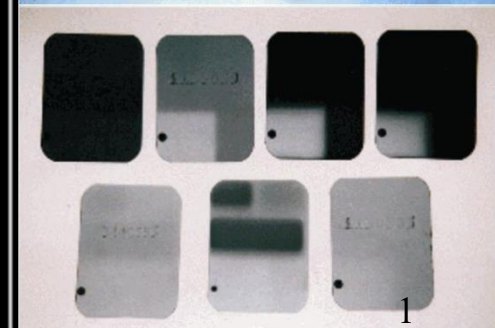
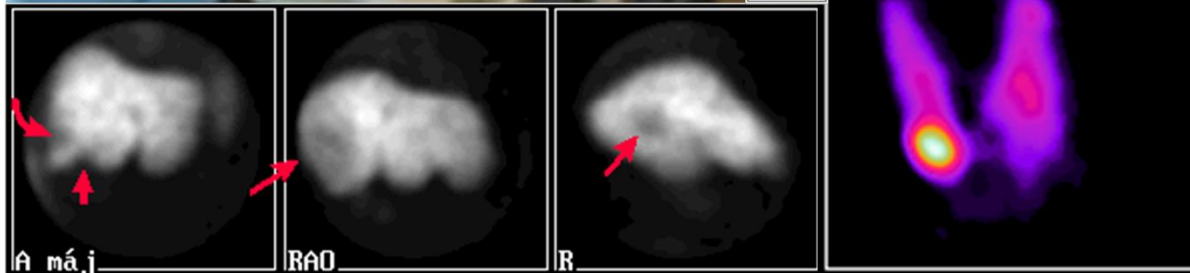


# Dozimetria, sugárvédelem

## Nukleáris mérés technika

### A magsugárzások

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



# A mag sugárzások mérése

szcintillációs számláló

gázionizáción alapuló detektorok

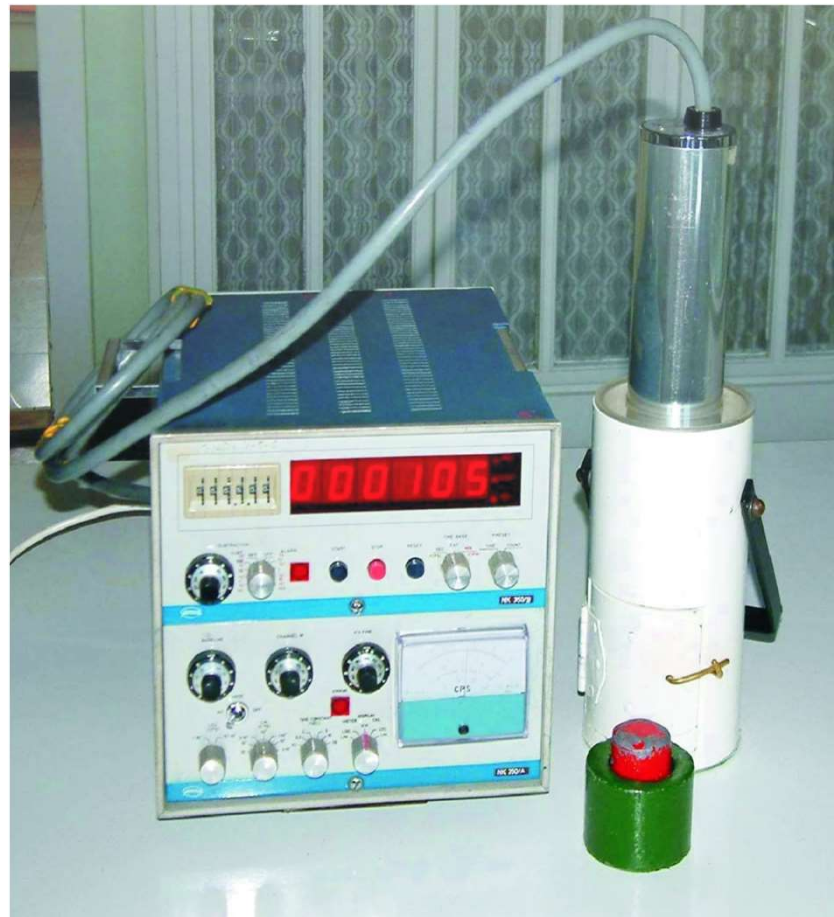
termolumineszcens doziméter

~~fotográfiai (film) módszerek~~

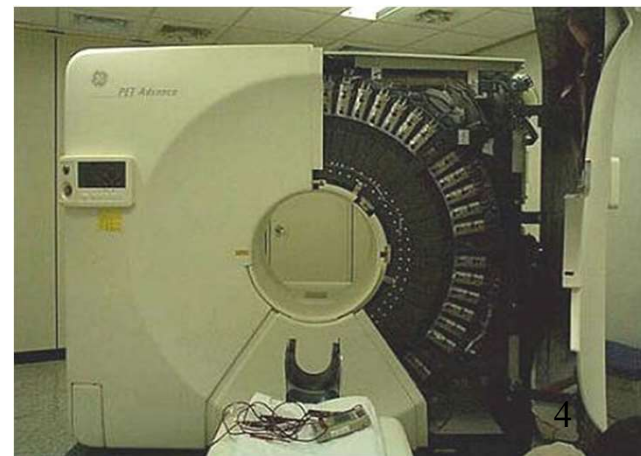
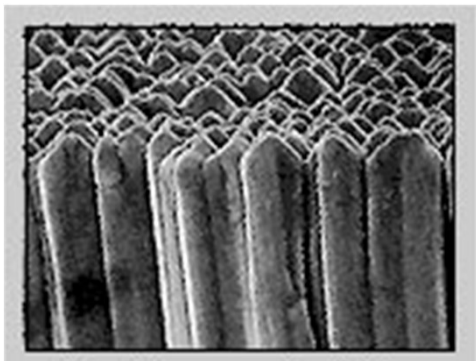
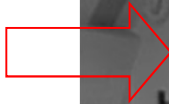
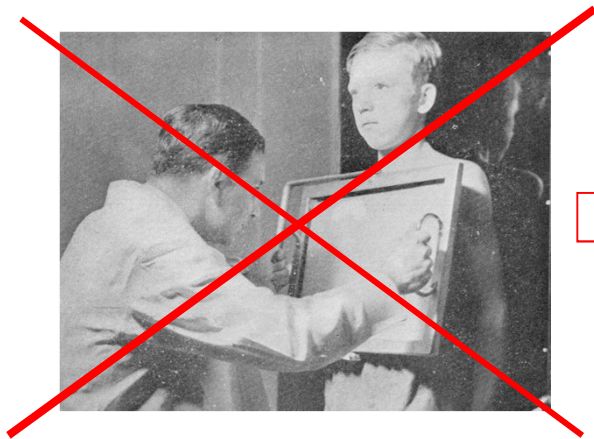
félvezető detektor

