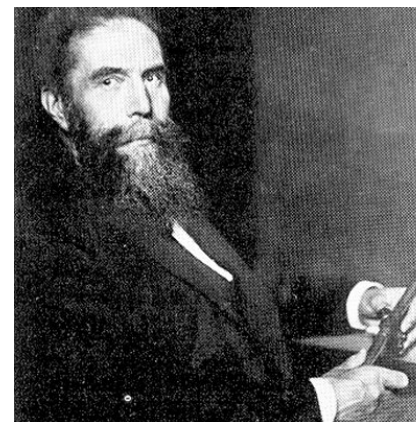


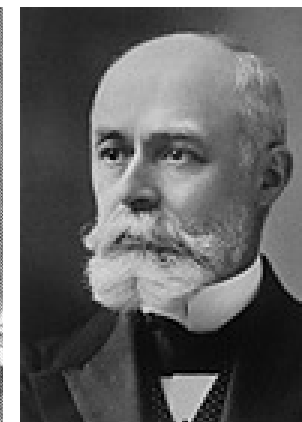


# Az ionizáló sugárzások előállítása és alkalmazása

Dr. Voszka István  
Semmelweis Egyetem Biofizikai és  
Sugárbiológiai Intézet



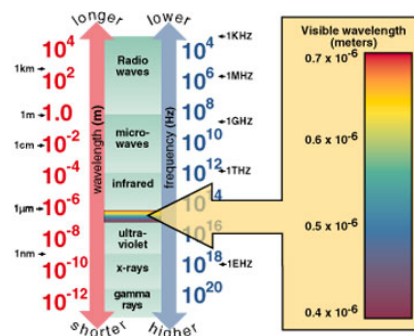
Wilhelm Conrad Röntgen  
1845-1923



Antoine Henri Becquerel  
1852-1908

## Ionizáló sugárzások

- a) **körpuszkuláris:** nyugalmi tömeggel rendelkező részecskék alkotják  
Pl:  $\alpha$ ,  $\beta$ , proton, neutron
- b) **elektromágneses:** nyugalmi tömeggel nem rendelkezik, fotonok alkotják  
 $\gamma$ , röntgen



$$E = hf = hc/\lambda$$

## 1. Az atom szerkezete; ionizáció, gerjesztés

Atommag:  $d = 10^{-15} - 10^{-14}$  m

benne protonok (számuk  $\rightarrow$  rendszám-Z)

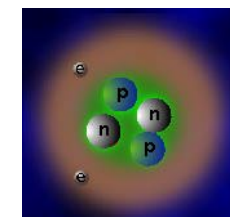
neutronok (protonok + neutronok

[nukleonok] száma együtt  $\rightarrow$  tömegszám-A)

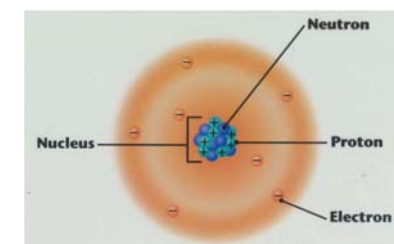
Magsugárzások:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$

Elektronburok:  $d \approx 10^{-10}$  m

elektronok száma = protonok száma  
elhelyezkedés meghatározott sugarú és energiájú pályákon (kvantáltan)



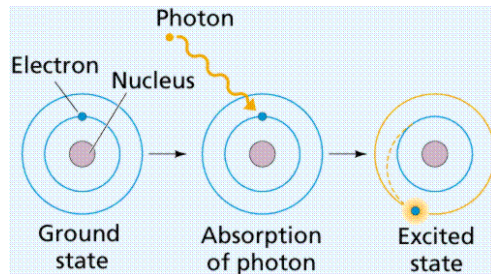
<sup>56</sup><sub>26</sub>Fe



Gerjesztés:  $\Delta E = h\nu = h c / \lambda$

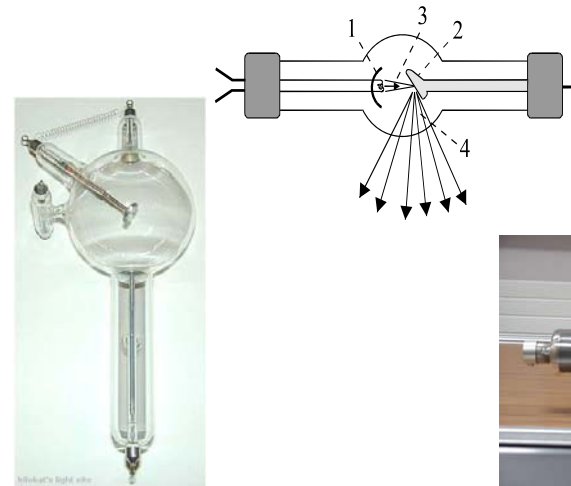
Ionizáció:  $h\nu \geq \Delta E$

Elektronburokból származó sugárzás:  
röntgen



## 2. Röntgensugárzás keletkezése

Előállítás leggyakrabban röntgensőben

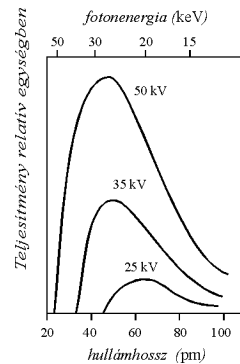


Típusai: **fékezési sugárzás**

- folytonos spektrum, rövidhullámú határral
- U növekedésével a sugárzás keményedik, az összteljesítmény nő ( $U^2$ -tel arányosan)

