
A röntgensugárzás természete, forrása és biológiai hatásai

Kitekintés: γ -sugárzás

Dr. Fidy Judit
Professzor emeritus
2016.03.09

Mai kérdés:

Mennyit csökken a fényintenzitás egy mintán áthaladva, ha a mért Abszorbancia vagy optikai denzitás (OD) = 1

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



(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, München.)

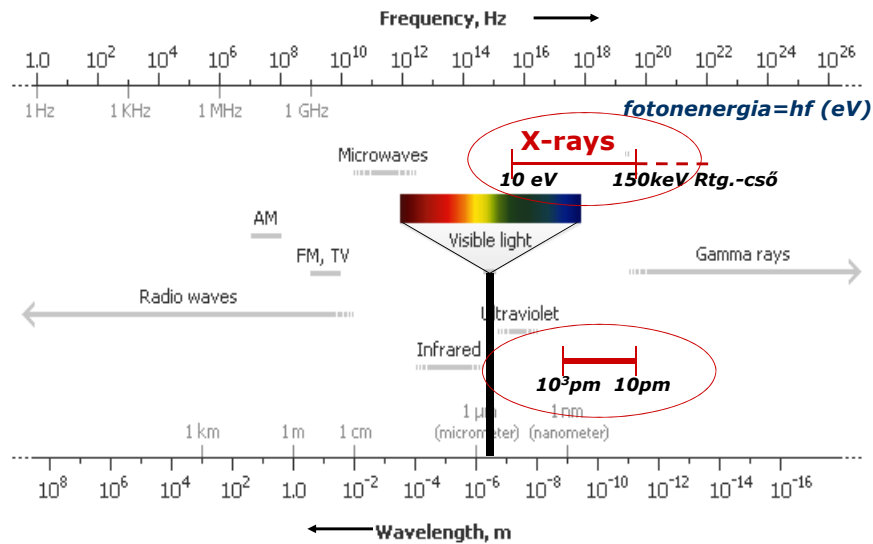


**Wilhelm Konrad Röntgen
(1845-1923)**

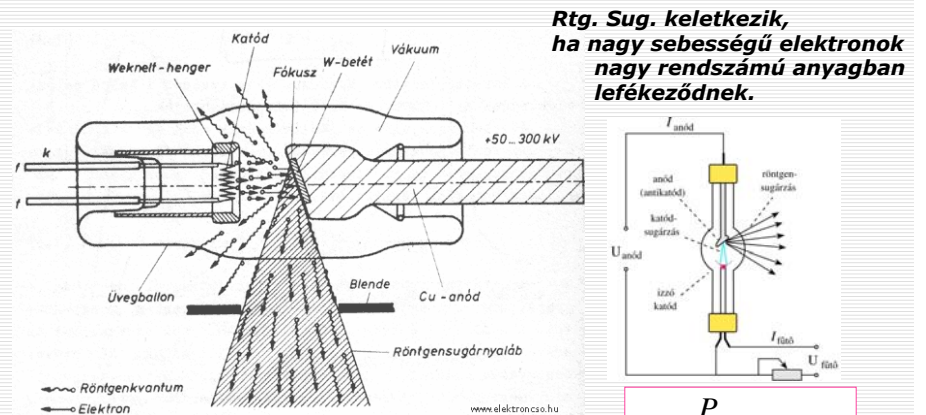
Fény - **X-rays** elektromágneses hullámok

