

# IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSOK DOZIMETRIÁJA

dózisfogalmak, dózismérés, sugárterápia, sugárvédelem

2024. 02. 29.

Liliom Károly

*Sugárzás = energia terjedése*

*energia > ionizációs energia*

*→ ionizáló sugárzás*

# *Ionizáló sugárzások*

csoportosításuk az elsődlegesen kiváltott hatás alapján:

## *Közvetlenül (direkt) ionizáló*

A sugárzással töltések lépnek a közegbe, a sugárzást alkotó részecskék hozzák létre a töltéseket (ionizálnak).

Pl.  $\alpha$ - és  $\beta$ -sugárzás, protonok

## *Közvetve (indirekt) ionizáló*

A sugárzás részecskéi (fotonjai) által keltett (elsődleges) elektronok hozzák létre a töltéseket (másodlagos ionpárok).

Pl.  $\gamma$ - és röntgensugárzás

# *A dozimetria feladatai*

Az egészségügyi kockázat becslése megelőzés céljából.

Az egészségkárosodás felmérése.

A terápiás folyamat tervezése.

*Dózisfogalmak  
definiálása*



*Méréstechnika*



*Kockázatbecslés*



# *Dózisfogalmak*

- Legyen a hatás (károsodás) mértékére jellemző
- Legyen arányos a károsodás mértékével, kockázatával
- Legyen additív
- Lehetőleg ne függjön más tényezőktől

# *Dózisfogalmak*

**Fizikai dózisok:**  
elnyelt dózis,  
besugárzási dózis

**Biológiai dózisok:**  
egyenértékdózis,  
effektív dózis

**Származtatott dózisok:**  
kollektív dózisok,  
dózisteljesítmény

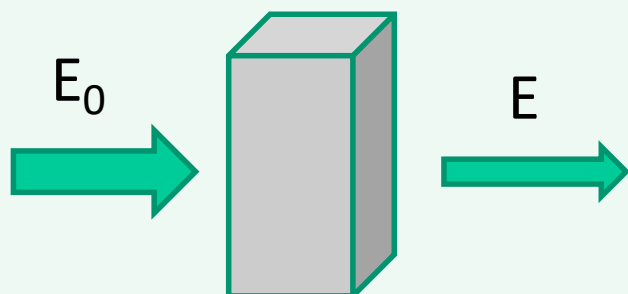
A biológiai hatás jellemzésére az elnyelt energia ismerete szükséges, de nem elégséges, a kiváltott biológiai hatás mérése és statisztikai kiértékelése is nélkülözhetetlen.

# Fizikai dózisok

## 1. Elnyelt dózis

**Egységnyi tömegben elnyelt energia**

$$DE = E_0 - E$$



$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} [J / kg]$$

*Érvényesség:* minden abszorbeáló anyagra és mindenfajta sugárzásra.



Louis Harold Gray  
(1905-1965).

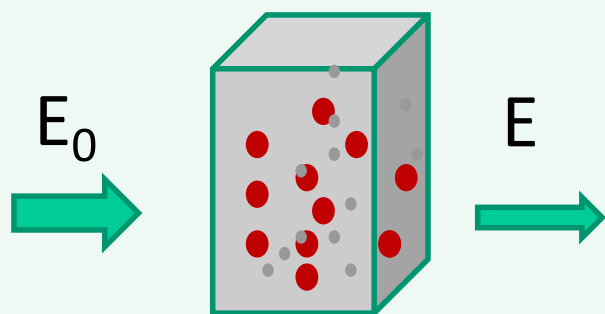
*Mértékegység:*  $[J / kg] \equiv Gy$

*Hogyan tudjuk megmérni?*

# *Fizikai dózisok*

## 2. Besugárzási dózis

**Egységnyi tömegű levegőben keltett pozitív töltések mennyisége.**

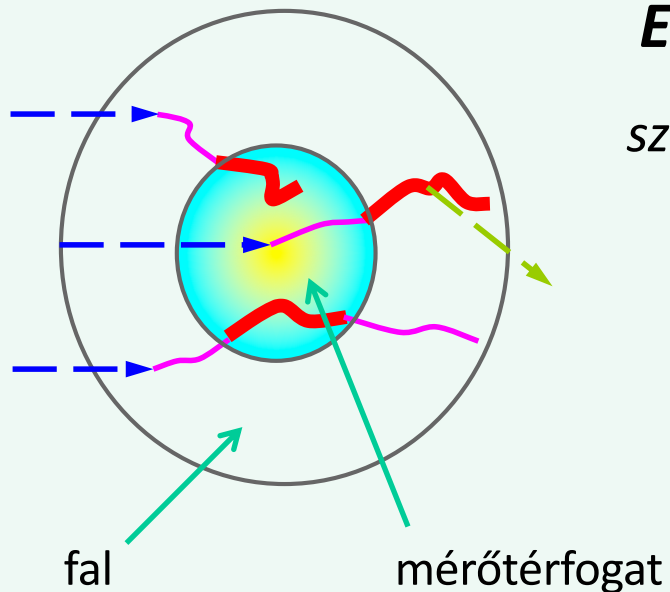


$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} [C / kg]$$

*Érvényesség:* levegőben, csak  $\gamma$ - és rtg.-sugárzásra, elektron-egyensúly\* esetében.

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} [C / kg]$$

( $\Delta Q$  – szekunder elektronok!)



***Elektron-egyensúly:*** A határfelületen átlépő szekunder elektronok nettó mennyisége nulla.

Befolyásolja:

- a környezet (a kamrafal) anyaga – **levegőekvivalens**
- a kamra falának vastagsága
- a foton energiája ( $E < 0,6 \text{ MeV}$ )

## *Az elnyelt dózis és a besugárzási dózis kapcsolata*

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} [C / kg]$$

$$D_{lev} = f_0 X$$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} [J / kg]$$

~ 34 J/C

Levegőben az átlagos ionizációs  
energia  
~ 34 eV.

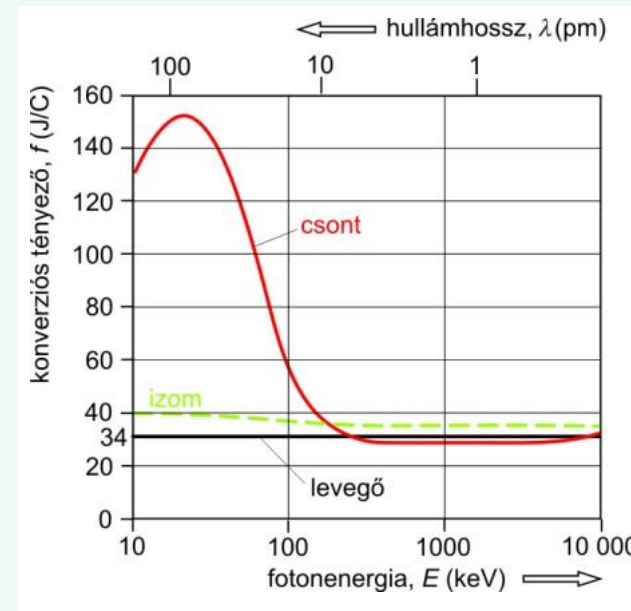
# A szövetben elnyelt dózis

$$D = f X$$

$$\frac{\Delta E}{\Delta m} \approx \mu_m \cdot J$$

$$D_{lev} = \frac{\Delta E}{\Delta m} [J / kg]$$

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



Fotonenergia  
(MeV)

$\mu_{m,szövet}/\mu_{m,lev}$   
(lágyszövetek)

$\mu_{m,szövet}/\mu_{m,lev}$   
(csont)

0,1

1,07

3,54

0,2

1,08

2,04

0,4

1,10

1,24

# *Biológiai dózisok*

Az elnyelt energia (elnyelt dózis) nem jellemzi egyértelműen a biológiai következmények mértékét.

A biológiai hatás mértéke függ:

*A sugárzás fajtájától.*



Sugárzásra jellemző korrekciós faktor

*A hatást elszenvedő biológiai objektum  
érzékenységétől,  
biológiai funkciójától*



Elnyelő szövetre jellemző  
korrekciós faktor



# Egyenértékdózis (H)

Rolf Sievert  
1896-1966



A sugárzások „ionizációs hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

Sugárzás hatékonyságára  
jellemző **sugárzási  
súlytényező**

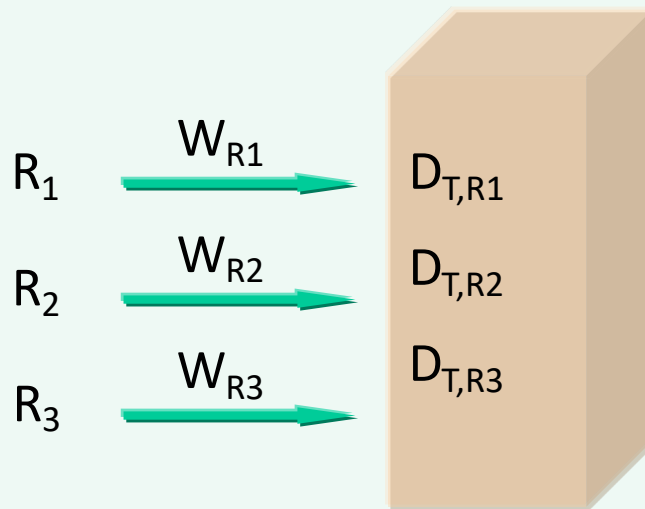
szövetben  
elnyelt  
dózis

***H*** mértékegysége *is J/kg,*  
*de az elnevezése Sievert (Sv)*

sugárzás	$w_R$
foton	1
elektron	1
neutron	5-20
proton (>2MeV)	2
$\alpha$ -sugárzás	20

# Egyenértékdózis (H)

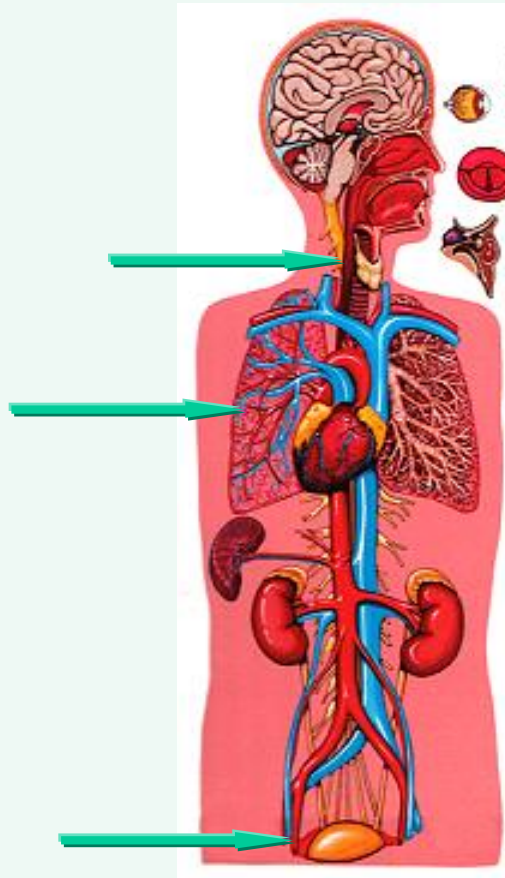
Többféle egyidejű sugárzás esetén az egyes sugárzások elnyelt dózissai súlyozottan adódnak össze.



$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

# Effektív dózis (E)

A szövetek eltérő érzékenységét megfelelő súlyozással figyelembe vehetjük.

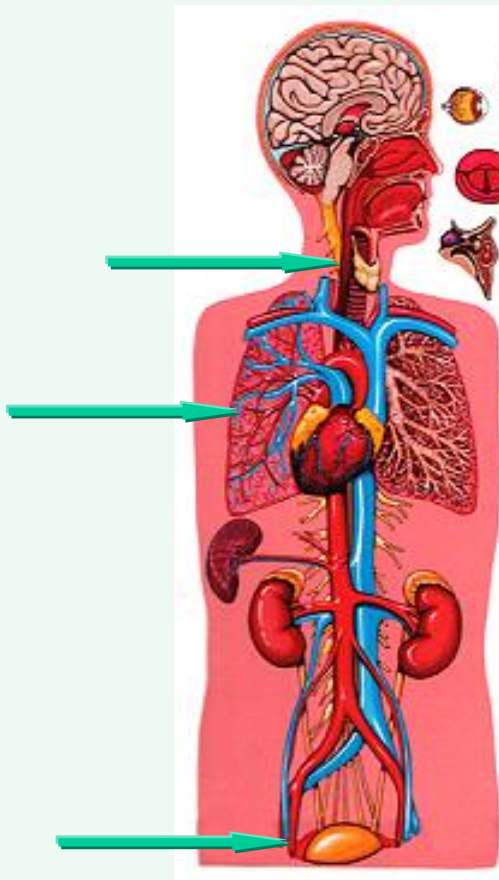


$$E = \sum_T w_T H_T$$

$E$  mértékegysége: **Sievert (Sv)**

# Effektív dózis (E)

$$E = \sum_T w_T H_T$$

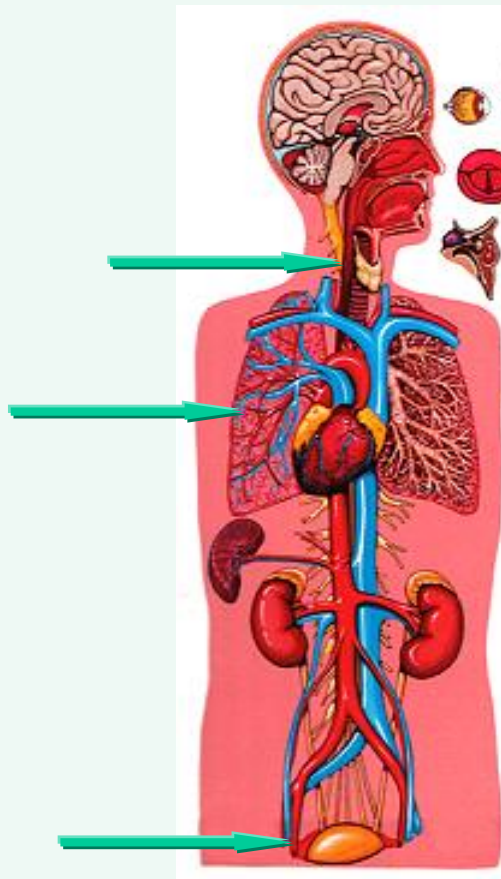


szövet	$W_T$	szövet	$W_T$
gonádok	0,12	emlő	0,05
vörös csontvelő	0,12	máj	0,05
vastagbél	0,12	nyelőcső	0,05
tüdő	0,12	pajzsmirigy	0,05
gyomor	0,12	bőr	0,01
hugyhólyag	0,05	csontfelszín	0,01

