

---

## ***A röntgensugárzás természete, forrása és biológiai hatásai***

### ***Kitekintés: $\gamma$ -sugárzás***

Dr. Fidy Judit  
Professzor emeritus  
2015.03.11

---

Mai kérdés:

---

Egy molekula elektronjainak energiaállapotát mikor nevezzük „szingulett (S)”-nek és mikor „triplett (T)”-nek?

---

Eddig: fény  
Következik: röntgensugárzás

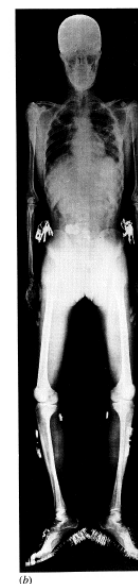
---

	fény	röntgensugárzás (rtg. cső)
Fotonenergia	1.5 – 3 eV	20 – 200 keV
Primér hatás	$e^-$ gerjesztés	$e^-$ ionizáció
Elnyelődés valószínűsége	diszkrét fotonenergiáknál	energia folytonos függvénye

---



**Figure 4.10** Two radiographs taken by Röntgen. (a) The hand of Mrs. Röntgen. (The Bettmann Archive/Bettmann Newsphotos.) (b) Radiograph of a fully clothed man, showing not only the man's skeleton but also the keys in his pockets, the nails of his shoes, and the metal clasps of his garters. (Deutsches Museum, München.)



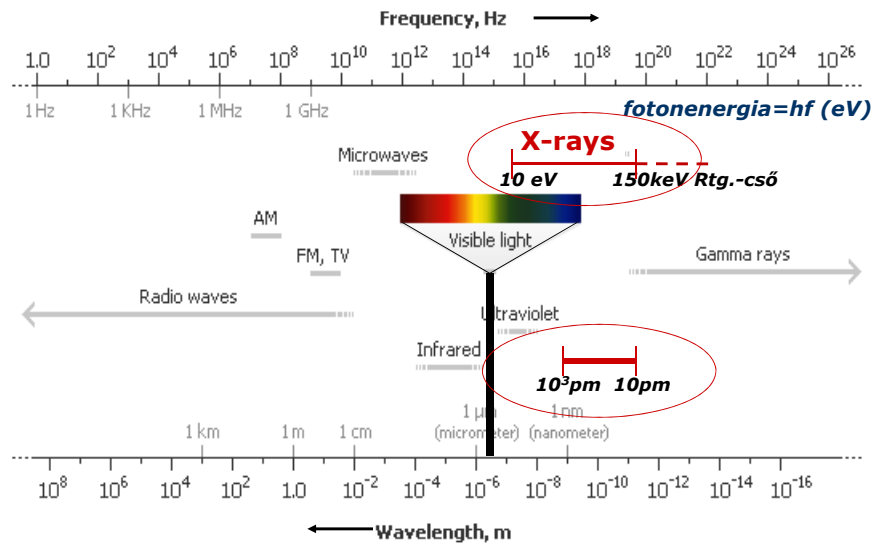
**Wilhelm Konrad Röntgen  
(1845-1923)**

---

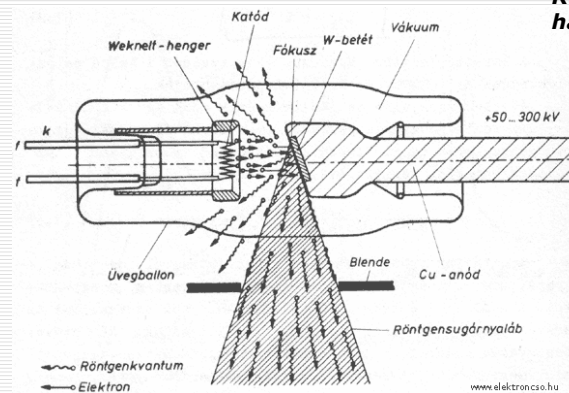
## Fény - **X-rays** elektromágneses hullámok