$$P = c U^2 I Z \quad \eta = c U Z$$

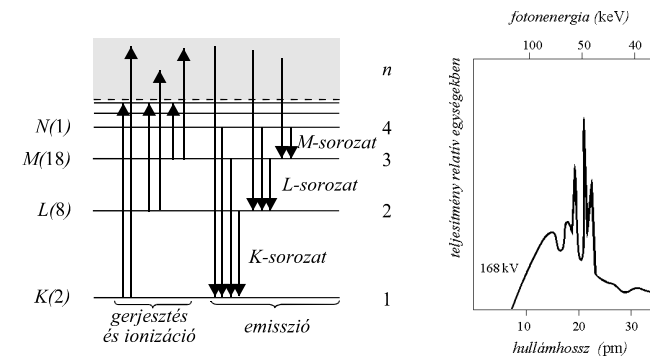
Alkalmazása: röntgen képalkotás

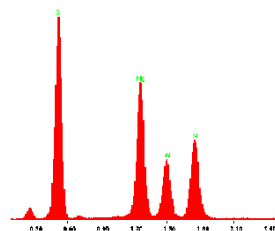


## karakterisztikus sugárzás

- nagy gyorsító feszültség esetén
- vonalas, az anódra jellemző spektrum

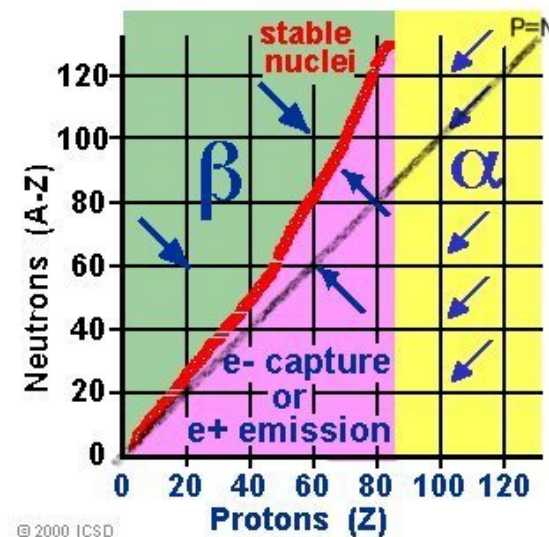
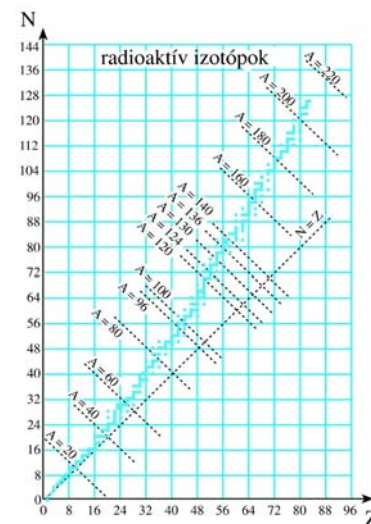
Alkalmazása: csontdenzitometria, anyagazonosítás, molekulaszervezet vizsgálata



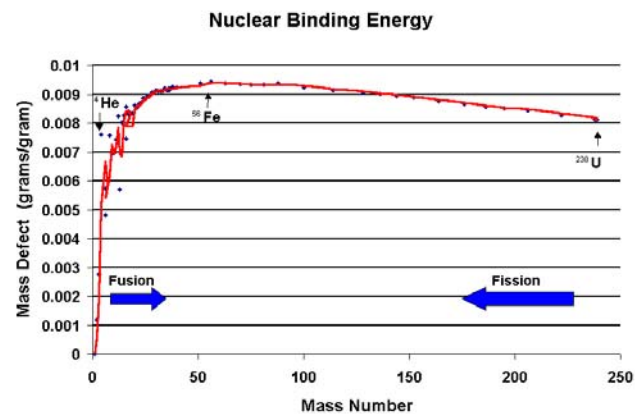


### 3. Magerők, az atommag stabilitása

A protonok és neutronok között vonzó- és taszítóerők hatnak

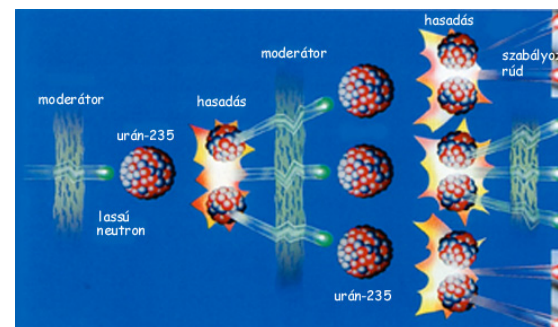


Az egy nukleonra jutó kötési energia közepes méretű magok esetén a legnagyobb (legstabilabb magok)

