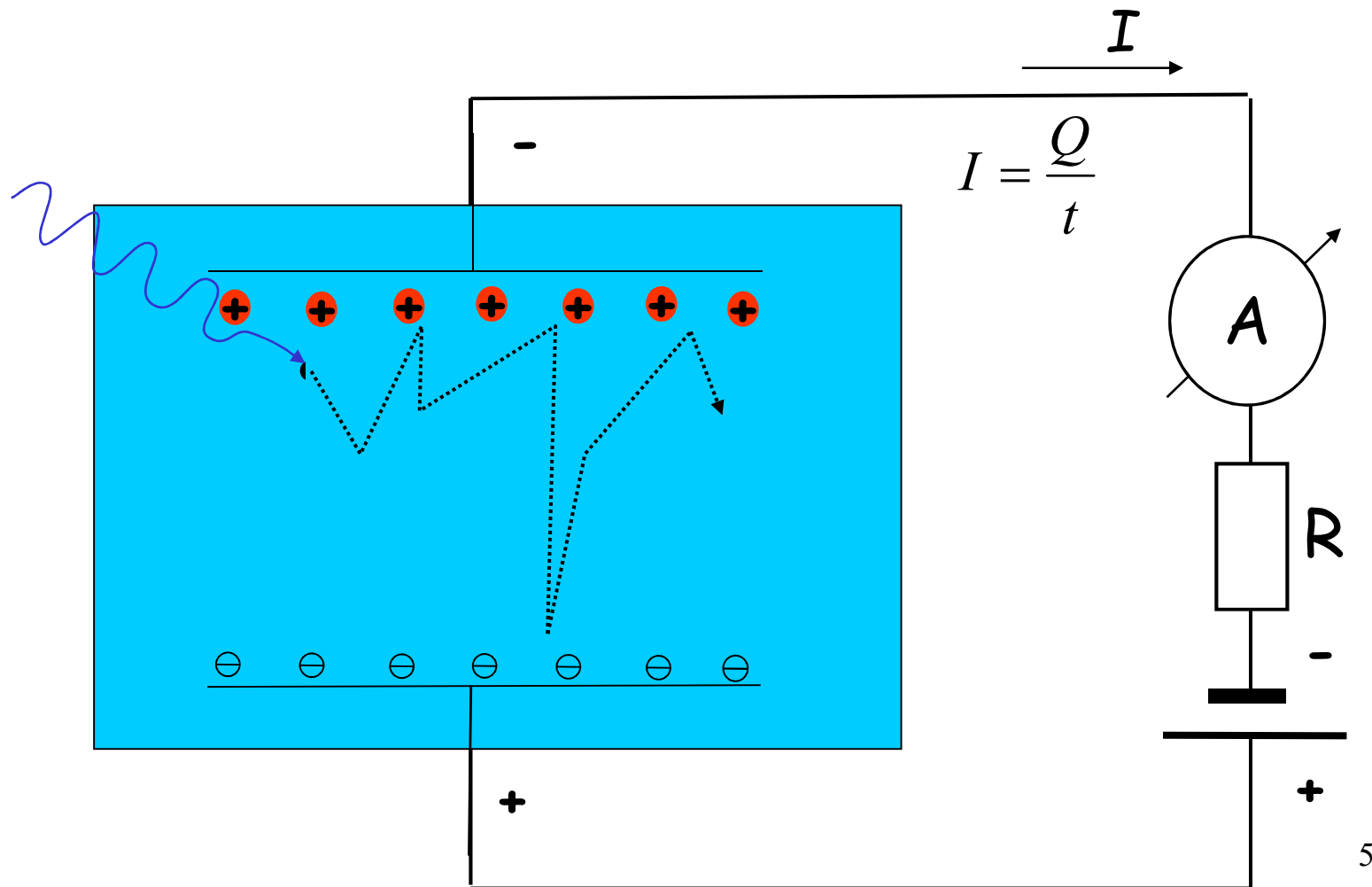
1d. gyakorlat





Ionizáció alapuló detektálás

1. Ionizációs kamra



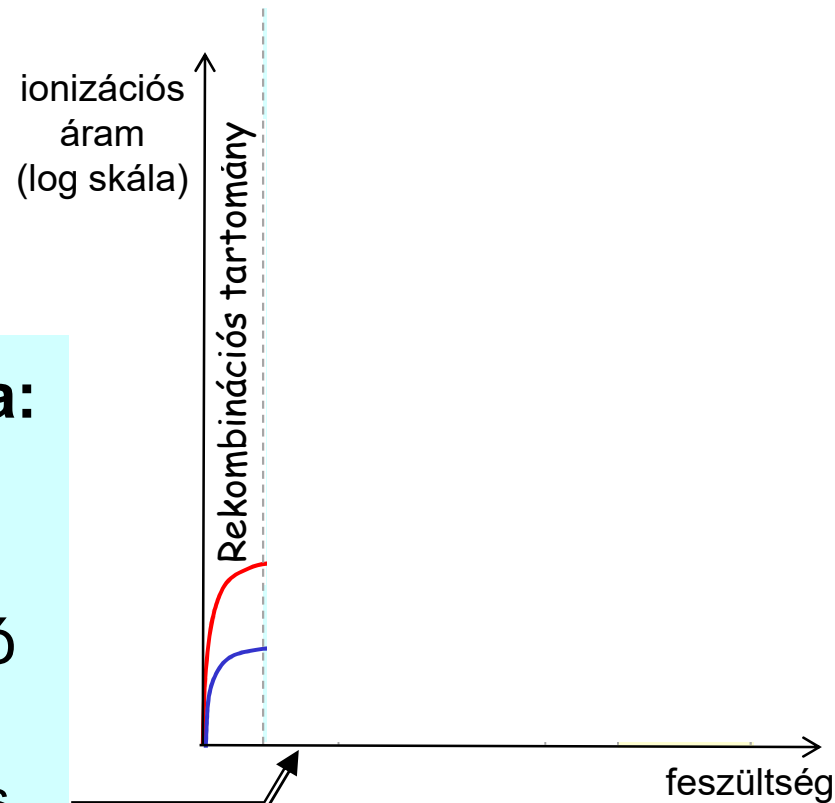
Ionizáció alapuló detektálás

1. Ionizációs kamra

Ionizációs kamra:

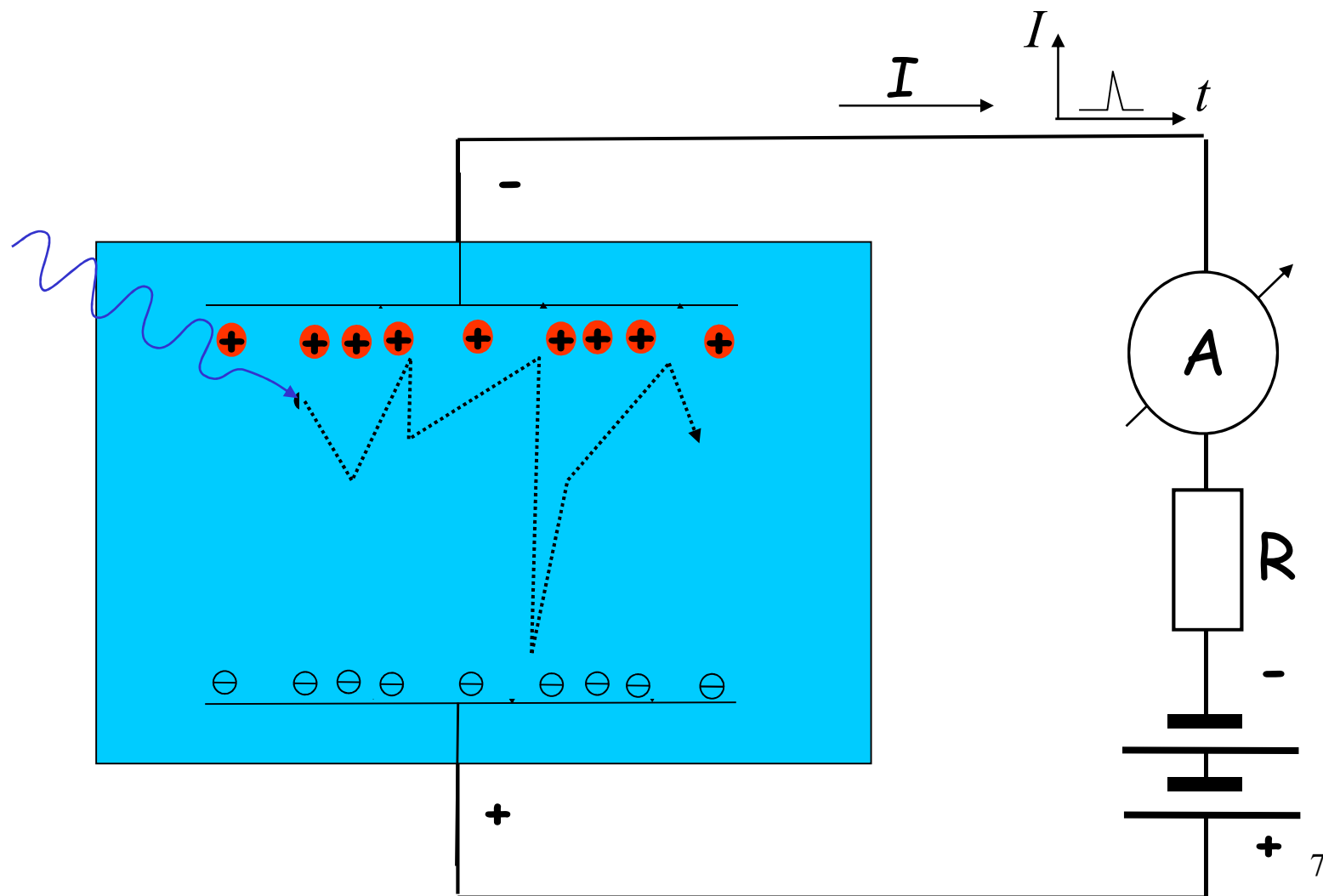
összegyűjti az
összes iont, a
sugárzás ionizáló
hatását méri