Logaritmikus skála

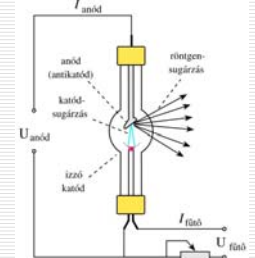
$10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nanometer}$



## Röntgensugárzás keltése röntgensóval



Rtg. Sug. keletkezik, ha nagy sebességű elektronok nagy rendszámú anyagban lefékeződnek.



$$\eta = \frac{P_{\text{sug}}}{P_{\text{el}}} < 1\%$$

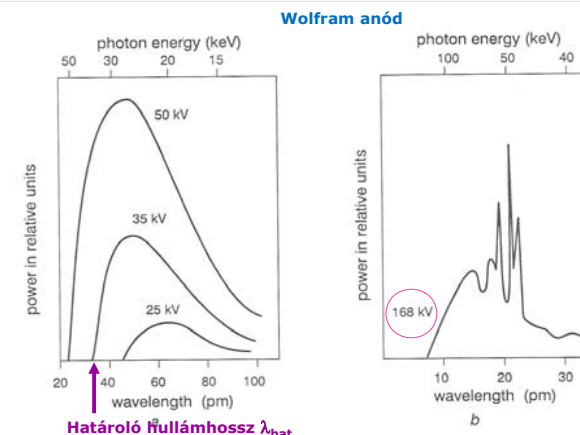
Az anódban nagy a hőfejlődés

Röntgensóvek - **forgó anód**  
- **hűtés**



## A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

Emissziós spektrumok növekvő gyorsító feszültség mellett



- Nagy feszültség (U) mellett a spektrum vonalassá válik
- Az össz-teljesítmény erősen nő a feszültséggel
- A spektrum a rövid hullám-hosszú oldalon élesen végződik,  $\lambda_{\text{hat}}$  csökken, ha U nő

$$q_e U = \frac{1}{2} m_e v^2 = hf_h = h \frac{c}{\lambda_h}$$

$$\lambda_h = \frac{h \cdot c}{q_e U}$$

Határoló hullámhossz  $\lambda_{\text{hat}}$

## A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

### Kétféle mechanizmus

#### 1. Fékezési röntgensugárzás (Brehmstrahlung)

- minden (nagy)  $U$ -nál
- spektruma folytonos
- teljes kisugárzott teljesítmény:

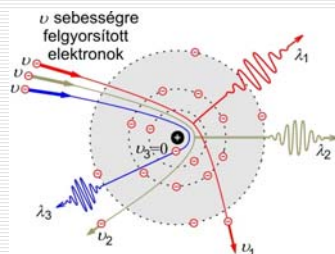
$$\lambda_h = \frac{h \cdot c}{q_e \cdot U}$$

$$P_{\text{rtg}} = \text{konst} \cdot U^2 \cdot I \cdot Z$$

$$1.1 \cdot 10^{-9} \text{V}^{-1}$$

Anód anyaga

- ezen alapul a röntgendiagnosztika

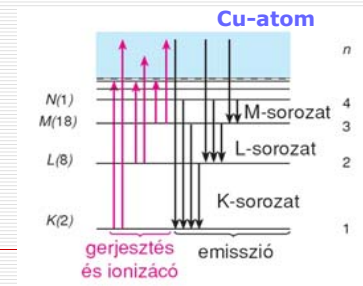
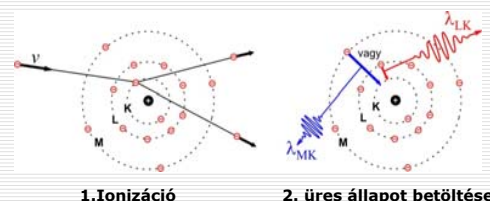


