
A röntgensugárzás természete, forrása és biológiai hatásai



(a)

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, Munchen.*)



(b)

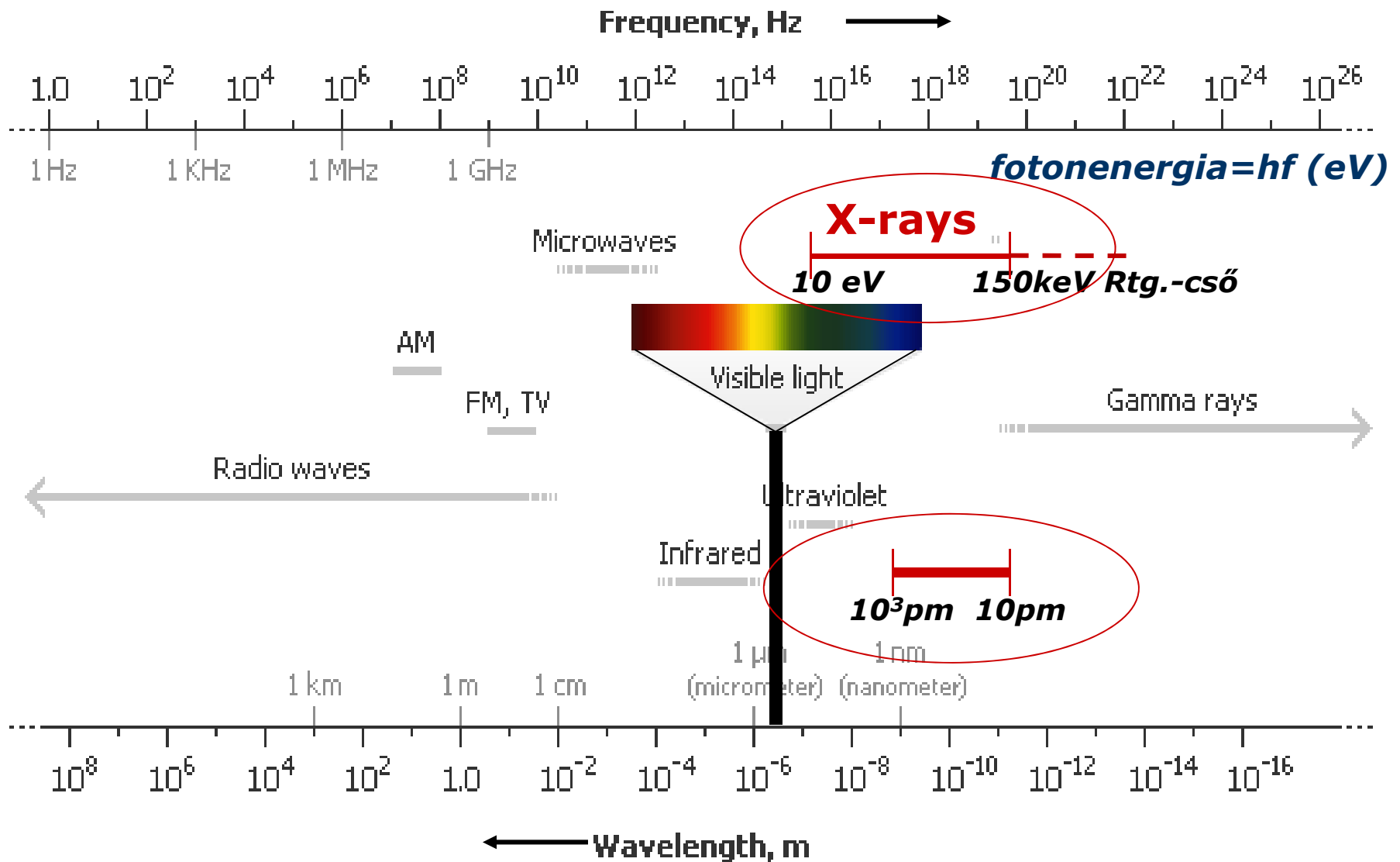


**Wilhelm Konrad Röntgen
(1845-1923)**

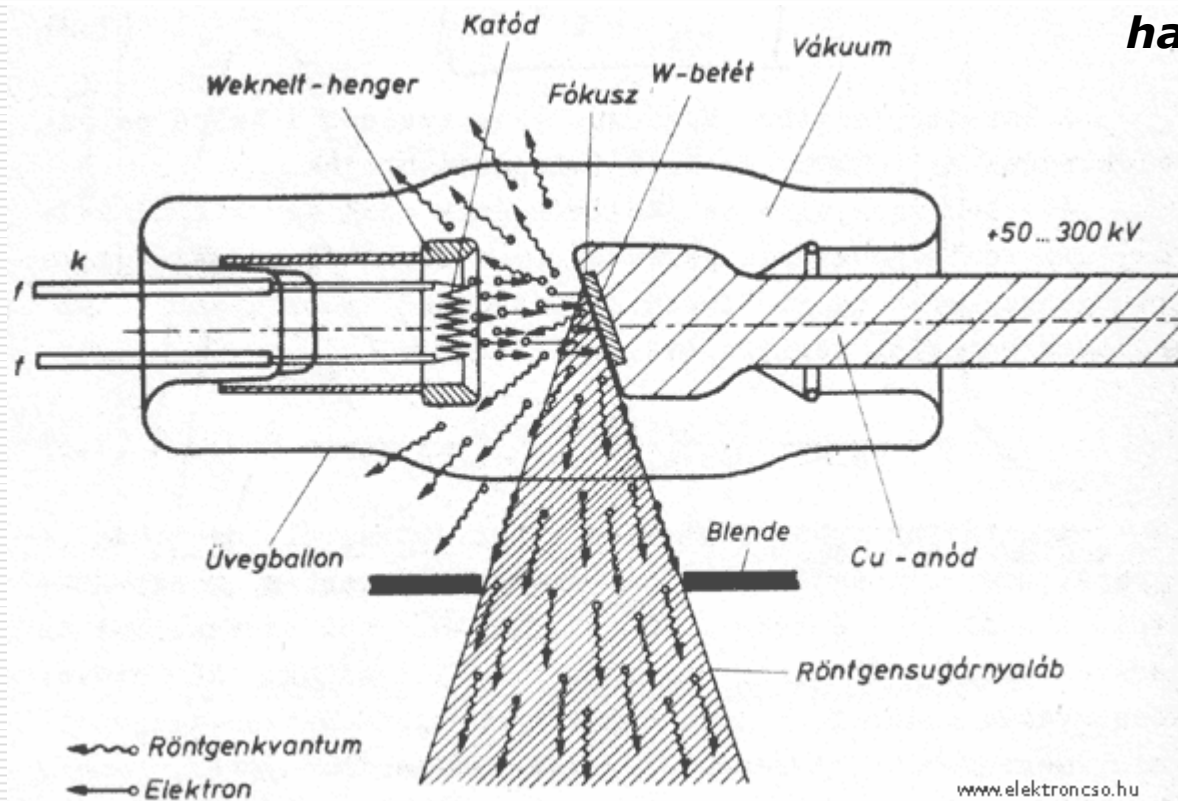
Fény – **X-rays** elektromágneses hullámok

Logaritmikus skála

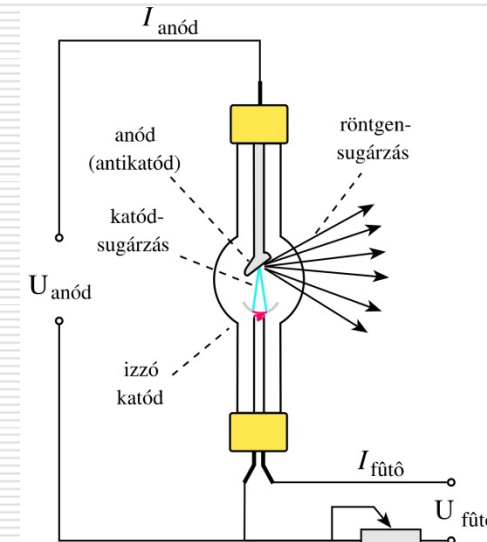
$10^{-9} m = 1 \text{ nanometer}$



Röntgensugárzás keltése röntgensővel



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