ld. még dózismérés



Ionizáció alapuló detektálás

2. Proporcionális számláló tartomány



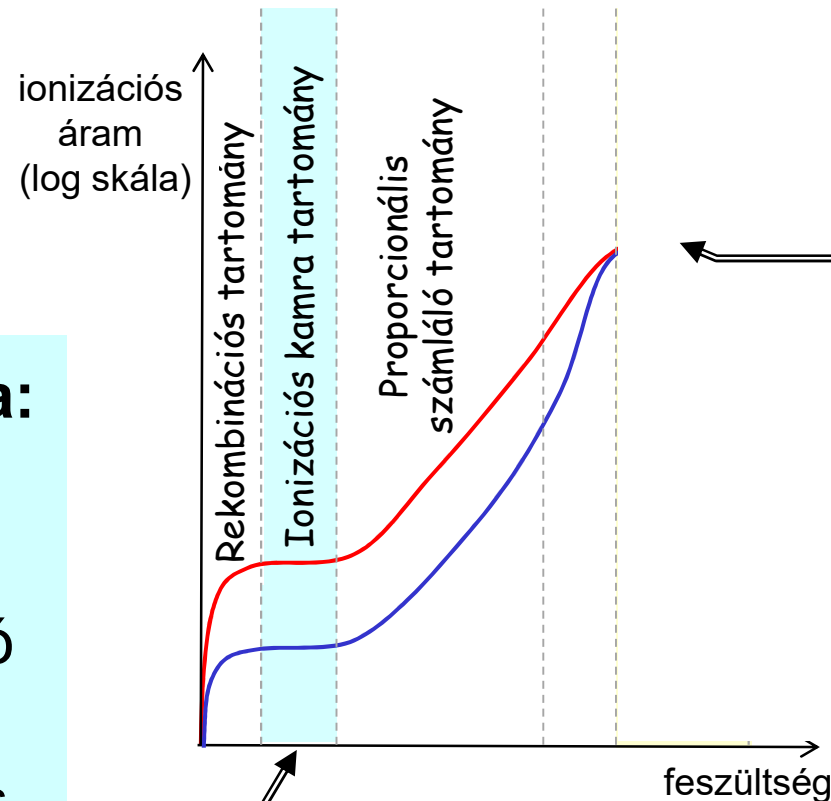
Ionizáció alapuló detektálás

3. Geiger-Müller tartomány

Ionizációs kamra:

összegyűjti az összes iont, a sugárzás ionizáló hatását méri

Id. még dózismérés



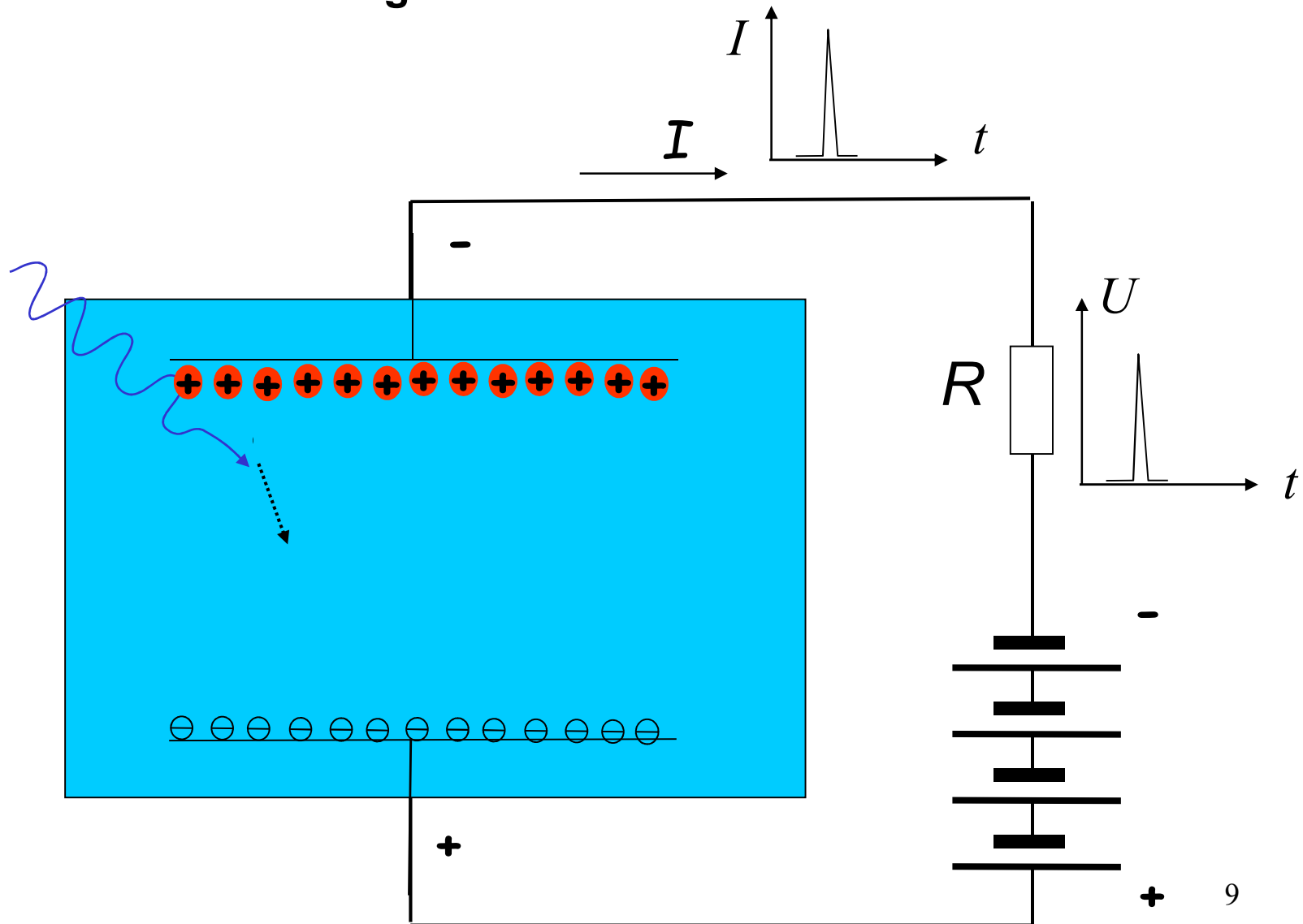
Geiger-Müller
tartomány:

lavina-
effektus,
részecske

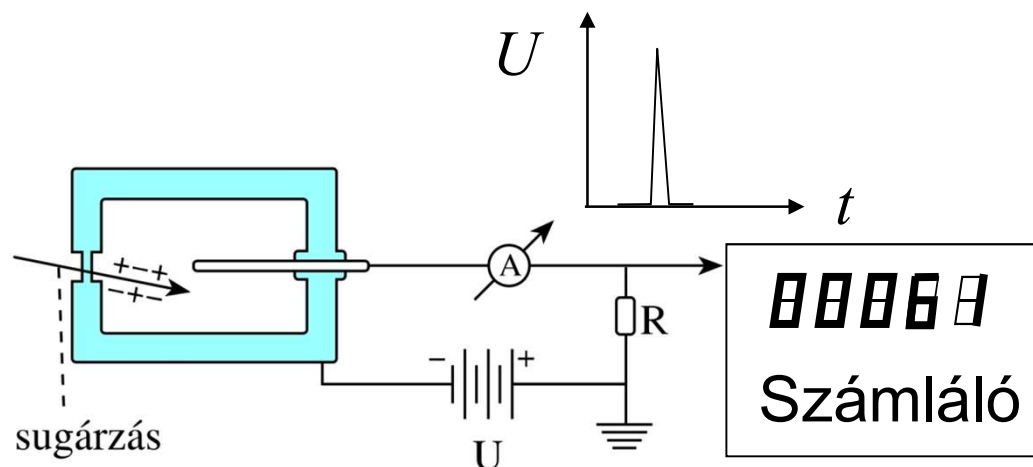
↓
feszültség
impulzus

Ionizáció alapuló detektálás

3. Geiger-Müller számlálócső



G-M számláló



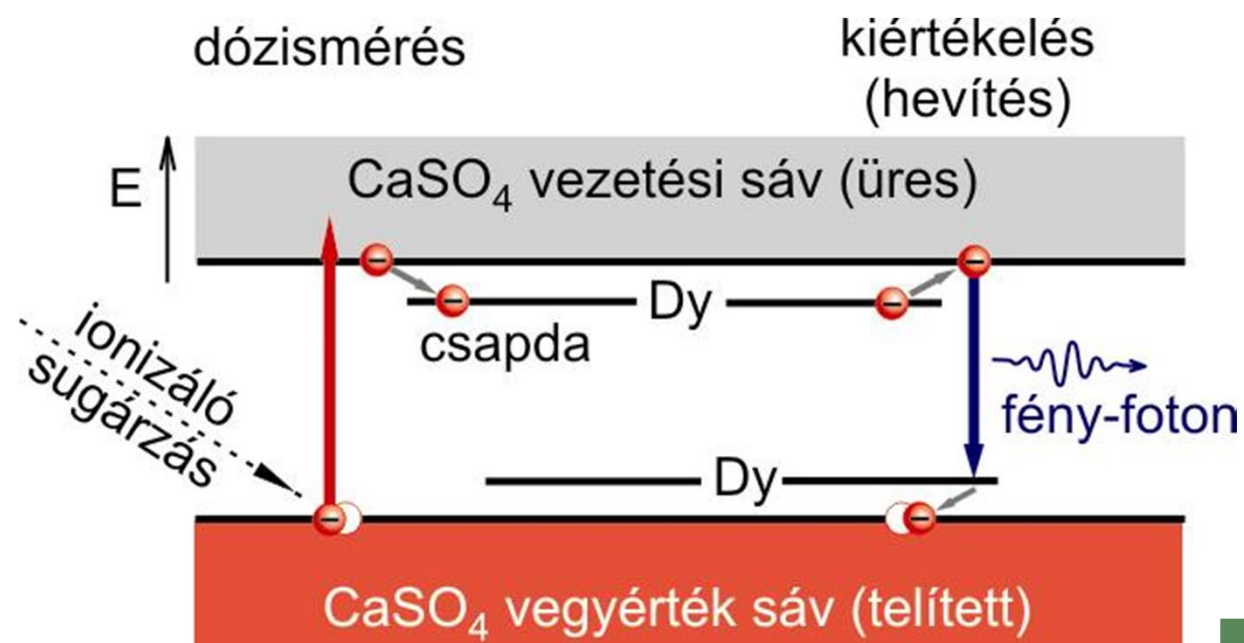
előnye: egyszerű felépítés

hátránya: kis érzékenység γ sugárzásra
energiaszelektivitás hiánya

alkalmazása: főleg dozimetriában



Termolumineszcencia

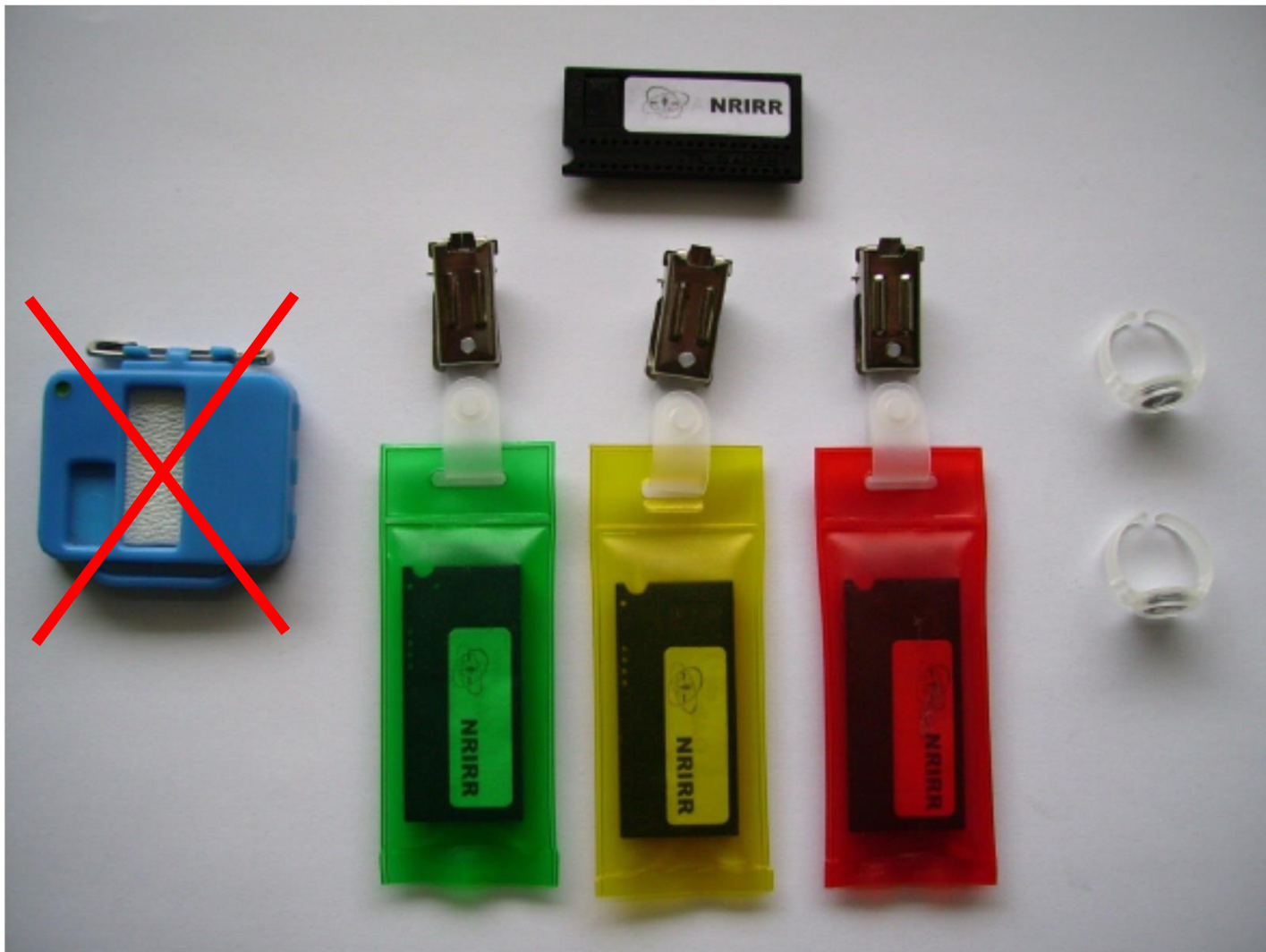




ISS002E7814 2001/06/26 09:17:48

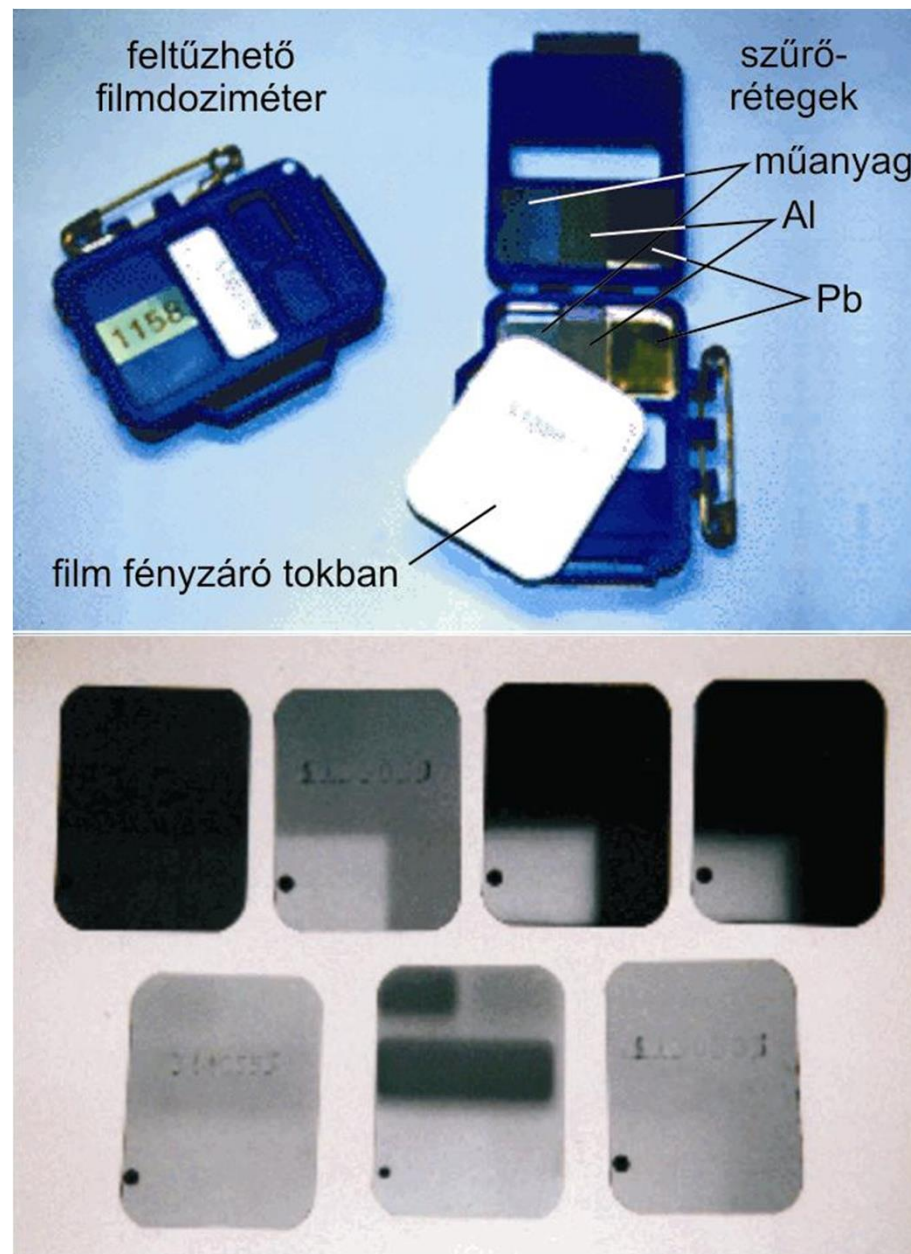
**Jim Voss amerikai űrhajós a Pille kiértékelő egységébe helyezi a dózismérőt.
(Fotó: NASA ISS002E7814)**