$$\sum_T w_T = 1$$

$$E = \sum_T w_T H_T$$

$$\sum_T w_T = 1$$



## Ismereteink gyarapodásával a szöveti súlytényezőket időnként újraértékeljük

ICRP = International Commission on Radiological Protection

Organ or tissue	$W_T$ ICRP 30 (1979) <sup>a</sup>	$W_T$ ICRP 60 (1991)	$W_T$ ICRP 103 (2007)
Gonads	0.25	0.20	0.08
Red bone marrow	0.12	0.12	0.12
Large intestine		0.12	0.12
Lung	0.12	0.12	0.12
Stomach		0.12	0.12
Bladder		0.05	0.04
Breast	0.15	0.05	0.12
Liver		0.05	0.04
Oesophagus		0.05	0.04
Thyroid	0.03	0.05	0.04
Skin		0.01	0.01
Bone surface	0.03	0.01	0.01
Rest <sup>b</sup>	0.30	0.05	0.12
Brain			0.01
Total	1.00	1.00	1.00

<sup>a</sup> ICRP 30  $W_T$  are used to calculate EDE, whereas ICRP 60  $W_T$  and ICRP 103  $W_T$  give  $E$  values.

<sup>b</sup> 'Rest' includes adrenals, small intestine, kidney, muscle, brain (except ICRP 103  $W_T$ ), pancreas, spleen, thymus and uterus.

# Dózisteljesítmény

*Egységnyi idő alatt elszenvedett dózis.*

*Mértékegysége a dózistól és az időtartamtól függ:  
pl. Gy/hónap, mSV/év,...*

## Kollektív dózisok

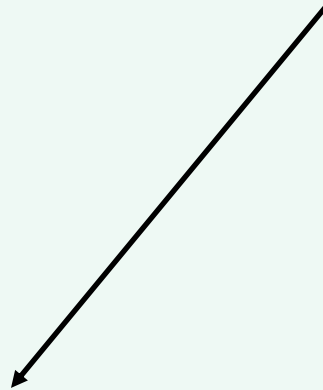
Az emberek egy meghatározott csoportjában,  
meghatározott időre vonatkozóan összegzett  
dózismennyiségek.

$$S = \sum_i N_i E_i$$

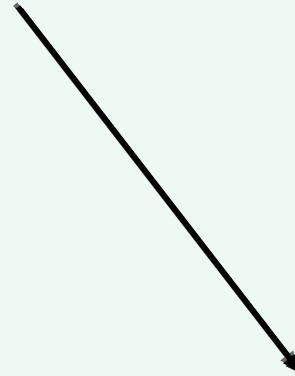
$N_i$  személy

$E_i$  effektív dózist

## Sugárhatások típusai



***Sztochasztikus hatás***



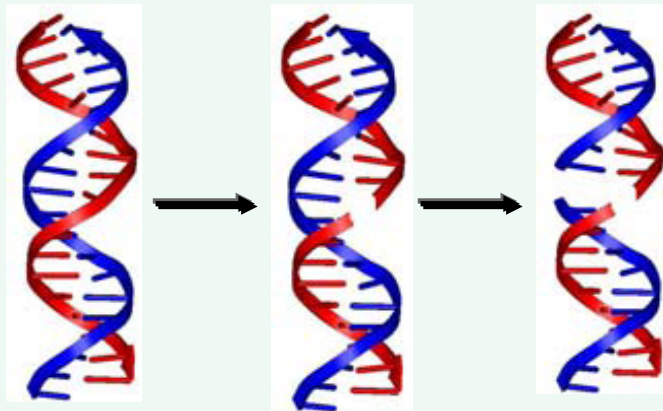
***Determinisztikus hatás***

# A sugárzás kémiai hatása

Direkt sugárhatás:

**Közvetlenül** a biológiai szempontból fontos molekulában létrejövő sérülés.

Legfontosabb a **DNS károsodása!**



egyszeres  
lánc törés

kétszeres



kromoszómatörés



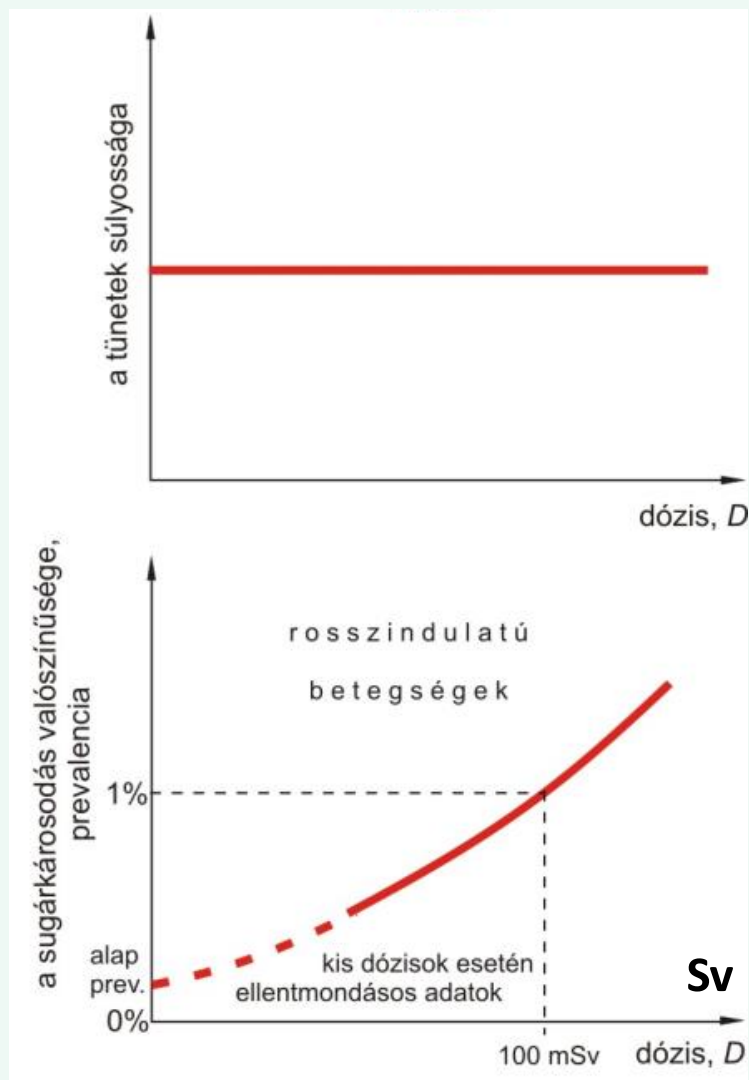
Indirekt sugárhatás:

Reaktív ionok (pl.  $\text{OH}^-$ ) és gyökök (pl.  $\cdot\text{OH}$ )  
keletkezése elsősorban vízből.  
(Az emberi test kb. 65-70%-a víz)



Általuk kiváltott kémiai reakciók a  
makromolekulákban vagy  
membránszerkezetekben.

# Stochasztikus hatás



A károsodás bekövetkezésének a **valószínűsége** függ a dózistól, míg a károsodás mértéke/súlyossága nem.

Különböző jellegű és forrású, de kis dózisú sugárterhelés esetén.

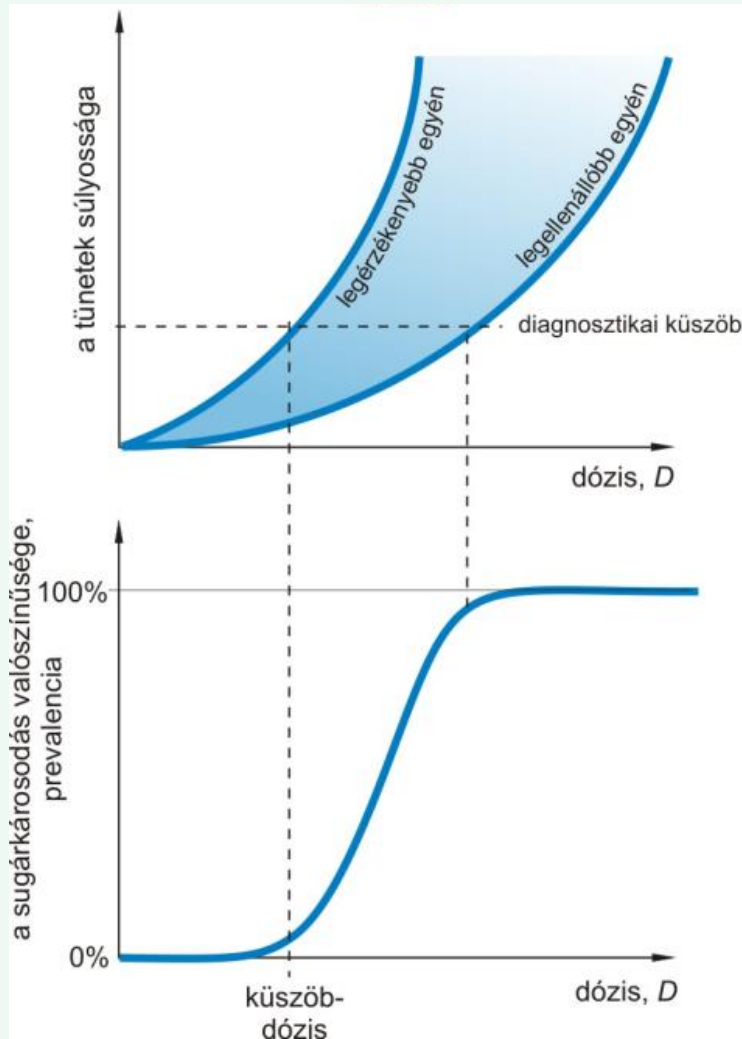
A károsodás megjelenése időben elhúzódó is lehet (pl. daganatok, magzati fejlődési rendellenességek).

Az *egyenérték* ill. *effektív* dózis alapján **becsülhetjük** a stochasztikus sérülések **valószínűségét**.

Diagnosztikai eljárásokban jelen van.

vizsgálat	becsült effektív dózis mSv
Mellkasi átvilágítás	0,4
Mellkasi CT	7,8
Koponya CT	1,8
Hasi átvilágítás	1,2
Hasi CT	7,6
Háti gerinc átvilágítás	1,0
Ágyéki gerinc átvilágítás	2,1
Vastagbél kontrasztanyagossal vizsgálata	8,7
Fogászati röntgenfelvétel	0,005

# Determinisztikus hatás



Egy küszöbdózis felett a károsodás mértéke, súlyossága arányos a dózissal.

Tipikusan egyféle sugárzás nagy dózisban.

Rövid idővel a sugárterhelés után fellép.  
(pl. eritema, hajhullás, katarakta, sejtek pusztulása, egyed halála)

Sugárterápia velejárója/mellékhatása.

Diagnosztikai eljárásokban nem várható.

Dózis (Gy)	Biológiai hatás
0,15-0,2	A kimutatható sugársérülés küszöbdózisa.
0,5	Hematológiai módszerekkel kimutathatóság határa.
0,8	Az akut sugárbetegség küszöbdózisa
2,0	Minimális halálos dózis (LD1/60)*
4,0	Félhalálos dózis (LD50/60)
7,0	Minimális abszolút letális dózis LD99/60.

*\*1% halálozás 60 nappal az esemény után*

Mellkasi röntgenfelvétel: kb. 160  $\mu$ Gy a bőrben

## ***Sugárterápia***

**Determinisztikus** hatások **kiváltása.**

(pl. daganatsejtek elpusztítása.)

Stochasztikus mellékhatások lehetnek.

## ***Sugárvédelem***

**Determinisztikus** hatások **kizárása.**

Stochasztikus mellékhatások valószínűségének csökkentése.

## Sugárterápia: ionizáló sugárzás károsító hatásának felhasználása (elsősorban) daganatos szövetek elpusztítására

1. Milyen típusú sugárzást használjunk?
2. Mekkora dózist alkalmazzunk?
3. Hogyan állítsuk elő?
4. Hogyan juttassuk el a besugárzandó  
testrészbe (a többi szövet károsítása nélkül)?