# Szcintillációs detektor

1d. gyakorlat

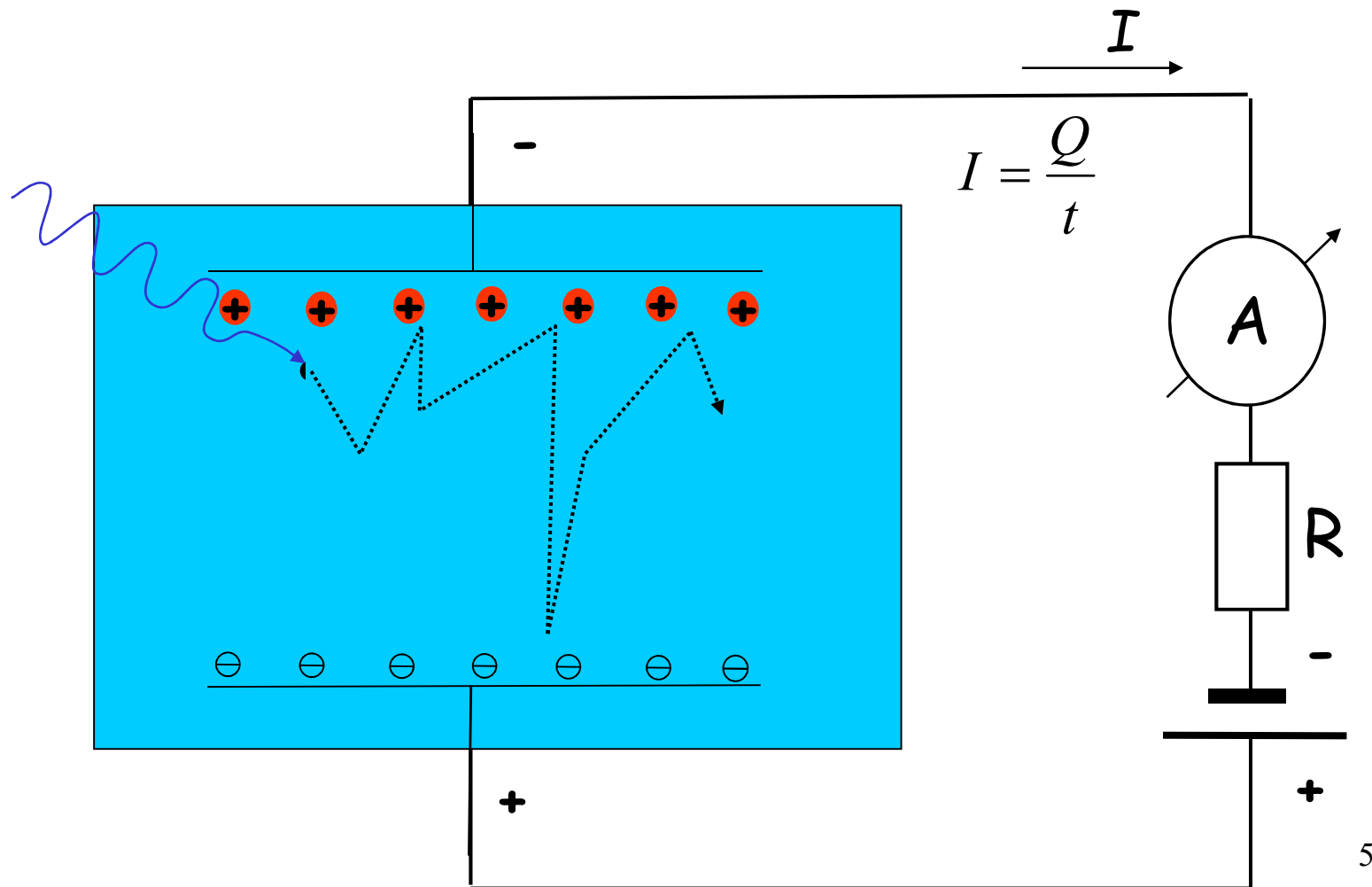






# Gázonizáció alapuló detektálás

## 1. Ionizációs kamra



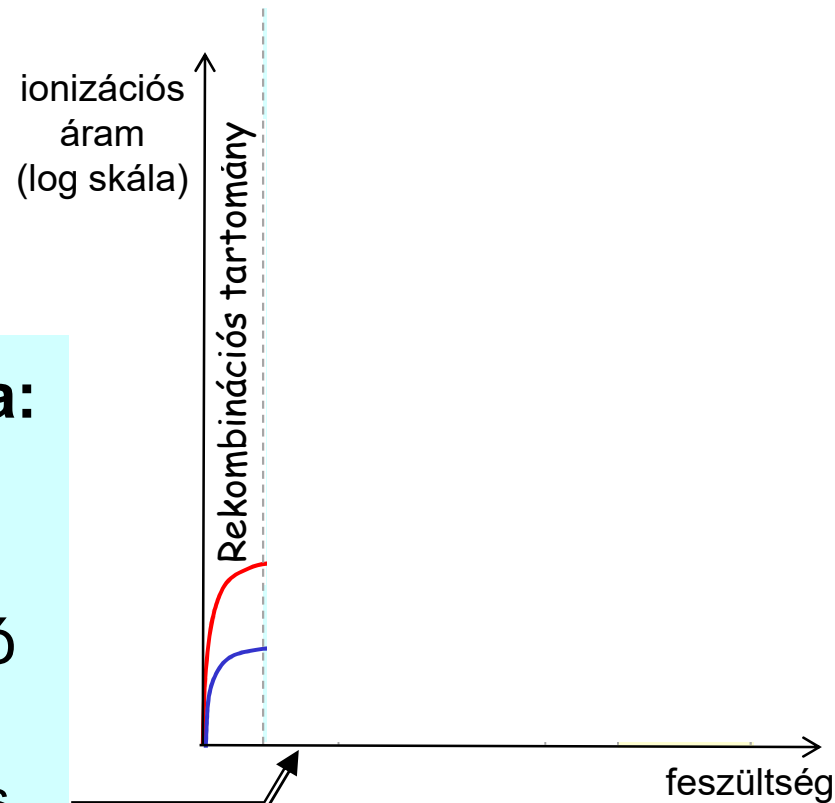
# Ionizáció alapuló detektálás

## 1. Ionizációs kamra

### Ionizációs kamra:

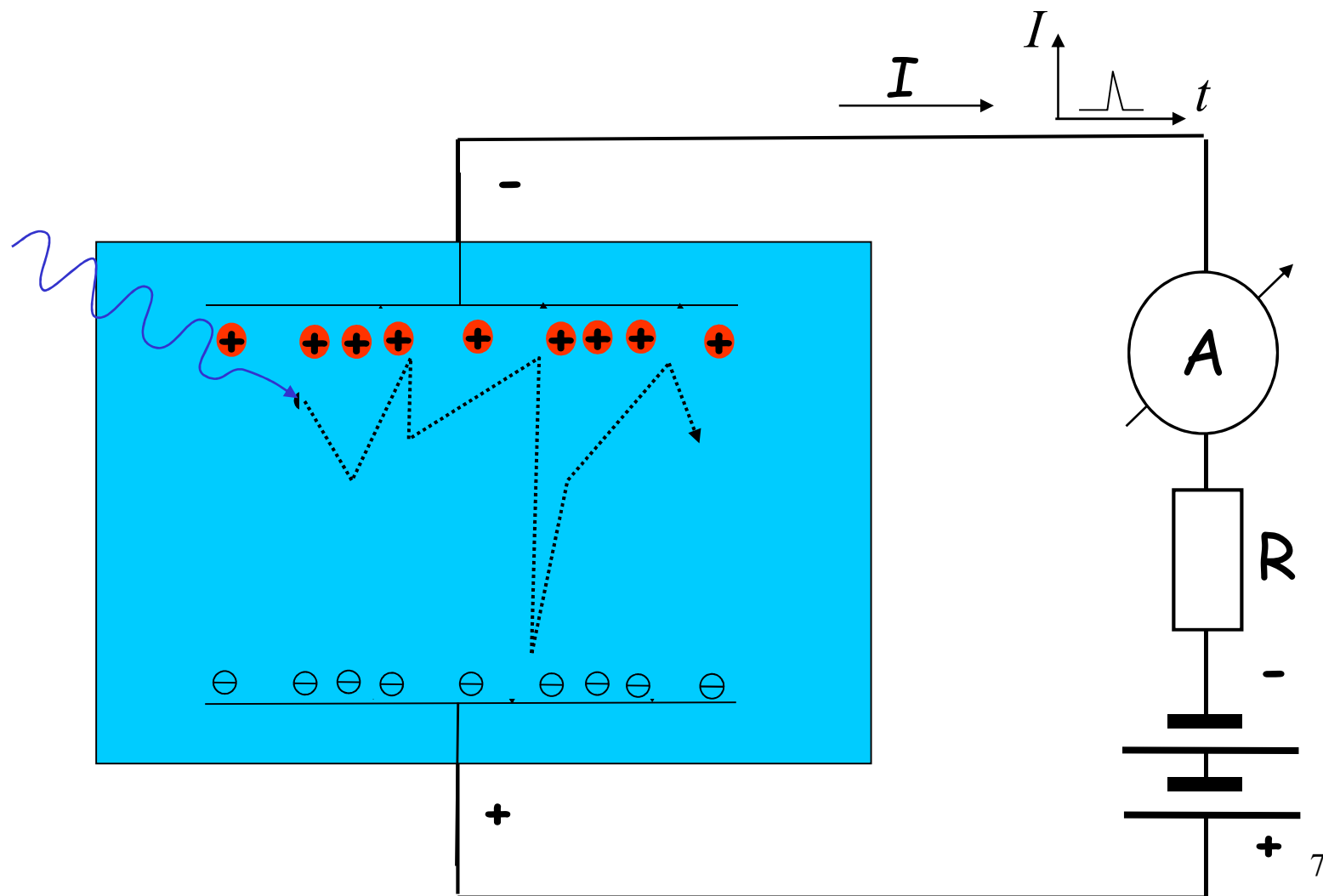
összegyűjti az  
összes iont, a  
sugárzás ionizáló  
hatását méri

