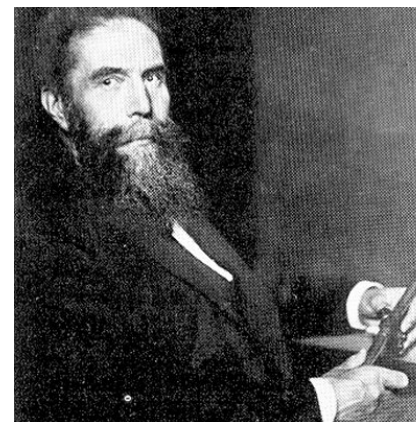


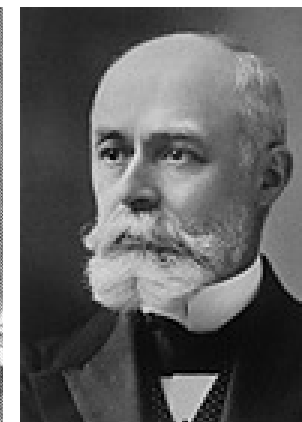


# Az ionizáló sugárzások előállítása és alkalmazása

Dr. Voszka István  
Semmelweis Egyetem Biofizikai és  
Sugárbiológiai Intézet



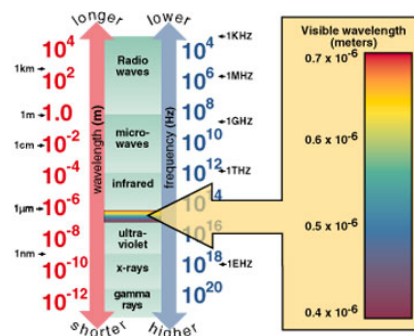
Wilhelm Conrad Röntgen  
1845-1923



Antoine Henri Becquerel  
1852-1908

## Ionizáló sugárzások

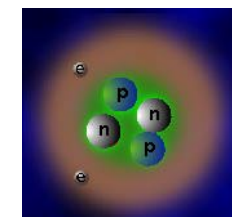
- a) **körpuszkuláris:** nyugalmi tömeggel rendelkező részecskék alkotják  
Pl:  $\alpha$ ,  $\beta$ , proton, neutron
- b) **elektromágneses:** nyugalmi tömeggel nem rendelkezik, fotonok alkotják  
 $\gamma$ , röntgen