# A sugárterápiában használható sugárzások

## **Elektromágneses sugárzás**

- röntgen – fékezési és karakterisztikus
- gamma
  - $^{60}\text{Co}$  (1,25MeV) – teleterápia
  - $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{125}\text{I}$  (35 keV),  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  - brachyterápia

**Elektron/ $\beta^-$**  – energia tartomány 6 – 21 MeV

**Alfa** -  $^{225}\text{Ac}$  6 MeV,  $^{226}\text{Ra}$  4,78 MeV

**Proton** – változtatható energiájú

**Nehéz ionok** – limitáltan

**Neutron** – limitáltan



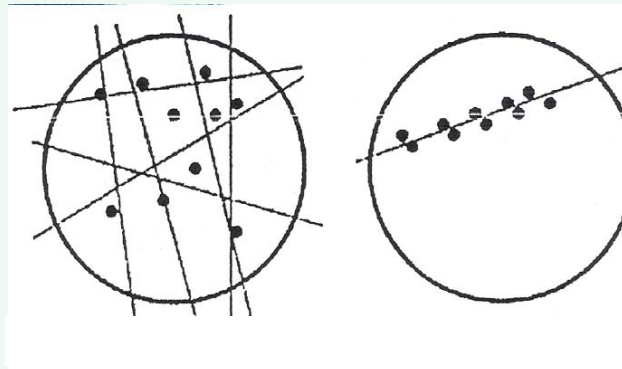
A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

*Lineáris ionsűrűség:*

egységnyi úthosszon létrehozott ionpárok száma ( $n/l$ )

*LET (Linear Energy Transfer) - lineáris energiaátadás:*

egységnyi úthosszon leadott energia ( $nE_{ionpár}/l$ )



Alacsony LET

Pl.  $\gamma$ , rtg

Magas LET

pl.  $\alpha$ , proton

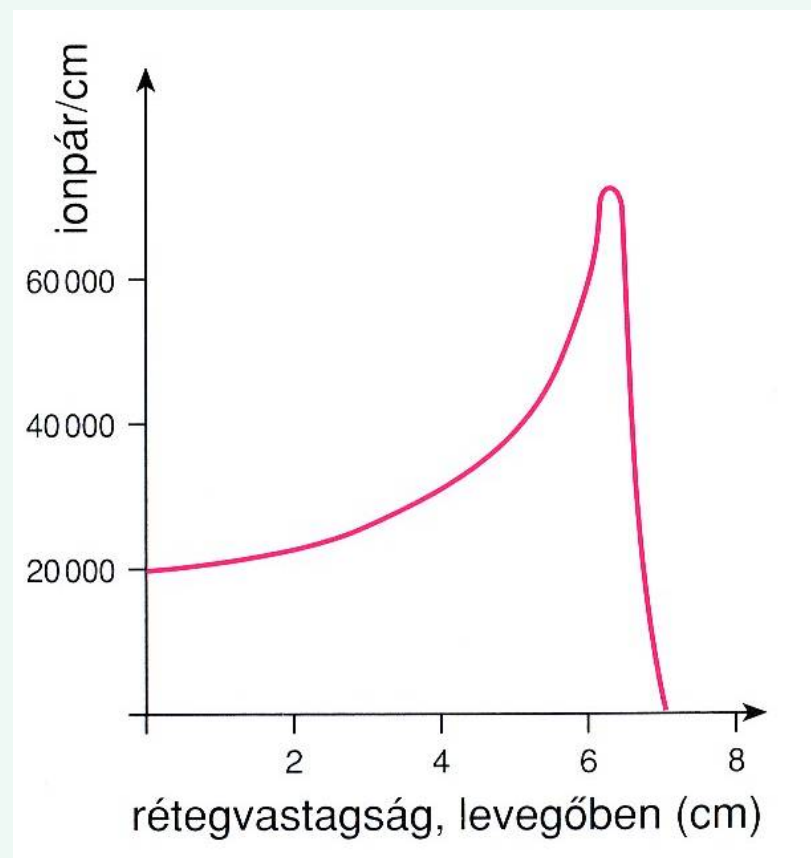
# Tipikus LET-értékek

LET-érték:	Sugárfajta:	Energia (MeV):	LET(keV/μm):
magas	α -részecske	5.0	90
	gyors neutron	6.2	21
	protonok	2.0	17
alacsony	röntgensugár	0.2	2.5
	60-Co γ	1.25	0.3
	beta-sugárzás	2.0	0.3
	elektronok	10.0	

$\alpha$



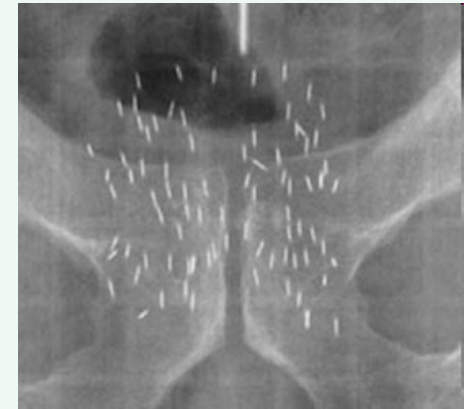
csak célzottan a tumorba juttatva  
(brachyterápia)



levegőben:  $E_{ionpár} = 34 \text{ eV}$

**$\beta^-$ :**

energiája nem optimális  
folytonos energiaszórású  
tipikus energia: néhány MeV



csak célzottan a tumorba juttatva  
(brachyterápia)

**$e^-$ :**

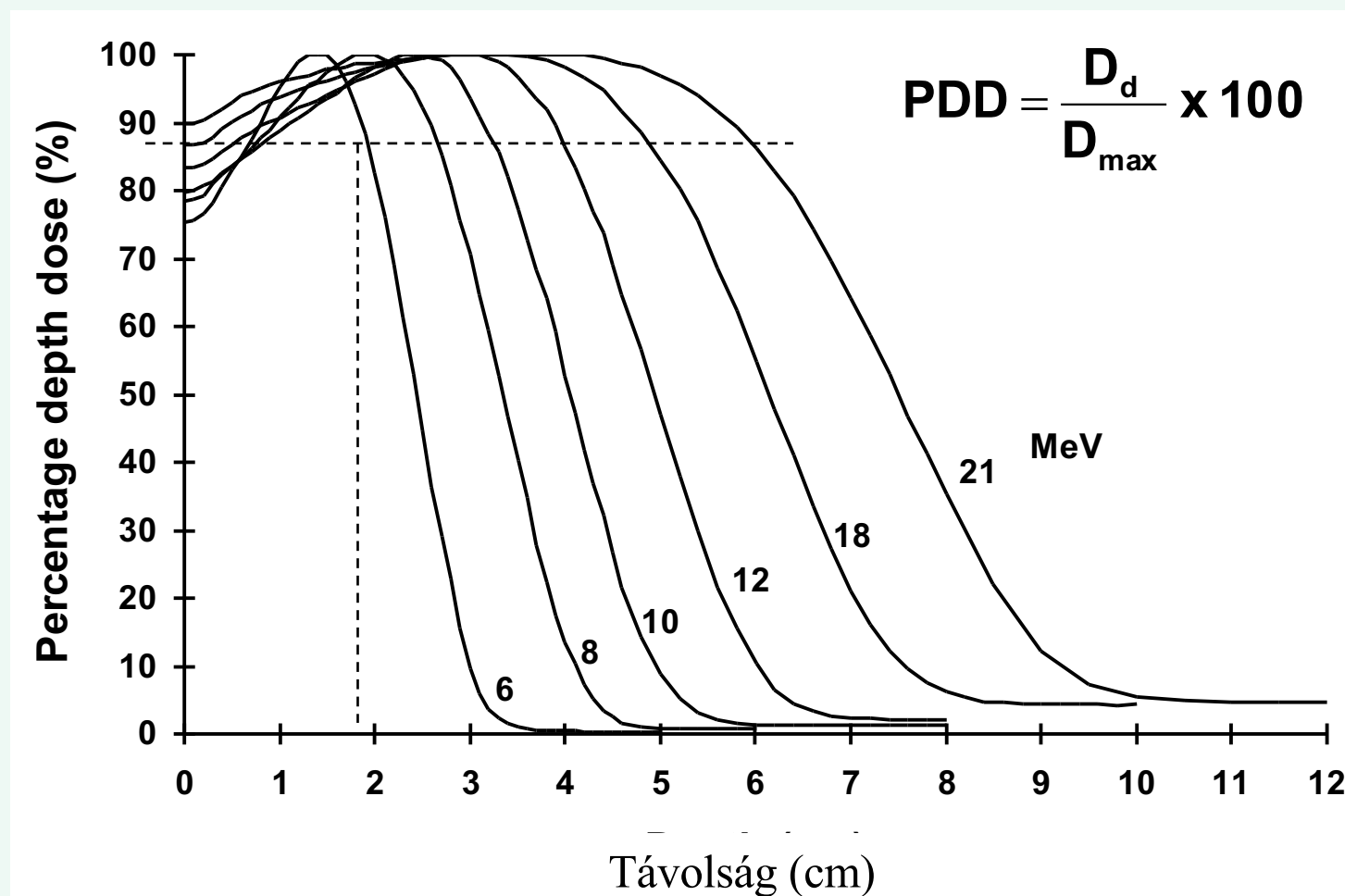
gyorsított elektron - 10-20 MeV  
előállítás: lineáris gyorsító

behatolási mélység:  $\approx 1\text{cm}/3\text{MeV}$

gyakorlatban: 6-21 MeV  $\Rightarrow$  2-7 cm

felületközelű tumorok

## Elektron PDD (percentage depth dose) görbék különböző részecske energiáknál

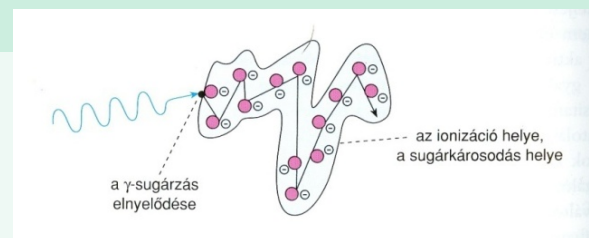


Konklúzió: csak felszínhez közeli tumor kezelhető elektron besugárzással

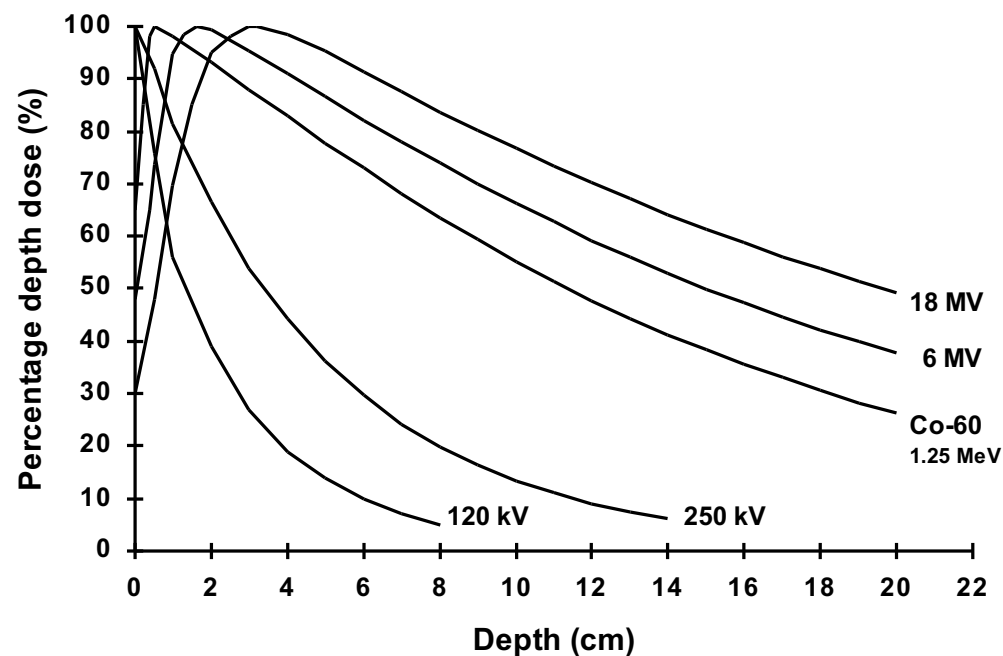
$\gamma$ :

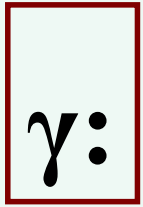
Probléma:

foton elnyelődésének helye  $\neq$  szekunder ionizáció helye = sugárkárosodás helye



Foton PDD görbék  
különböző energiáknál





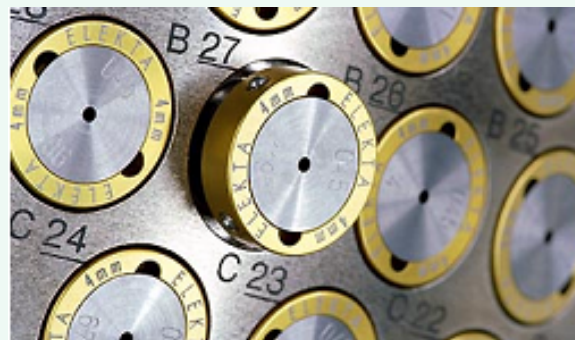
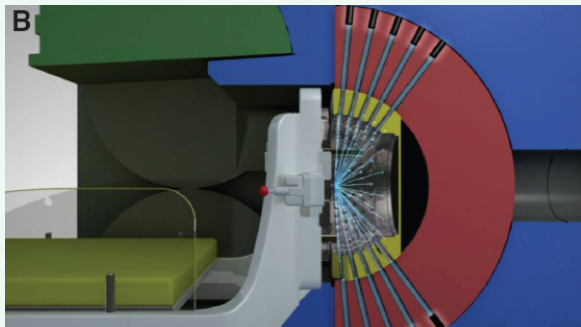
**γ-kés:**