Személyi dozimetria



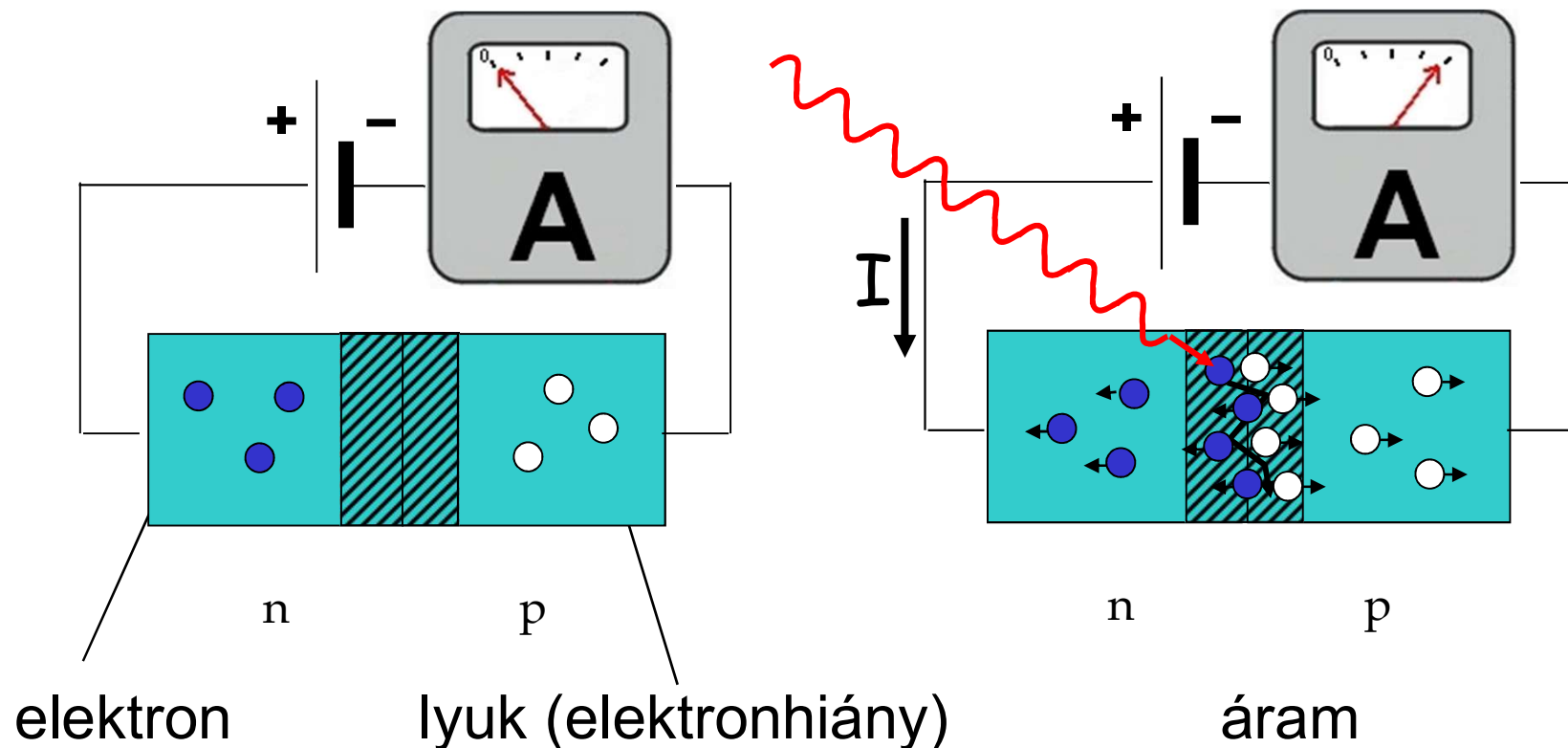
Fotokémiai detektálás

elavult



Félvezető detektor

Elv: félvezető dióda záróirányban
a sugárzás szabad töltéshordozókat kelt



Félvezetű detektor a diagnosztikában



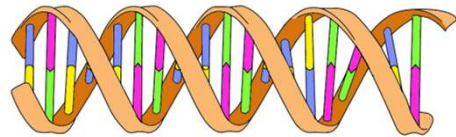
Félvezető detektor a dozimetriában



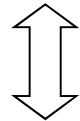
Az ionizáló sugárzások biológiai hatása



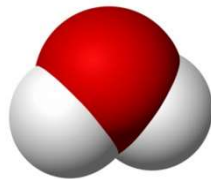
A sugárhatás mechanizmusa



direkt



indirekt



Fizikai fázis:

10^{-17} - 10^{-12} s Ionizáció

Kémiai (biokémiai) fázis:

10^{-10} - 1s: szabad gyökös reakc.