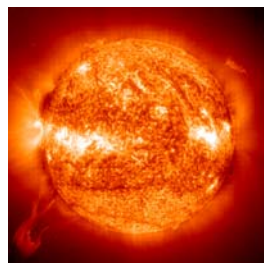
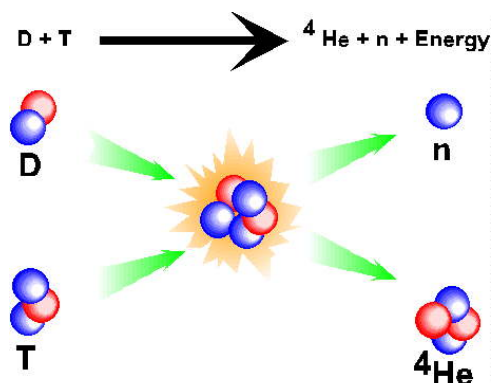


Ezen állapot elérhető:

- nehéz magok hasadásával (atomreaktor, atombomba)



- könnyű magok fúziójával (fúziós reaktor, H-bomba)



Izotópok: azonos rendszám, de eltérő tömegszám  
(lehet stabilis vagy radioaktív)

természetes mesterséges

### The Nuclei of the Three Isotopes of Hydrogen

Protium



1 proton

Deuterium



1 proton  
1 neutron

Tritium



1 proton  
2 neutrons

### 4. Radioaktív bomlás, aktivitás

Bomlási sebesség:  $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$   $\frac{dN}{dt} = \Lambda$   
(aktivitás) [bomlás/s = 1/s = Bq (becquerel)]

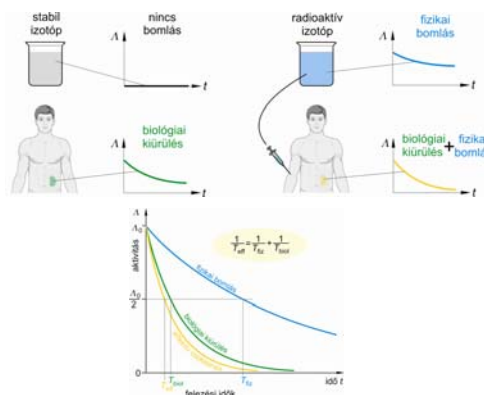
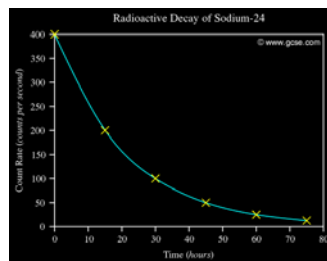
(1 Ci (curie) =  $3,7 \times 10^{10}$  Bq)

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \lambda = \frac{0,693}{T}$$

$$\lambda = \frac{1}{\tau} \quad \Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t}$$

Kapcsolat a felezési idők között:

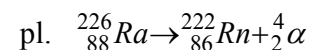
$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{fiz}} + \frac{1}{T_{biol}}$$



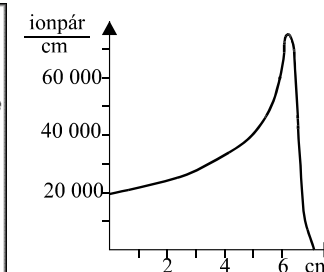
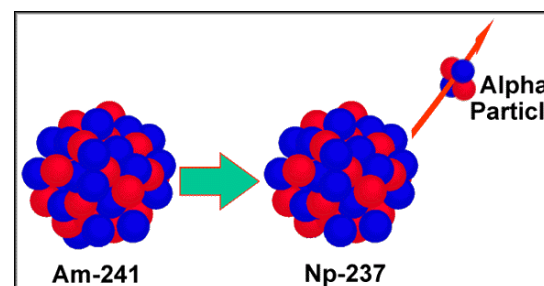
### 5. Bomlási típusok

Alfa bomlás

Z 2-vel, A 4-gyel csökken



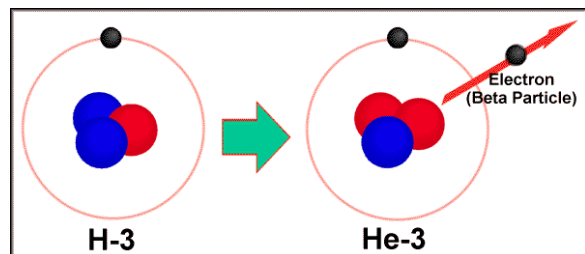
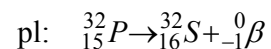
- meghatározott energiájúak (vonalas spektrum)  
- hatótávolságuk rövid (vízben, szövetben néhányszor 10  $\mu\text{m}$ )  
Alkalmazás: csak terápia