ld. még dózismérés



# Ionizáció alapuló detektálás

## 2. Proporcionális számláló tartomány



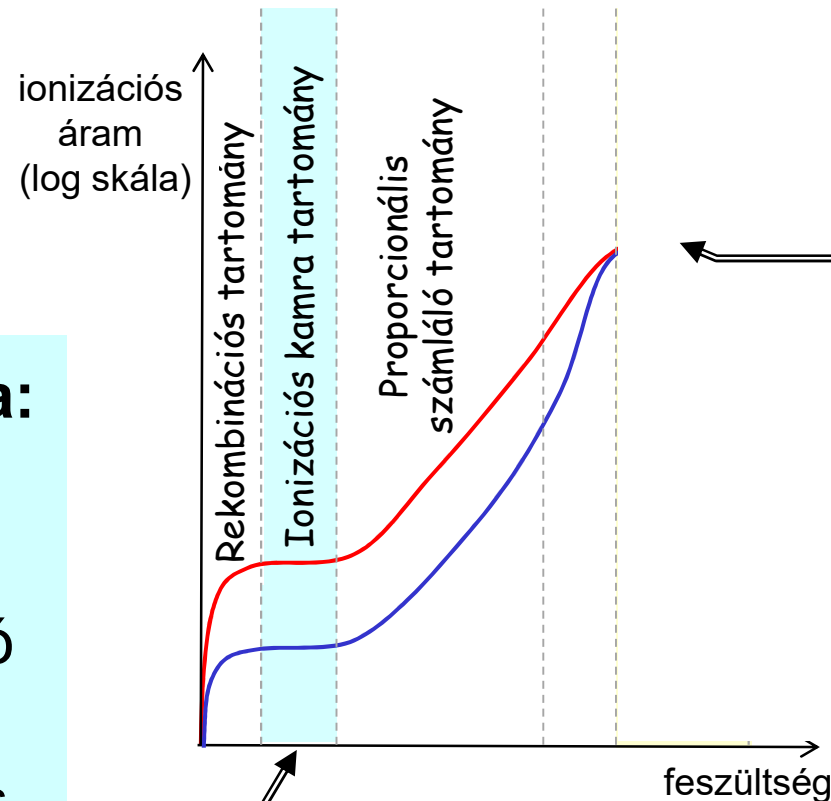
# Ionizáció alapuló detektálás

## 3. Geiger-Müller tartomány

### Ionizációs kamra:

összegyűjti az összes iont, a sugárzás ionizáló hatását méri

Id. még dózismérés



**Geiger-Müller**  
tartomány:

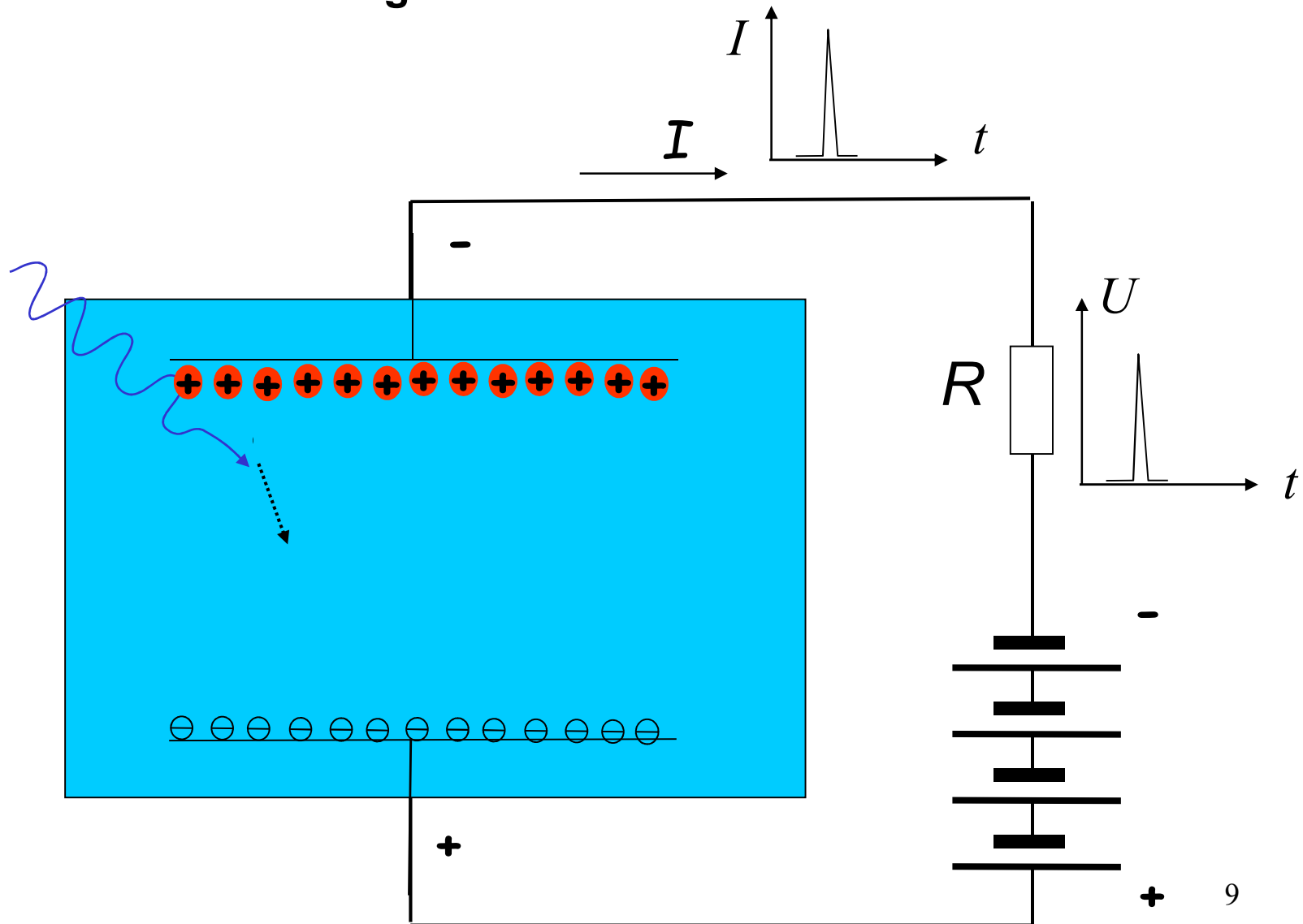
lavina-  
effektus,  
részecske

↓  
feszültség  
impulzus

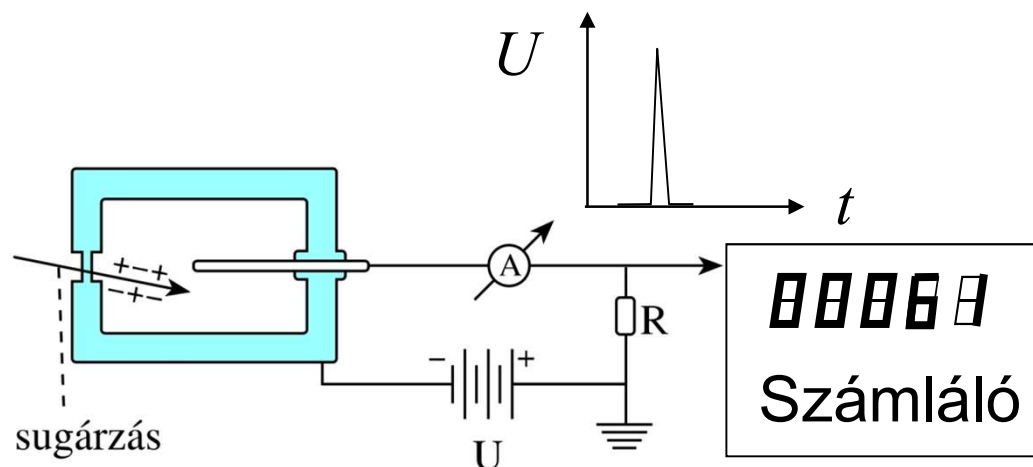