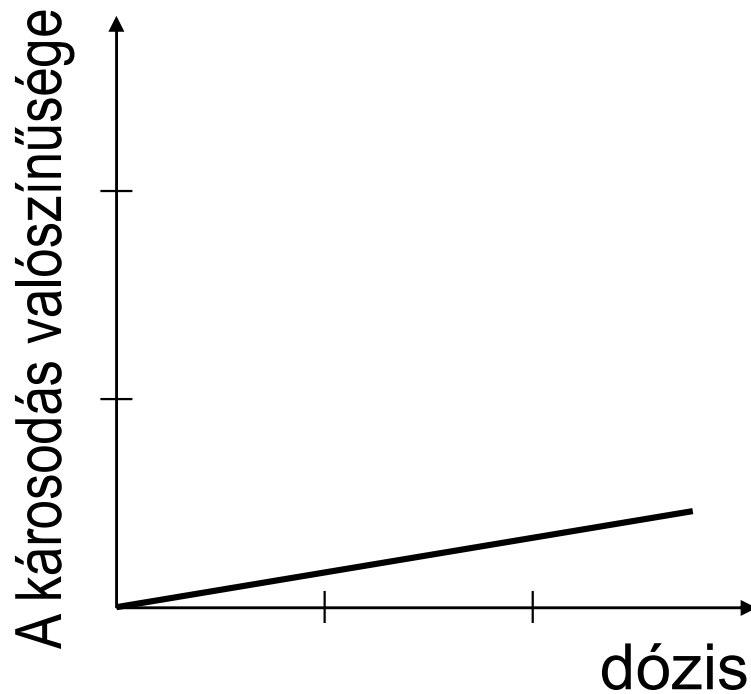
Biológiai fázis:

órák: szöveti változások

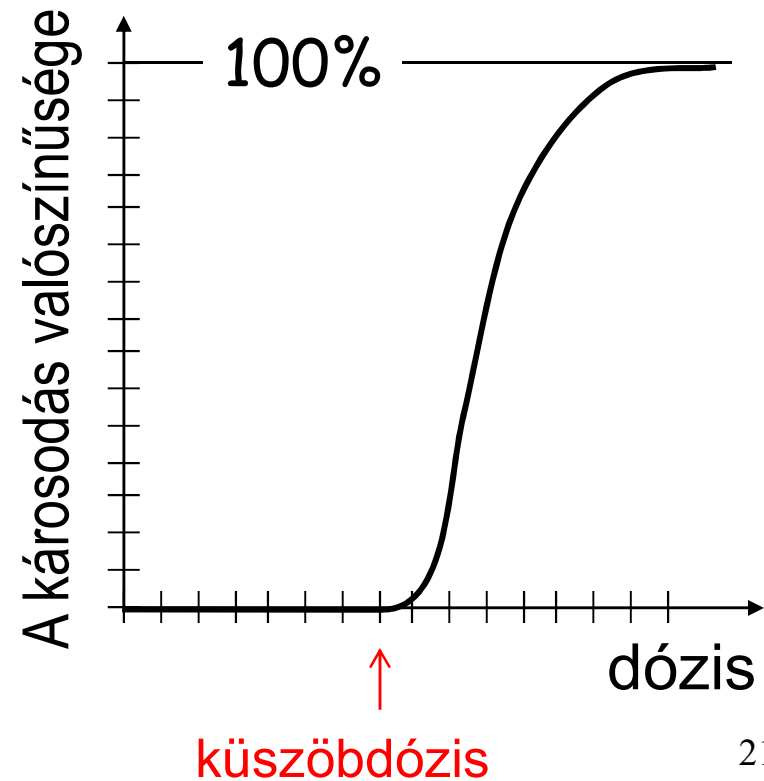
napok-évek: gyomor-béltraktus vált.
vérképző rsz. károsod.
szomatikus változások

A sugárhatás osztályozása

Sztochasztikus



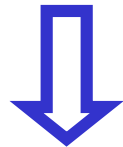
Determinisztikus



A sugárhatás osztályozása

Sztochasztikus

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



sugárbalesetek
Sugárterápia

Dózisfogalmak

1. Elnyelt dózis

Elnyelt dózis:

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

A dm tömegű
anyaggal a
sugárzásból
elnyelt energia

Mértékegysége J/kg = Gy

➡ Egységnyi tömeg által elnyelt 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
 - ...

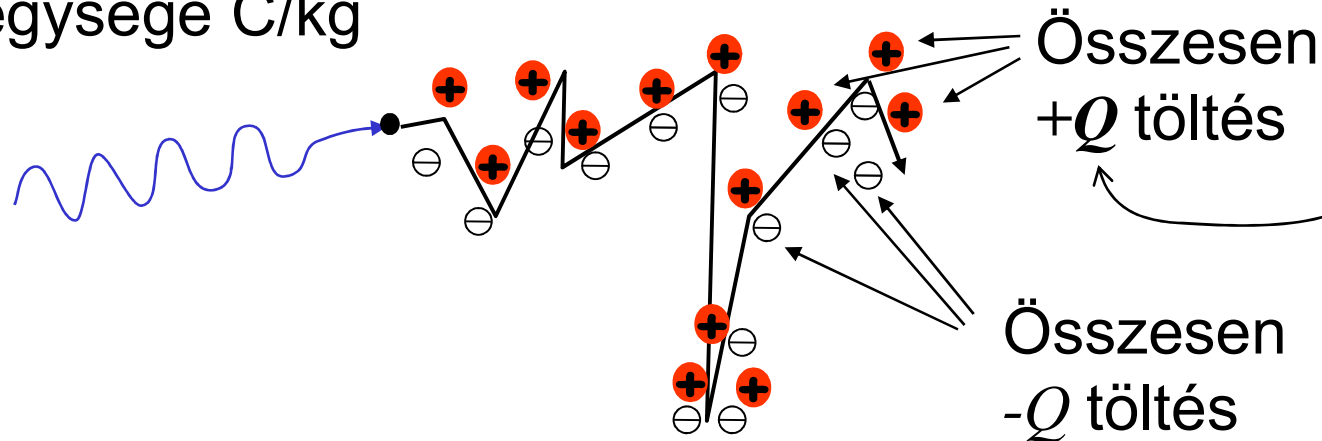
Dózisfogalmak

2. Besugárzási dózis

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

Csak γ és röntgensugárzásra, levegőben!

