



Röntgensugárzás és kölcsönhatása az anyaggal

Bozó Tamás
SE Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet
bozo.tamas@med.semmelweis-univ.hu

1

Áttekintés

Témakörök:

- Mi a röntgensugárzás?
- Rtg. sugárzás előállítása
- Fékezési és karakterisztikus rtg. sugárzás
- Rtg. sugárzás és az anyag kölcsönhatása
- Diagnosztikai alapok

Kollokviumi tételek:

23. Hogyan lehet röntgensugárzást előállítani? Hasonlítsa össze a fékezési és karakterisztikus röntgensugárzást.
24. A röntgen és gamma sugárzás abszorpciója. Hogyan léphet kölcsönhatásba nagy fotonenergiájú sugárzás atomokkal, molekulákkal?

Tankönyvi részek: II/3.1.

Kapcsolódó gyakorlatok: Röntgen, CT (második félévben)

Figyelmeztetés: A diasor csak illusztráció és vázlat!

2

Az X-sugarak felfedezése (1895)



Wilhelm Conrad Röntgen
1845-1923



Crookes cső



„Hand mit Ringen”
22 Dec 1895

3

Mi a röntgensugárzás?

Elektromágneses hullám.

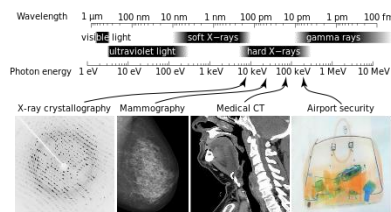
$f \approx 10^{15} - 10^{18}$ Hz (penta-exahertz)

$\lambda \approx 10 \text{ nm} - 0.01 \text{ nm}$

$\epsilon \approx 100 \text{ eV} - 100 \text{ keV}$ (– MeV)

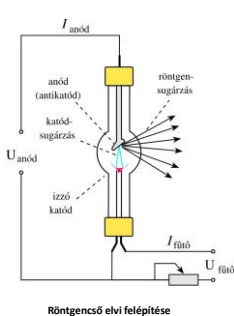
diagnosztika: 200 keV-ig; terápia: kb. 10 MeV

$$\epsilon = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$



4

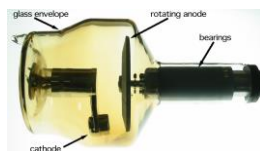
Röntgensugárzás előállítása



Röntgenső elvi felépítése



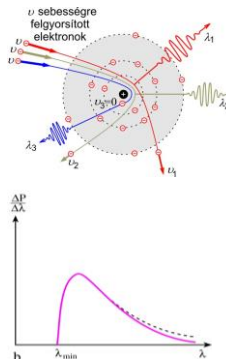
Röntgenső 1930-as évek



forgóanódos röntgenső

5

Bremsstrahlung: fékezési röntgensugárzás



$$\epsilon_{\max} = e \cdot U_{\text{anód}}$$

$$\epsilon_{\max} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{\min}}$$

Duane-Hunt törvény:

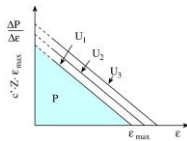
$$\lambda_{\min} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U_{\text{anód}}}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{k}{U_{\text{anód}}}$$

$$(k = 1230 \text{ pm} \cdot \text{kV})$$

6

Bremsstrahlung: fékezési röntgensugárzás



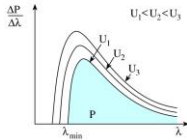
Teljesítmény:

$$P = C_{rtg} \cdot U_{anód}^2 \cdot Z \cdot I_{anód}$$

Hatásfok:

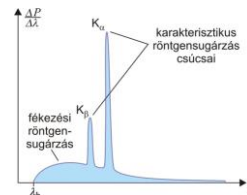
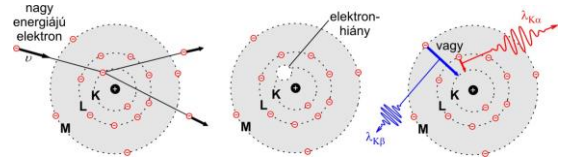
$$\eta = \frac{P_{kissugárazott}}{P_{befektetett}} = \frac{C_{rtg} \cdot U_{anód}^2 \cdot Z \cdot I_{anód}}{U_{anód} \cdot I_{anód}}$$

$$\eta = C_{rtg} \cdot U_{anód} \cdot Z$$

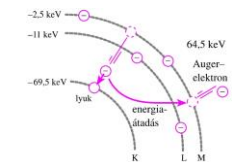


7

Karakterisztikus röntgensugárzás

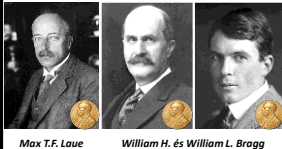


Auger elektron keltés:



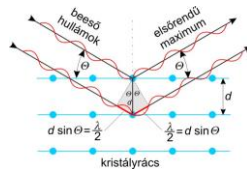
Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása I.