# Ionizáció alapuló detektálás

## 3. Geiger-Müller számlálócső



# G-M számláló



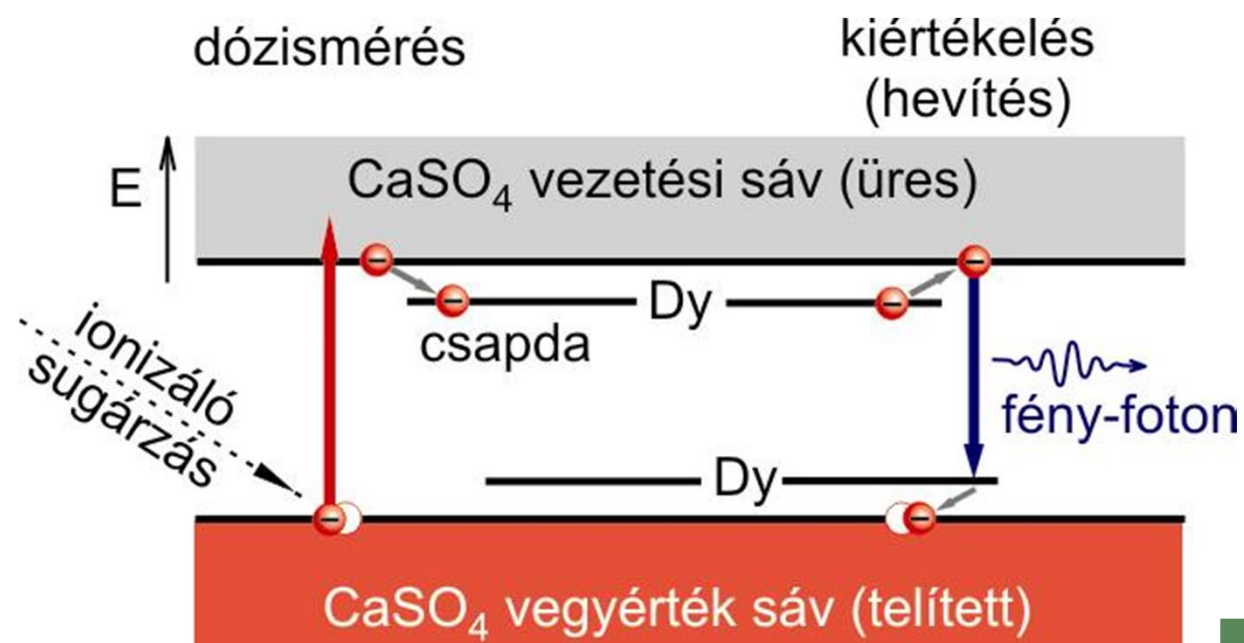
előnye: egyszerű felépítés

hátránya: kis érzékenység  $\gamma$  sugárzásra  
energiaszelektivitás hiánya

alkalmazása: főleg dozimetriában



# Termolumineszcencia



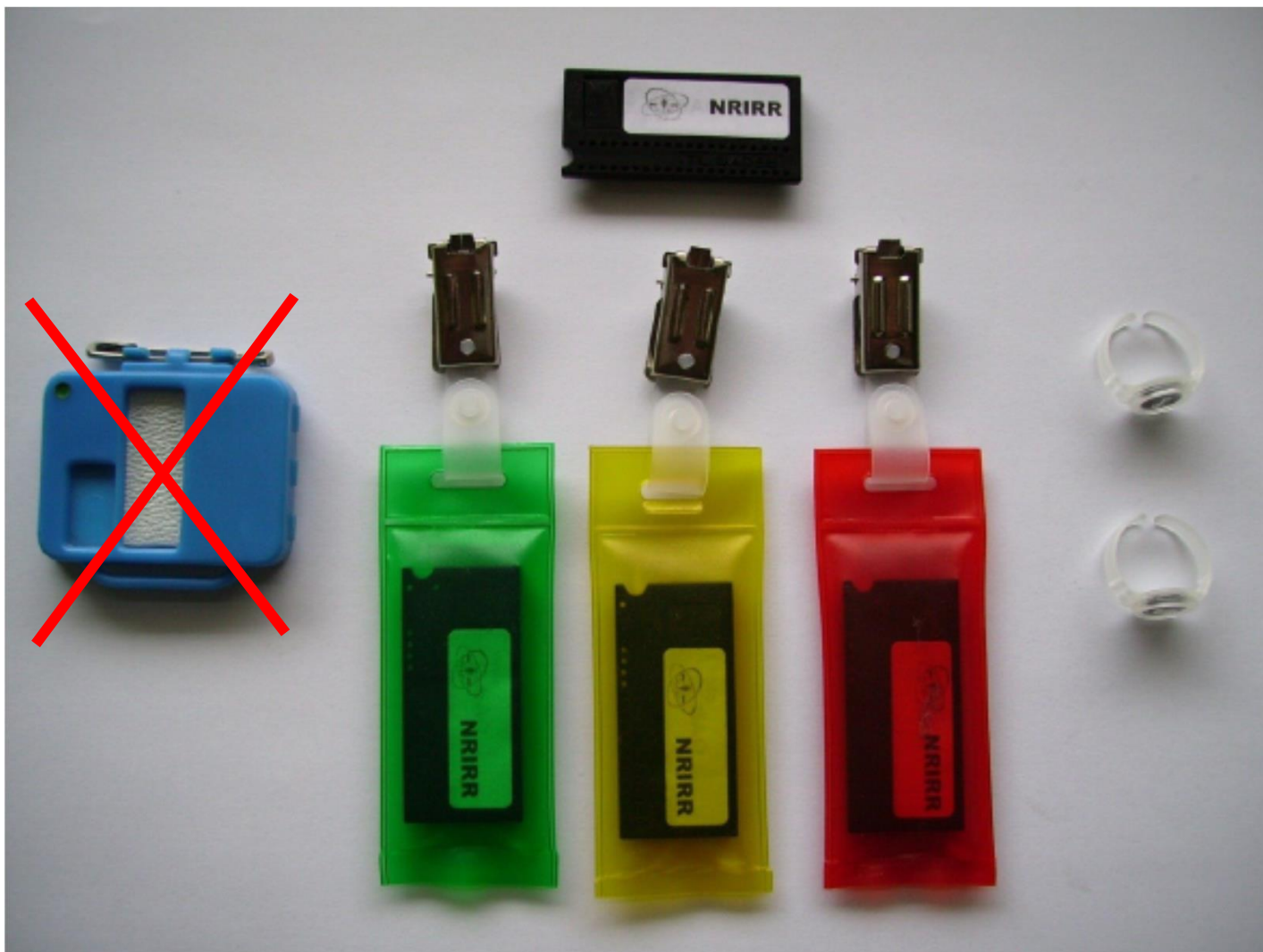


ISS002E7814 2001/06/26 09:17:48

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



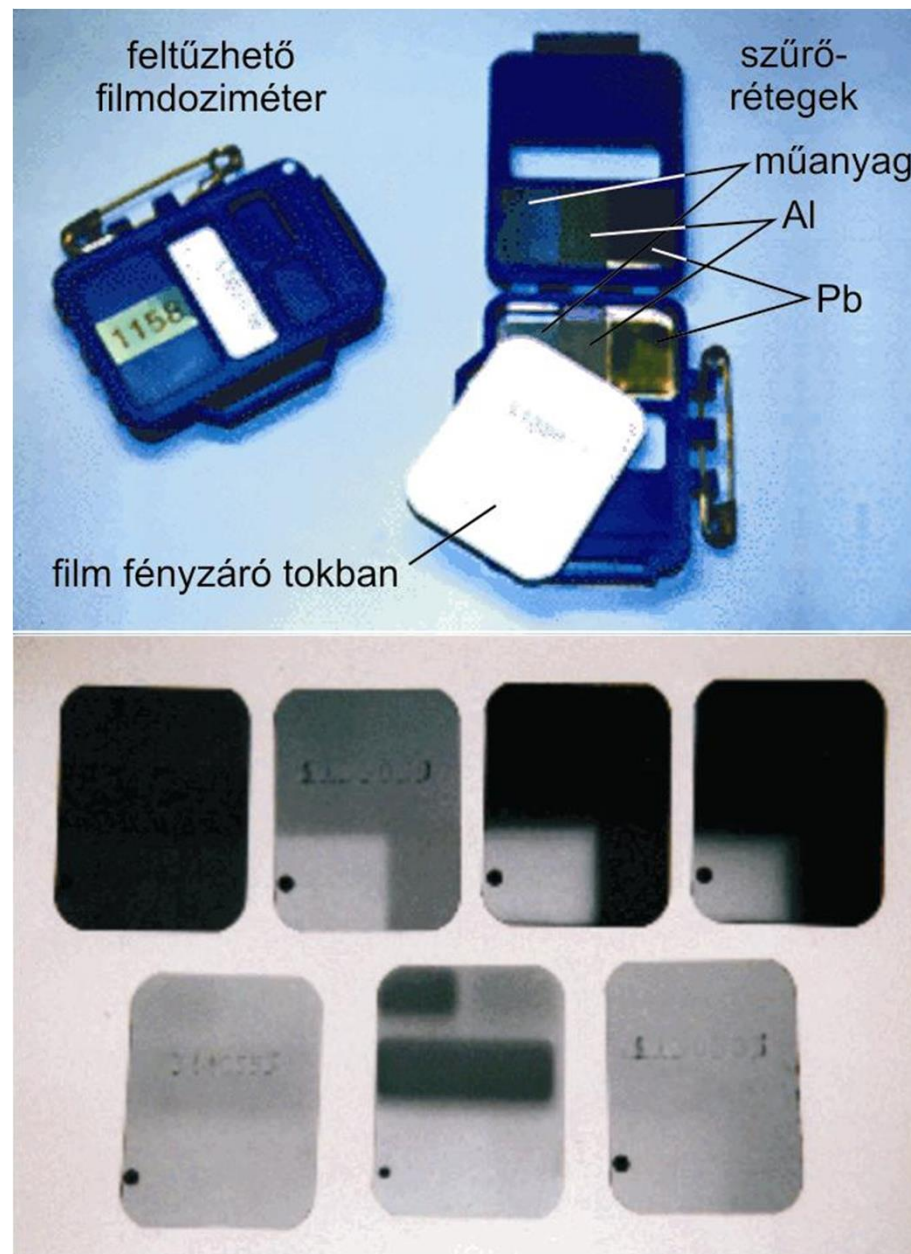
# Személyi dozimetria





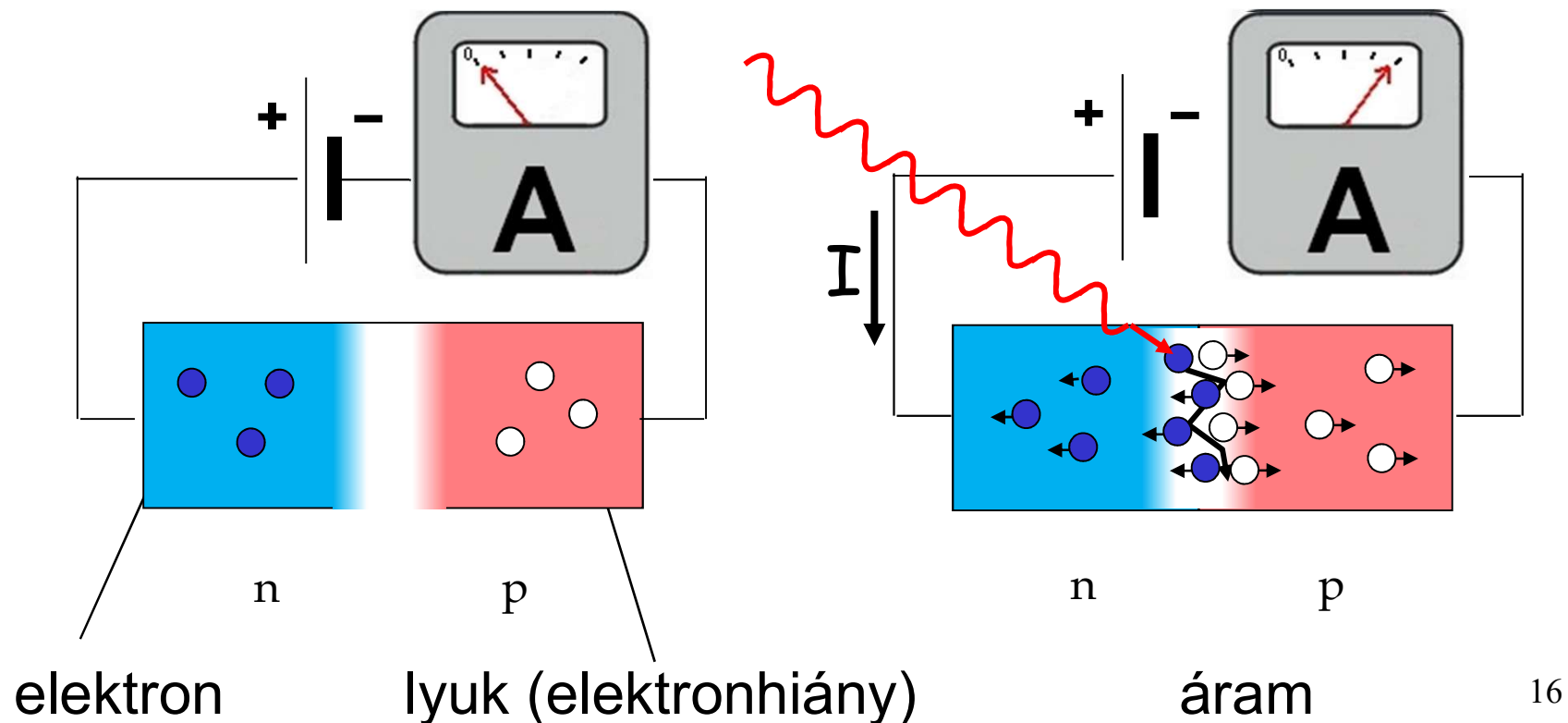
# Fotokémiai detektálás

elavult



# Félvezető detektor

Elv: egy záróirányú félvezető dióda, amiben a sugárzás szabad töltéshordozókat kelt



# Félvezetű detektor a diagnosztikában



# Félvezető detektor a dozimetriában

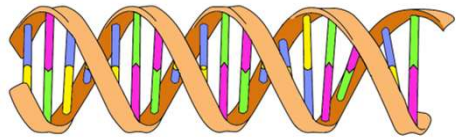




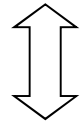
# Az ionizáló sugárzások biológiai hatása



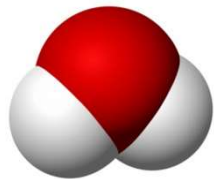
# A sugárhatás mechanizmusa



direkt



indirekt



Fizikai fázis:

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

Kémiai (biokémiai) fázis:

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

Biológiai fázis:

