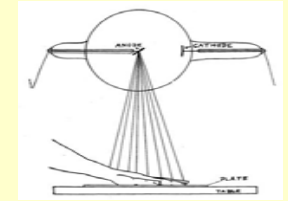


A röntgensugárzás előállítása és tulajdonságai



A katodsugárcső közelébe helyezett platinocianid
fluoreszkál

A gerjesztő sugárzás nagy áthatolóképességű

1895. december 22.-én készült felvétel
Röntgen feleségének kezéről



Wilhelm Conrad Röntgen és kora

1895 – az év

Röntgen felfedezi az “ismeretlen” sugárzást

Alfred Nobel megírja végrendeletét,
a Nobel-díj megalapítása

Auguste és Louis Lumière bemutatják az első mozgóképet

George B. Selden benyújtja az automobil szabadalmát

Rudyard Kipling publikálja a Dzsungel könyvét

a kor

1896: Becquerel felfedezi a radioaktivitást

1897: Thomson felfedezi az elektront

1898: Pierre és Marie Curie felfedezi a polóniumot
és a rádiumot



Felfedezés – 1895. november

Publikálás – 1895. december

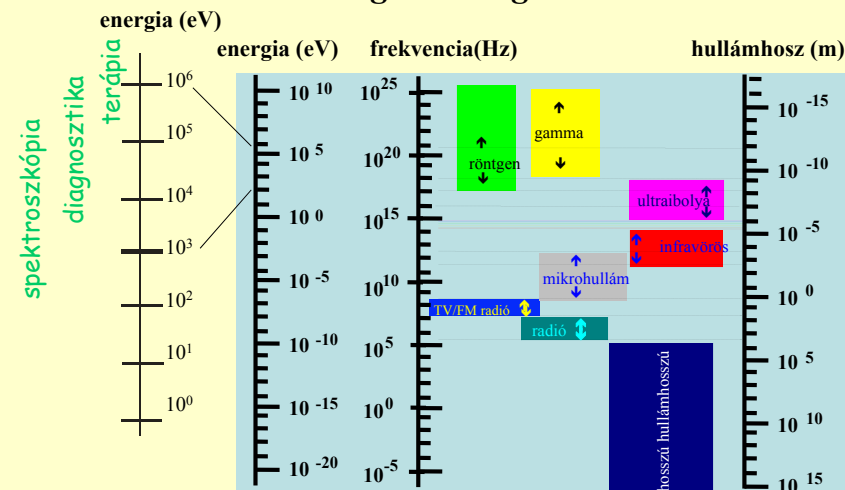
Orvosi alkalmazás – 1896. január

Wilhelm Conrad Röntgen

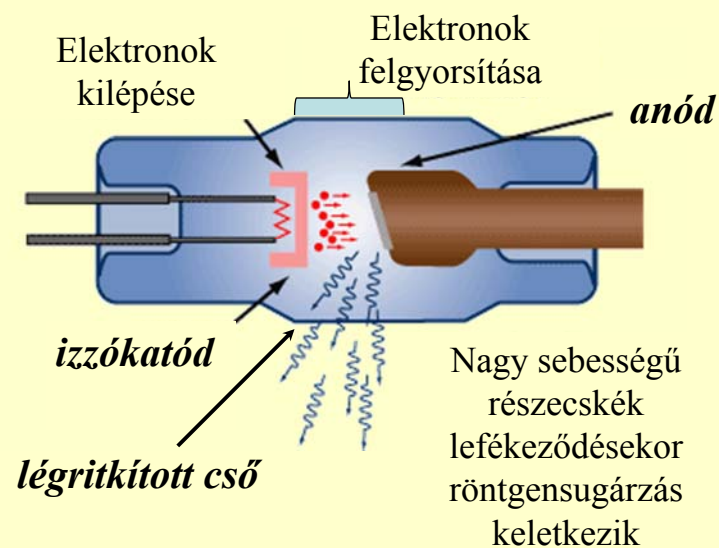
1901 Fizikai Nobel-Díj
a röntgensugárzás
felfedezéséért

A röntgensugárzás

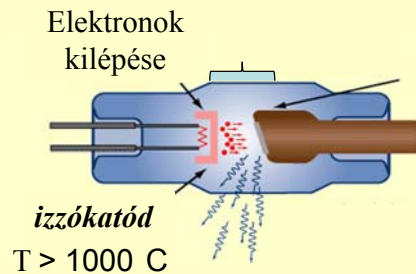
elektromágneses sugárzás



A röntgenső felépítése



A röntgencső működése

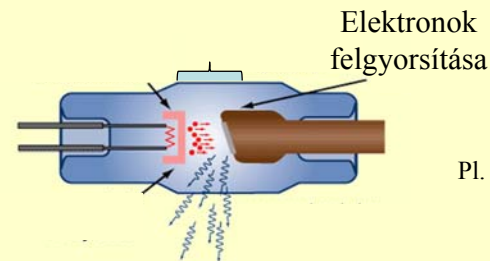


áramsűrűség $\sim T^2$

$$I_{anod} = \frac{Q}{t} = \frac{n * e}{t}$$

$$P_{elektromos} = UI$$

A röntgencső működése



Pl. $U = 60 \text{ kV}$
 $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

$$eU = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} = 1,5 \cdot 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Elektromos tér munkája