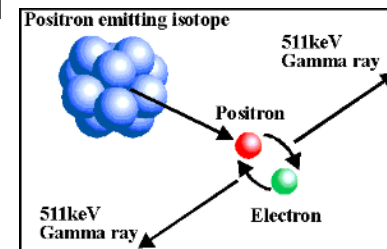
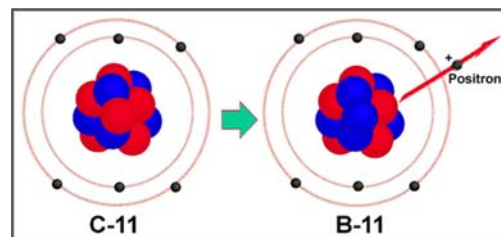
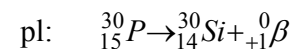


## Béta bomlás

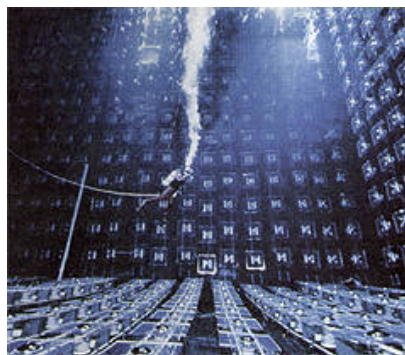
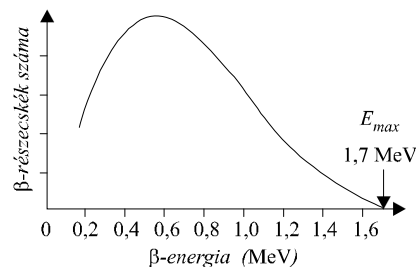
- negatív  $\beta$ -bomlás:  $Z$  1-gyel nő



- pozitív  $\beta$ -bomlás:  $Z$  1-gyel csökken

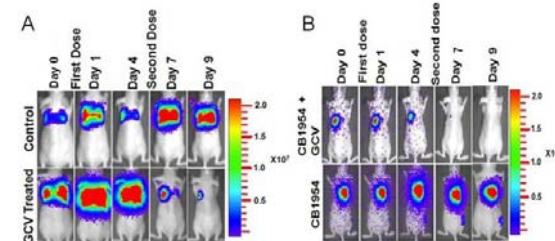
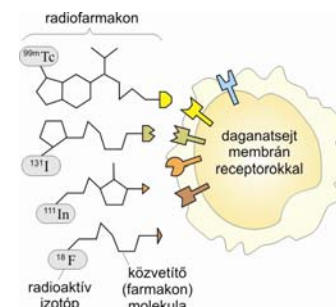


A mag energiavesztése adott értékű, a spektrum mégis folytonos. Oka: neutrínó.

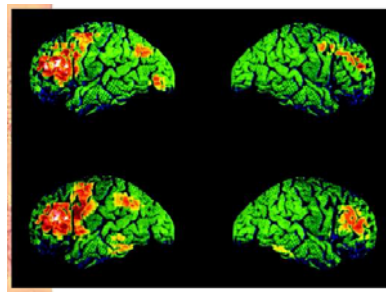


Alkalmazás:  $\beta^-$ : terápia és in vitro  
 $\beta^+$ : PET

## Tumordiagnosztika és terápia (teranosztika)



## PET vizsgálat



## Gamma sugárzás

Az  $\alpha$ - vagy  $\beta$ -bomlást követően a mag energiafölségétől elektromágneses sugárzás formájában szabadul meg.

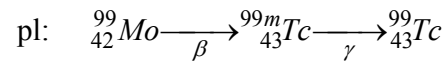
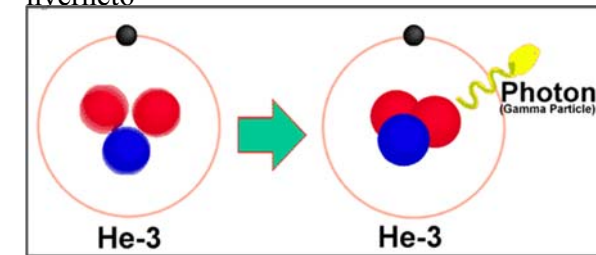
- prompt  $\gamma$ -sugárzás:

$10^{-13}$ - $10^{-18}$  s-on belül követi a részecskesugárzást

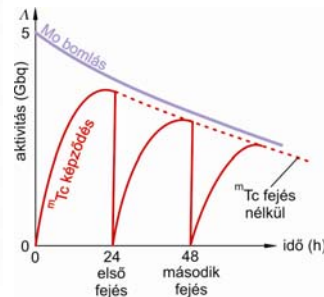
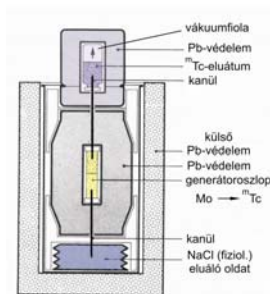
- izomer magátalakulás:

hosszabb, mérhető felezési idővel követi a részecskesugárzást

Előny: a kettő szeparálható, tisztán  $\gamma$ -sugárzó izotóp nyerhető

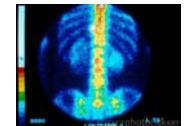


Alkalmazás: in vivo diagnosztika (igen jól használható)