Logaritmikus skála

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



Röntgensugárzás keltése röntgensóval



Az anódban nagy a hőfejlődés

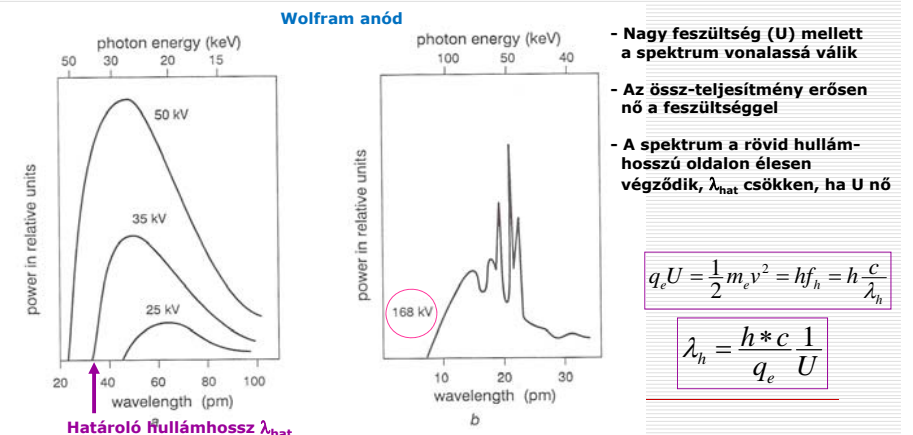
$$\eta = \frac{P_{\text{sug}}}{P_{\text{el}}} < 1 \%$$

Röntgensóvek - forgó anód - hűtés



A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

Emissziós spektrumok növekvő gyorsító feszültség mellett



A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

Kétféle mechanizmus

1. Fékezési röntgensugárzás (Brehmstrahlung)

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

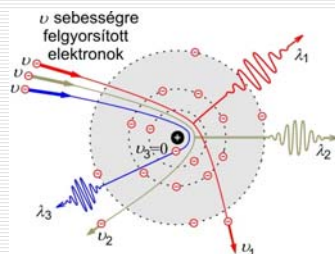
$$\lambda_h = \frac{h \cdot c}{q_e \cdot U}$$

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

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

Anód anyaga

- ezen alapul a röntgendiagnosztika

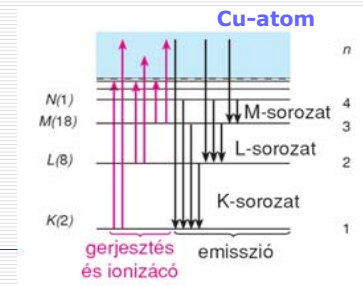
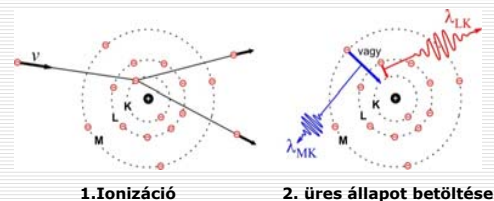


A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

Kétféle mechanizmus

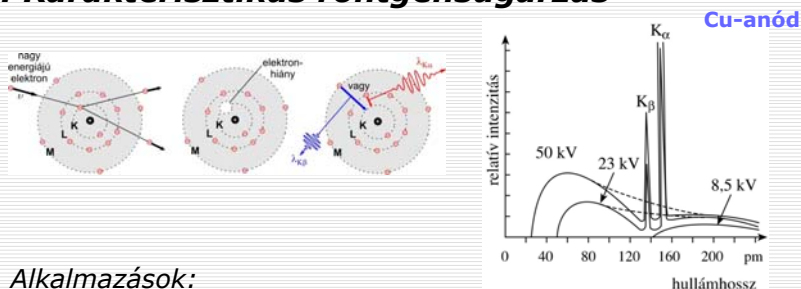
2. Karakterisztikus röntgensugárzás

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



A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

2. Karakterisztikus röntgensugárzás



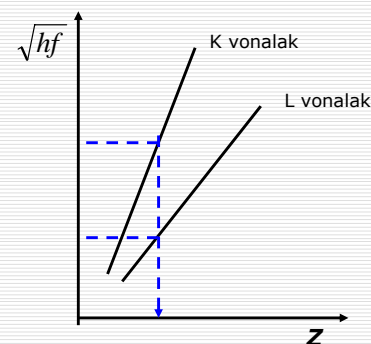
Alkalmazások:

- 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:

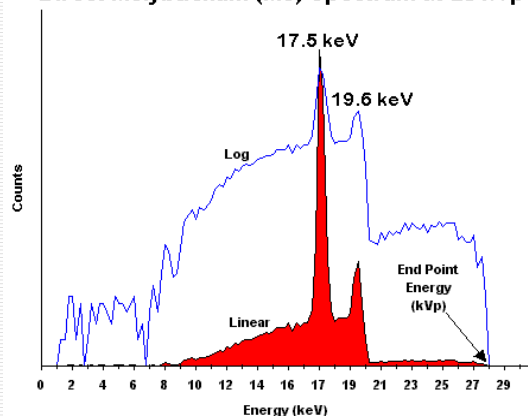
Spektrum vonalak energiái → target rendszáma

Kriminológia

2. Mo anód karakterisztikus röntgensugárzása

Mammográfia ~17.5 keV monokromatikus sugárzás

Direct Molybdenum (Mo) Spectrum at 28 kVp



Röntgendiagnosztikai alkalmazások (fékezési sugárzás)

A diagnosztikai alkalmazások a rtg sugárzás szöveti elnyelődésén alapulnak

Érvényes az exponenciális absorpció-törvény

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

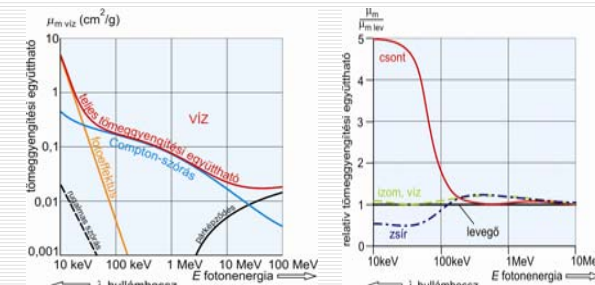
Abszorpciós együttható

Tömeggyengítési együttható

MINŐSÉGI JELLEMZŐ

Abszorbens anyaga

Sugárzás fotonenergiaja

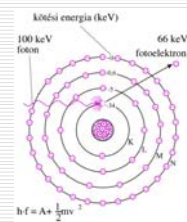


← diagnosztika →
← terápia →

Röntgendiagnosztika alapjai

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

fotoeffektus



Abszorpciós együttható

Tömeggyengítési együttható

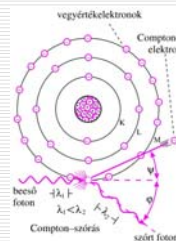
$$J = J_0 e^{-\mu x} = J_0 e^{-\mu_m \rho x}$$

$$\mu = \mu_m \rho$$

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

τ_m erősen függ Z-től és a fotonenergiától

Compton szórás

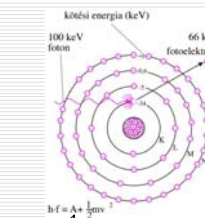


$$hf = A + \frac{1}{2}mv^2 + hf^*$$

ABSORPCIÓS 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

A rtg sugárzás elnyelődése

A fotoeffektus karakterisztikus vonalai

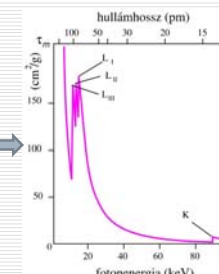


egy adott (al-)héj ionizációs energiája

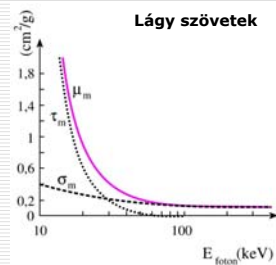
Ólom abszorbens fotoeffektusra jellemző absorpció spektruma:

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

Karakterisztikus energiák a rendszámmal jelentősen nőnek



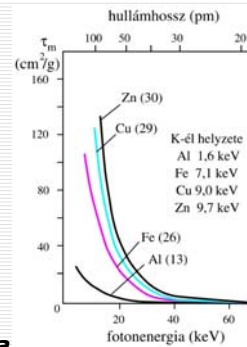
A röntgensugárzás alkalmazásai Röntgendiagnosztika alapjai