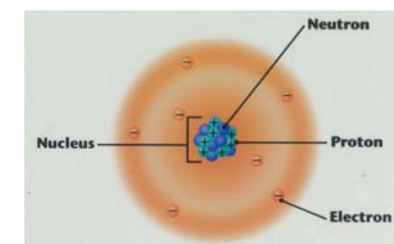
$$E = hf = hc/\lambda$$

## 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)



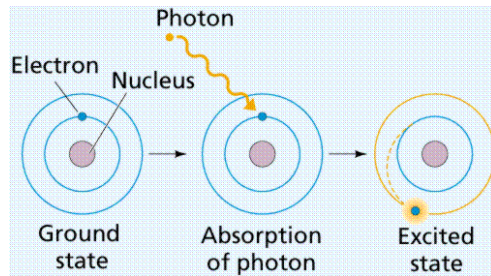
<sup>56</sup><sub>26</sub>Fe



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

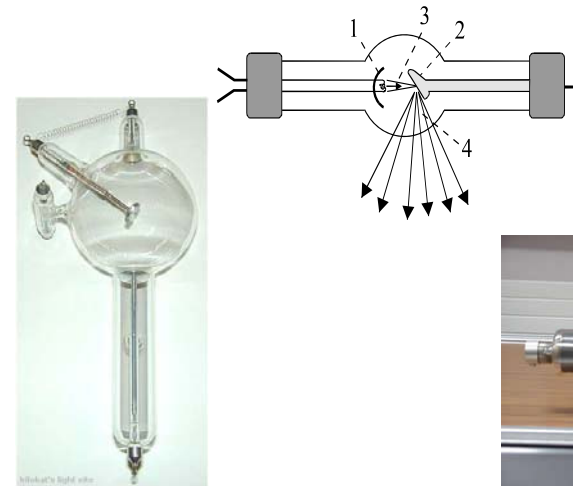
Ionizáció:  $h\nu \geq \Delta E$

Elektronburokból származó sugárzás:  
röntgen



## 2. Röntgensugárzás keletkezése

Előállítás leggyakrabban röntgensőben

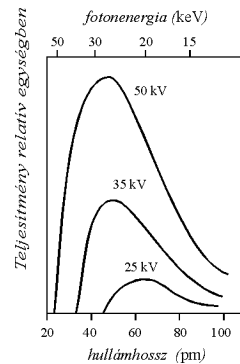


Típusai: **fékezési sugárzás**

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

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

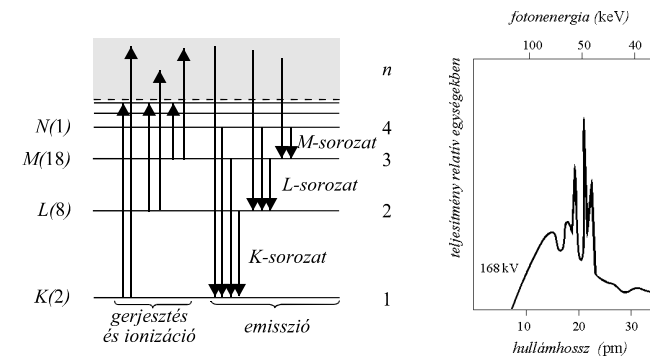
Alkalmazása: röntgen képalkotás

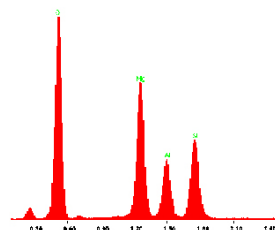


## karakterisztikus sugárzás

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

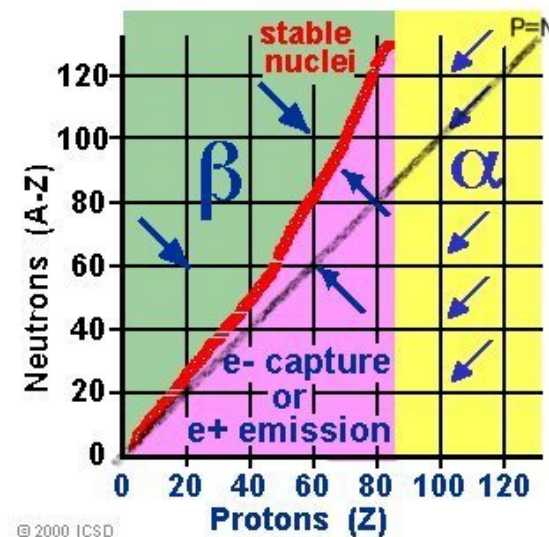
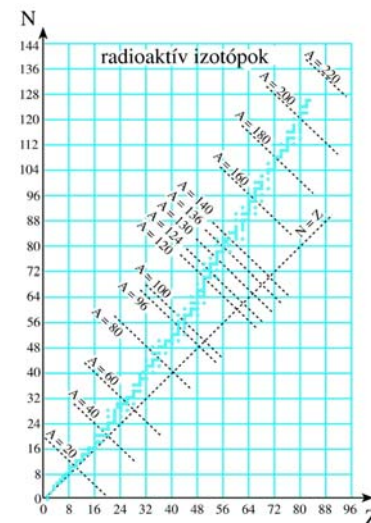
Alkalmazása: csontdenzitometria, anyagazonosítás, molekulaszervezet vizsgálata