## A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

### Kétféle mechanizmus

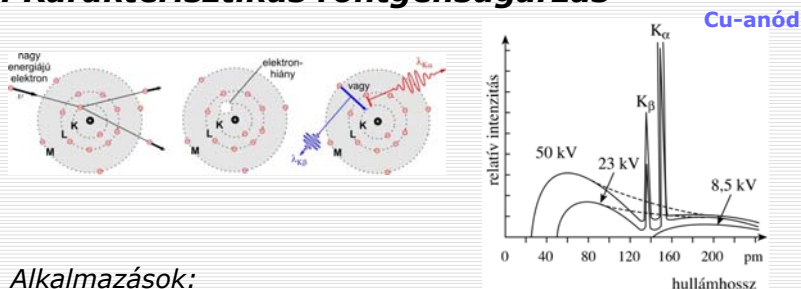
#### 2. Karakterisztikus röntgensugárzás

- csak elég nagy  $U$  felett
- spektruma vonalas, az anód anyagára jellemző



## A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

### 2. Karakterisztikus röntgensugárzás



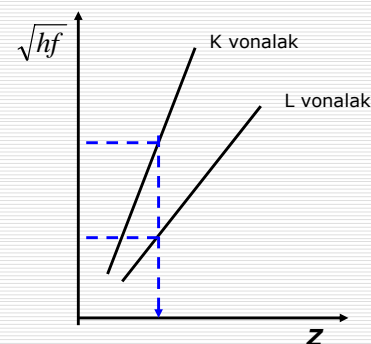
Alkalmazások:

- Molibdén anód vonalai emlődiagnosztikában
- vonalak fotonenergiája alapján kémiai elemzés

## Karakterisztikus röntgensugárzás alkalmazásai

### 1. Kémiai analízis

- igen kis mennyiségből elemzés
- a minta az anód szerepében



**Kvalitatív analízis:**

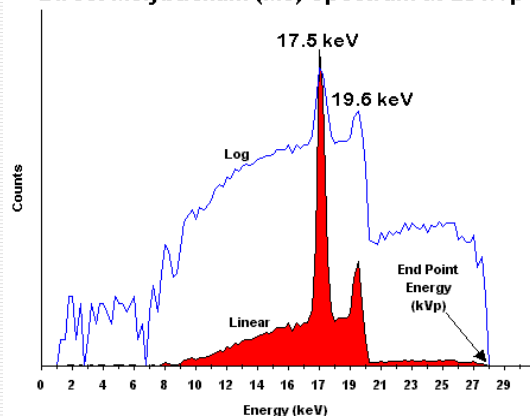
**Spektrum vonalak energiái → target rendszáma**