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

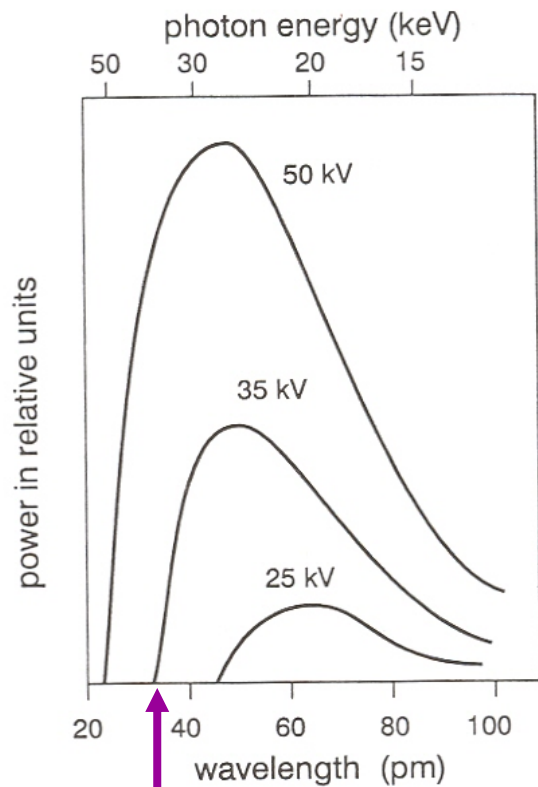
Az anódban nagy a hőfejlődés

Röntgensövek - *forgó anód*
- *hűtés*

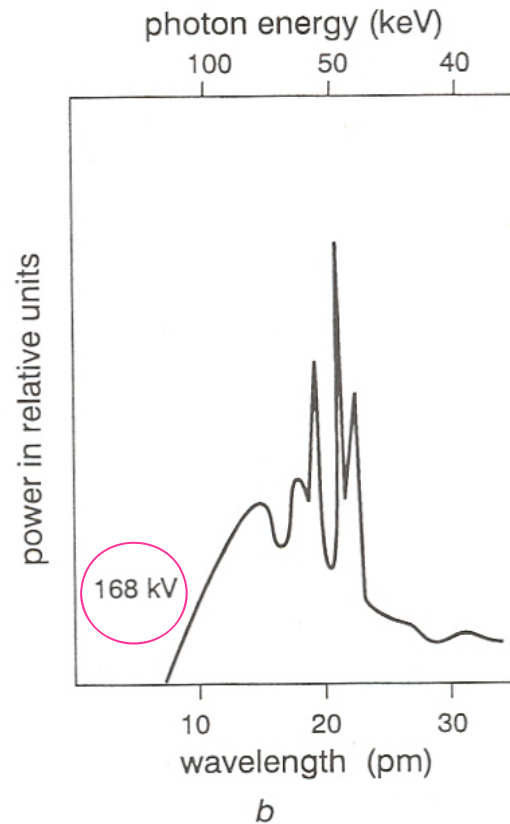


A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

Emissziós spektrumok növekvő gyorsító feszültség mellett



Határoló hullámhossz λ_{hat}



- Nagy feszültség (U) mellett a spektrum vonalassá válik
- Az össz-teljesítmény erősen nő a feszültséggel
- A spektrum a rövid hullámhosszú oldalon élesen végződik, λ_{hat} csökken, ha U nő