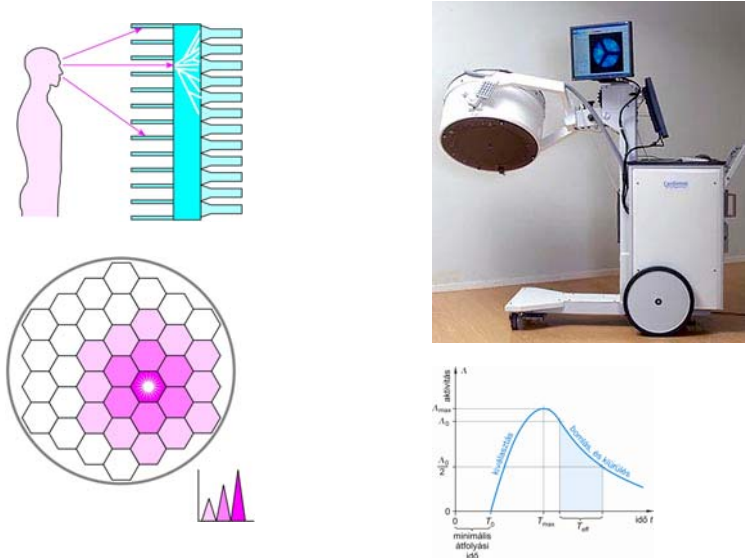
## Az „in vivo” alkalmazott izotópok kiválasztásának szempontjai

- gamma-sugárzó
- rövid felezési idő (de ne legyen rövidebb, mint a vizsgált folyamat)  
 $\Lambda \sim N/T$
- nem túl kicsi (sugárterhelés csökkentése) és nem túl nagy (jó hatásfokú detektálás) fotonenergia

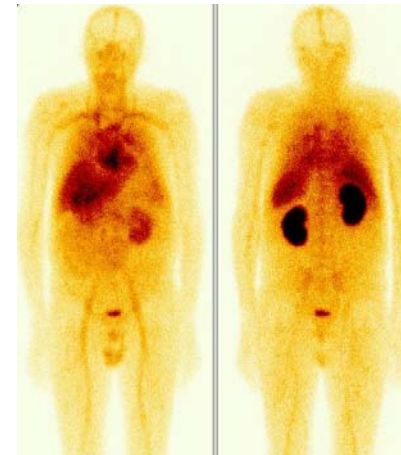


Az „in vitro” alkalmazások során a méréstechnikai szempontok a döntőek

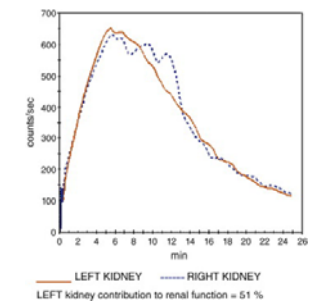
## Gamma-kamera (statikus és dinamikus vizsgálat)



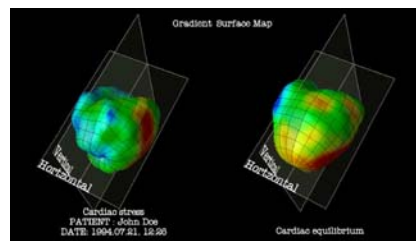
## Statikus vizsgálat (szcintigram)



## Dinamikus vizsgálat



## SPECT



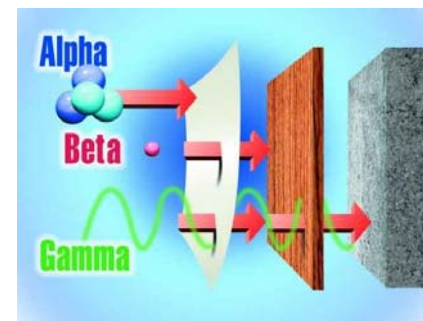
## ***Ionizáló sugárzások és a közeg kölcsönhatása***

Jellemző paraméterei:

- *hatótávolság*
- *fajlagos ionizáció (lineáris ionsűrűség)*

$$\frac{n}{l}$$

$$\text{- lineáris energiaátadás (LET)} = w \frac{n}{l}$$



### a) Direkt ionizáló sugárzások ( $\alpha$ , $\beta$ )

A kölcsönhatás típusai:

- ionizáció
- gerjesztés
- elektromágneses sugárzás keltése (fékezési röntgen v. Cserenkov sugárzás)
- magreakciók keltése (csak nagy energiájú  $\alpha$ )

#### $\alpha$ -sugárzás

igen nagy fajlagos ionizáció

kis hatótávolság (levegő ~ cm víz ~ 10  $\mu$ m)