összesen kb. 200 db sugárnyaláb

pl.  $^{60}\text{Co}$ , használt aktivitás: TBq

agysebészeti célra különösen alkalmas

**Izocentrum** - a nyalábok irányainak metszéspontja



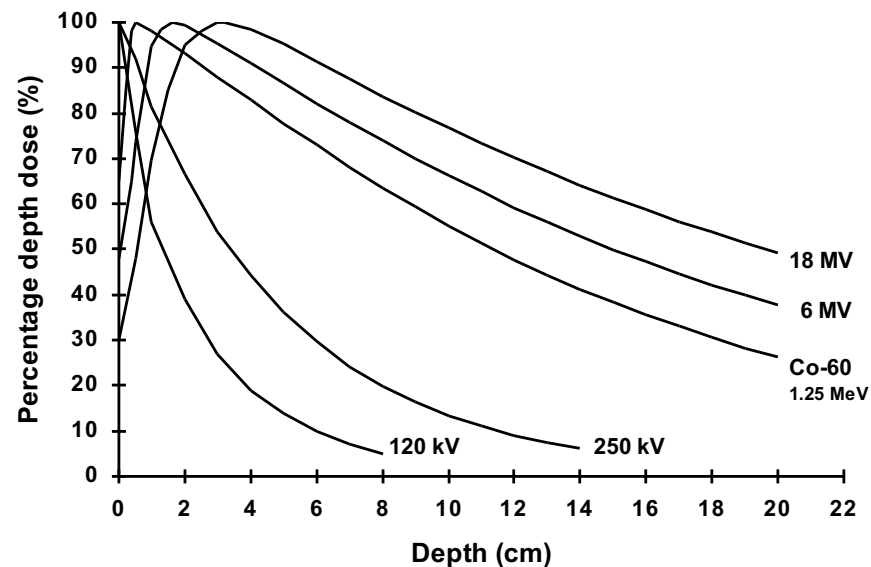
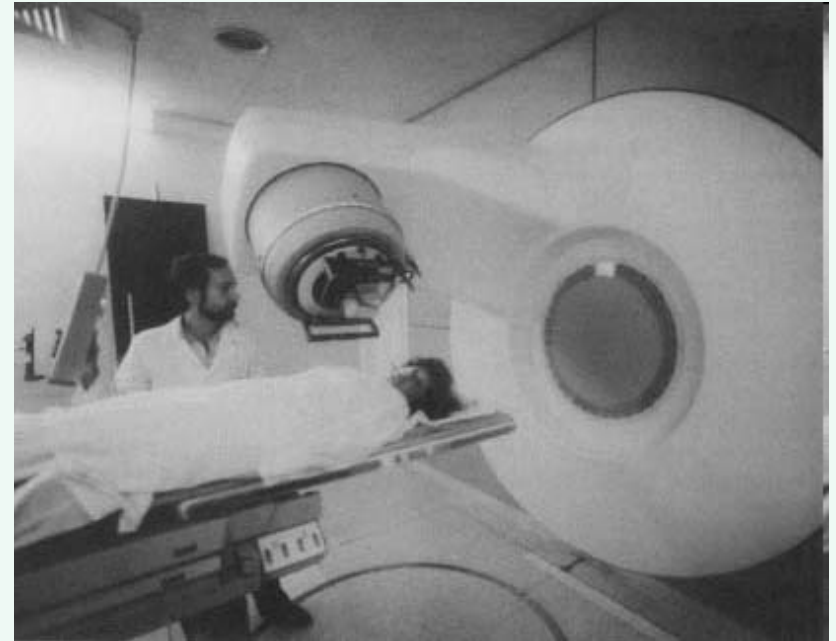
4, 8, 14, 18 mm-es kollimátorok

# Röntgen:

Részecskegyorsító a rtg. sugárzás előállítására.

Néhány MeV fotonenergia.

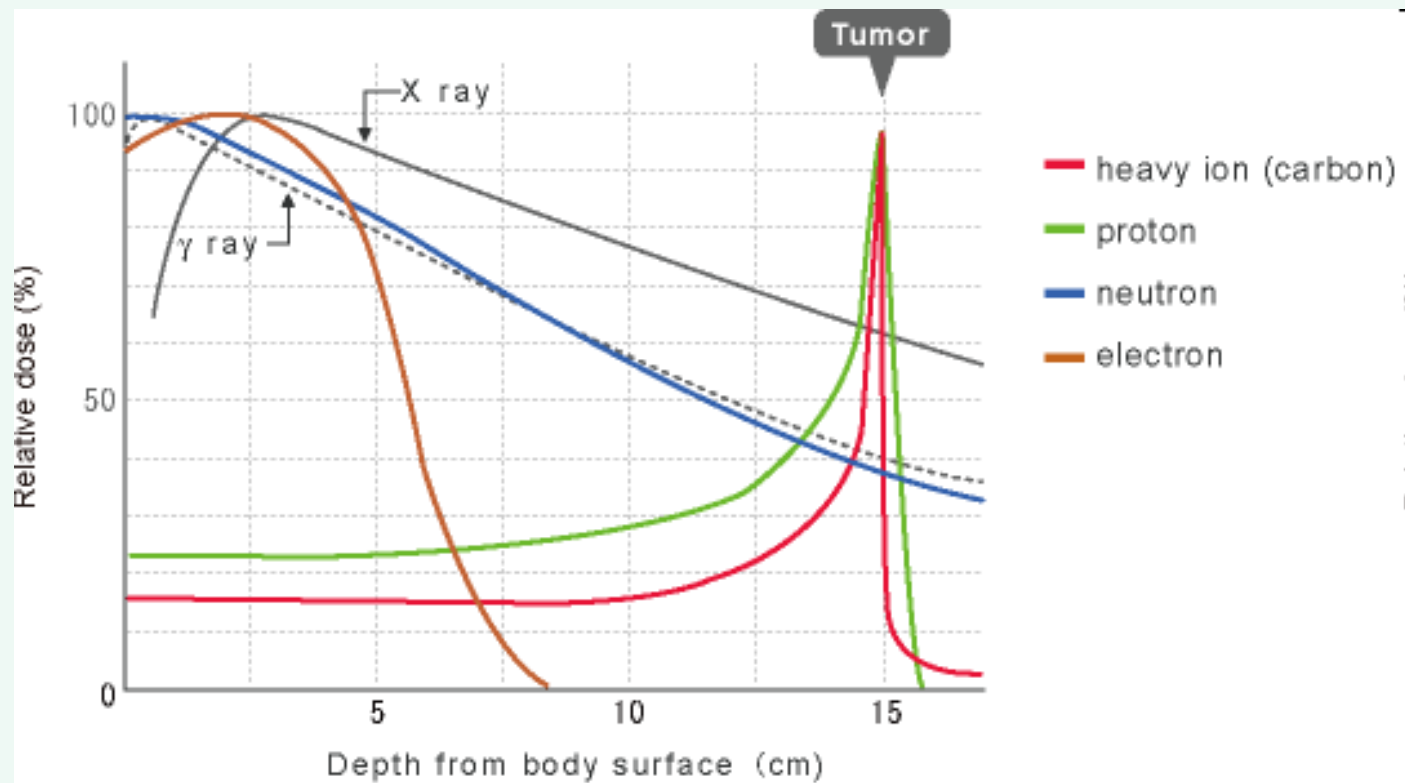
Besugárzás ideje jól szabályozható.



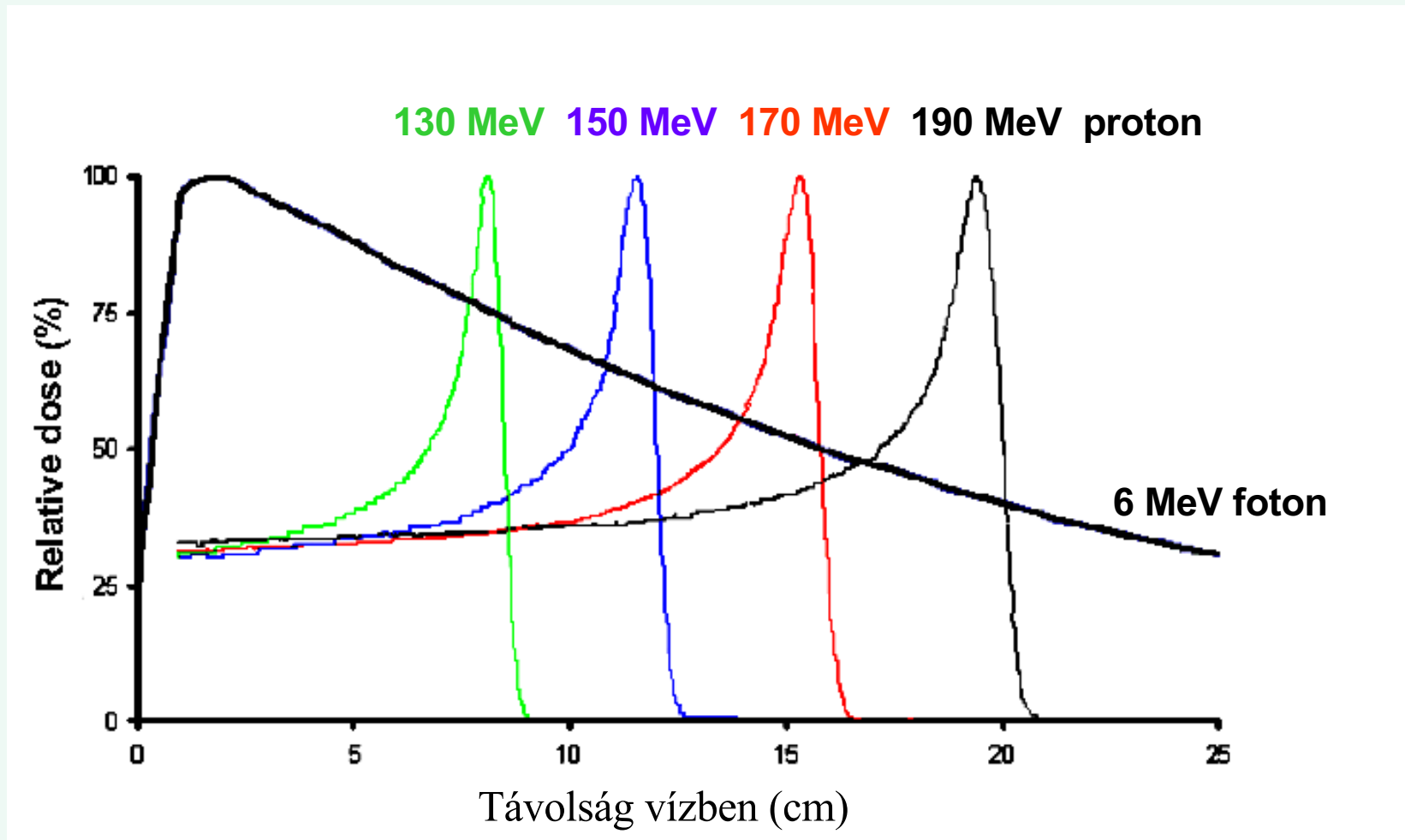


p:

Ideális lenne, de nagyon drága!



## Foton és proton mélydózis összehasonlítása



## ***Sugárvédelem***

**Determinisztikus hatások kizárása.**

Stochasztikus mellékhatások valószínűségének csökkentése.

