

## Áttekintés



## Röntgensugárzás és kölcsönhatása az anyaggal

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

### Témakörök:

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

### Kollokviumi tételek:

22. Hogyan lehet röntgensugárzást előállítani? Hasonlítsa össze a fékezési és karakterisztikus röntgensugárzást.

23. A röntgen és gamma sugárzás abszorpciója. Hogyan léphet kölcsönhatásba nagy fotonenergiájú sugárzás atomokkal, molekulákkal?

**Tankönyvi részek:** II/3.1.

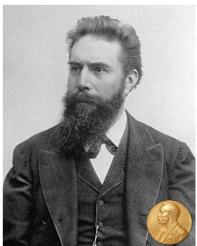
**Kapcsolódó gyakorlatok:** Röntgen, CT (második félévben)

**Figyelmeztetés:** A diasor csak illusztráció és vázlat!

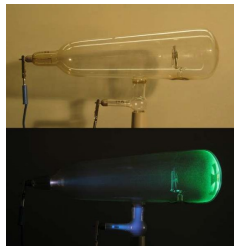
1

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.

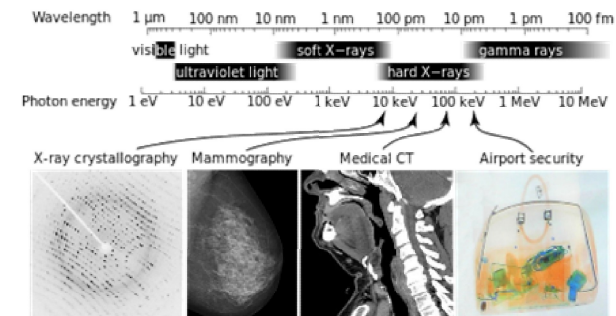
$f \approx 10^{15} - 10^{18}$  Hz (penta-exahertz)

$\lambda \approx 10$  nm - 0.01 nm

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

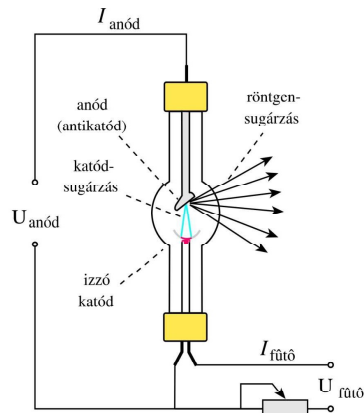
diagnosztika: 200 keV-ig; terápia: kb. 10 MeV

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



4

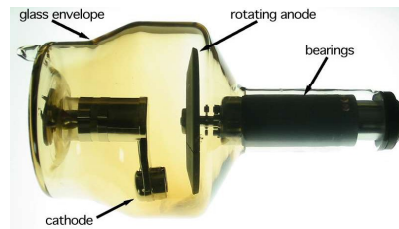
## Röntgensugárzás előállítása



Röntgenső elvi felépítése



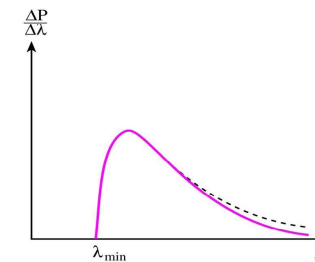
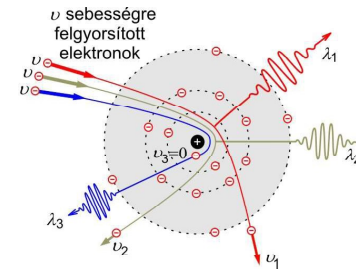
Röntgenső 1930-as évek



forgóanódos röntgenső

5

## Bremsstrahlung: fékezési röntgensugárzás



$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{kin} &= e \cdot U_{anód} \\ \epsilon_{max} &= h \cdot \frac{c}{\lambda_{min}} \end{aligned} \right\}$$

Duane-Hunt törvény:

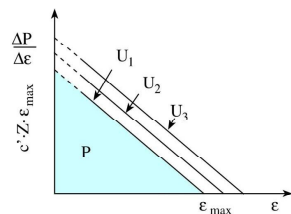
$$\lambda_{min} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U_{anód}}$$