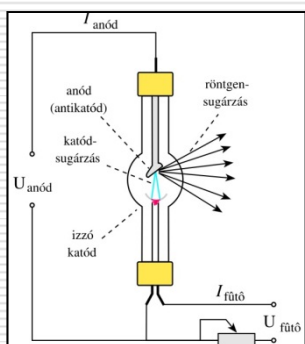
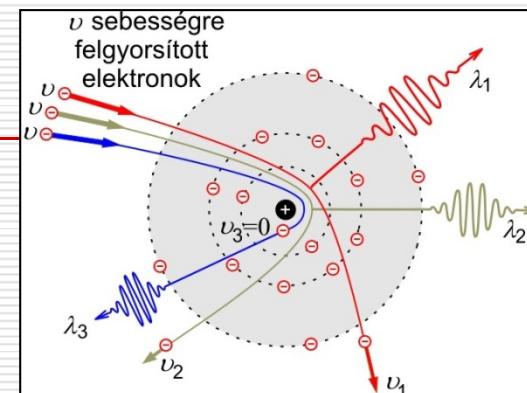
$$q_e U = \frac{1}{2} m_e v^2 = h f_h = h \frac{c}{\lambda_h}$$

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

Kétféle mechanizmus

1. Fékezési röntgensugárzás (Bremsstrahlung)

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



$$P_{rtg} = konst * U^2 * I * Z$$

$$1.1 * 10^{-9} V^{-1}$$

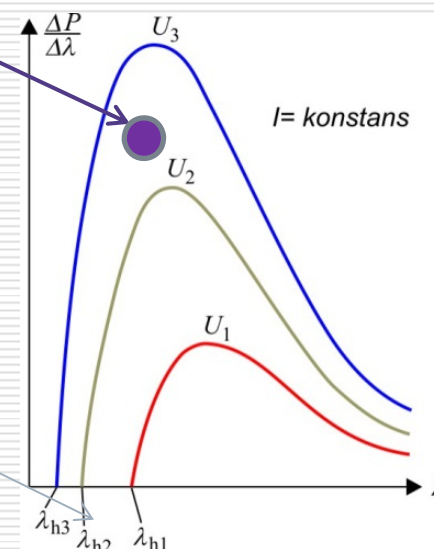
Anód anyaga

-spektruma λ -ban alulról határolt

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

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

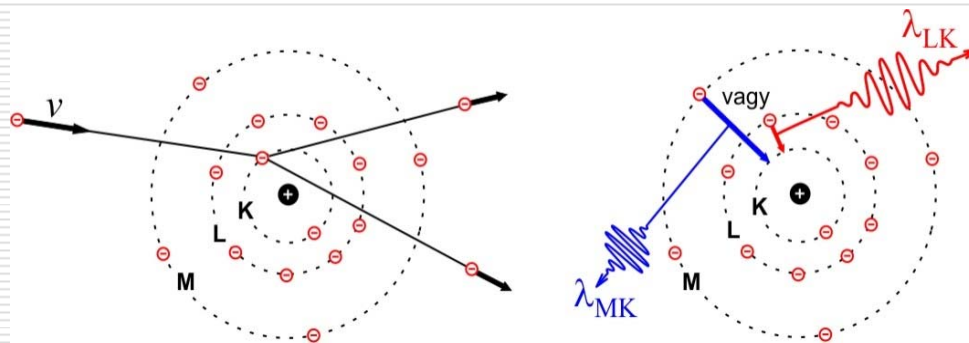
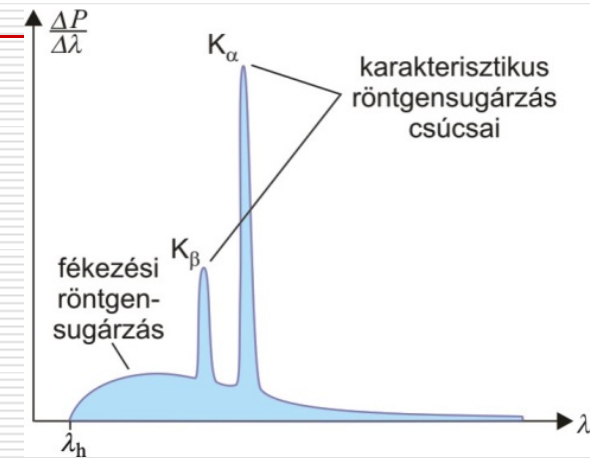
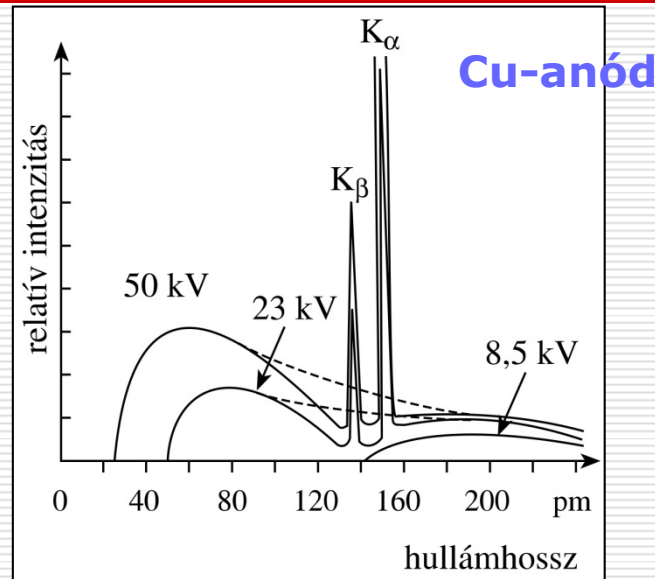
Duane-Hunt törv.