**Kriminológia**

## 2. Mo anód karakterisztikus röntgensugárzása

**Mammográfia ~17.5 keV monokromatikus sugárzás**

Direct Molybdenum (Mo) Spectrum at 28 kVp



## Röntgendiagnostikai alkalmazások (fékezési sugárzás)

**A diagnosztikai alkalmazások a rtg sugárzás szöveti elnyelődésén alapulnak**

Érvényes az exponenciális absorpció-törvény

$$J = J_0 e^{-\mu x} = J_0 e^{-\mu_m \rho x}$$

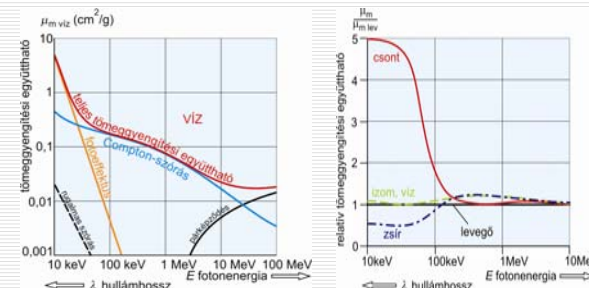
Abszorpciós együttható

Tömeggyengítési együttható

**MINŐSÉGI JELLEMZŐ**

Abszorbens anyaga

Sugárzás fotonenergiaja

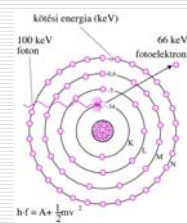


← diagnosztika →  
← terápia →

## Röntgendiagnostika alapjai

**„Ionizáló” sugárzás: az elnyelt foton ionizál**  
Kétféle mechanizmus a fotonenergiától függő súllyal.

**fotoeffektus**



Abszorpciós együttható

Tömeggyengítési együttható

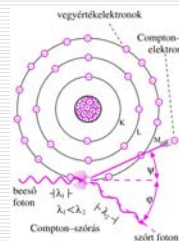
$$J = J_0 e^{-\mu x} = J_0 e^{-\mu_m \rho x}$$

$$\mu = \mu_m \rho$$

$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m$$

**$\tau_m$  erősen függ Z-től és a fotonenergiától**

**Compton szórás**

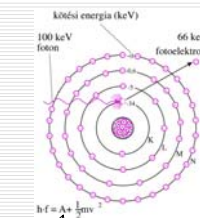


$$hf = A + \frac{1}{2}mv^2 + hf^*$$

ABSORPCIÓS FOLYAMAT	$\mu_m$ függése a Z rendszámtól	$\mu_m$ függése az E fotonenergiától
rugalmas szórás		
fotoeffektus	$\mu_m \sim Z^2$	$\mu_m \sim 1/E^2 \sim \lambda^2$
Compton-szórás	$\mu_m \sim Z^3$	$\mu_m \sim 1/E^3 \sim \lambda^3$
	közül független	enyhén csökkenő

## A rtg sugárzás elnyelődése

**A fotoeffektus karakterisztikus vonalai**

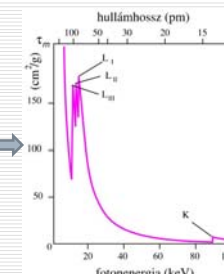


egy adott (al-)héj ionizációs energiája

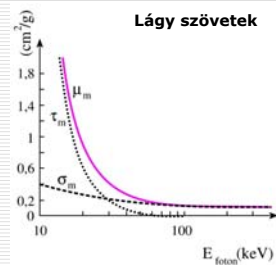
Ólom abszorbens fotoeffektusra jellemző absorpció spektruma:

Az elnyelés valószínűsége megnő, ha a fotonenergia egyenlő egy alhéj ionizációs energiájával → **K-él, L-héj vonalai**

Karakterisztikus energiák a rendszámmal jelentősen nőnek



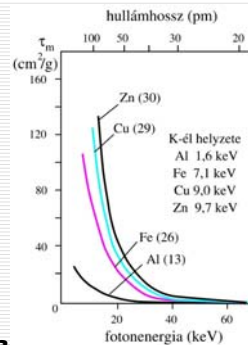
## A röntgensugárzás alkalmazásai Röntgendiagnosztika alapjai



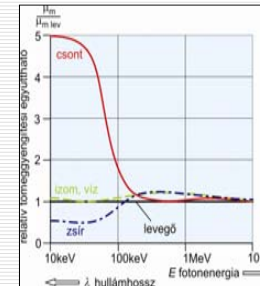
$$\tau_m = \text{konst} * \lambda^3 Z^3$$

$$J = J_0 e^{-\mu x} = J_0 e^{-(\tau_m + \sigma_m) * \rho * x}$$

**Röntgen-kép kontrasztja függ**  
- **sűrűségkülönbségektől**  
- **rendszám-különbségektől**



## Rtg-diagnosztikai szempontok - **kontrasztanyagok**



$$\tau_m = \text{konst} * \lambda^3 Z^3$$

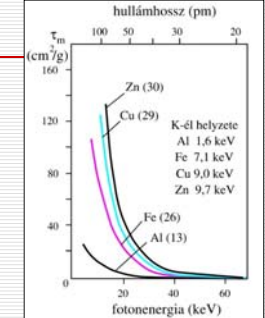
$$J = J_0 e^{-\mu x} = J_0 e^{-(\tau_m + \sigma_m) * \rho * x}$$

$$Z_{\text{eff}} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n w_i Z_i^3} \quad \text{móltört}$$

közeg	$Z_{\text{eff}}$	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
levegő	7,3	$1,3 \cdot 10^{-3}$
víz	7,7	1
lágyszövet	7,4	1
csontszövet	13,8	1,7-2