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

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

6

## Bremsstrahlung: fékezési röntgensugárzás



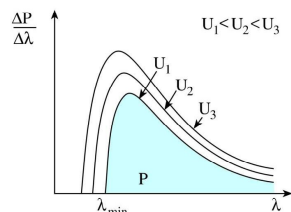
Teljesítmény:

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

Hatásfok:

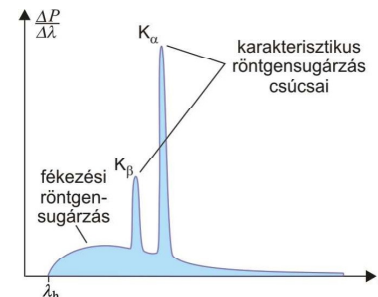
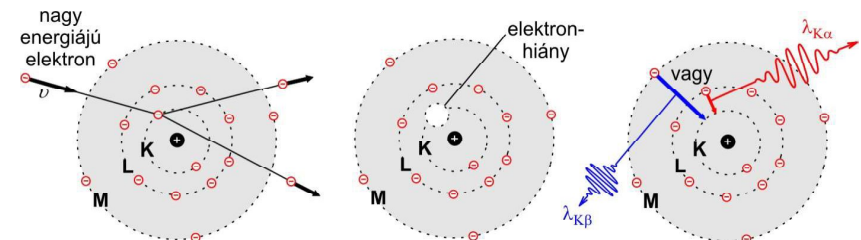
$$\eta = \frac{P_{kissugárazott}}{P_{befektetett}} = \frac{C_{rtg} \cdot U_{anód}^2 \cdot Z \cdot I_{anód}}{U_{anód} \cdot I_{anód}}$$

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

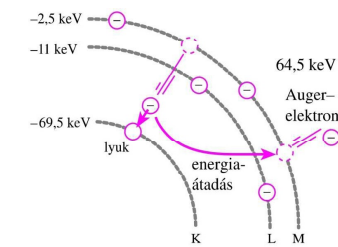


7

## Karakterisztikus röntgensugárzás

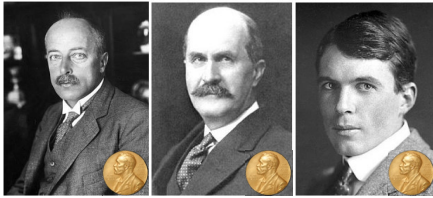


Auger elektron keltés:



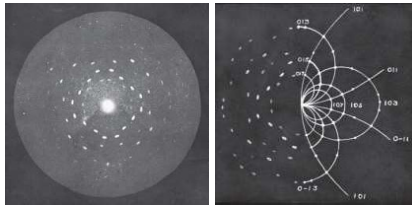
## Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása I.

### Röntgen diffrakció (Bragg diffrakció)

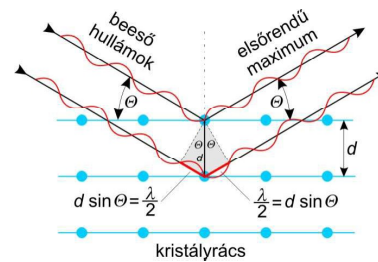


Max T.F. Laue

William H. és William L. Bragg



kristály röntgendiffrakciós képe, és L. Bragg számításai



### Bragg egyenlet:

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

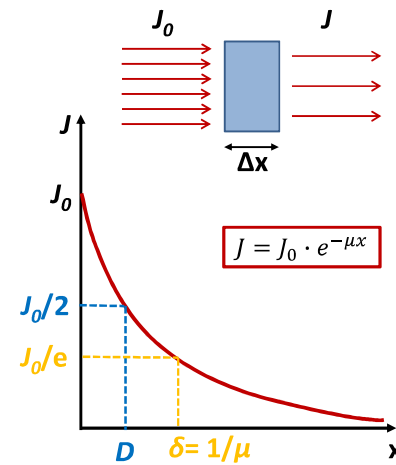
### Akalmazás:

spektrumok felvétele  
szerkezetvizsgálat (kristallográfia)