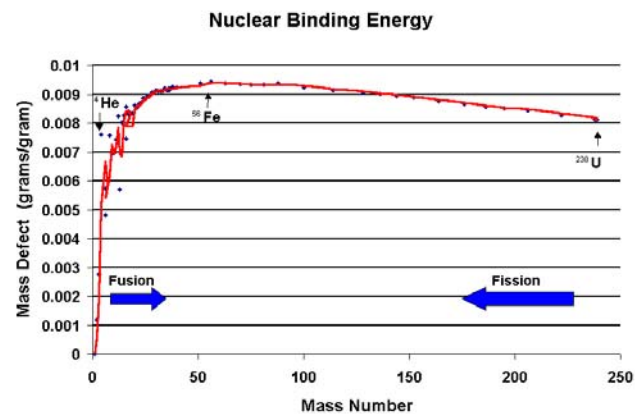


### 3. Magerők, az atommag stabilitása

A protonok és neutronok között vonzó- és taszítóerők hatnak

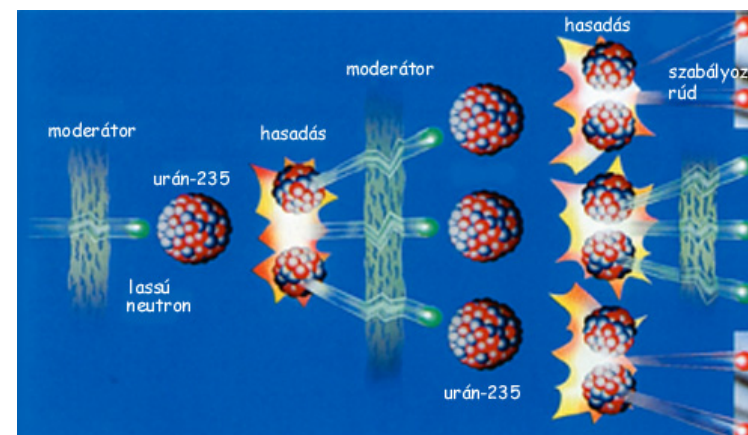


Az egy nukleonra jutó kötési energia közepes méretű magok esetén a legnagyobb (legstabilabb magok)

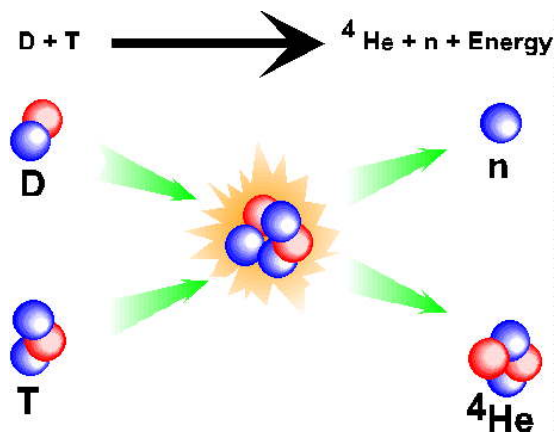


Ezen állapot elérhető:

- 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)]

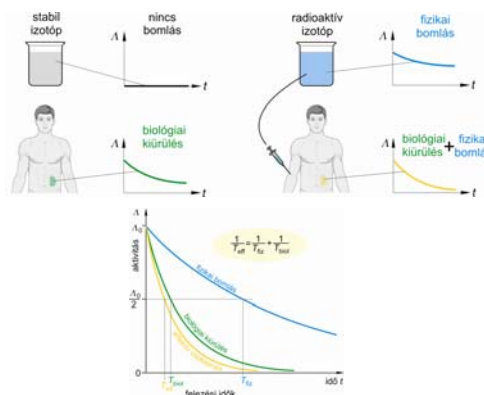
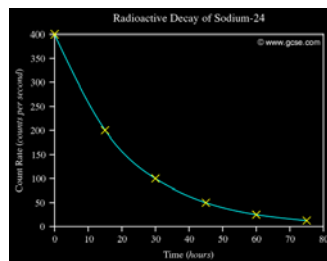
(1 Ci (curie) =  $3,7 \times 10^{10}$  Bq)

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

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

Kapcsolat a felezési idők között:

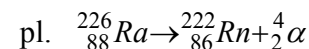
$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{fiz}} + \frac{1}{T_{biol}}$$



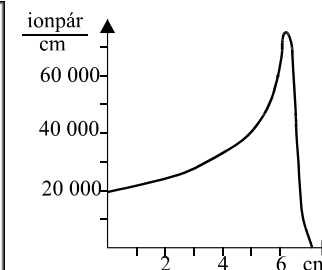
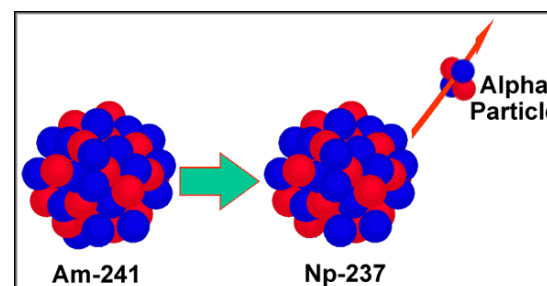
#### 5. Bomlási típusok