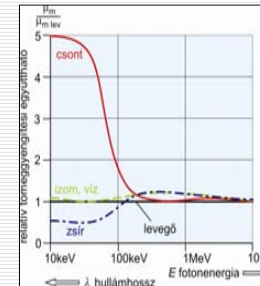
$$\tau_m = \text{konst} * \lambda^3 Z^3$$

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

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_{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**

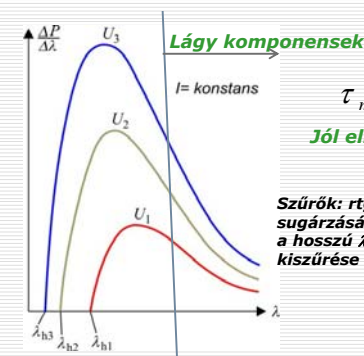
Példa kontrasztanyag használatára



Vastagbél felvétel negatív és pozitív kontrasztanyag használatával

Ablakozás

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



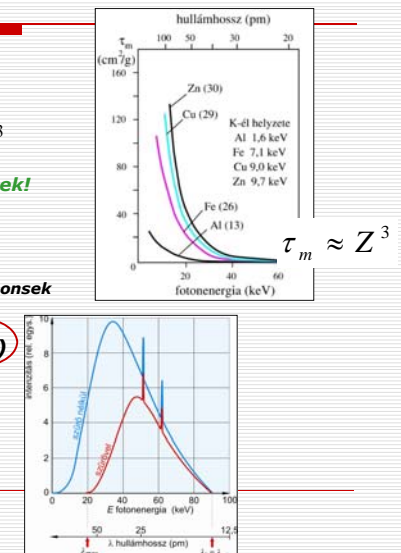
$$\tau_m \approx \lambda^3$$

Jól elnyelődnek!

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

Al(13)

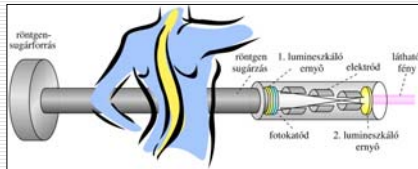
A rtg-csőből széles hullámhossztartományú (fotonenergia-tartományú) sugárzás lép ki



Rtg-diagnosztikai szempontok – a sugárterhelés csökkentése, digitalizálás

Rtg-kép erősítő

-optikai kép, de kicsinyített
-sugárterhelés csökken



Új lumineszkáló anyagok fejlesztése

C-karos készülék rtg.-kép erősítővel



Rtg-diagnosztikai szempontok – a digitalizálás jelentősége: DSA

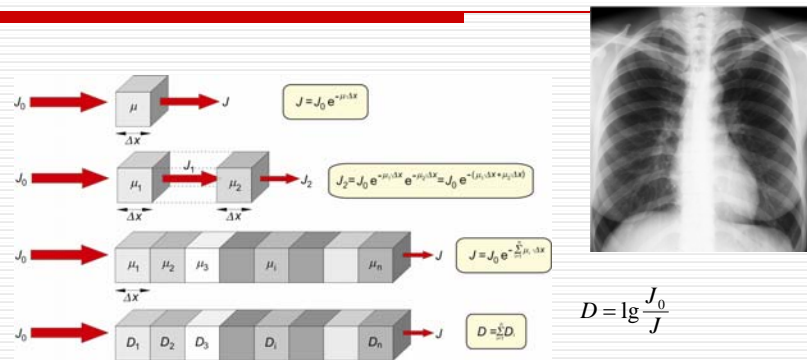
DSA: Digital Subtraction Angiography

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



$$D = \lg \frac{J_0}{J}$$

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

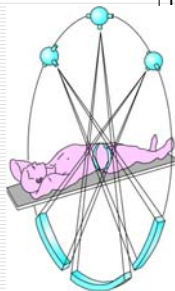
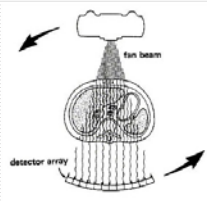
Autó vezető szummációs röntgenképe