#### $\beta$ -sugárzás

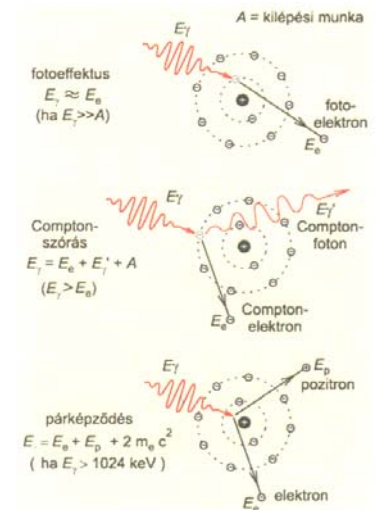
nagyobb hatótávolság (levegő ~ m, víz ~ mm)

kb. 100  $\times$  kisebb fajlagos ionizáció, mint  $\alpha$ -nál

### b) Indirekt ionizáló sugárzások ( $\gamma$ , rtg)

Elsődleges kölcsönhatás:

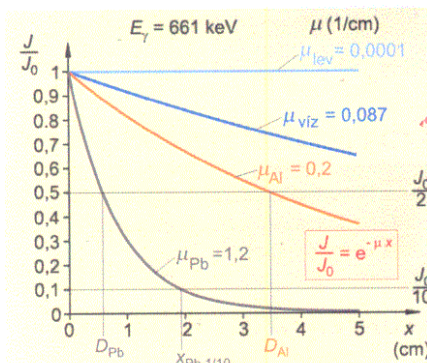
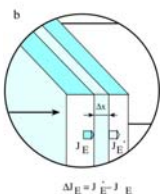
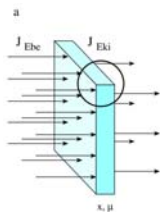
- fotoelektromos effektus
- Compton effektus
- párképződés



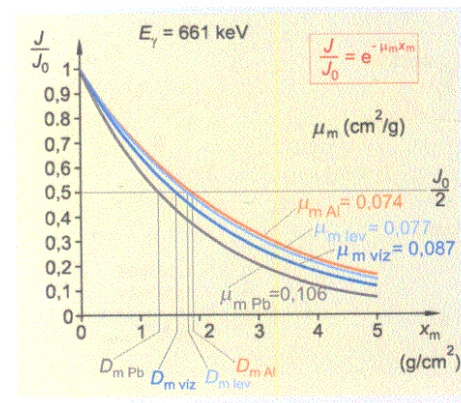
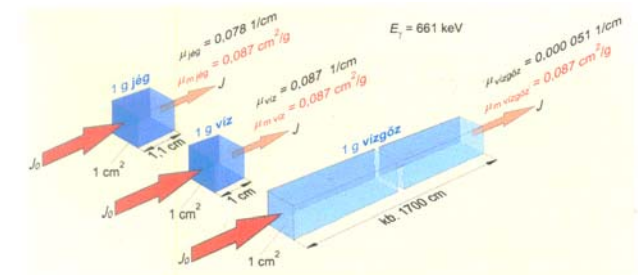
Az ezen folyamatokban kiváltott nagy energiájú elektronok ionizálnak.

A kölcsönhatások következtében a sugárzás intenzitása gyengül.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \mu = \frac{1}{\delta} \quad \mu = \frac{0,693}{D}$$



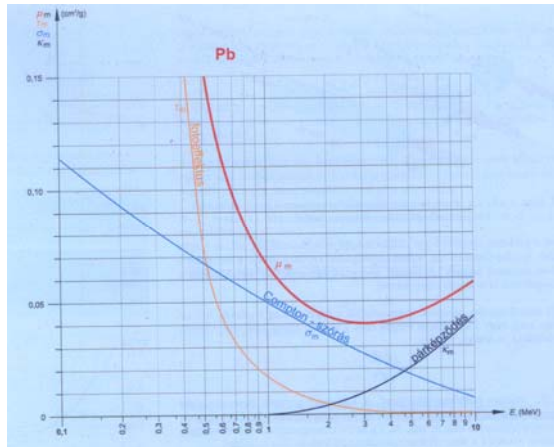
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$





$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad \text{ill.} \quad \mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m$$

A komponensek aránya a fotonenergiától és a gyengítő anyag minőségétől függ.



Kisebb fotonenergiáknál (diagnosztikus rtg és  $\gamma$ ), nagyobb rendszámú gyengítő anyagoknál (pl. Pb, csont) főleg fotoeffektus.

Erre vonatkozóan:  $\tau_m = c \lambda^3 Z^3$

Kisebb effektív rendszámú gyengítő anyagoknál (víz, lágy szövetek)

Főleg Compton-effektus ( $Z_{\text{eff,víz}} = 7,69$ ,  $Z_{\text{eff,lev}} = 7,3$ )

Erre:  $\sigma_m \sim Z$

Gyakorlati következmények:

-sugárvédelem nagy rendszámú anyagokkal Pb)

- szűrők

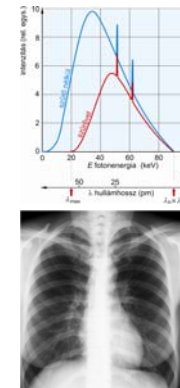
- rtg-diagnosztika (kép kontrasztossága, kontrasztanyagok)