Alfa bomlás

Z 2-vel, A 4-gyel csökken



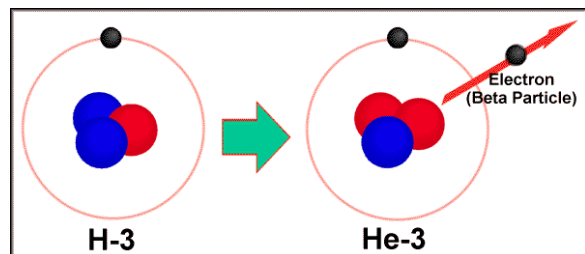
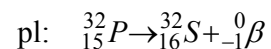
- meghatározott energiájúak (vonalas spektrum)  
- hatótávolságuk rövid (vízben, szövetben néhányszor 10  $\mu\text{m}$ )  
Alkalmazás: csak terápia



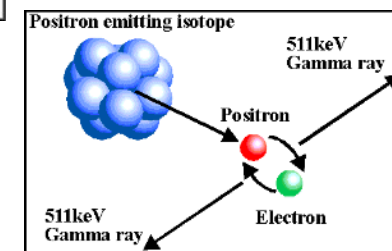
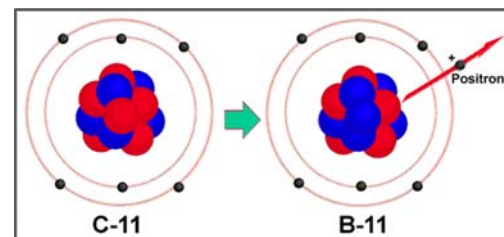
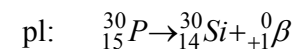


## Béta bomlás

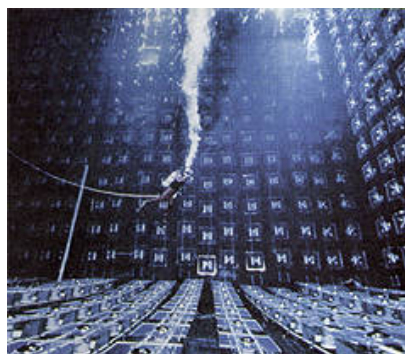
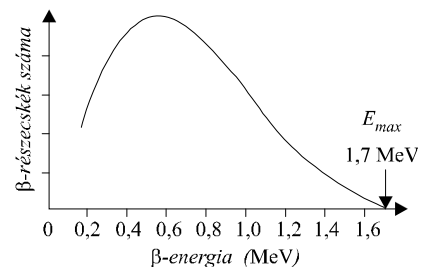
- negatív  $\beta$ -bomlás:  $Z$  1-gyel nő



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

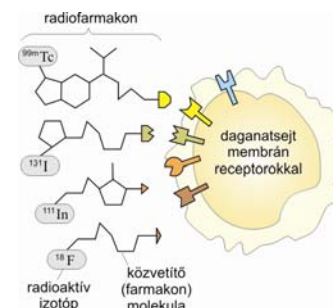


A mag energiavesztése adott értékű, a spektrum mégis folytonos. Oka: neutrínó.

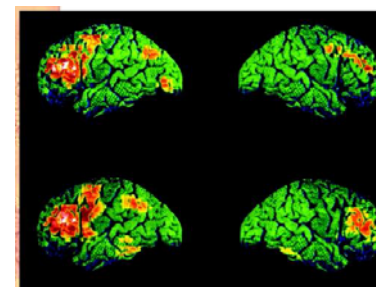
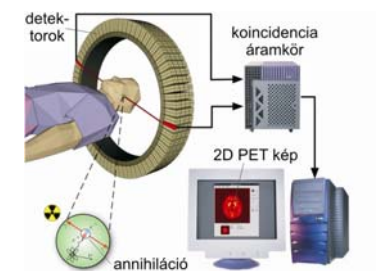


Alkalmazás:  $\beta^-$ : terápia és in vitro  
 $\beta^+$ : PET

## Tumordiagnosztika és terápia



## PET vizsgálat



## Gamma sugárzás

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

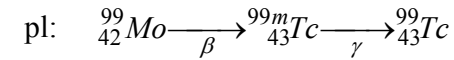
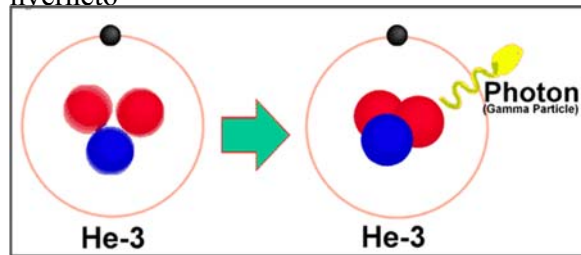
- prompt  $\gamma$ -sugárzás:

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

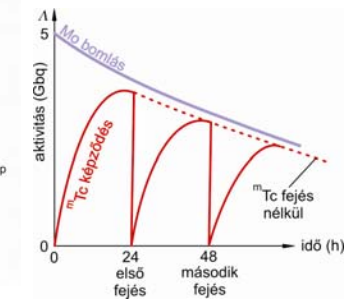
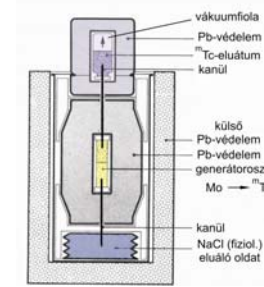
- izomer magátalakulás:

hosszabb, mérhető felezési idővel követi a részecskesugárzást

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

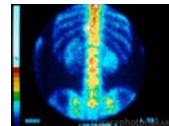


Alkalmazás: in vivo diagnosztika (igen jól használható)



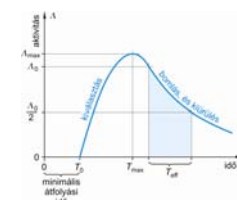
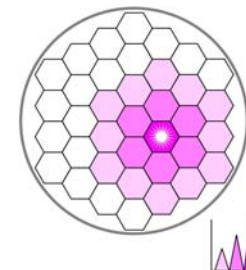
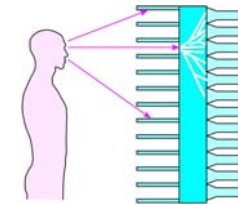
## Az „in vivo” alkalmazott izotópok kiválasztásának szempontjai

- 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

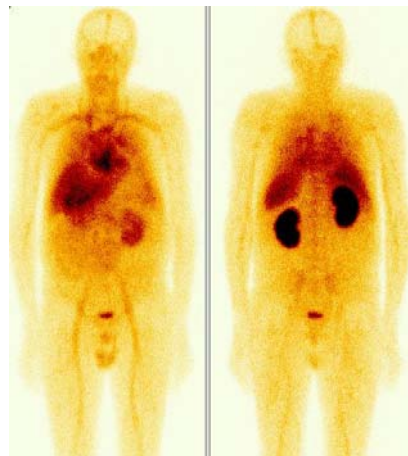


Az „in vitro” alkalmazások során a mérés technikai szempontok a döntőek

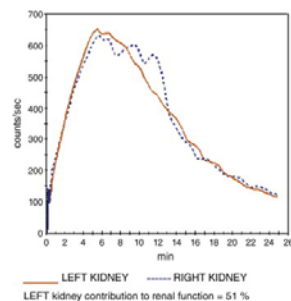
## Gamma-kamera (statikus és dinamikus vizsgálat)



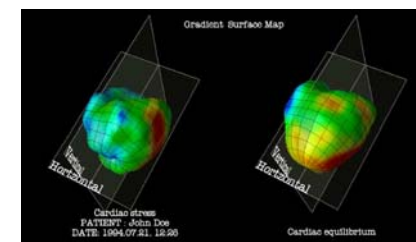
## Statikus vizsgálat (szcintigram)



## Dinamikus vizsgálat



## SPECT



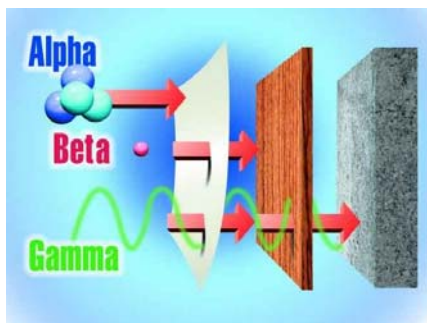
## Ionizáló sugárzások és a közeg kölcsönhatása