A becsült átlagos évi dózis természetes és mesterséges forrásokból  
3.6 mSv.

környezeti



katonai



orvosi

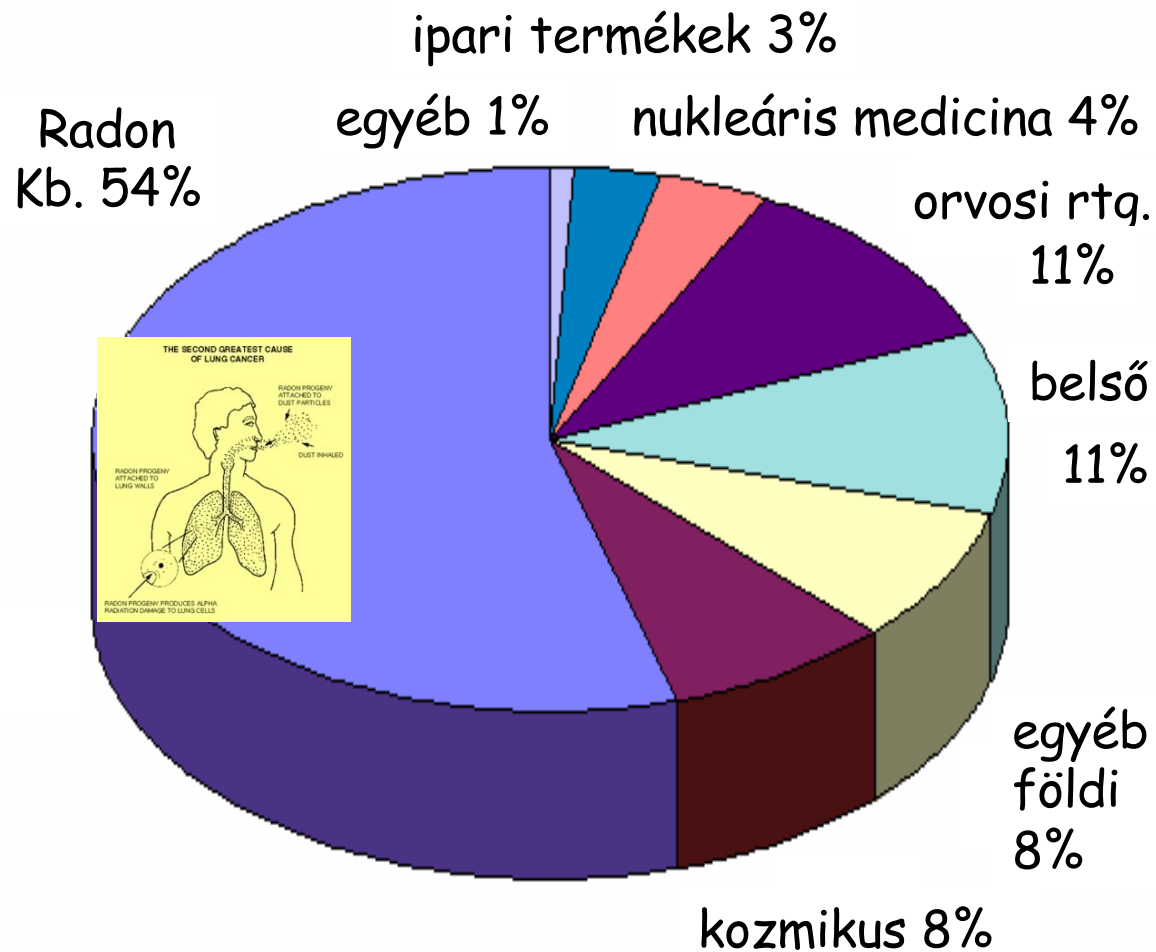
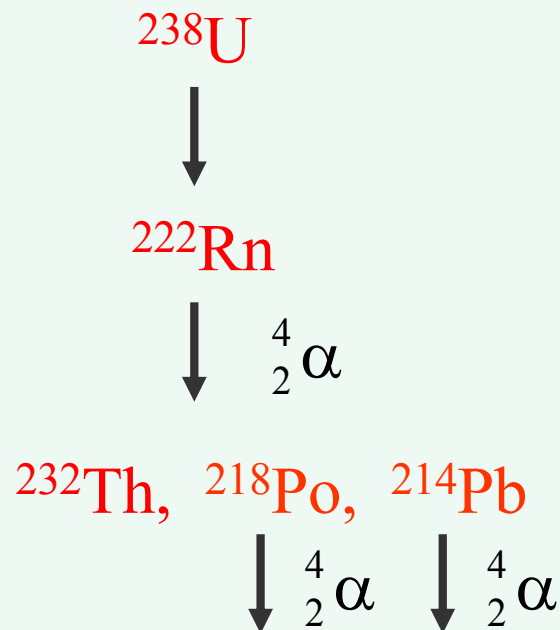


foglalkozási



nukleáris ipari

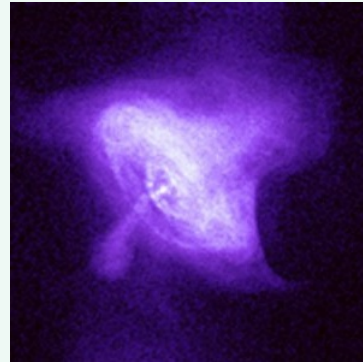
# A terhelés megoszlása a források között



## *Sources of natural background*



*radon: cc. 1,8 mSv/year*

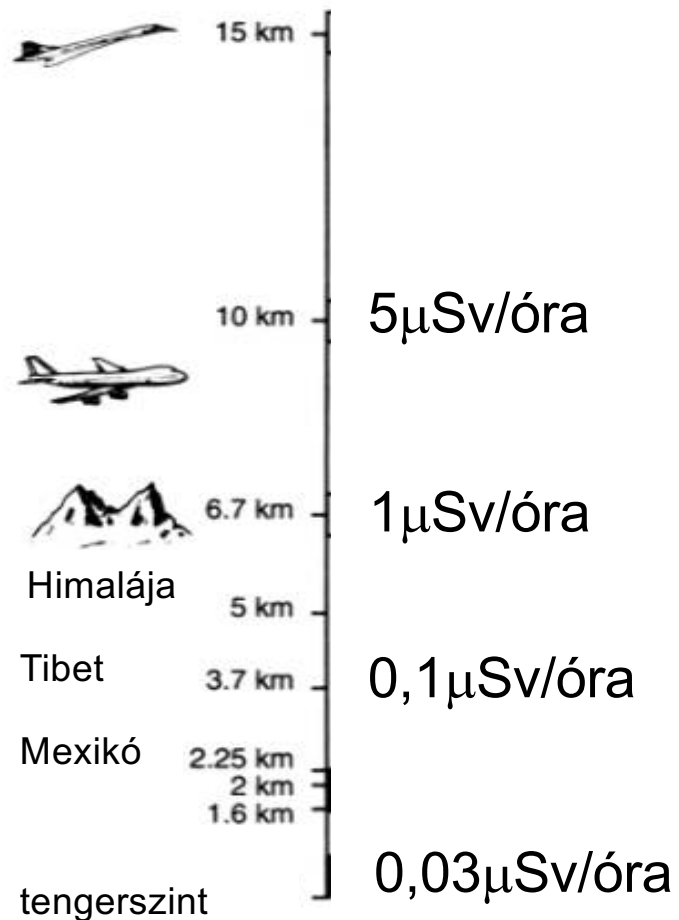


*cosmic radiation  
~ 0,4 mSv/year*



*potassium: cc 0,1 mSv/year*

A kozmikus sugárzásból származó  
*dózisteljesítmény* változása a  
tengerszint feletti magassággal



## *Kockázati tényezők összehasonlítása*

### **a várható átlagos élettartam csökkenése napokban**

házastárs nélküli élet (férfiaknak)	3500
dohányzás (1 csomag naponta)	2250
házastárs nélküli élet (nőknek)	1600
szénbányász munkakör	1100
25% túlsúly	777
alkoholizmus	365
építőmunklás munkakör	227
közlekedés motorkerékpárral	207
1 mSv/év effektív dózis 70 éven át	10
kávézás	6



# Sugárvédelem

## **A sugárvédelem célkitűzései:**

biztosítani, hogy az ionizáló sugárzás alkalmazásával kapcsolatban determinisztikus hatások ne léphessenek föl

sugárveszélyes tevékenységet folytató személyek foglalkozási kockázata ne legyen nagyobb, mint az egyéb foglalkozási ártalmak kockázata ( $10^{-4}$  eset/év)

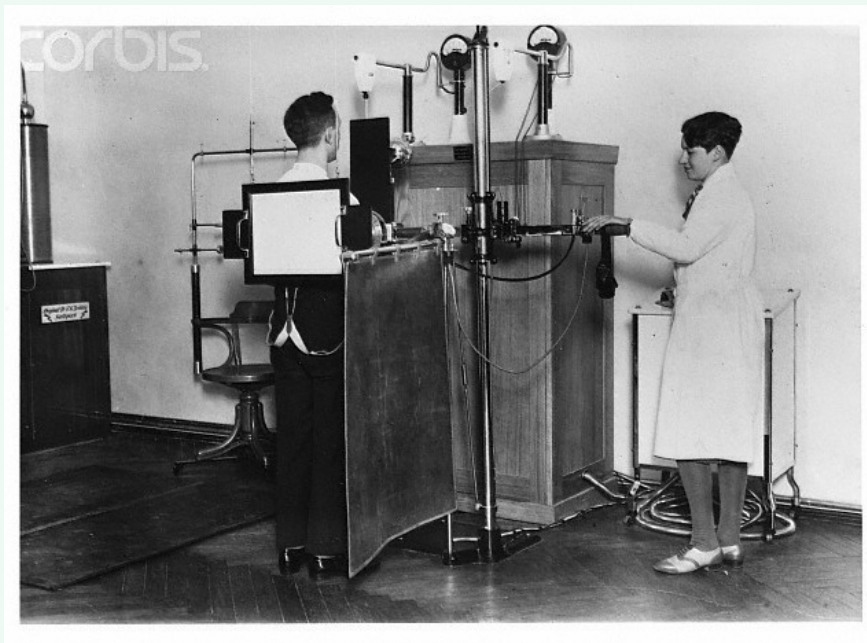
a lakosság sugárterhelésből adódó kockázata ne haladja meg az egyéb civilizációs ártalmakból eredő kockázatot ( $10^{-5}$  eset/év).

## *A sugárvédelem alapelvei*

- **Indokoltság** – az ionizáló sugárzás alkalmazásának *hasznosnak* kell lennie: az alkalmazás kockázata kisebb, mint az alkalmazás elhagyásának kockázata (cost-benefit elv)
- **Optimálás** – az alkalmazás által okozott dózis az észszerűen elérhető legkisebb legyen – *tervezési dózis* – ALARA
- **Korlátozás** – a tervezés révén a személyek dózisa az átlag körüli *eloszlást* mutat, a valószínű kimenetek nem léphetik túl a biztonságot adó *egyéni* dóziskorlátot

## *Foglalkozással összefüggő*

A dózist olyan alacsonyra csökkenteni, hogy a kockázat mértéke „elfogadható” legyen.

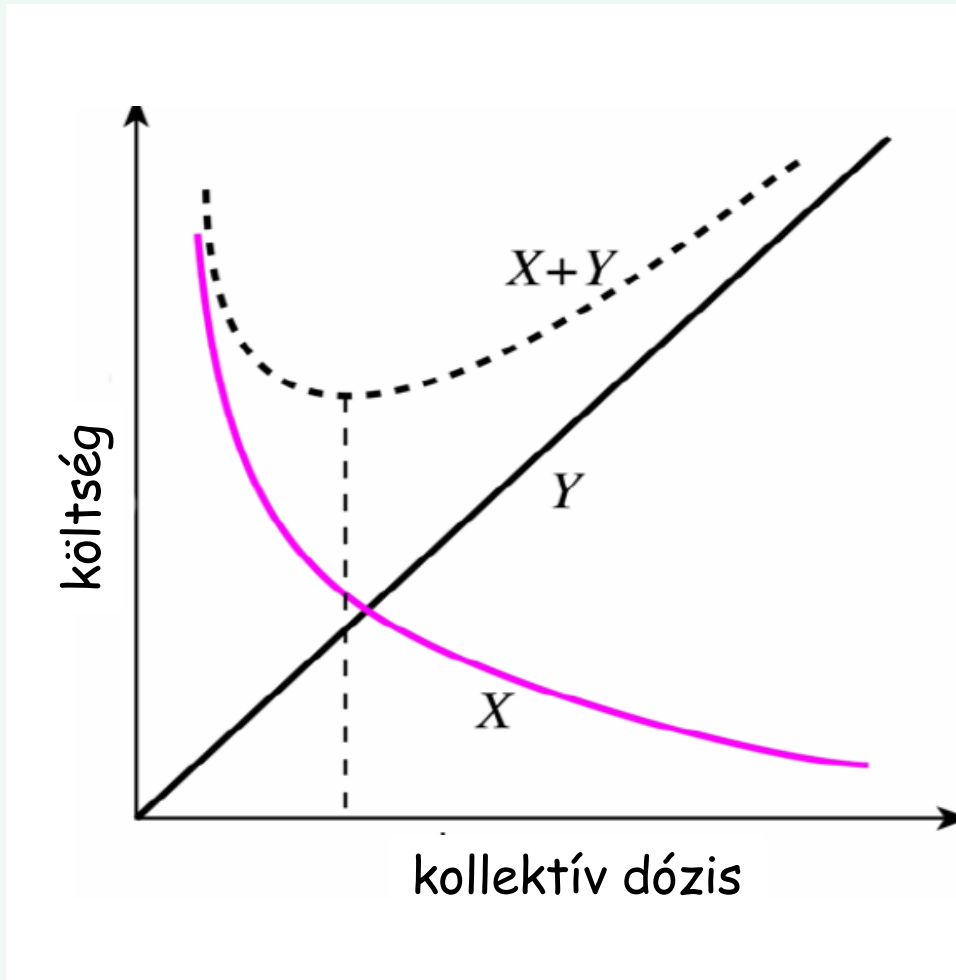


*Teljes sugárvédelem nincs!*

Sugárvédelmi szabályok dóziskorlátokat írnak elő.