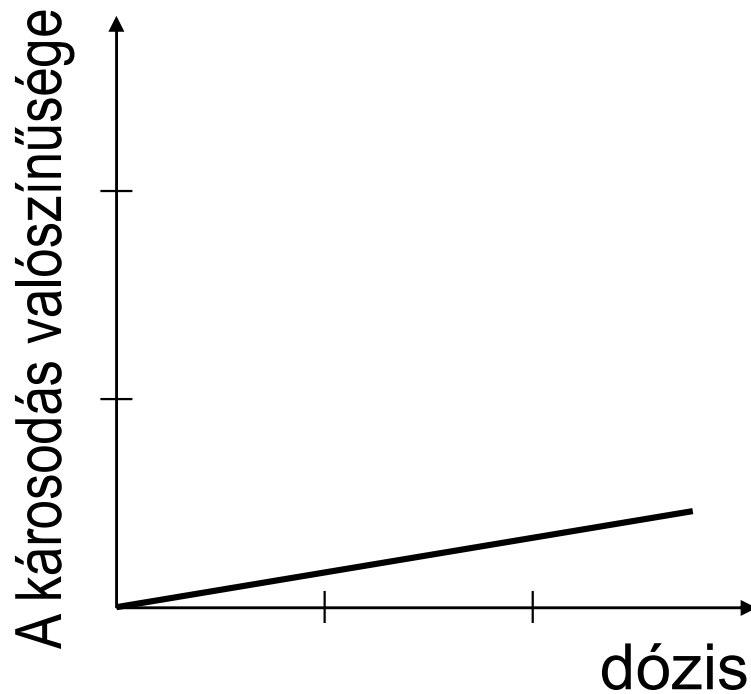
órák: szöveti változások

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

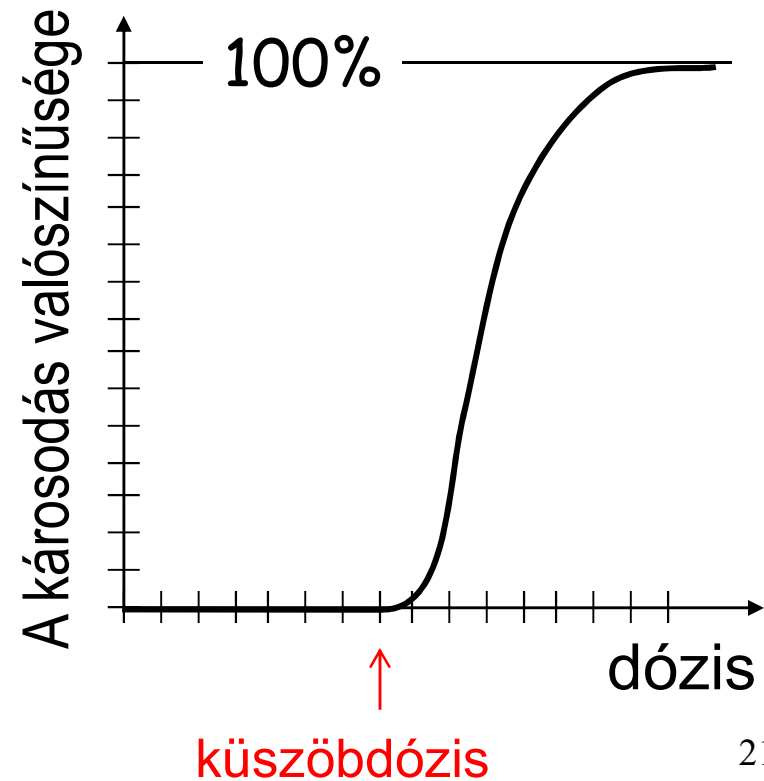


# A sugárhatás osztályozása

Sztochasztikus



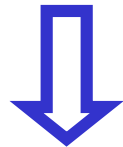
Determinisztikus



# 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 anyag által a sugárzásból elnyelt energia

Mértékegysége  $\text{J/kg} = \text{Gy}$

➡ Egységnyi tömeg által elnyelt energia

Elnyelt dózis:

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



Louis Harold Gray

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
  - ...

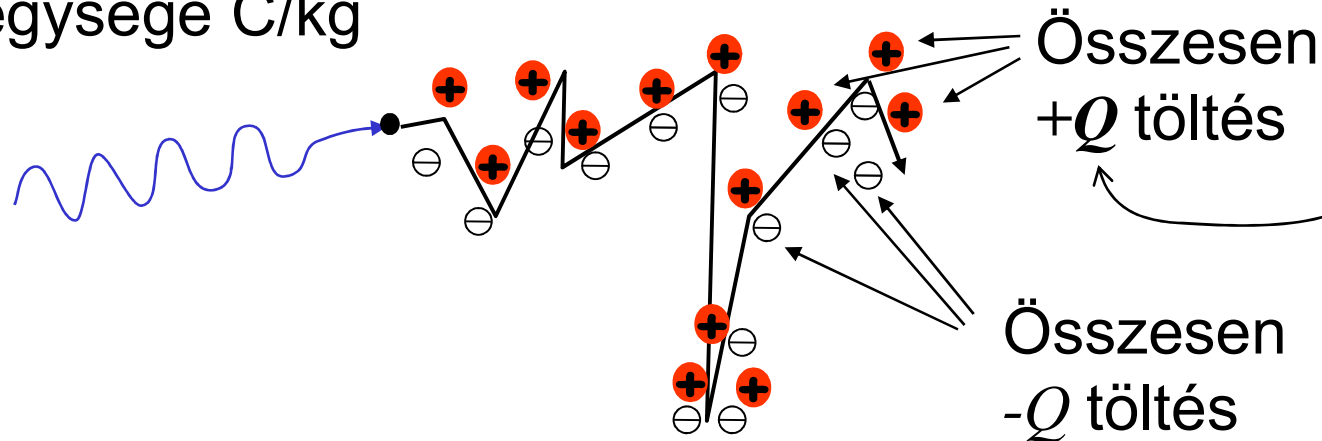
# Dózisfogalmak

## 2. Besugárzási dózis

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

Csak  $\gamma$  és röntgensugárzásra, levegőben!

