



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:

25. Hogyan lehet röntgensugárzást előállítani? Hasonlítsa össze a fékezési és karakterisztikus röntgensugárzást.
26. 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 diáor 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.

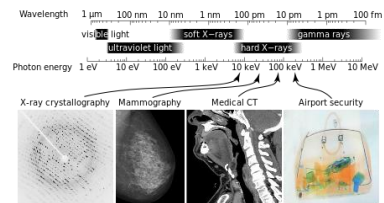
$$f \approx 10^{15} - 10^{18} \text{ Hz (penta-exahertz)}$$

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

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

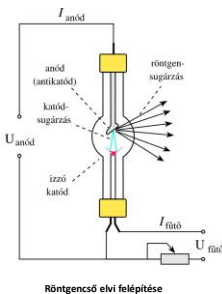
diagnosztika: 200 keV-ig; terápia: kb. 10 MeV

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



4

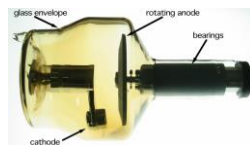
Röntgensugárzás előállítása



Röntgenső elvi felépítése



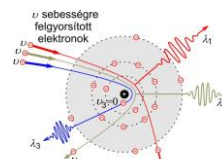
Röntgenső 1930-as évek



forgóanódos röntgenső

5

Bremsstrahlung: fékezési röntgensugárzás



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

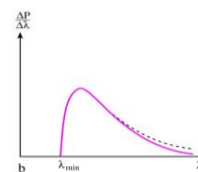
$$\epsilon_{\max} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{\min}}$$

Duane-Hunt törvény:

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

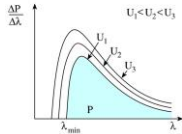
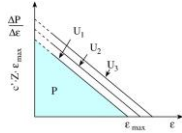
$$\lambda_{\min} = \frac{k}{U_{\text{anód}}}$$

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



6

Bremsstrahlung: fékezési röntgensugárzás



Teljesítmény:

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

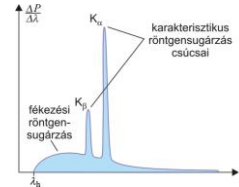
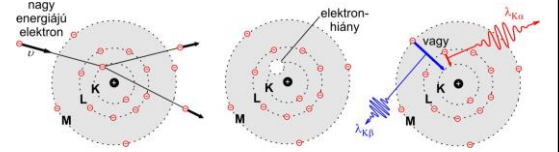
Hatásfok:

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

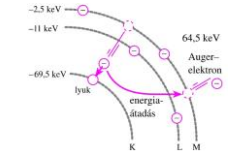
$$\eta = C_{rtg} \cdot U_{anód} \cdot I_{anód}$$

7

Karakterisztikus röntgensugárzás

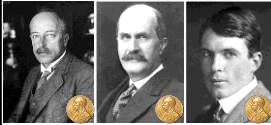


Auger elektron keltés:

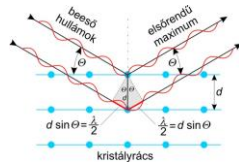


Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása I.

Röntgen diffrakció (Bragg diffrakció)



Max T.F. Laue William H. és William L. Bragg

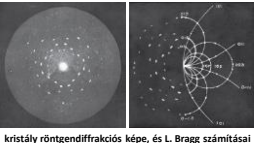


Bragg egyenlet:

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

Alkalmazás:

spektrumok felvétele
szerkezetvizsgálat (kristallográfia)

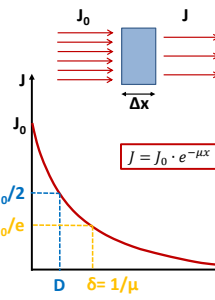


kristály röntgendiffrakciós képe, és L. Bragg számításai

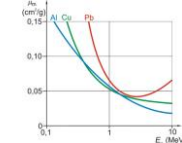
9

Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

Abszorpció – általános törvényszerűségek



Erős rendszám- és energiafüggés:



Lineáris és tömeggyengítési együttható:

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

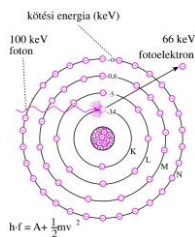
Mechanizmus atomi szinten:

- Fotóeffektus
- Compton szórás $\mu = \tau + \sigma + \kappa$
- (Párképződés)

10

Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

Fotóeffektus



Energiamérleg:

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

Tömeggyengítési együtthatója:

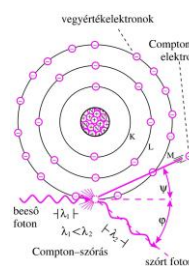
$$\tau_m = \frac{\tau}{\rho}$$

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

11

Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

Compton effektus



Energiamérleg:

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

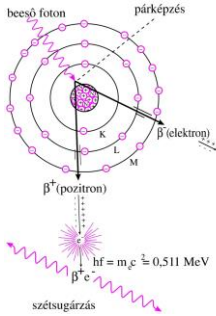
Tömeggyengítési együtthatója:

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

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- energiataromány lágyszövetben
fotoeffektus	$\sim 1 / \epsilon^3$	$\sim Z^3$	10 - 30 keV
Compton- szórás	ϵ növelésével lassan csökken	$\sim Z/A$ ($A \sim 2 \cdot Z$)	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.

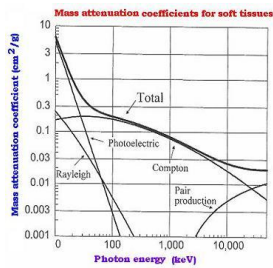
Szövetek effektív rendszáma:

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

14

Röntgendiagnosztikai alapok

Az elnyelődés mechanizmusai



15



Röntgendiagnosztikai alapok

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

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

tömeggyengítési eh. μ_m ρ sűrűség

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

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

közeg	Z_{eff}	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

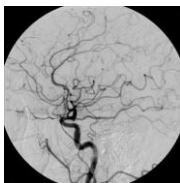
16

Röntgendiagnosztikai alapok

Kontrasztanyagok, lágy és kemény sugárzás



dupla kontraszt: BaSO₄ és levegő



cerebrális angiográfia jó kontrasztal



arany nanorészecskék vesében

17

Köszönöm a figyelmet!