## ALARA-elv

As Low As Reasonably Achievable



***X : sugárvédelem költsége***

***Y : sugárkárosodás kezelésének költsége***

**Optimális az X+Y minimuma**

ALARA elv: A sugárveszélyes munkahelyen foglalkoztatott személyek sugárterhelését az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szinten kell tartani a gazdasági–társadalmi tényezők figyelembe vételével

## *Orvosi tevékenység*

- Laboratóriumi alkalmazás – radioaktív nyomjelzők
- Képalkotó eljárások
- Sugárterápia

***Minden alkalmazás sugárterheléssel jár!***

*A várható előny és a kockázat  
mérlegelése fontos!  
(Cost-Benefit elv)*

## *Foglalkozással összefüggő*

### Sugárvédelmi dóziskorlátok

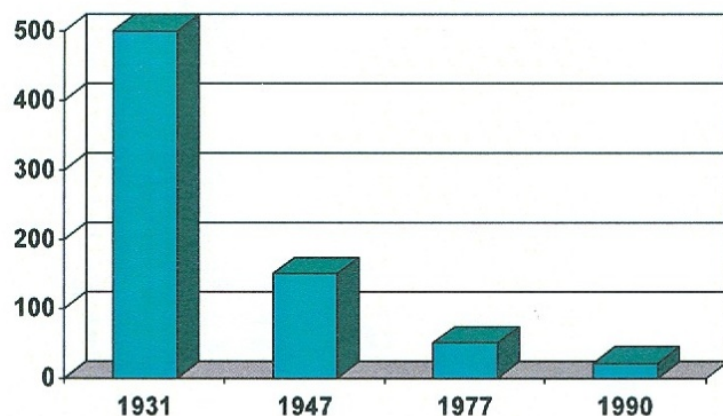
	Foglalkozási (mSv/év)	Lakossági (mSv/év)
Effektív dózis	20 *	1
Egyenérték- dózis (szemlencse)	150	15
Egyenérték- dózis (végtag/bőr)	500	50

\* 5 éves átlagban évi 20 mSv, feltéve, hogy egy évben sem haladja meg az 50 mSv-et.



# Sugárvédelmi dóziskorlátok

**A foglalkozási egészsztest  
dóziskorlátok (mSv/év) változása  
(ICRP ajánlás)**

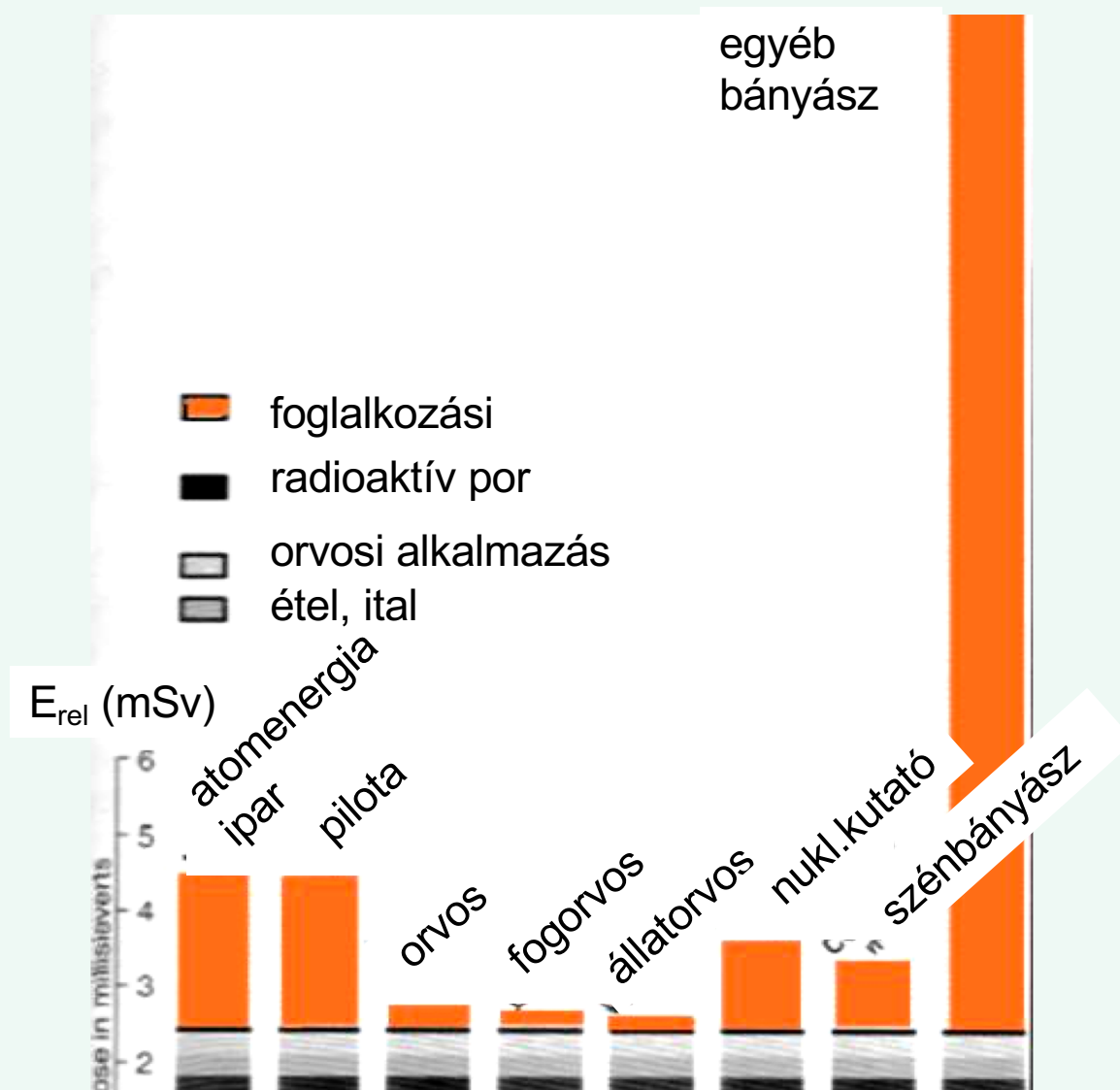


\*International Commission on Radiological Protection

	Foglalkozási (mSv/év)	Lakossági (mSv/év)
Effektív dózis	20 *	1
Egyenérték- dózis (szemlencse)	150	15
Egyenérték- dózis (végtag/bőr)	500	50

\* 5 éves átlagban évi 20 mSv,  
feltéve, hogy egy évben sem  
haladja meg az 50 mSv-et.

# Különböző foglalkozásokkal járó relatív dózisterhelés





# Dozismérés

fizikai jel változása  $\sim$  elnyelt dózis

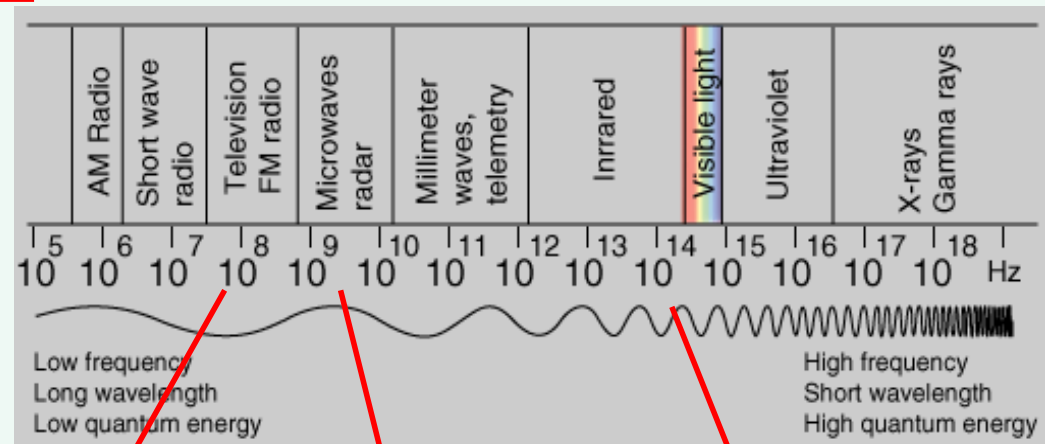
# Sugárzásdetektorok – Dózismérő eszközök

- Mit?  $\alpha^{++}$   $p^+$  (n)  $\beta$   $\gamma$   $\nu$

- Milyen eneregiájút?

- Mennyit?

- Milyen pontosan?

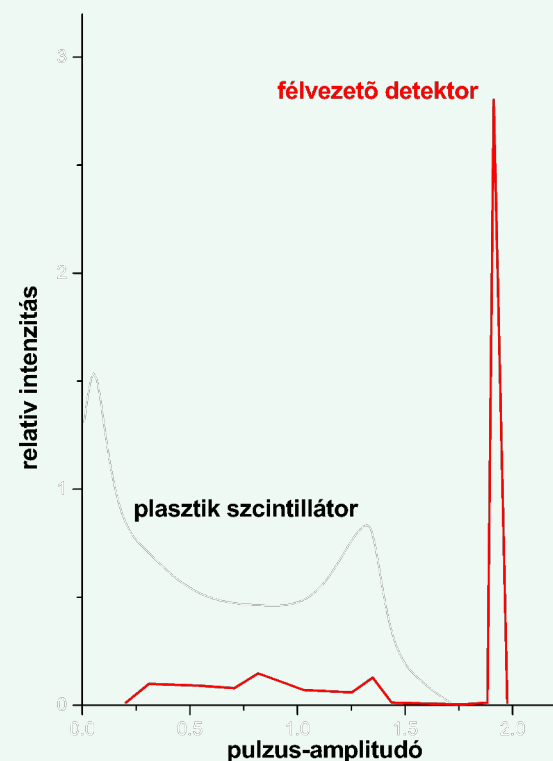
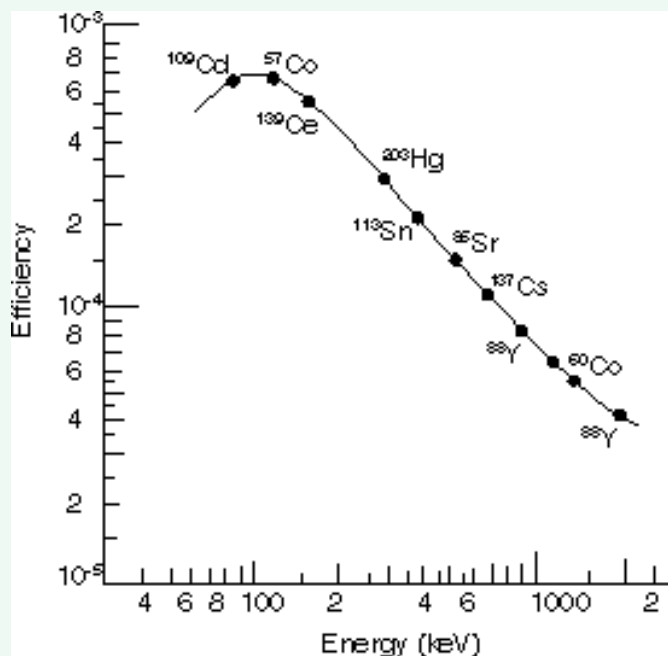


# Dózis- és dózisteljesítmény-mérők fajtái

- \* elektronikus működésű detektorok – az elnyelt sugárzási energia közvetlenül szabad töltéshordozókat hoz létre  
**gáztöltésű detektorok** – utólagos és azonnali kiértékelésre is alkalmasak
- szcintillációs detektorok** – szerves kristály és folyadék
- félvezető detektorok** – szilícium, germánium
- \* kémiai dózismérők – a válaszjel kialakításához vegyi folyamat vezet el  
**FILM** – utólagos kiértékelés
- \* szilárdtest-dózismérők – kristályok fizikai tulajdonságait használják ki  
**termolumineszcens detektor** – **TLD** (LiF, CaF<sub>2</sub>, BeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

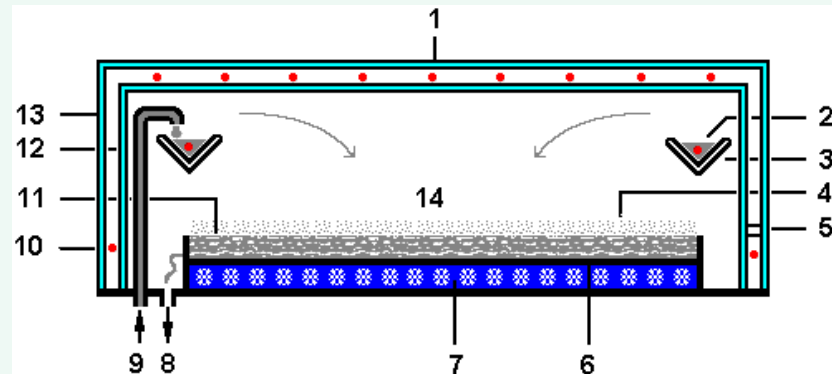
# A detektorok jellemzői

- információ
  - nyom, energia, szám
- reakcióidő
  - 100 ps-tól néhány ms-ig
- hatások



- érzékenység
- válaszfüggvény
- háttér
  - árnyékolás: aktív, passzív

# Egyszerű részecskedetektorok



## • ionizációs (köd-)kamra

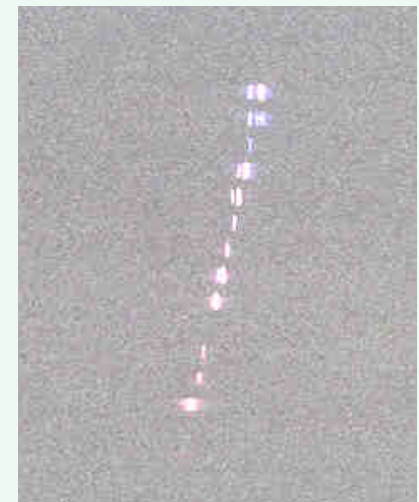
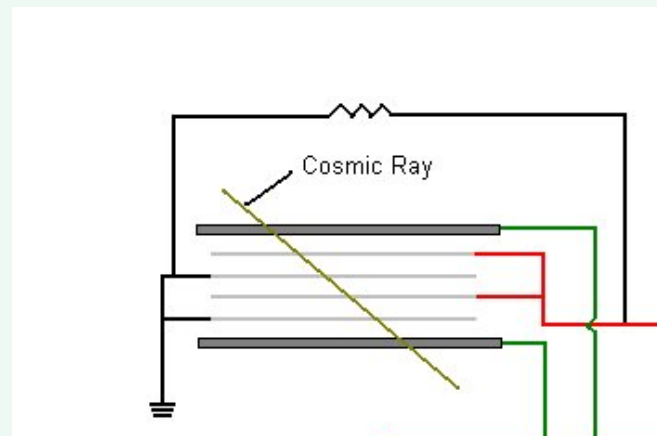
- |                       |                         |                   |
|-----------------------|-------------------------|-------------------|
| 1- fűtés, ion kivonás | 6- fekete fém alaplapp  | 11- alkohol       |
| 2- fűtés              | 7- hűtés                | 12- belső üvegfal |
| 3- alkohol csatorna   | 8- alkohol visszafolyás | 13- külső üvegfal |
| 4- túltelített gőz    | 9- alkohol bevitel      | 14- alkoholgőz    |
| 5- nyílás forrásnak   | 10- fűtés               |                   |