ezen alapul a röntgendiagnosztika

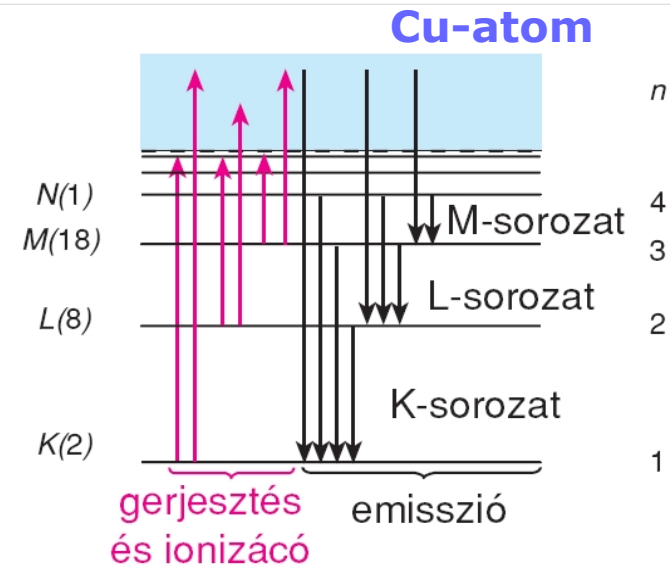
2. Karakterisztikus röntgensugárzás

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



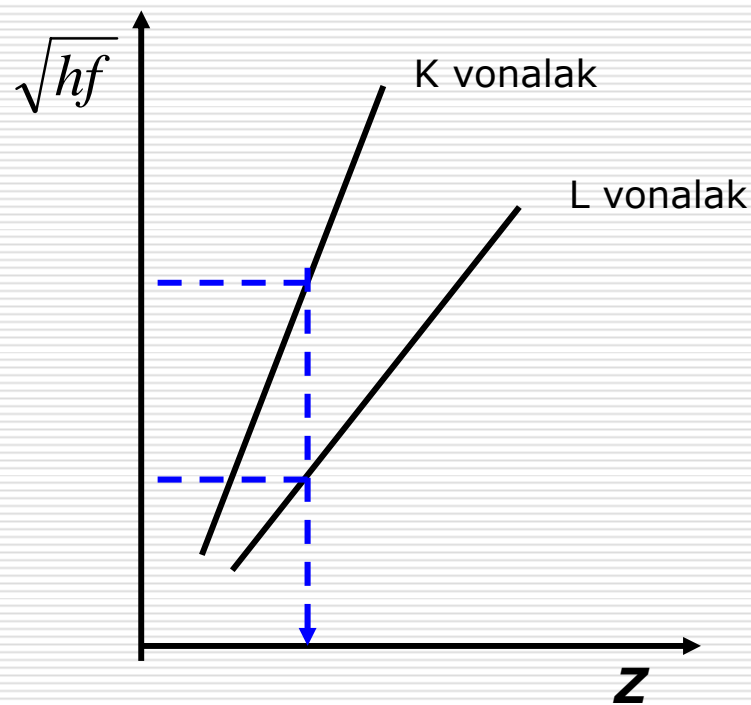
1. Ionizáció

2. üres állapot betöltése



A karakterisztikus röntgensugárzás alkalmazásai

- Igen érzékeny és pontos kémiai analízis



anód=vizsgálandó anyag
röntgenfluoreszcencia

Minőségi analízis:

**A spektrumvonalak
fotonenergiái alapján a
rendszer azonosítható**

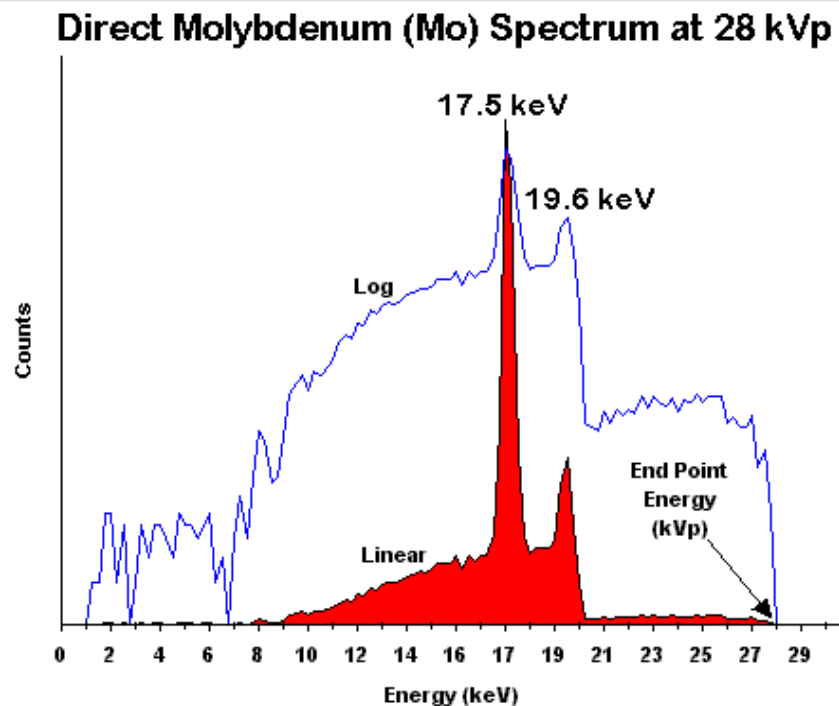
Kriminológia!