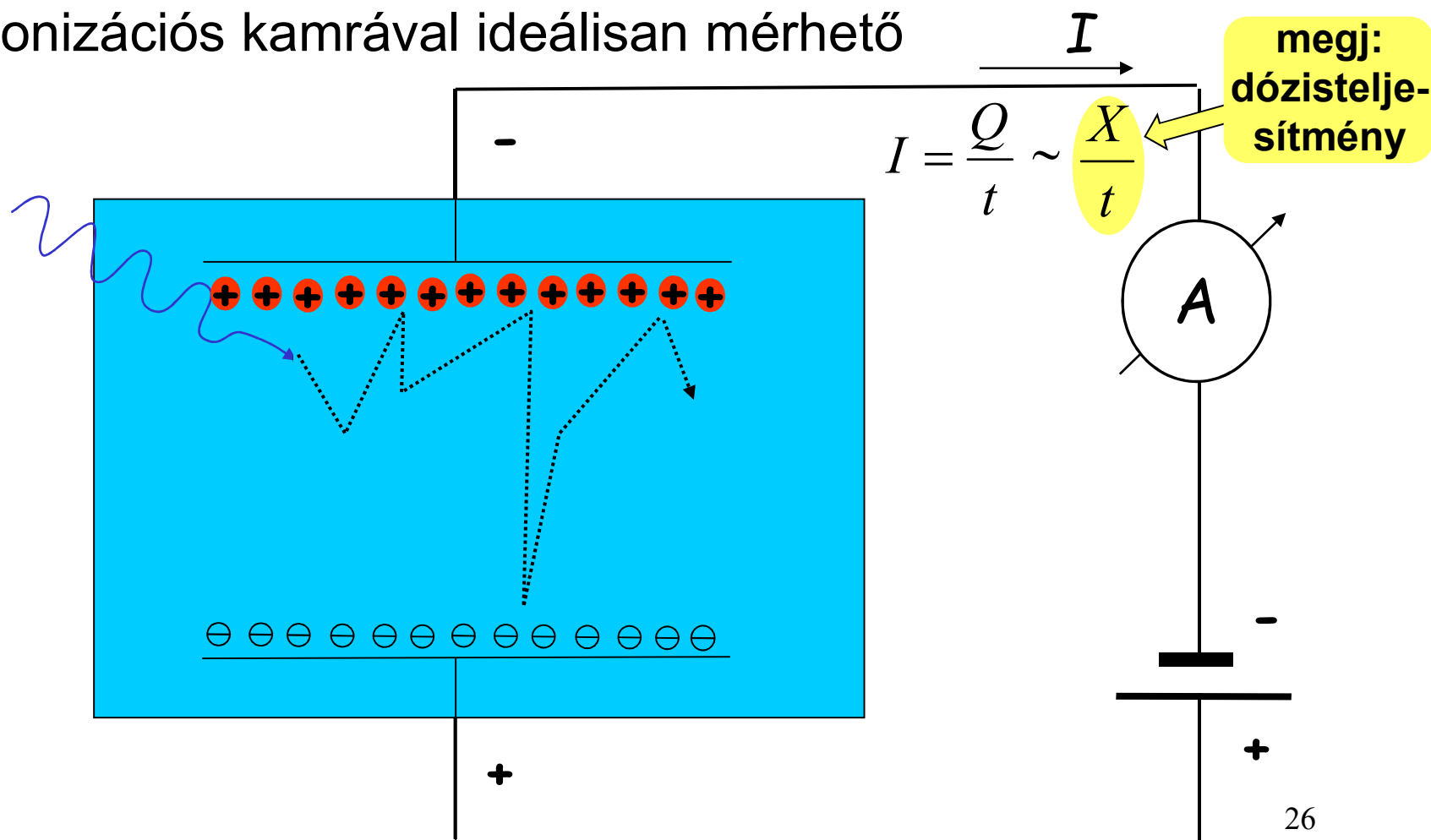
Mértékegysége C/kg



Besugárzási dózis:

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

Ionizációs kamrával ideálisan mérhető





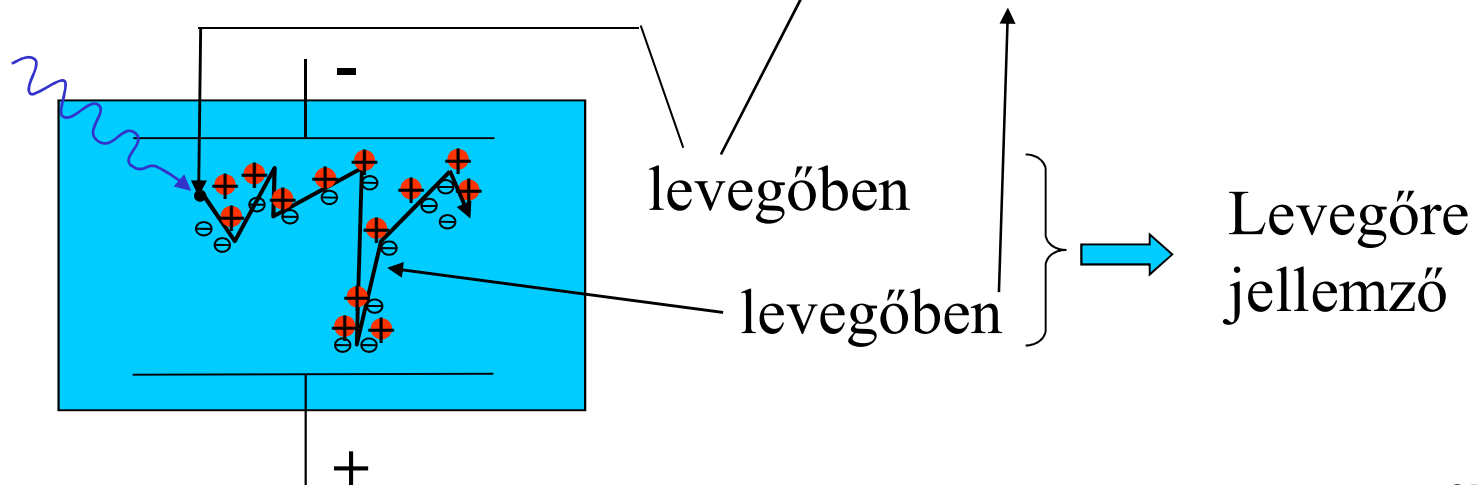
## Besugárzási dózis:

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

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:

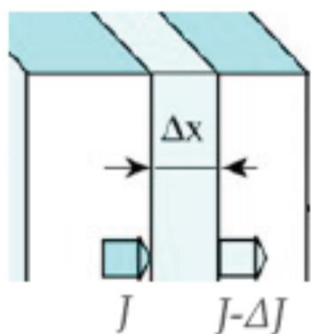
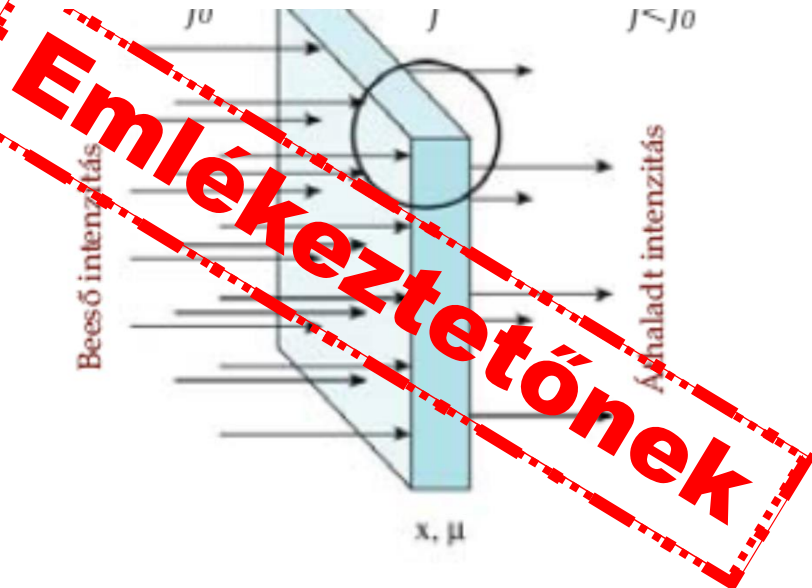
Levegőben 1 ionpár keltéséhez 34 eV energia szükséges\*

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

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

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

# Levegőben mért dózis átszámolása a szövetekben elnyelt dózissra



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

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

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

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

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

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

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

Pontsugárzó esetén:

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

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

$\Lambda$ : 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 

# Dózis $\leftrightarrow$ dózisteljesítmény

Bármelyik dózishoz dózisteljesítményt kapunk, ha az idővel osztjuk.