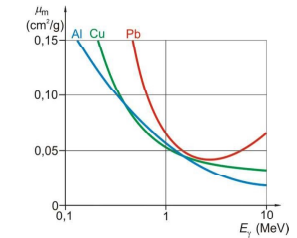
9

## Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

### Abszorpció – általános törvényszerűségek



### Erős rendszám- és energiafüggés:



### Lineáris és tömeggyengítési együttható:

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

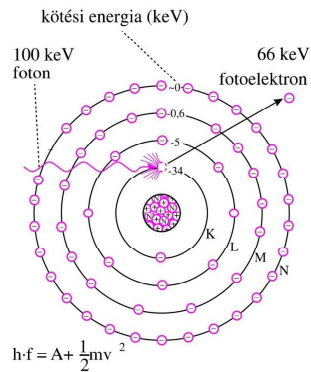
### Mechanizmus atomi szinten:

- Fotoeffektus
- Compton szórás  $\mu = \tau + \sigma + \kappa$
- (Pároképződés)

10

## Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

### Fotoeffektus



### Energiamérleg:

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

### Tömeggyengítési együtthatója:

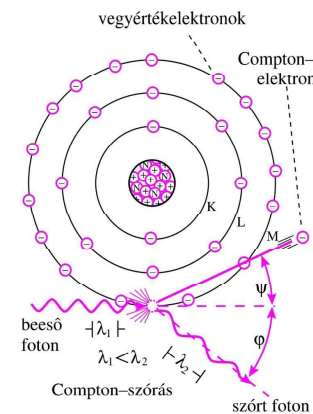
$$\tau_m = \frac{\tau}{\rho}$$

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

11

## Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

### Compton effektus



### Energiamérleg:

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

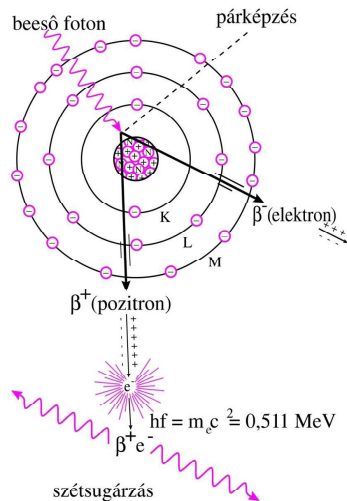
### Tömeggyengítési együtthatója:

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

12

## Röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatása II.

### Pároképzés



Energiamérleg:

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

**Energiaküszöb:** 1,02 MeV, ezért a terápiás röntgensugárzás és  $\gamma$ -sugarak abszorpciója esetén van csak jelentősége.

Tömeggyengítési együtthatója:

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

13

## Röntgendiagnosztikai alapok

### Az elnyelődés mechanizmusai

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

Lágyrész és csont közötti kontraszt mechanizmusa: főleg **fotoeffektus**.

Lágyrészen belüli kontrasztmechanizmus: **Compton szórás**.

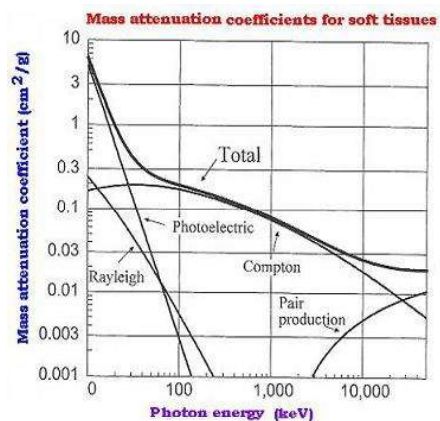
Szövetek effektív rendszáma:

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

14

## Röntgendiagnosztikai alapok

### Az elnyelődés mechanizmusai



15



## Röntgendiagnosztikai alapok

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

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

tömeggyengítési eh.

sűrűség

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

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

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

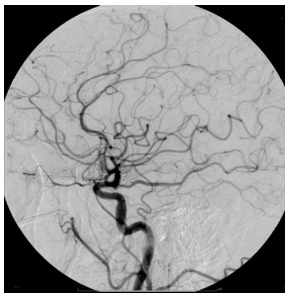
16

## Röntgendiagnosztikai alapok

Kontrasztanyagok, lágy és kemény sugárzás



dupla kontraszt:  $\text{BaSO}_4$  és levegő



cerebrális angiográfia jó kontraszttal



arany nanorészecskék vesében