- terápia: kis energia - felületi

- nagy energia – mély

hatótávolság: energiától függ (levegő ~ 100 m, víz ~ dm)

fajlagos ionizáció kisebb, mint  $\beta$  esetén

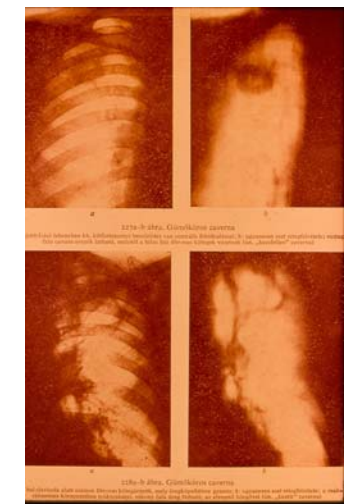


Röntgendiagnosztika

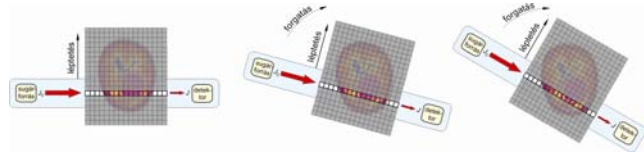
- szummációs kép



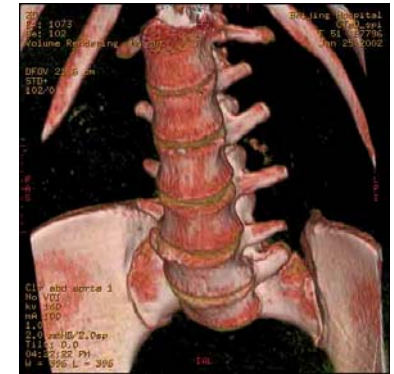
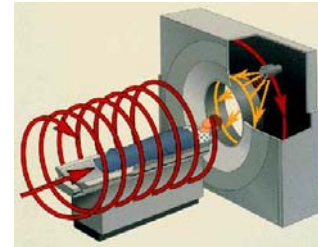
- hagyományos rétegfelvétel



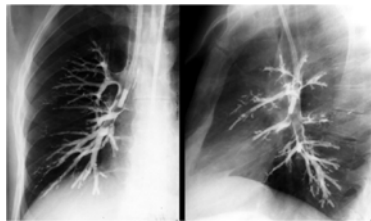
## CT



## Spirál CT és 3D rekonstrukció



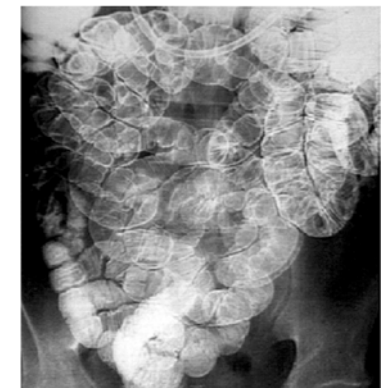
## Kontrasztanyagok alkalmazása I. -pozitív



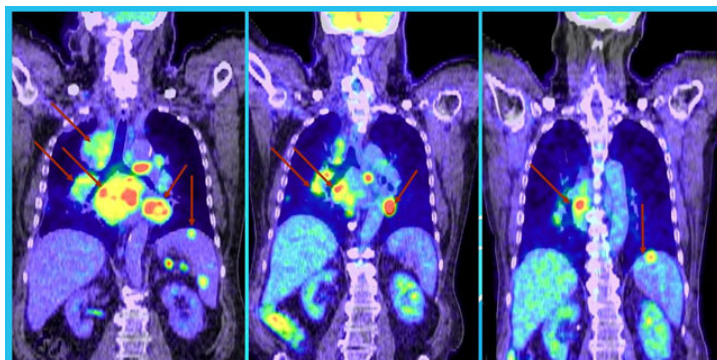
## Digitális szubtrakciós angiográfia (DSA)



## Kontrasztanyagok alkalmazása I. -negatív, illetve kettős kontraszt



Hibrid képalkotás (funkcionális és morfológiai információ kombinációja)  
PET-CT



## Dozimetria

Célja a sugárzás biológiai hatásának számszerű (kvantitatív) jellemzése.

Biológiai hatást csak a szövetben elnyelődött sugárzás fejt ki.

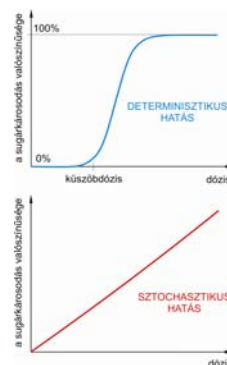
Elnyelt dózis:  $D = \frac{\Delta E}{\Delta m} \cdot \text{egysége} \cdot \frac{J}{kg} = Gy$

### A sugárkárosodások fajtái:

Determinisztikus

-Csak küszöbdózis felett

-A károsodás súlyossága arányos a dózissal  
(pl. bőrpír, sugárbetegség)



Sztokasztikus

Nincs küszöbdózis

A valószínűsége arányos a dózissal  
(pl. daganatkeletkezés)

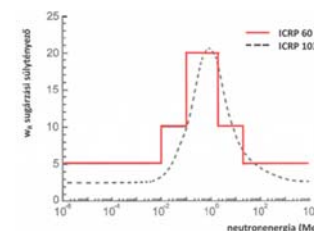
Egyenérték dózis:  $H_T = D_{T,R} w_R$

mértékegysége:  $J/kg = Sv$

A sugárvédelemben leggyakrabban előforduló típusú és minőségű sugárzások súlytényezője:

6. táblázat. Sugárzási súlytényezők.