**Rtg-kép kontrasztja függ a**

- **Sűrűségkülönbségektől**  
-> **negatív kontrasztanyagok**
- **rendszám-különbségektől**  
-> **pozitív kontrasztanyagok**



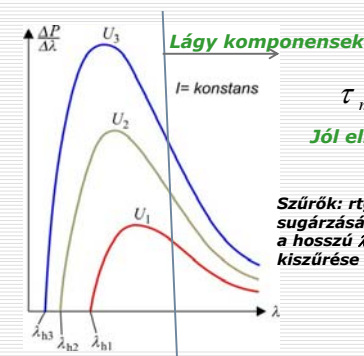
## Példa kontrasztanyag használatára



Vastagbél felvétel negatív és pozitív kontrasztanyag használatával

**Ablakozás**

## Rtg-diagnosztikai szempontok - **lágyszugárzási komponensek kiszűrése**



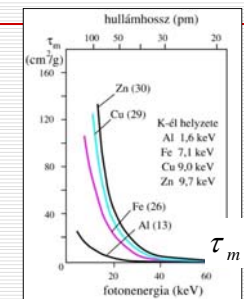
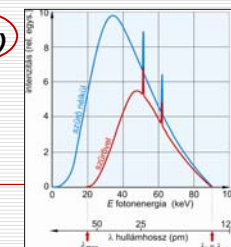
$$\tau_m \approx \lambda^3$$

**Jól elnyelődnek!**

**Szűrők: rtg cső sugárzásából a hosszú λ komponensek kiszűrése → Z!**

**Al(13)**

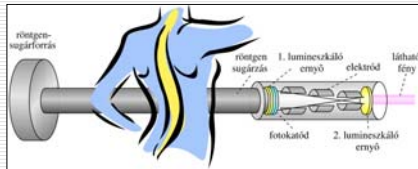
A rtg-csőből széles hullámhossztartományú (fotonenergia-tartományú) sugárzás lép ki



## Rtg-diagnosztikai szempontok – a sugárterhelés csökkentése, digitalizálás

### Rtg-kép erősítő

-optikai kép, de kicsinyített  
-sugárterhelés csökken



### Lézer-szkennер

### Új lumineszkáló anyagok fejlesztése

### C-karos készülék rtg.-kép erősítővel



## Rtg-diagnosztikai szempontok – a digitalizálás jelentősége: DSA

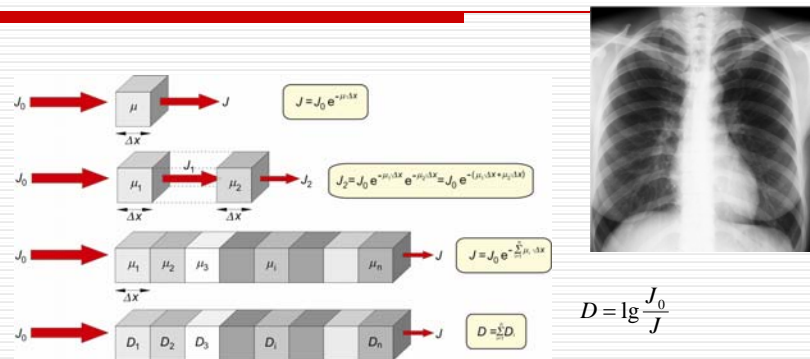
### DSA: Digital Subtraction Angiography

Menete:

1. Hagyományos rtg felvétel -> digitalizálás, tárolás
2. Kontrasztanyag beadása (beteg nem mozdul)
3. Második felvétel kontrasztanyaggal -> digitalizálás, tárolás
4. Pixelenként a két kép különbsége -> megjelenítés