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

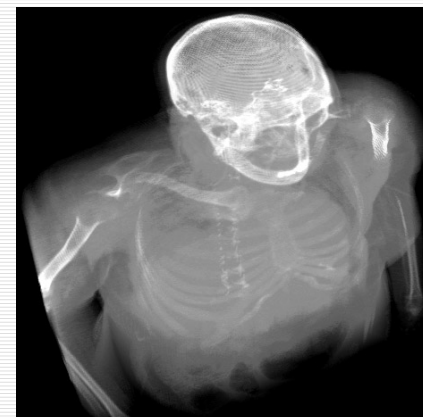
Röntgen-CT

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

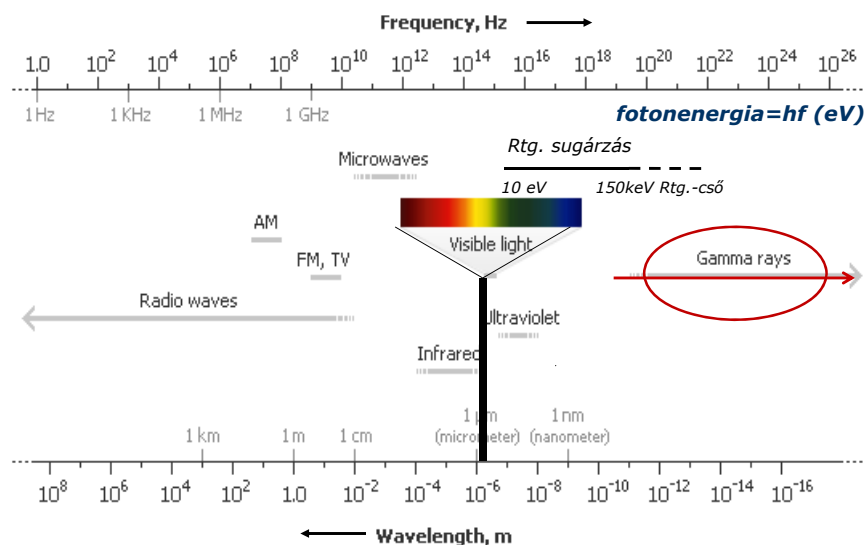
Ablakozás: egy adott tartomány
széthúzása a teljes
szürke-skálán



Fény - rtg.sugárzás - γ -sugárzás

Logaritmikus skála

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



A gamma-sugárzás alkalmazásai

az abszorpció mechanizmusain alapulnak - „ionizáló” sugárzás

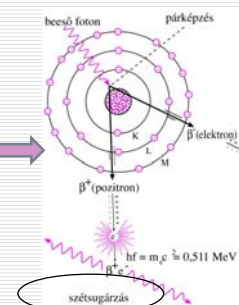
Érvényes az exponenciális abszorpció-törvény

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

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

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

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



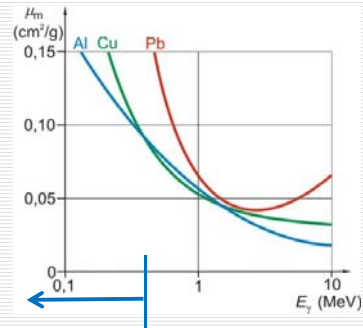
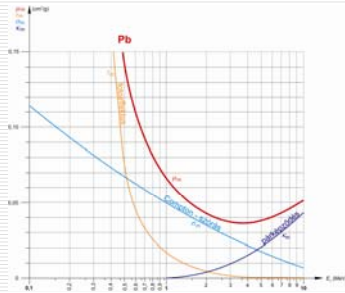
Pozitron-elektron annihiláció
 \rightarrow 2 gamma foton ellentétes irányban
0,511 MeV energiával

gamma-sugárzásról

eredete: magátalakulás, fotonenergia \sim MeV

elnyelési valószínűség: \ll rtg. sug.

- 1 MeV körül minimuma lehet



Röntgen diagnosztika :

kisebb energiák nagyobb elnyelődés

γ - Diagnosztikai alkalmazás alapja:

Kis elnyelési valószínűség \rightarrow

Izotópos nyomjelzés

Köszönöm a figyelmet