Sugárzás fajtája	Sugárzási súlytényező ( $w_R$ )	
	ICRP 60	ICRP 103
foton	1	1
elektron, müion	1	1
proton (nem visszaszór)	5	5
proton és pión	2	2
$\alpha$ -részecske, nehéz magok	20	20
neutronok	5 (< 10 keV) 10 (10 – 100 keV) 20 (100 keV – 2 MeV) 10 (2 MeV – 20 MeV) 5 (> 20 MeV)	follytonos görbével ábrázolták az energia függvényében (2.1. ábra)



1. ábra. A  $w_R$  súlytényező grafikus ábrázolása az ICRP 60 és ICRP 103 alapján.

Effektív dózis:  $E = \sum H_T w_T$  mértékegysége: J/kg = Sv

Az egyes szövetek sugárvédelemben használt súlytényezője:

7. táblázat. Az ICRP 60 és ICRP 103 ajánlásában található testszöveti súlytényezők.

Testszövet	Testszöveti súlytényező ( $w_R$ )	
	ICRP 60	ICRP 103
tüdő, gyomor, csontvelő, vastagbél	0,12	0,12
emlő	0,05	0,12
ivarmirigyek	0,20	0,08
pajzsmirigy hólyag nyelőcső, máj	0,05	0,04
csontfelszín, bőr	0,01	0,01
agy		0,01
nyálmirigy		0,01
maradék	0,05	0,12
összes	1,00	1,00

**Dóziskorlátok**

	Foglalkozási sugárterhelés	Tanulók, gyakornokok (16-18 év között)	Lakosság (orvosi sugárterhelés nélkül)
Egésztest	20 mSv/év	6 mSv/év	1 mSv/év
Szemlencse	20 mSv/év	15 mSv/év	15 mSv/év
Bőr, végtagok	500 mSv/év	150 mSv/év	50 mSv/év

**Néhány orvosi beavatkozás során kapott dózis**

In vivo izotópvizsgálatok általában: 4 – 5 mSv  
Fogászati röntgen vizsgálatok: 2 – 16 µSv  
Mellkas ernyőkészítés: 0.1 mSv  
Koponya CT: 1,5 – 2 mSv  
Hasi, mellkasi CT: 7 -8 mSv  
Intervenciós radiológia: több 10 mSv

Átlagos háttérsugárzás Magyarországon: 3,1 mSv/év

**Egyéni dozimetriai ellenőrzés,  
monitorozás, orvosi gyakorlatban**

- Egyéni külső dózis követésére személyre szólóan dozimétert használjunk, melynek típusa lehet:
  - (- Film kazetta)
  - Termolumineszcens (TL)
  - Elektronikus (operatív) doziméter
- Egyéni dozimétert mell-magasságban, a váll és derék között hordjuk
- A monitorozási időtartam legyen 1 hónap, de semmi esetre sem 3 hónapnál hosszabb.
- Doziméter csere és eredmény közlés ne legyen 3 hónapnál ritkább!



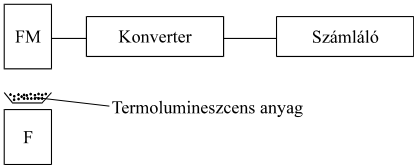
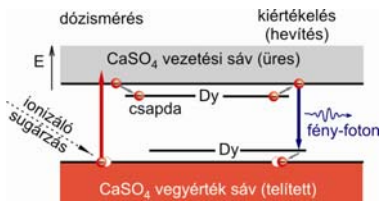
2013 során a Személyi Dozimetriai Szolgálat áttért a filmdoziméterekről az egészséges termolumineszcens doziméterek használatára.



Termolumineszcens dózismérő



Termolumineszcens dózismérő  
(1. gyakorlat)



Elektronikus operatív doziméter



## Sugárvédelmi szempontok minden ionizáló sugárzással végzett tevékenység során

1. **Indokoltság** – az ionizáló sugárzás alkalmazásának hasznosnak kell lennie: az alkalmazás kockázata kisebb, mint az alkalmazás elhagyásának kockázata (kára) – ezt kell mérlegelni a páciens szempontjából.
2. **Optimálás** – az alkalmazás által okozott dózis az ésszerűen elérhető Legkisebb legyen. (ALARA-elv: **A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable) Mind a páciens, mind a személyzet szempontjából mérlegelni kell.
3. **Korlátozás** – a valószínű dózisok nem léphetik túl a biztonságot adó egyéni dóziskorlátot.  
A munkavállalók szempontjából kell mérlegelni.

## Lehetőségek a sugárterhelés csökkentésére

- A távolság növelése
- Az expozíciós idő csökkentése
- Sugárelnyelő rétegek alkalmazása