A karakterisztikus röntgensugárzás alkalmazásai

- A teljes kisugárzott rtg. intenzitásban kis járulék általában elhanyagolható

De: Molibdén anódos röntgencső

Lágy szövetekben igen jól elnyelődő monokromatikus sugárzás



Mammográfia

Röntgendiagnosztikai alkalmazások (fékezési sugárzás)

A diagnosztikai alkalmazások a rtg sugárzás szöveti elnyelődésén alapulnak

Érvényes az exponenciális abszorpció-törvény

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

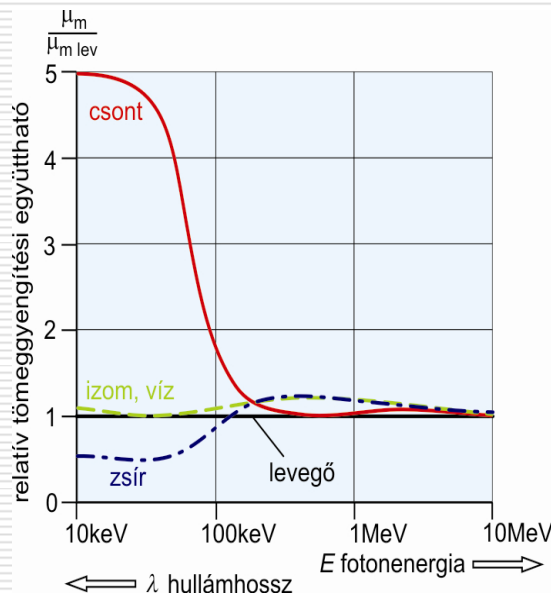
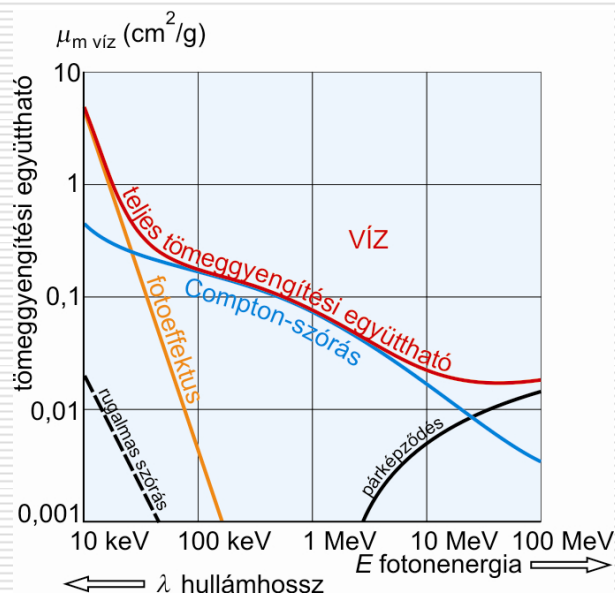
Abszorpciós együttható

Tömeggyengítési együttható

MINŐSÉGI JELLEMZŐ

**Abszorbens
anyaga**

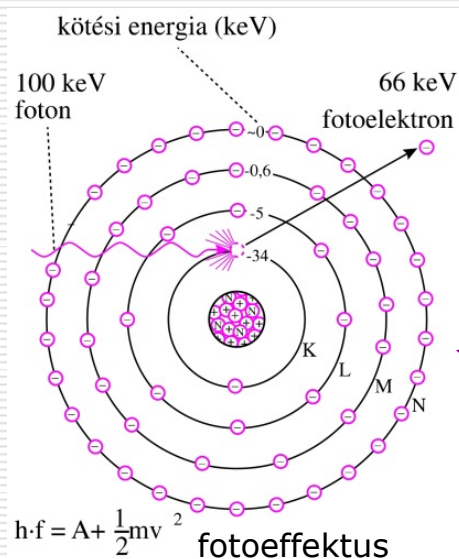
**Sugárzás
fotonenergiája**



← **diagnosztika** → **terápia** →

A diagnosztikai alkalmazások a rtg sugárzás szöveti elnyelődésén alapulnak

Az elnyelt fotonenergia ionizáló mechanizmusai a rtg cső energiatartományában (< 200 keV)