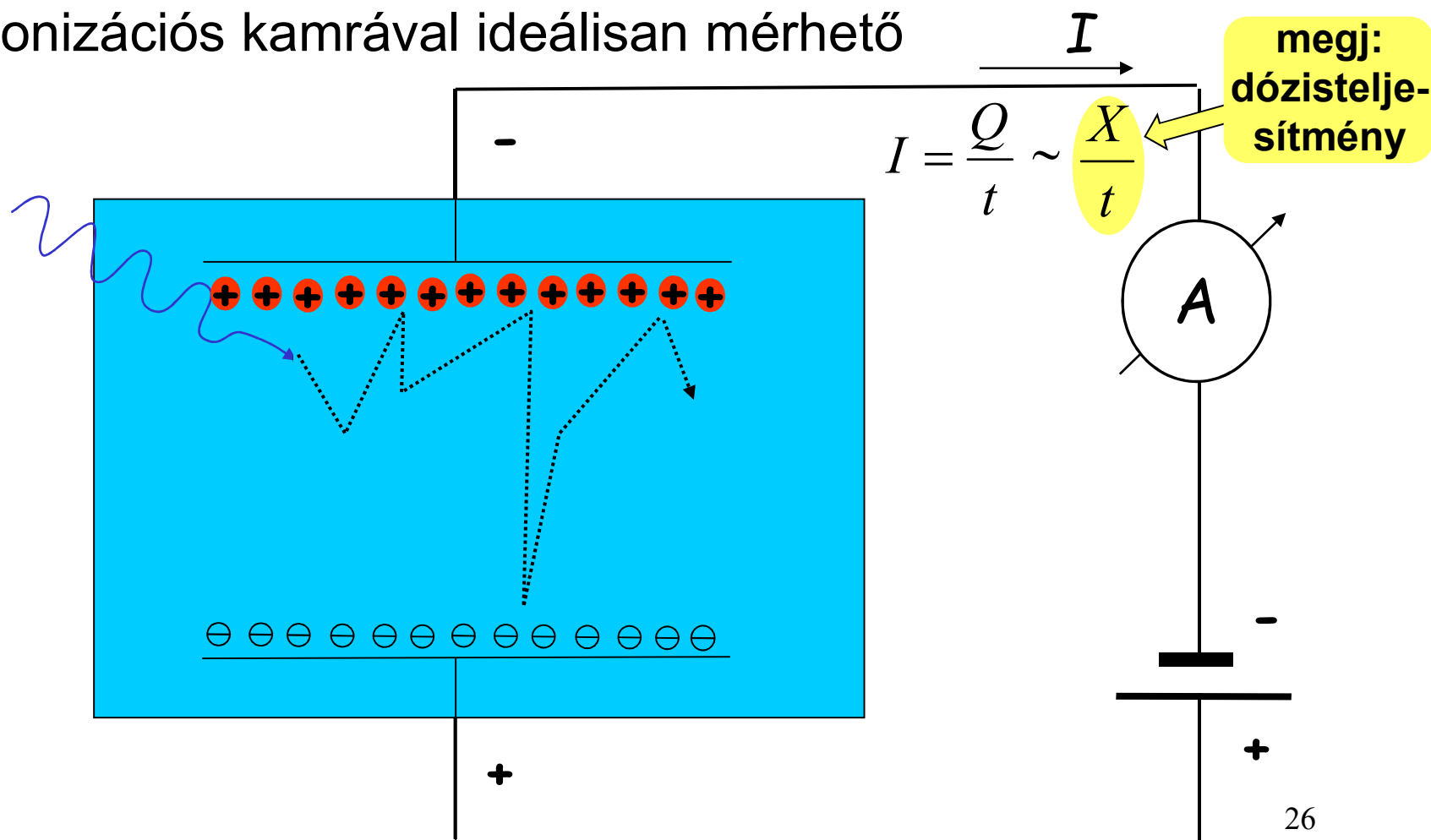
Mértékegysége C/kg



Besugárzási dózis:

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

Ionizációs kamrával ideálisan mérhető



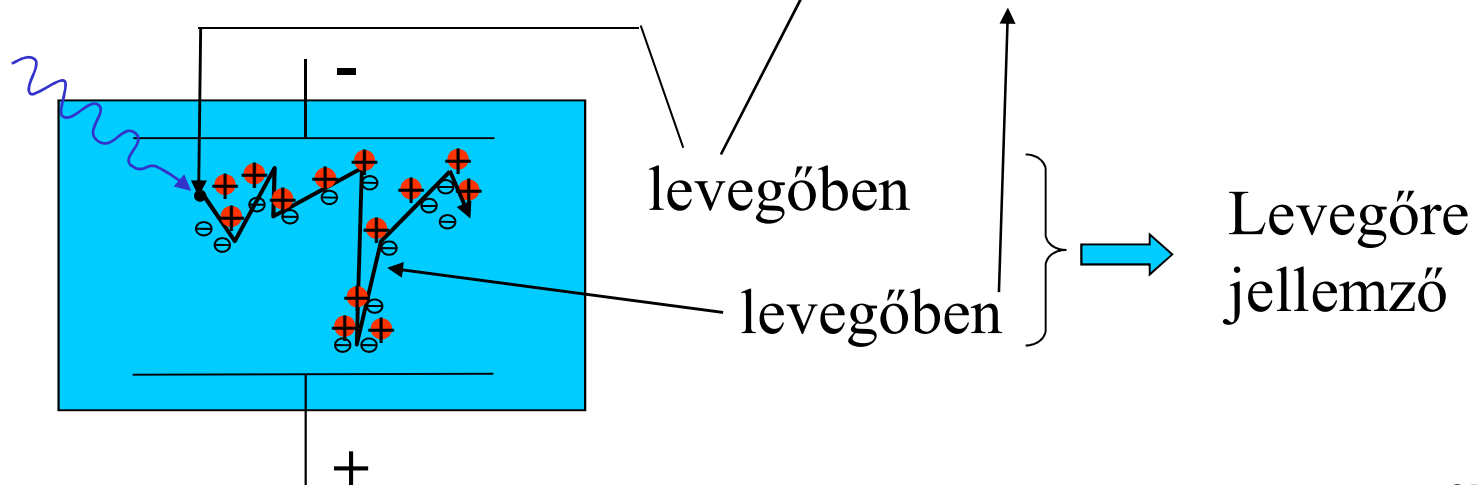
Besugárzási dózis:

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

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:

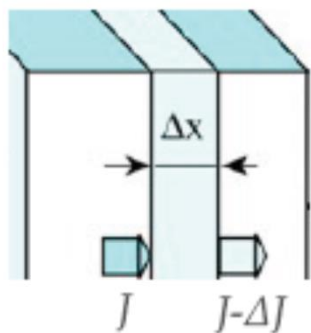
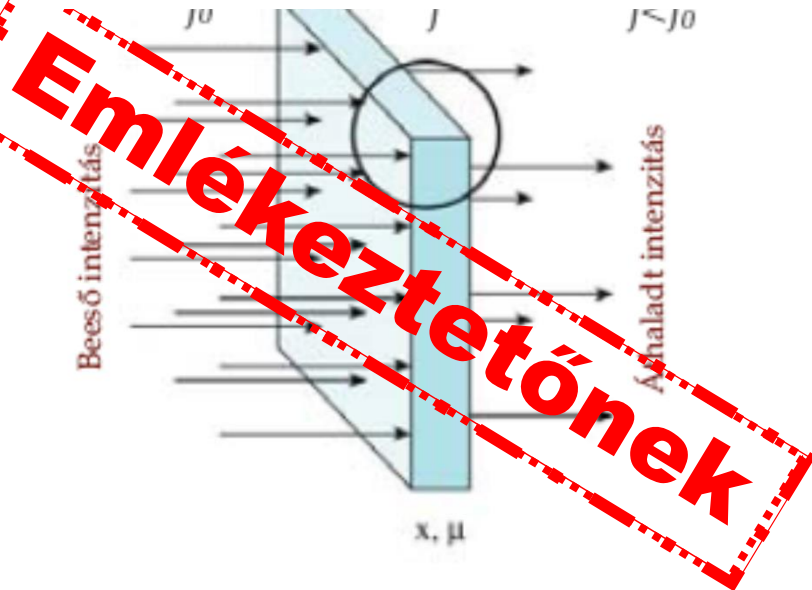
Levegőben 1 ionpár keltéséhez 34 eV energia szükséges*

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

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

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

Levegőben mért dózis átszámolása a szövetekben elnyelt dózissra



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:

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

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

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

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

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

Az elnyelt dózis számolása γ sugárzó izotóp esetén

Pontsugárzó esetén:

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

K_{γ} : dóziskonstans $\left[\frac{\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}} \right]$

Λ : 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}Cs izotópra:

1GBq ^{137}Cs 1 m távolságban 80 $\mu\text{Gy/h}$ –t okoz

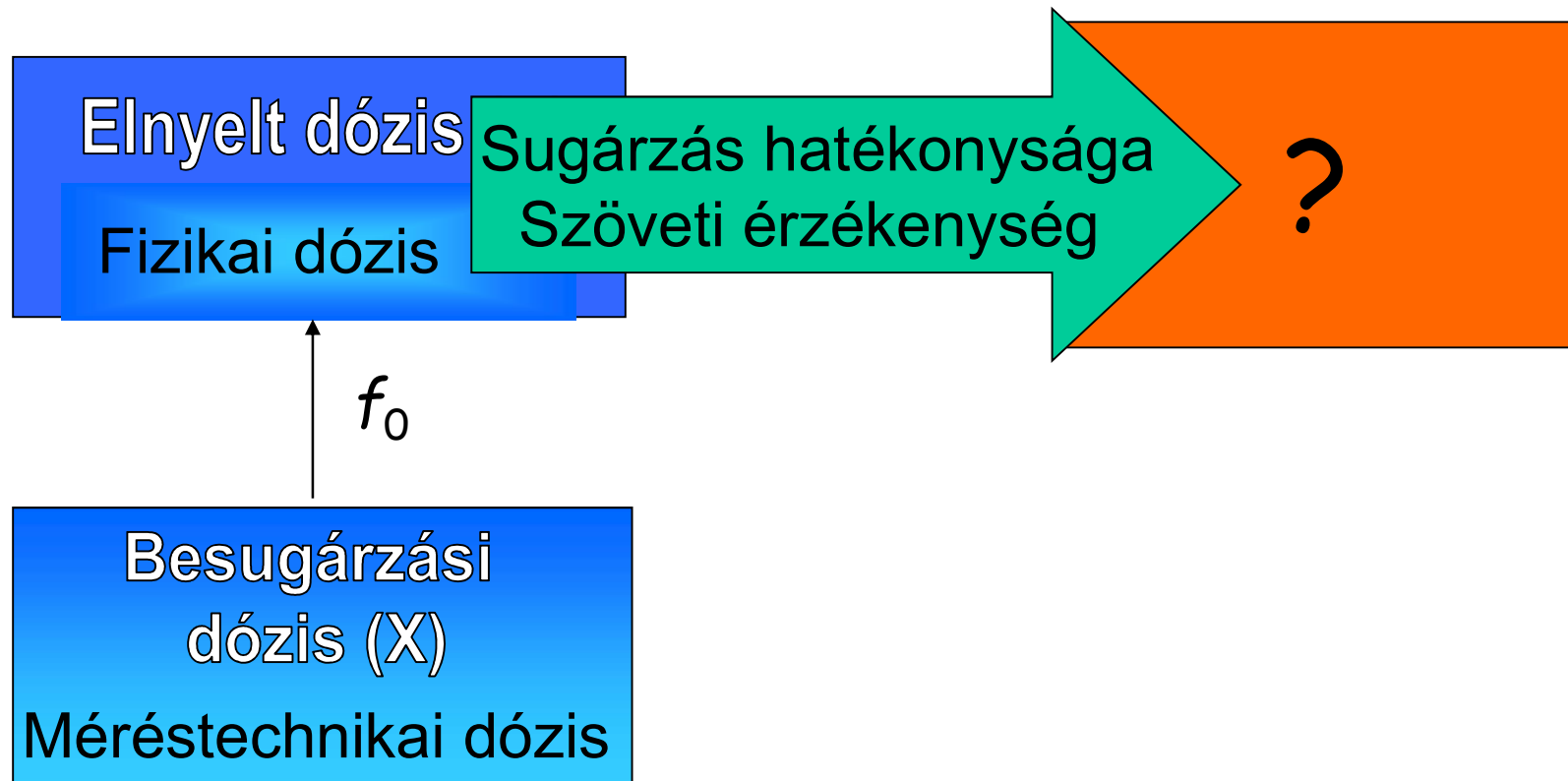
800 x háttérsugárzás 

Eddigi dózisfogalmak:

*A sugárzást jellemző
fizikai mennyiségek*



Biológiai hatás



A biológiai hatás...

→ **Determinisztikus hatás** (pl. sugárterápiánál)

Tipikusan

- egyfajta sugárzással
- egyfajta szövetet sugározzunk be

Elnyelt dózis

arányos

Biológiai hatás

→ **Sztochasztikus hatás** (pl. sugárvédelemben)

Tipikusan

- többfajta sugárzás
- többfajta szövetet ér

Elnyelt dózis

súlyozottan
összegzendő

Biológiai hatás



+

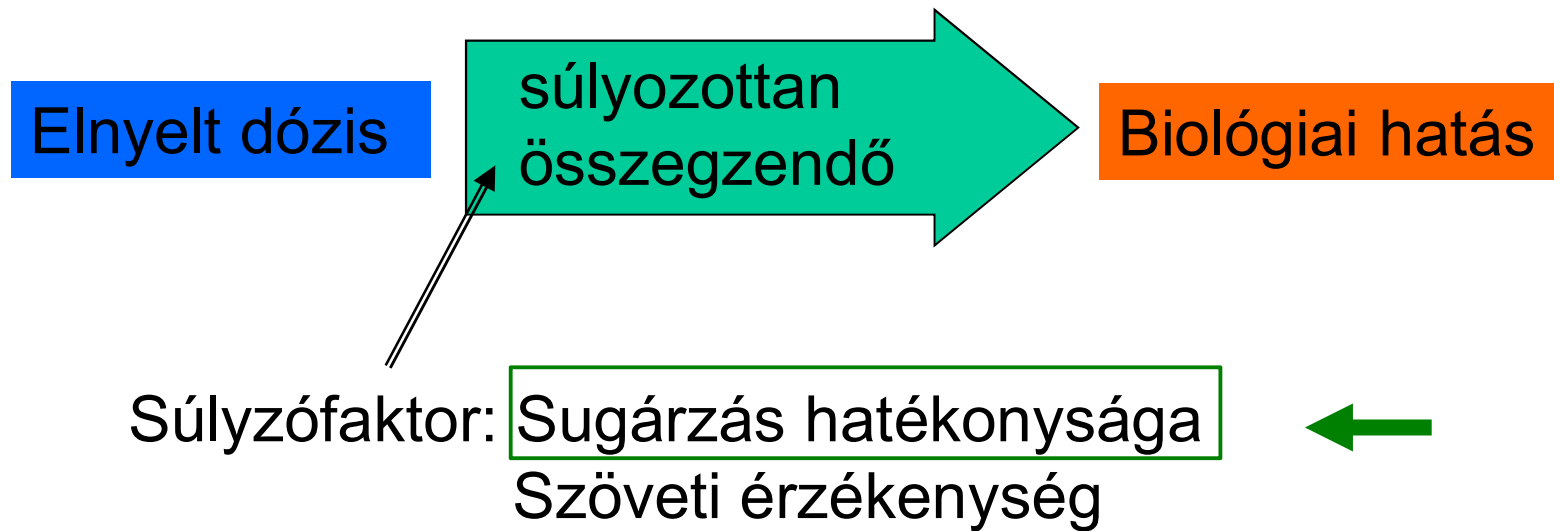


+



=





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:

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

w_R súlytényező

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

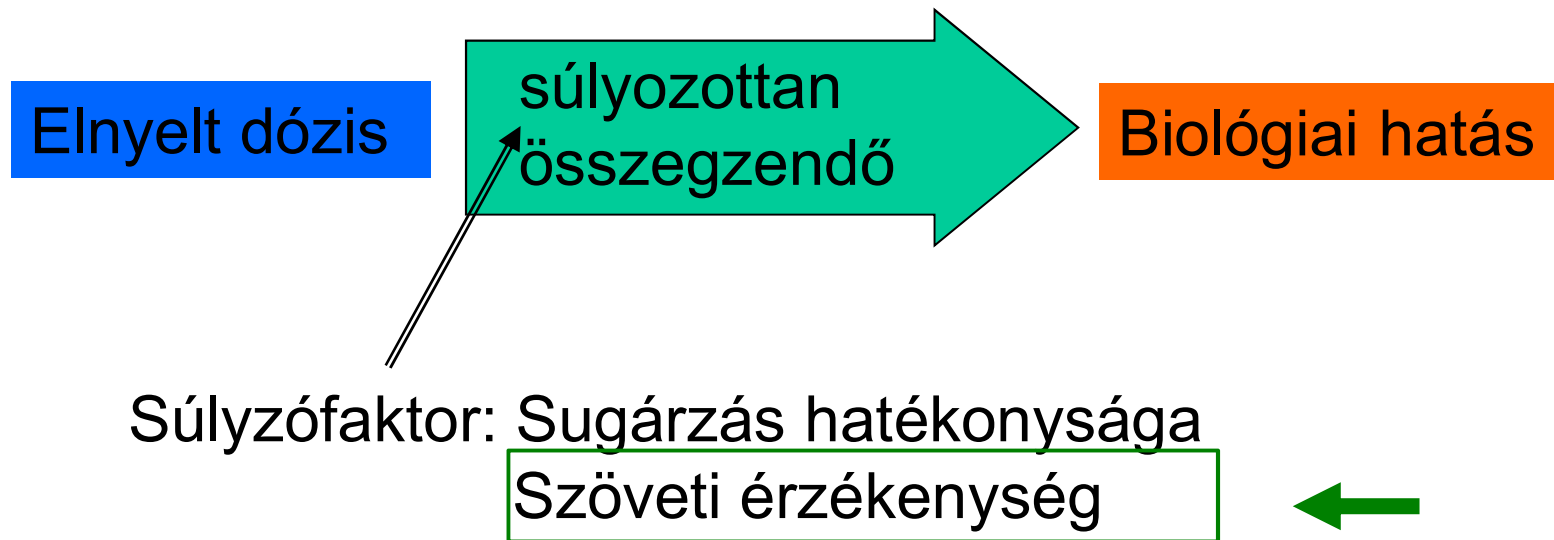
ICRP
↓
EU
↓

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 2
Alfa részecskék		20

*2016 jan 1-től:
folytonos fv.

*487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet 2/2022 OAH rendelet

az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről



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_T súlytényező

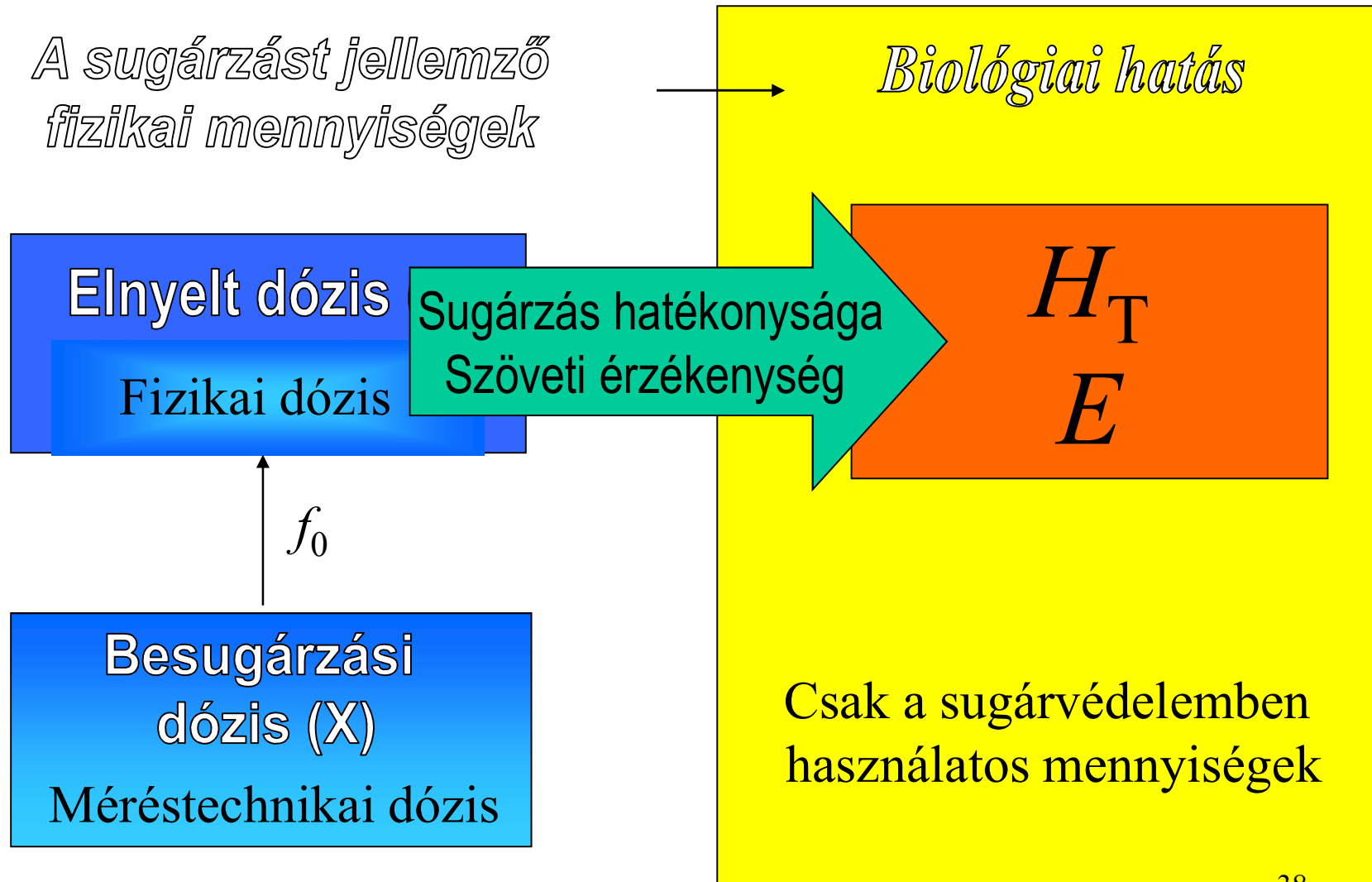
Megmutatja, hogy az illető szövet-szerv milyen hányadban vesz részt a teljes károsodásban akkor, ha homogén sugárzás érte a az egész testet.

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, szájnyálkahártya, hasnyálmirigy, prosztata (férfiak), vékonybél, lép, csecsemőmirigy, méh/méhnyak (nők).

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet 2/2022 OAH rendelet

Dózisfogalmak összefoglalása



Sugárvédelem

Sugárforrásokkal dolgozók:

Indokoltság

Optimálás

Korlátozás

Sztochasztikus hatás ésszerű
redukálása

Determinisztikus hatás kizárása,
Dóziskorlátok

Páciensek:

Indokoltság: cost-benefit elv

Optimálás: diagnosztikai irányadó szintek

Páciensdózisok mérése és dokumentálása

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
páciensre **nincs** !



Dóziskorlátok*

≠megengedett dózis!

Foglalkozási dóziskorlát munkavállalókra

– egész testre 20 mSv/ év

(kb. 10 μ Sv/munkaóra)**

– szemlencsére 20 mSv/év

– bőrre 500 mSv/év

– végtagokra 500 mSv/év

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

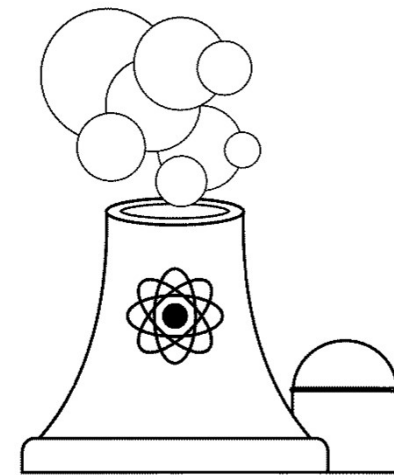
**v.ö.: háttérsugárzás dózistelj: $\approx 0,1 \mu\text{Sv/h}$

Dóziskorlátok

≠megengedett dózis!

Lakossági dóziskorlát*

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



- csak a mesterséges forrásokból származó dózistra vonatkozik
- nem számít ide az orvosi tevékenységből adódó dózis

**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

Egyézszttest besugárzás esetén: ~~medián halálos~~ félhalálos dózis: 4 Gy

halálos dózis

6 Gy

Néhány jellemző dózis

ill. dózisteljesítmény

Természetes háttérsugárzás*: 2,4 mSv/év

Ennek fele a Rn-ból.

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 (lokálisan, 2 Gy frakc.)

44

* <https://katasztrofavedelem.hu/modules/hattersugarzas/terkep>

Dóziskorlátok-veszélyek

Elfogadható kockázattal járó sugárterhelés

Ez alatt sem biztonságos a sugárzással végzett munka!

(a sztochasztikus károsodás arányos a dózissal!)

Minden veszélyes!

cost-benefit elv



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

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

<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2200002.oah>



Érdekes olvasmány:

<https://www.universityofcalifornia.edu/news/what-know-you-go-bananas-about-radiation>