## Rtg-diagnosztikai szempontok – az átvilágításban „szummációs” kép keletkezik



Megoldás: egy testszelet többirányú átvilágítása → minden képelem több kombinációban → **Röntgen- CT** (gyakorlaton)

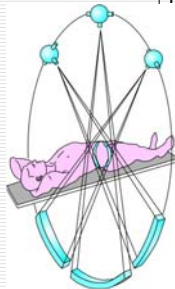
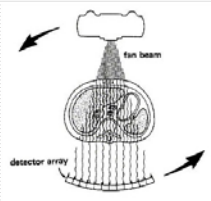
## Autó vezető szummációs röntgenképe



## Röntgen-CT

### Mérési adatgyűjtés:

-jól definiált sok irány mentén, egy síkban



G.H. Hounsfield A.M. Cormack  
Nobel díj 1979

**Nagy sugárterhelés**

**~ 500x hagyományos**

-minden képelem legalább két  
független irány mentén

-kiértékelés: számítással  $\rightarrow \mu_i$  képelemenként  $\rightarrow$  metszeti eloszlások vizualizálása

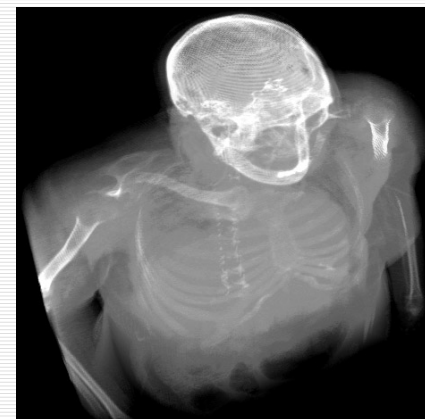
## Röntgen-CT

### Hounsfield-skála - ablakozás

$$HU = \frac{\mu - \mu_{\text{víz}}}{\mu_{\text{víz}}} * 1000$$

Tömör csont	250-1000
Szivacsos csont	130-100
Máj	65
Izom	45
Vese	30
Koagulált vér	80
Vér	55
Plazma	27
Zsírszövet	-65
Tüdő	-500, -800

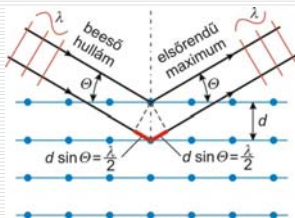
Ablakozás: egy adott tartomány  
széthúzása a teljes  
szürke-skálán



## A röntgensugárzás alkalmazásai A röntgenkristallográfia alapjai

A biológiai makromolekulák **atomi felbontású szerkezetének** meghatározása **a röntgensugárzás diffrakcióján** alapul.

A mérést a makromolekulák **egy kristályain** végzik.



Bragg-egyenletek

**Diffrakció és interferencia -  
az erősítés feltétele:**

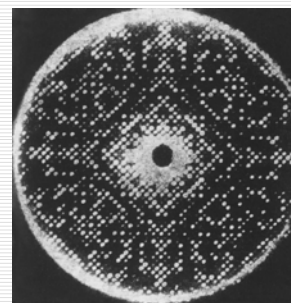
$$2d \sin \theta = n\lambda$$

$$d \approx \lambda$$

$d \sim$  atomi kötéstávolságok  
 $d \sim 150 \text{ pm} \rightarrow \lambda$  röntgentartományú

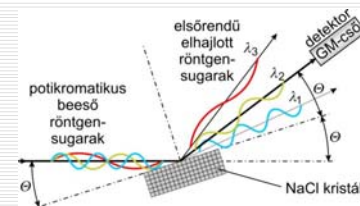
$$E(\text{keV}) = \frac{1.24}{\lambda(\text{nm})}$$