## • szikrakamra

– nagyfeszültségű vezetékek

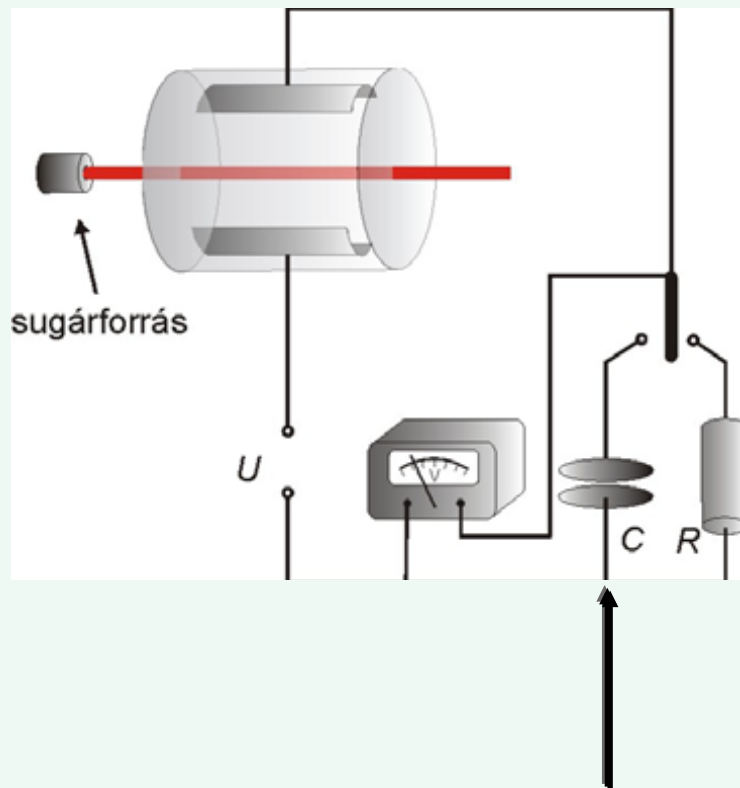
## • buborékkamra

- folyadék ( $H_2$ , Ar, Xe) a forráspont körül
- hűtés/fűtés ciklusok



## *Elektronikus működésű detektorok*

### *Gázionizációs detektorok - Ionizációs kamra*



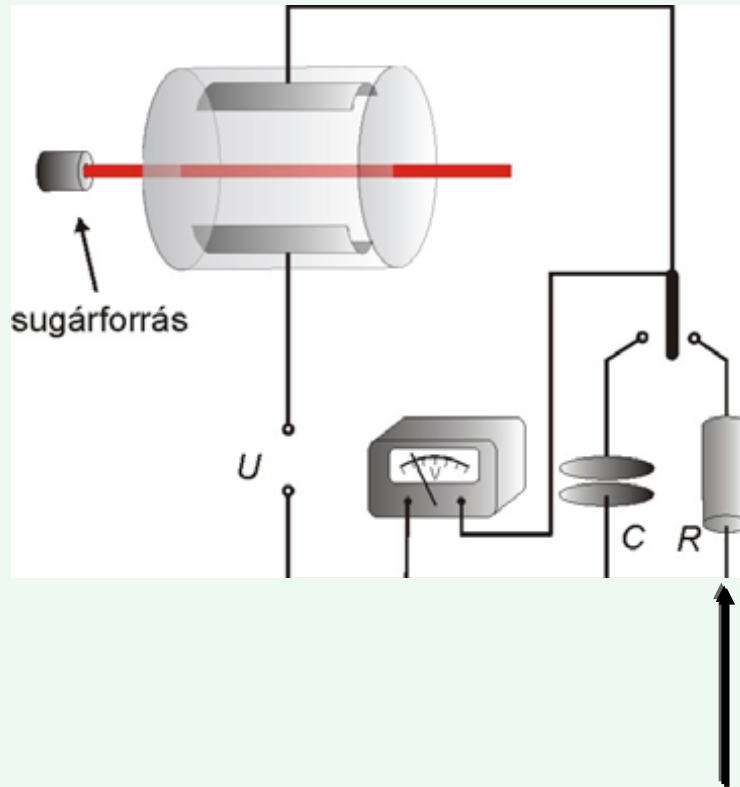
**Dózismérés:** a kondenzátoron felhalmozódik a keletkezett töltés.

A kondenzátor feszültsége a dózissal arányos.

$$U = \frac{Q}{C}$$

*Mérés a kondenzátoron keresztül*

## *Ionizációs kamra*



***Dózisteljesítmény mérése:*** az időegység alatt keletkezett töltés mennyisége = áramerősség.

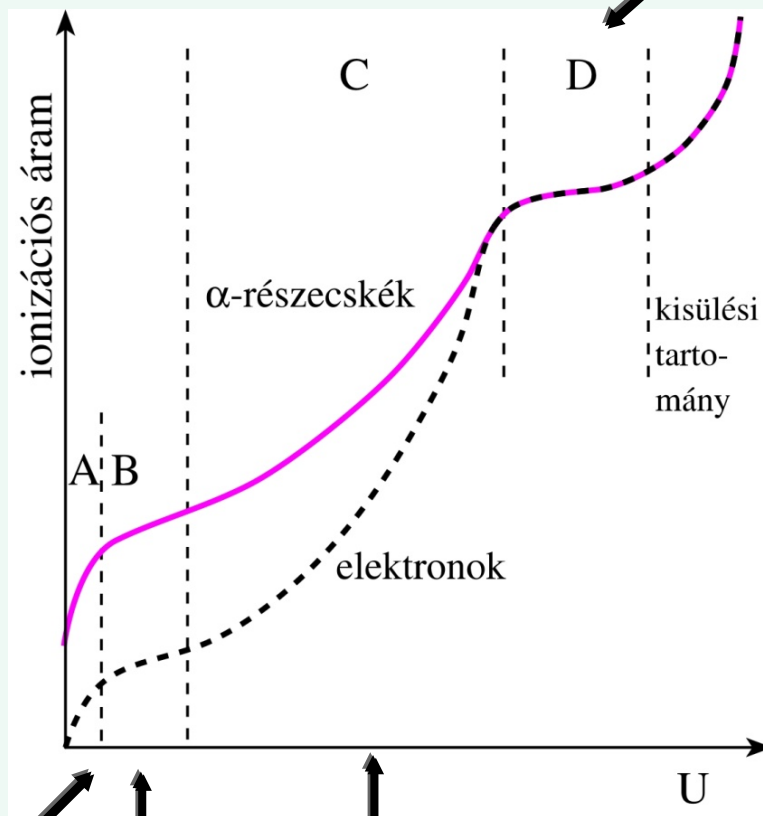
Az ellenálláson mért feszültség a dózisteljesítménnyel arányos.

$$U = \frac{QR}{t}$$

*Mérés az ellenálláson keresztül*

# Ionizációs kamra

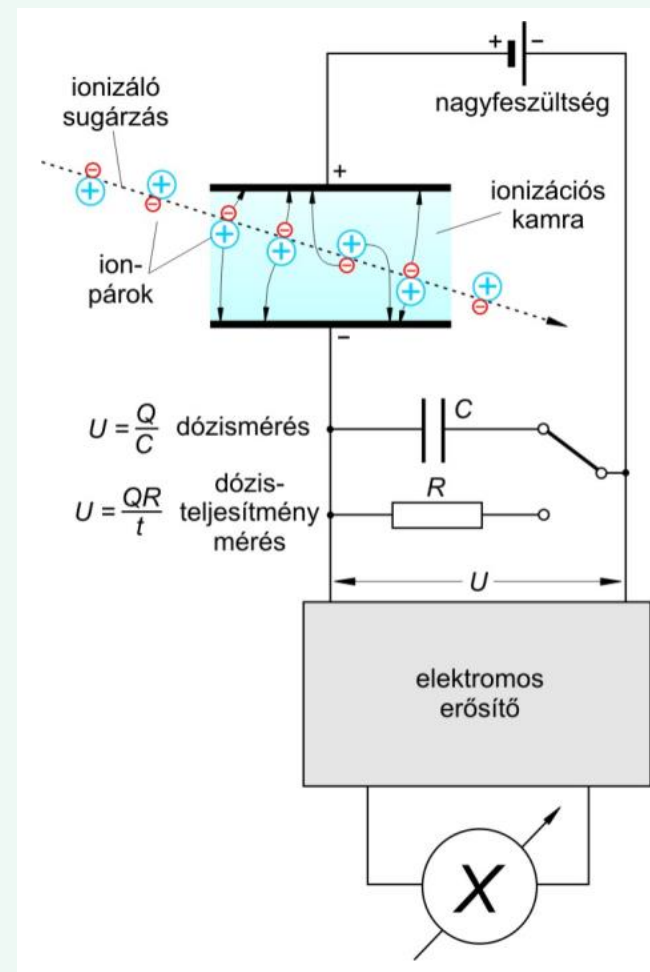
Geiger -  
tartomány



rekombinációs  
tartomány

ionizációs  
kamra  
tartomány

proporcionális  
tartomány





# *Ionizációs kamra – Geiger-Müller számláló*

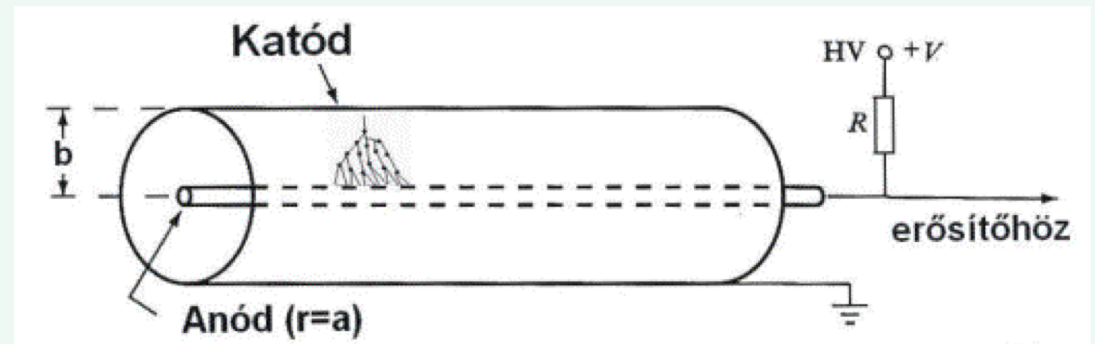
- Nemesgáz töltés
- Nagy gyorsító feszültség