Abszorpciós együttható

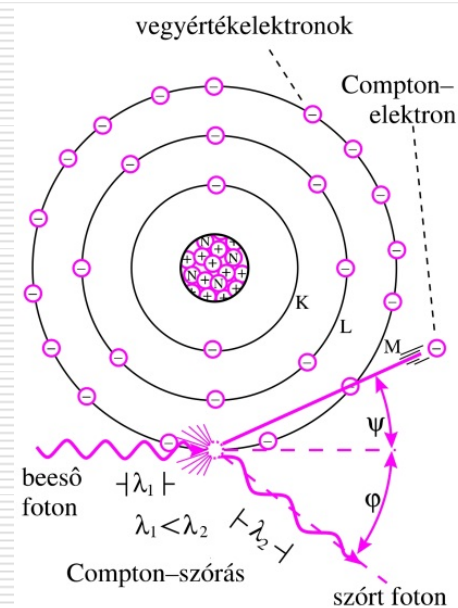
Tömeggyengítési együttható

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

$$\mu = \mu_m \rho$$

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

τ_m erősen függ Z-től és a fotonenergiától



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

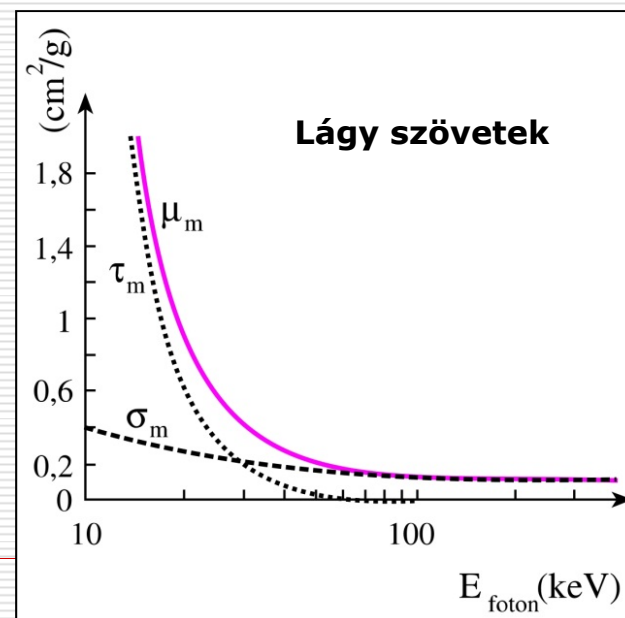
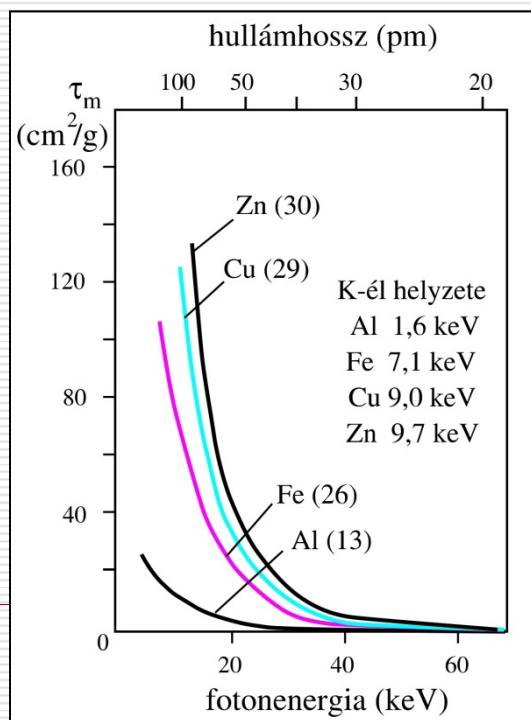
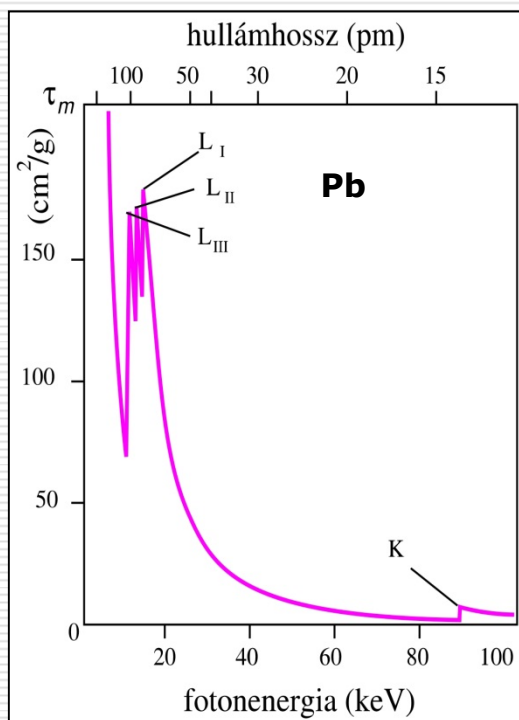
A rtg sugárzás elnyelődésének függése az energiától és az anyagi minőségtől

abszorpciós spektrumok

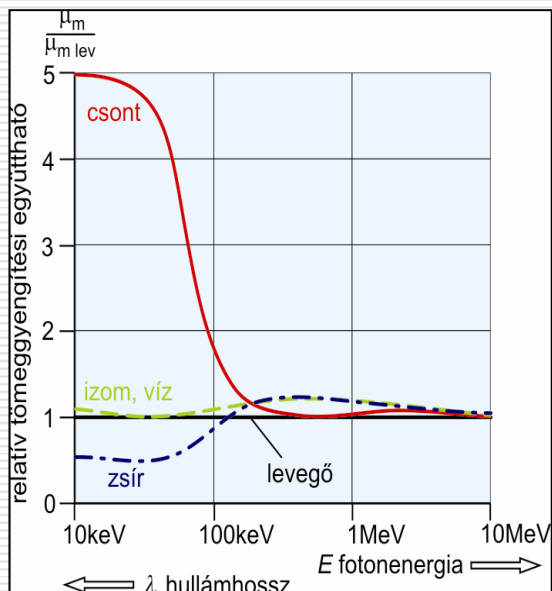
ABSZORPCIÓS FOLYAMAT	μ_m függése a Z rendszámtól	μ_m függése az E fotonenergiától
rugalmas szórás	$\mu_m \sim Z^2$	$\mu_m \sim 1/E^2 \sim \lambda^2$
fotoeffektus	$\mu_m \sim Z^3$	$\mu_m \sim 1/E^3 \sim \lambda^3$
Compton-szórás	közel független	enyhén csökkenő