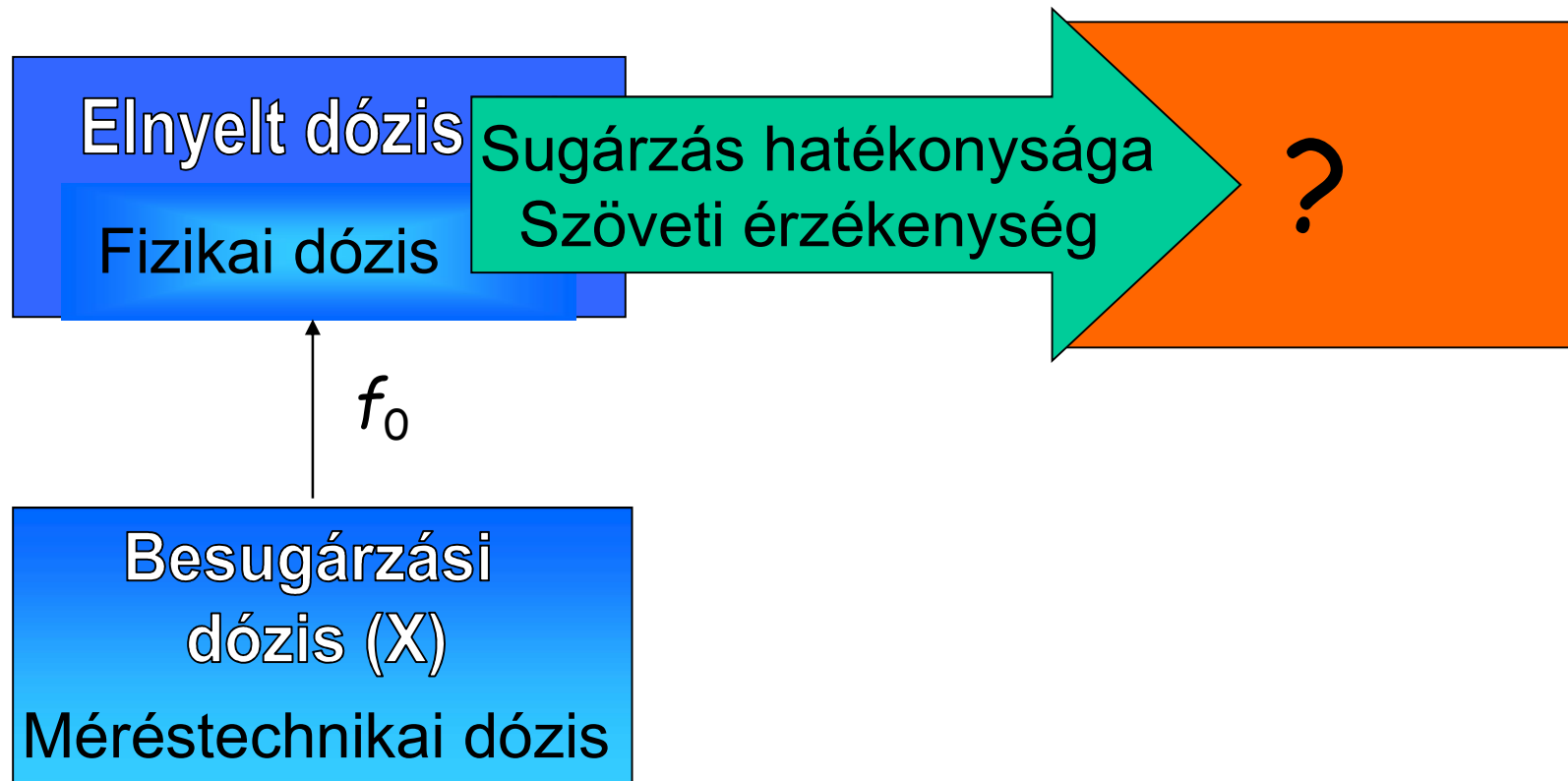
Pl:  $\frac{D}{t} = D_t$  elnyelt dózisteljesítmény  
[Gy/s, Gy/h,  $\mu$ Gy/h]

# 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



+



+



=





Elnyelt dózis

súlyozottan  
összegzendő

Biológiai hatás

Súlyzófaktor: Sugárzás hatékonysága  
Szöveti érzékenység

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



Rolf Maximilian Sievert

A különböző sugárzásokból (R) az adott szövetben (T) elnyelt dózisok súlyozott összege.

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.  $\gamma$ -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	<del>5</del> 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

Elnyelt dózis

súlyozottan  
összegzendő

Biológiai hatás

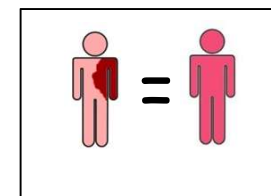
Súlyzófaktor: Sugárzás hatékonysága  
Szöveti érzékenység

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

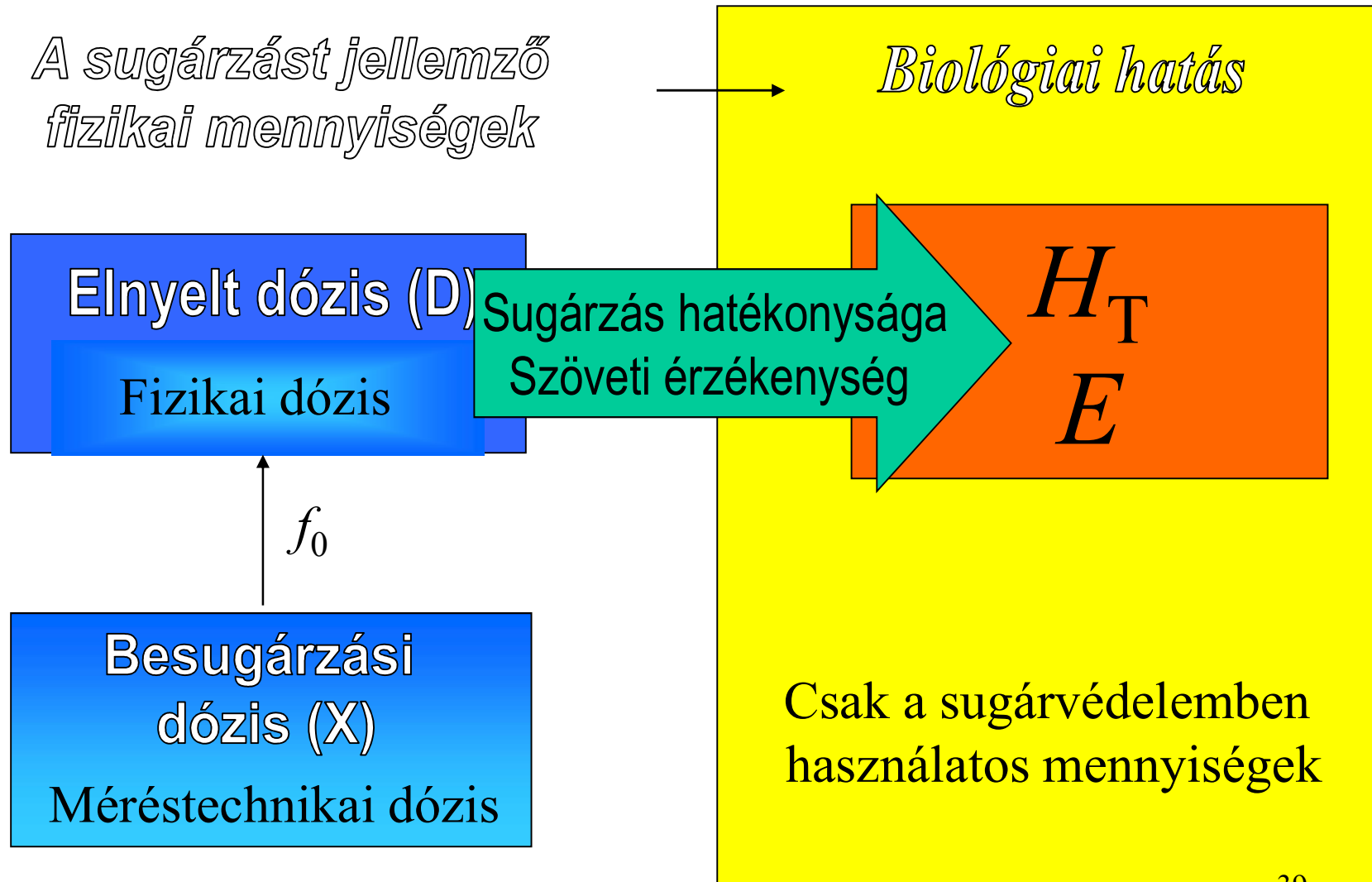
Megmutatja, hogy az illető szövet-szerv milyen hányadban vesz részt a teljes károsodásban akkor, ha homogén sugárzás érte a az egész testet.

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, 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

Megj: páciensre **nincs** !



# Dóziskorlátok\*

≠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.: háttérsugázás dózistelj:  $\approx 0,1 \mu\text{Sv/h}$

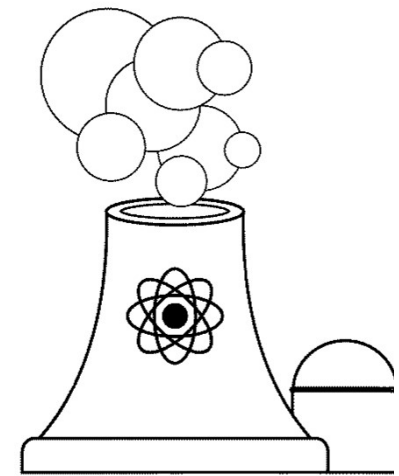


# Dóziskorlátok

≠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: ~~félhalálos~~ <sup>medián halálos</sup> 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.)

45

\* <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](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.

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

[https://www.katasztrofavedelem.hu/modules/hattersugarzas/aktualis\\_adatsor](https://www.katasztrofavedelem.hu/modules/hattersugarzas/aktualis_adatsor)



Érdekes olvasmány:

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