Lavinaszerű ionizáció

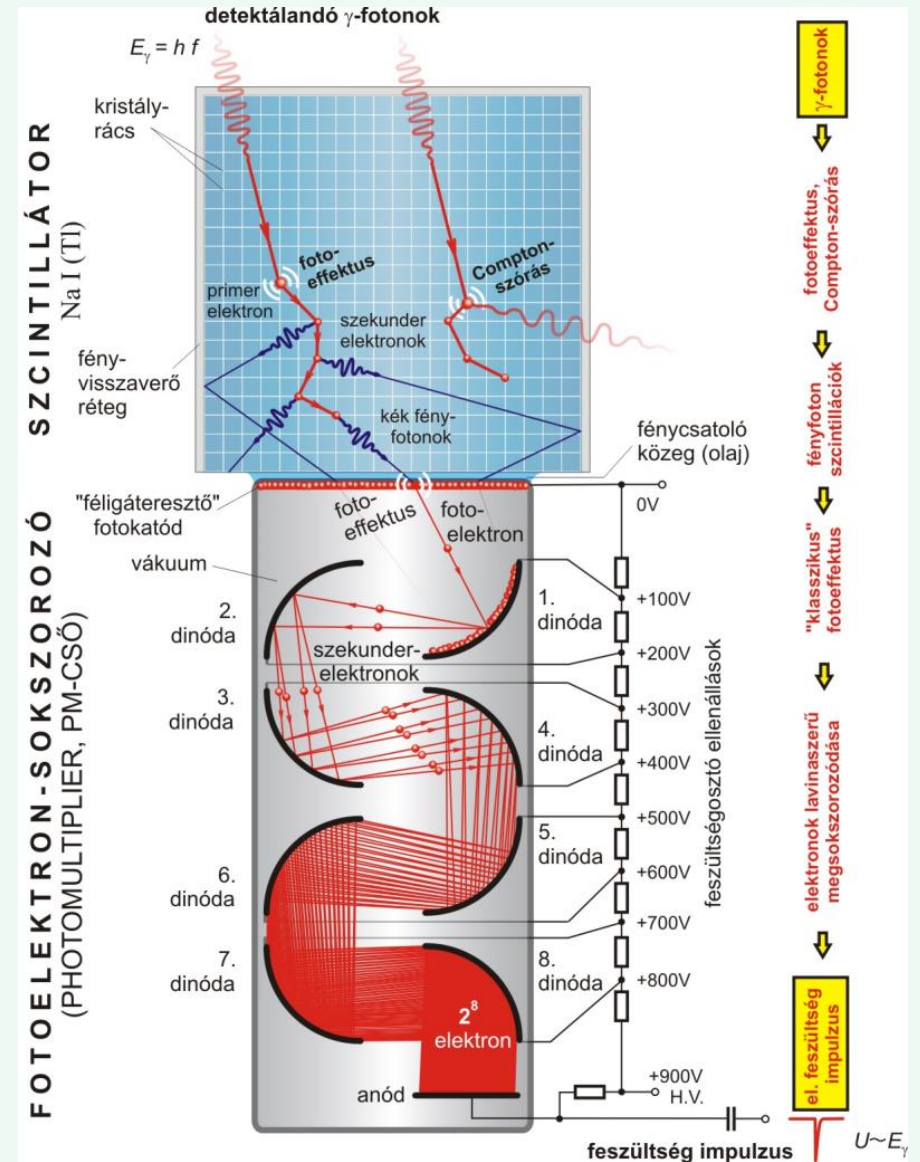
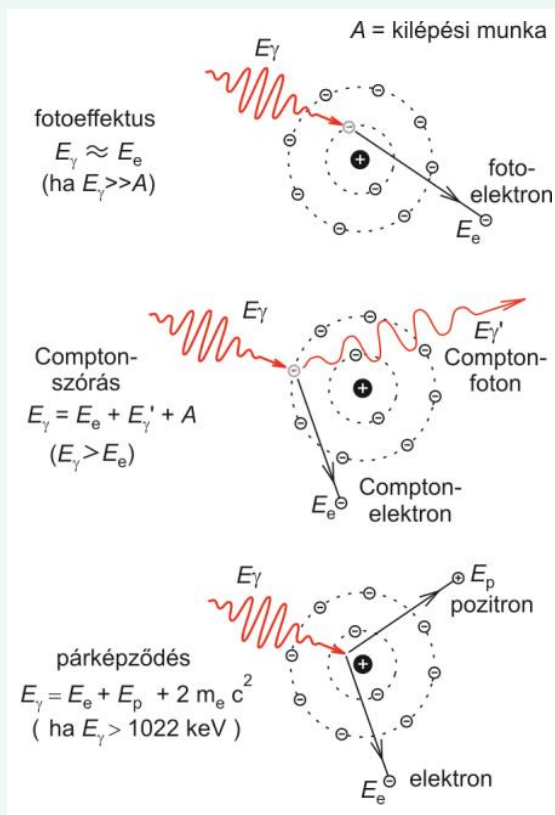
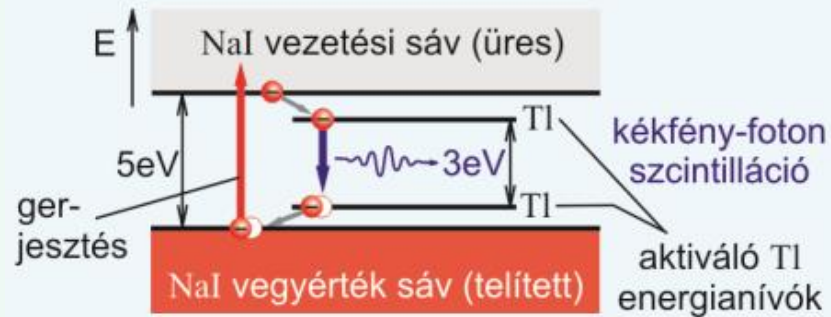


**áramimpulzus**



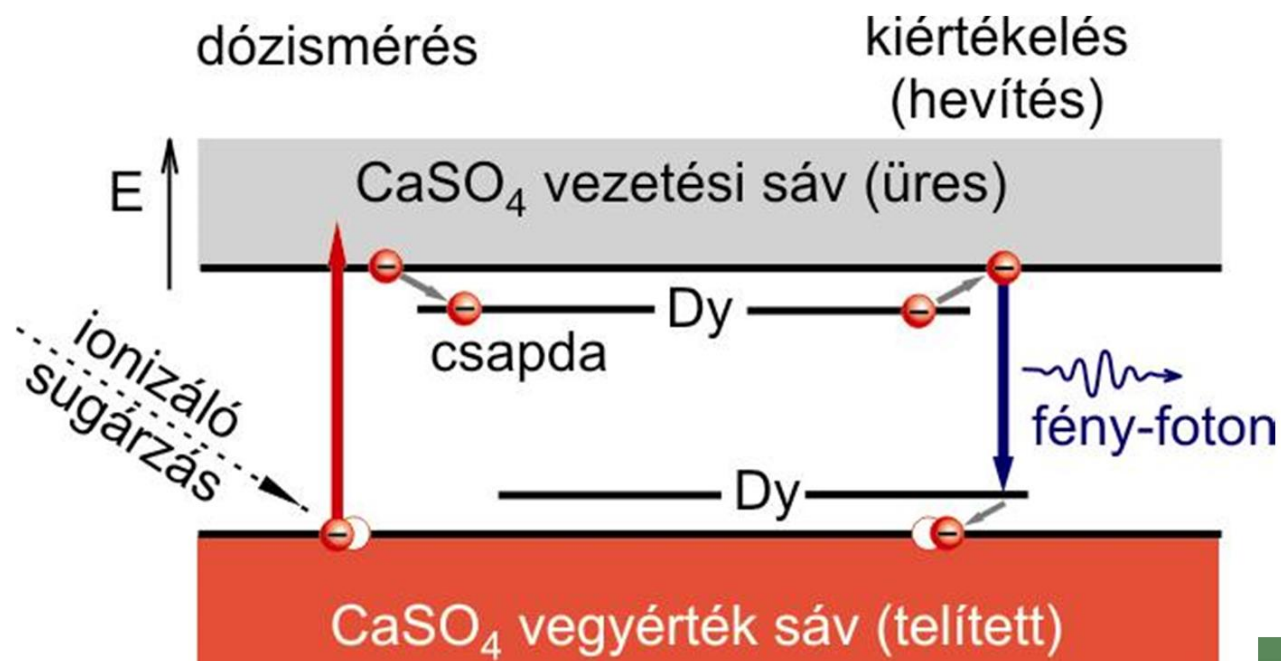
*Áramimpulzus száma ~ ionizáló részecske száma*

# Szcintillációs detektorok

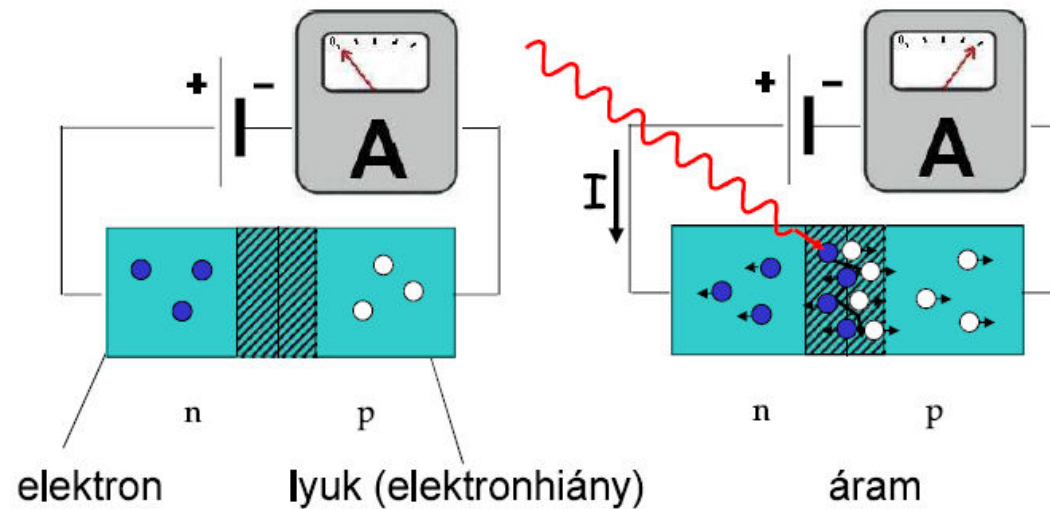


# Szilárdtest detektorok

## Termolumineszcens dózismérő



# *Félvezető detektorok*

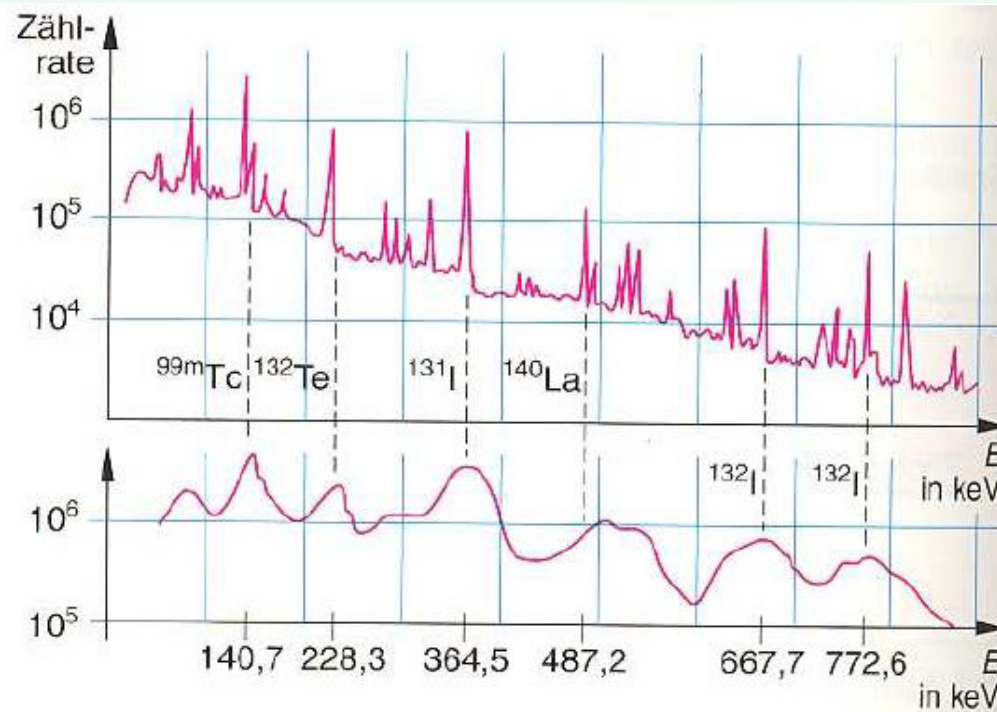


- Az n-típusú félvezetőrészt a feszültségforrás + pólusával és a p-típusú félvezetőrészt a – pólussal összekötve a záróréteg kiszélesedik.
- Az ionizáló sugárzás a zárórétegben töltéshordozókat kelt: elektronok és lyukak → rövid idejű áramimpulzus keletkezik.

# *Félvezető detektorok*

**Germánium-Detektor**

**Szcintillációs  
számláló**



hátránya hőmérsékleti érzékenysége



## *Egyéni dózismérő eszközök*

*Kémiai dózismérés -*



*Filmdoziméter*

A feketedés mértéke  
függ a sugárzás  
fajtájától, energiájától,  
az abszorbens  
vastagságától,  
anyagától.



A fotófilm megfeketedésén alapuló eszközök.

A feketedési rajzolat alapján értékelhető.

## *Dózis kiszámítása*

Csak a  $\gamma$ -sugárzással kapcsolatos  
dózt veszi figyelembe

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

$\Lambda$ : a forrás aktivitása

t: az expozíció ideje

r: forrástól mért távolság

$K_{\gamma}$ : dóziskonstans

izotópra jellemző arányossági tényező

izotóp	$\gamma$ -energia (MeV)	$K_{\gamma}$
$^{24}\text{Na}$	2,754; 1,369	444
$^{52/59}\text{Fe}$	0,5; 1,3; 1,1	160
$^{60}\text{Co}$	1,33; 1,17	305
$^{131}\text{I}$	0,364; 0,08; 0,723	54
$^{137}\text{Cs}$	0,661	80

$$[K_{\gamma}] = \frac{\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}}$$

## *Dózisszámolási példa*

75 MBq  $^{24}\text{Na}$  izotóptól 30 cm távolságban dolgozunk. Milyen vastag ólomfalat kell alkalmaznunk, hogy helyünkön  $15 \text{ mGy}_{\text{lev}}/\text{h}$  értékre csökkenjen a dózisteljesítmény?

$$\left(\frac{D}{t}\right)_0 = K_\gamma \frac{\Lambda}{r^2}$$

$$[K_\gamma] = \frac{\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}}$$

$$\left(\frac{D}{t}\right)_0 = 444 \frac{75 \cdot 10^{-3}}{0,3^2} = 370 [\mu\text{Gy} / \text{h}]$$

$$\left(\frac{D}{t}\right) = \left(\frac{D}{t}\right)_0 e^{-\mu_m x \rho}$$

$$x = 5,7 \text{ cm}$$



Kapcsolódó fejezetek:

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

II. 4.

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

IX.3.

keretes: 184. 186.

*Gyakorlati jegyzet: Dozimetria*