dominál az effektusokban

$$\mu_m(hf) \approx \tau_m(hf)$$

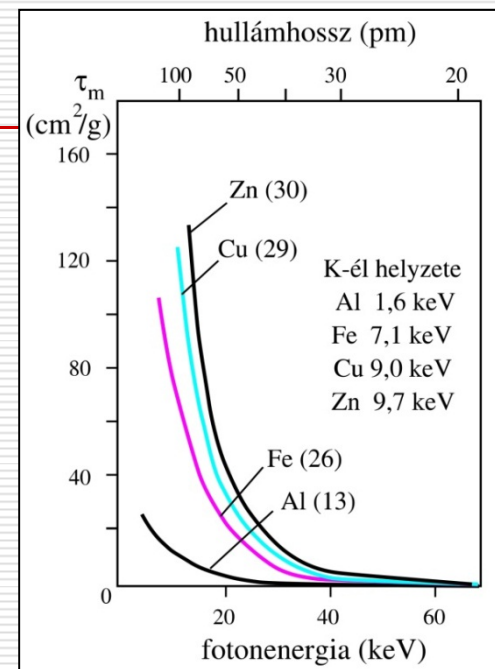


Rtg-diagnosztikai szempontok - **kontrasztanyagok**



$$\tau_m = konst * \lambda^3 Z^3$$

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



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

| móltört

közeg	Z_{eff}	ρ (g/cm ³)
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

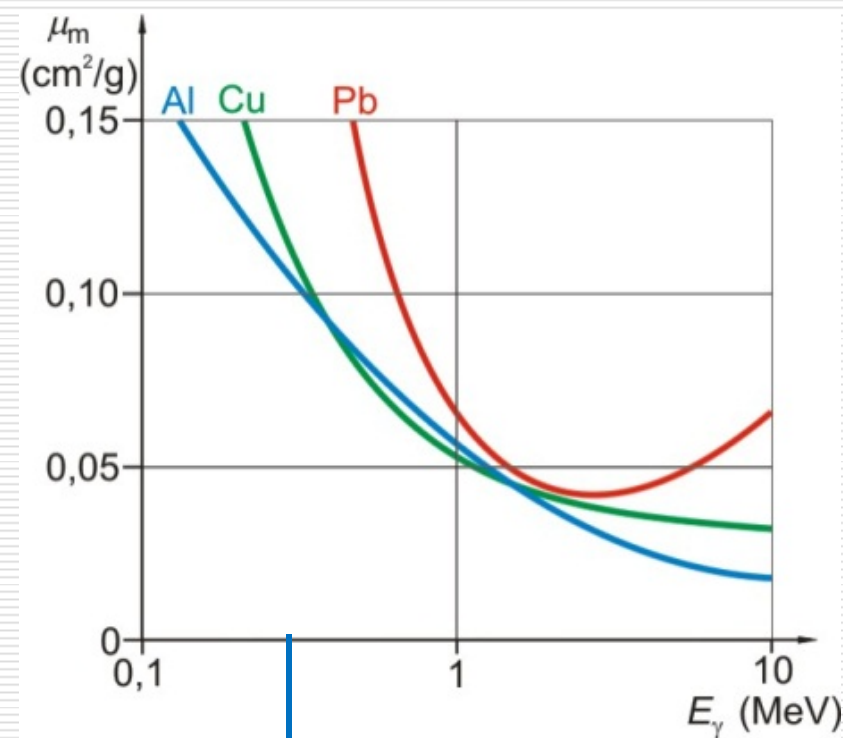
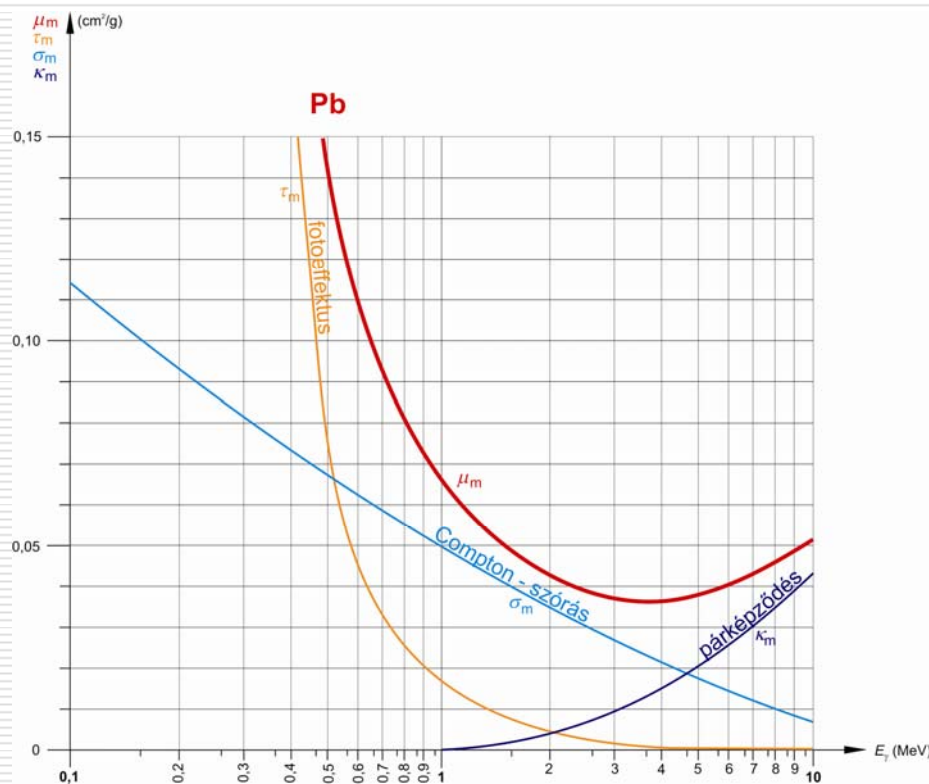
- **Sűrűségkülönbségektől**
- > **negatív kontrasztanyagok**
- **rendszám-különbségektől**
- > **pozitív kontrasztanyagok**