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

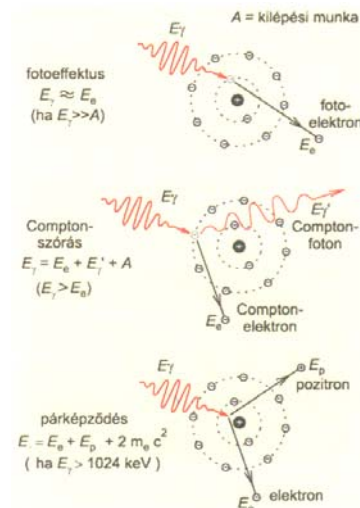
nagyobb hatótávolság (levegő ~ m, víz ~ mm)  
kb. 100  $\times$  kisebb fajlagos ionizáció, mint  $\alpha$ -nál

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

Elsődleges kölcsönhatás:

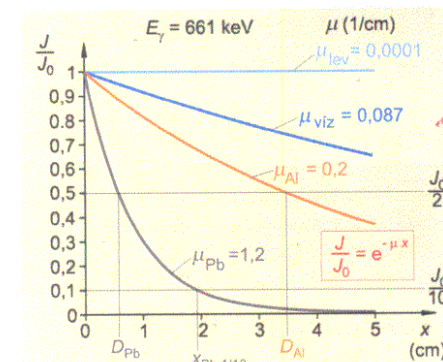
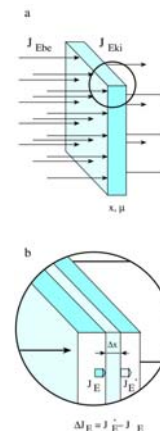
- fotoelektromos effektus
- Compton effektus
- párképződés

Az ezen folyamatokban kiváltott nagy energiájú elektronok ionizálnak.

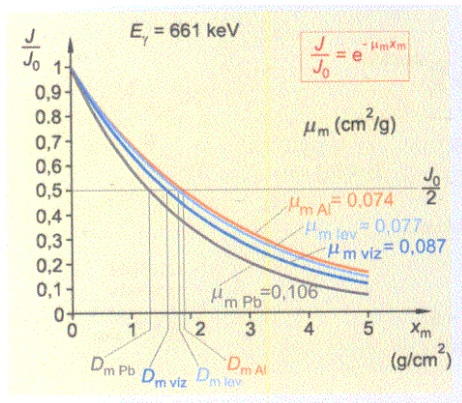
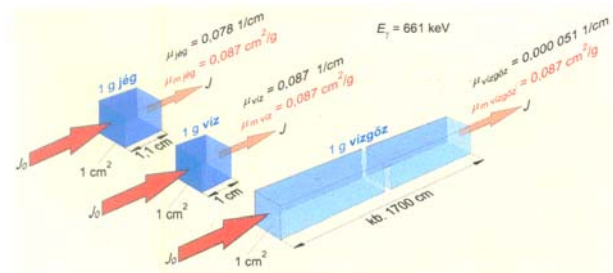


A kölcsönhatások következtében a sugárzás intenzitása gyengül.

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

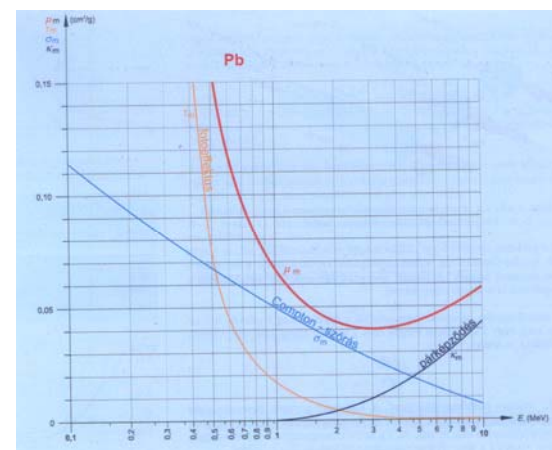


$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$



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

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

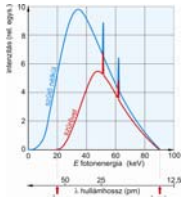
- rtg-diagnosztika (kép kontrasztossága, kontrasztanyagok)