## A röntgensugárzás alkalmazásai A röntgenkristallográfia alapjai



**Lizozim enzim – kristály diffrakciós képe**

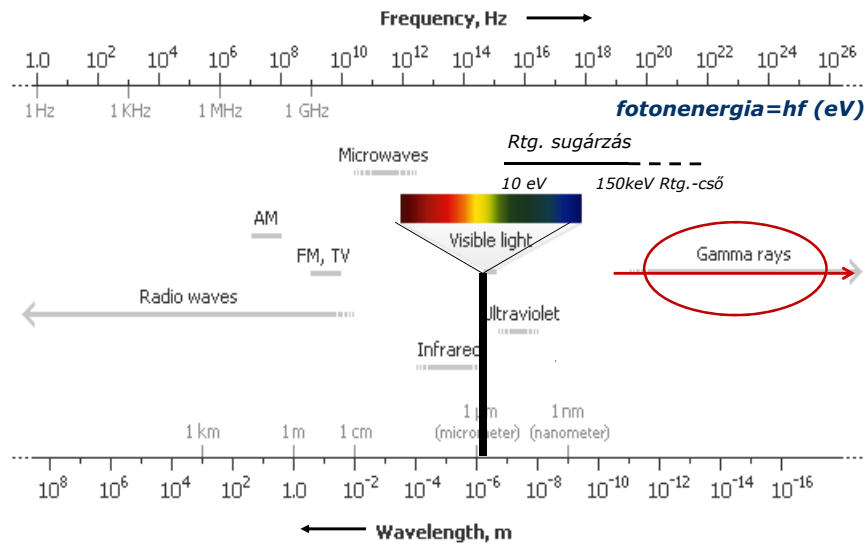
A diffrakció felhasználása:  
monokromatikus nyalábok előállítása  
spektroszkópiai célokra



## Fény – rtg.sugárzás – $\gamma$ -sugárzás

Logaritmikus skála

$10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nanometer}$



## A gamma-sugárzás alkalmazásai

az abszorpció mechanizmusain alapulnak – „ionizáló” sugárzás

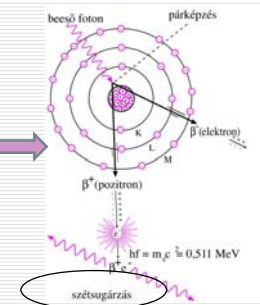
Érvényes az exponenciális abszorpció-törvény

$$J = J_0 e^{-\mu x} = J_0 e^{-\mu_m \rho x}$$

$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m$$

Harmadik mechanizmus ha  $hf > 0,511 \text{ MeV}$   
**párképzés**

$$hf = 2m_e c^2 + \frac{1}{2} m_e v_e^2 + \frac{1}{2} m_p v_p^2$$



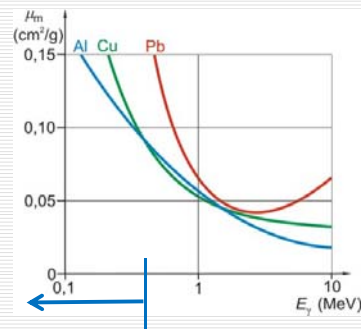
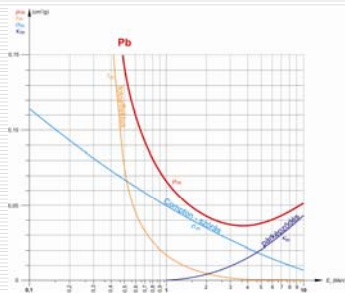
Pozitron-elektron annihiláció  
→ 2 gamma foton ellentétes irányban  
0,511 MeV energiával

## gamma-sugárzásról

eredete: magátalakulás, fotonenergia  $\sim \text{MeV}$

elnyelési valószínűség:  $\ll$  rtg. sug.

- 1 MeV körül minimuma lehet



**Röntgen diagnosztika :**

kiseb energiák nagyobb elnyelődés

$\gamma$  - Diagnosztikai alkalmazás alapja:

**Kis** elnyelési valószínűség →

**Izotópos nyomjelzés**

**Köszönöm a figyelmet**