Megjegyzések gamma-sugárzásról

fotonenergia \sim MeV

elnyelési valószínűség: \ll rtg. sug.

- 1 Mev körül minimuma lehet



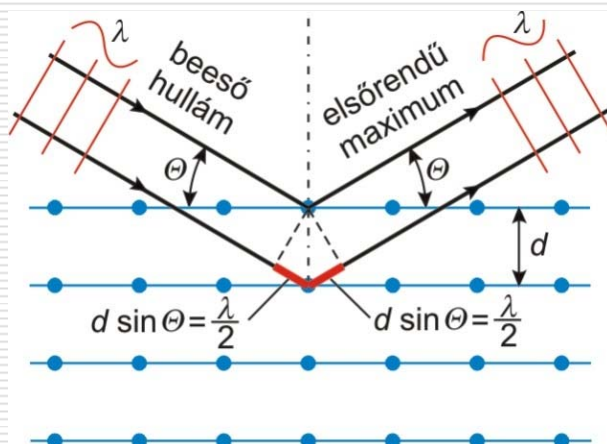
←
Diagnosztikai röntgen sugárzás

A röntgensugárzás alkalmazásai

A röntgenkristallográfia alapjai

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

A mérést a makromolekulák **egykristályain** végzik.



Bragg-egyenletek

Diffrakció és interferencia -
az erősítés feltétele:

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

$$d \approx \lambda$$

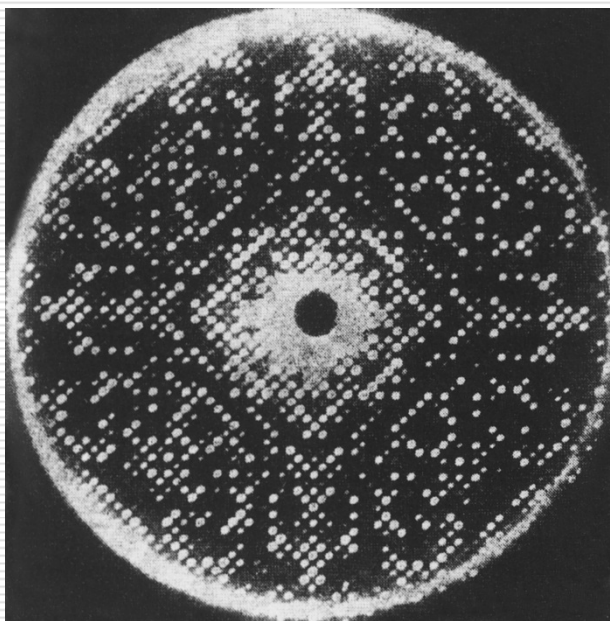
$d \sim$ atomi kötéstávolságok

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

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

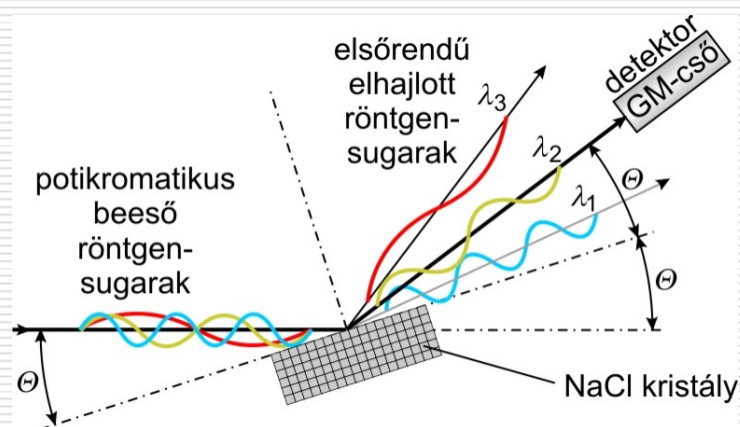
A röntgensugárzás alkalmazásai

A röntgenkristallográfia alapjai



**Lizozim enzim – kristály
diffrakciós képe**

*A diffrakció felhasználása:
monokromatikus nyalábok előállítása
spektroszkópiai célokra*



Vége a Röntgen-sugárzás- fejezetnek