- terápia: kis energia - felületi

- nagy energia – mély

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

fajlagos ionizáció kisebb, mint  $\beta$  esetén

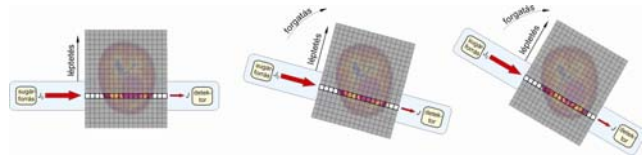


Röntgendiagnosztika

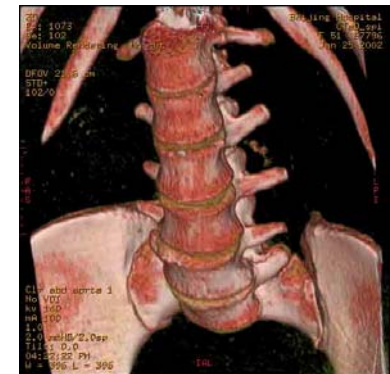
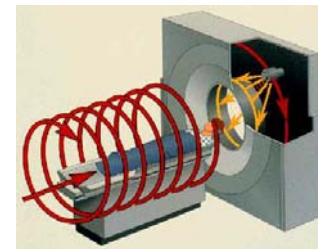
- szummációs kép



CT



Spirál CT és 3D rekonstrukció



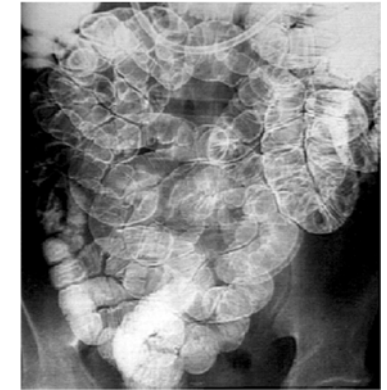
## Kontrasztanyagok alkalmazása I. -pozitív



## Digitális szubtrakciós angiográfia (DSA)



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



## Dozimetria

Célja a sugárzás biológiai hatásának számszerű (kvantitatív) jellemzése.

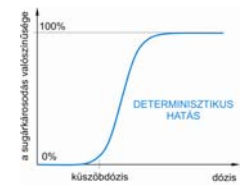
Biológiai hatást csak a szövetben elnyelődött sugárzás fejt ki.

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

## 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:  $H_T = D_{T,R} \cdot w_R$       mértékegysége: J/kg = Sv

A sugárvédelemben leggyakrabban előforduló típusú és minőségű sugárzások súlytényezője:

A sugárzás típusa és energiatartománya		Sugárzási súlytényező, $w_R$
Fotonok	teljes energiatartomány	1
Elektronok és müonok	teljes energiatartomány*	1
Neutronok	<10 keV	5
	10 keV-100 keV	10
	>100 keV-2 MeV	20
	>2 MeV-20 MeV	10
	>20 MeV	5
Protonok (kivéve: visszalökött protonok)	>2 MeV	5
Alfa-részecskék, hasadási töredékek, nehéz magok	-	20

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

Az egyes szövetek sugárvédelemben használt súlytényezője:

Testszövet vagy szerv	Súlytényező, $w_T$
Ivarszervek	0,20
Csontvelő (vörös)	0,12
Vastagbél*	0,12
Tüdő	0,12
Gyomor	0,12
Hólyag	0,05
Emlő	0,05
Máj	0,05
Nyelőcső	0,05
Pajzsmirigy	0,05
Bőr	0,01
Csontfelszín	0,01
Maradék**	0,05

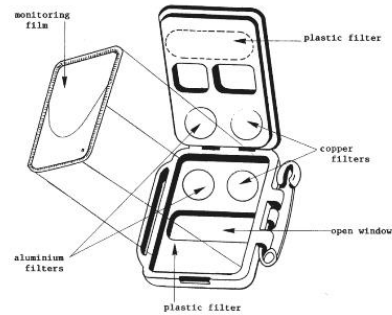
**Dóziskorlátok**

	Foglalkozási sugárterhelés	Tanulók, gyakornokok (16-18 év között)	Lakosság (orvosi sugárterhelés nélkül)
Egésztest	100 mSv/5 év (egy évben sem lehet > 50 mSv)	6 mSv/év	1 mSv/év
Szemlencse	150 mSv/év	50 mSv/év	15 mSv/év
Bőr	500 mSv/év	150 mSv/év	50 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!

## Filmdoziméter



## Termolumineszcens dózismérő



## Elektronikus operatív doziméter



## Lehetőségek a sugárterhelés csökkentésére

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