Röntgen diffrakció (Bragg diffrakció)



Max T.F. Laue

William H. és William L. Bragg

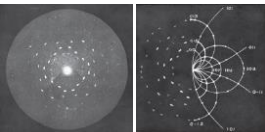


Bragg egyenlet:

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

Akalmazás:

spektrumok felvétele
szerkeztvizsgálat (kristallográfia)

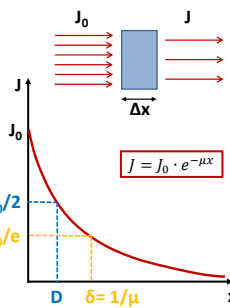


kristály röntgendiffrakciós képe, és L. Bragg számításai

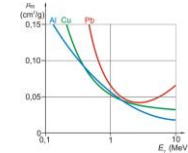
9

Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

Abszorpció – általános törvényszerűségek



Erős rendszám- és energiafüggés:



Lineáris és tömeggyengítési együttható:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad [cm^2 \cdot g^{-1}]$$

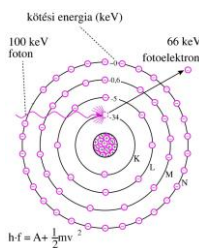
Mechanizmus atomi szinten:

- Fotoeffektus
- Compton szórás
- Páráképződés

10

Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

Fotoeffektus



Energiamérleg:

$$h \cdot f = A + \frac{1}{2}mv^2$$

Tömeggyengítési együtthatója:

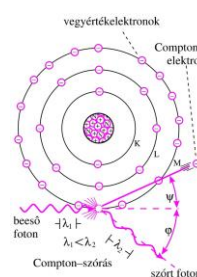
$$\tau_m = \frac{\tau}{\rho}$$

$$\tau_m = C \cdot \lambda^3 \cdot Z^3$$

11

Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

Compton effektus



Energiamérleg:

$$h \cdot f = A + \frac{1}{2}mv^2 + h \cdot f'$$

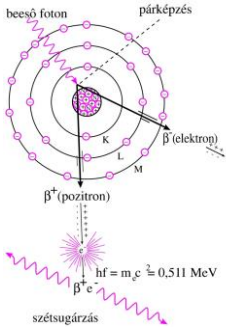
Tömeggyengítési együtthatója:

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\rho}$$

12

Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

Párképződés



Energiamérleg:

$$h \cdot f = 2mc^2 + mv^2$$

Energiaküszöb: 1,02 MeV, ezért a terápiás röntgensugárzás és γ -sugarak abszorpciója esetén van csak jelentősége.

Tömeggyengítési együtthatója:

$$\kappa_m = \frac{\kappa}{\rho}$$

13

Röntgendiagnosztikai alapok

Az elnyelődés mechanizmusai

Mechanizmus	μ_m változása fotonenergiával (ϵ)	μ_m változása a rendszámmal (Z)	Releváns foton-energiatartomány lágy szövetben
fotoeffektus	$\sim 1/\epsilon^3$	$\sim Z^3$	10 - 30 keV
Compton-szórás	ϵ növelésével lassan csökken	$\sim Z/A$ (A ~ 2*Z)	30 keV - 20 MeV
párkeltés	ϵ növelésével lassan nő	$\sim Z^2$	> 20 MeV

Lágyrész és csont közötti kontraszt mechanizmusa: főleg fotoeffektus. Lágyrészen belüli kontrasztmechanizmus: Compton szórás.

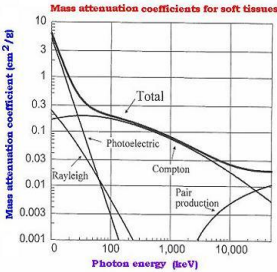
Szövetek effektív rendszáma:

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

14

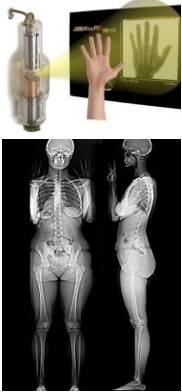
Röntgendiagnosztikai alapok

Az elnyelődés mechanizmusai



15

Röntgendiagnosztikai alapok



- A röntgen kép árnykép.
- Elnyelődésen alapul.
- Szummációs kép: 2D reprezentáció. (kivéve tomográfiás 3D rekonstrukciók)

$$J = J_0 \cdot e^{-\mu_m \cdot D \cdot x}$$

tömeggyengítési eh. μ_m sűrűség

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

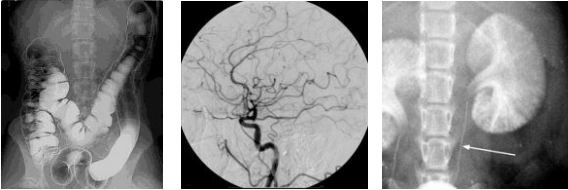
$$\tau_m = C \cdot \lambda^3 \cdot Z^3$$

közeg	Z_m	ρ [g/cm³]
levegő	7,3	$1,3 \cdot 10^{-3}$
víz	7,7	1
lágyszövet	7,4	1
csont	13,8	1,7-2

16

Röntgendiagnosztikai alapok

Kontrasztanyagok, lágy és kemény sugárzás



dupla kontraszt: BaSO₄ és levegő cerebrális angiográfia jódt kontrasztal arany nanorészecskék vesében

17

Köszönöm a figyelmet!