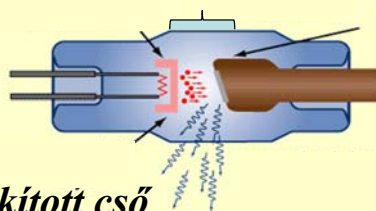
$$W = \Sigma F \Delta s = Q \Sigma E \Delta s$$

$$W = QU$$

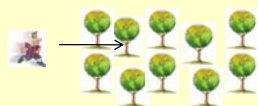
$$\downarrow$$

$$W = \frac{1}{2} m_e v^2$$

A röntgencső működése



légritkított cső

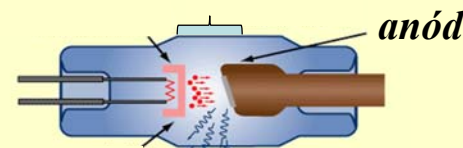


levegőben, normál nyomáson
szabad úthossz $\sim 70 \text{ nm}$



vákuum $\sim 10^{-4} \text{ Pa}$
szabad úthossz $\sim 10 \text{ cm}$

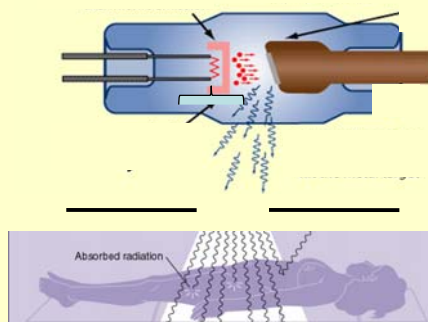
A röntgencső működése



Az anód **anyaga**: -minél nagyobb rendszám
 -minél magasabb olvadáspont

Az anód **fókusza** (az elektronok becsapodásának helye)
 -kis fókusz \rightarrow élesebb kép
 -nagy fókusz \rightarrow jobb hőeloszlás

Az anód **helyzete**: -álló - terhelhetőség: néhány W/mm^2
 (fogászati gyakorlatban elég)
 -forgó - egyenletesebb hőeloszlás, terhelhetőség:
 10000 W/mm^2



sugárkapu

A röntgensugárzás keletkezésének lépései

Töltött részecskék generálása

e^- , H^+ , könnyű ionok

Gyorsítás

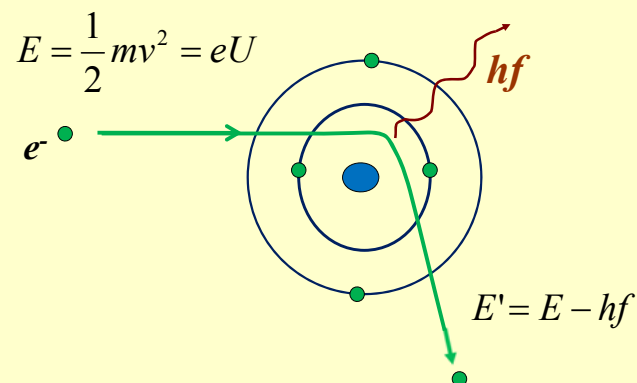
röntgencső, részecskegyorsító

Lefékezés

^{29}Cu , ^{42}Mo , ^{74}W , ^{78}Pt

A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusa

1. Fékezési sugárzás



A belepő elektron eltérül a mag erőterében.

Az eltérülő elektron mozgási energiája csökken.

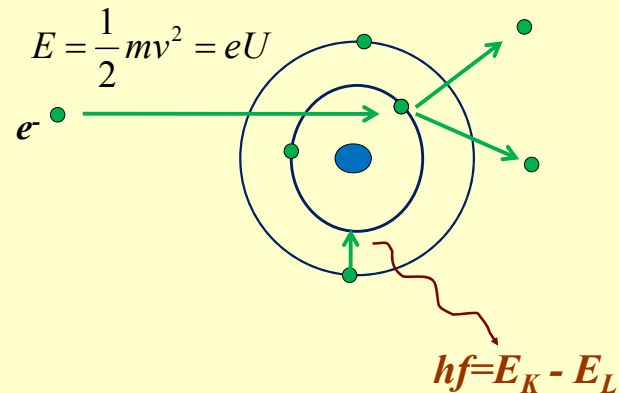
Az energiakülönbséggel azonos energiájú foton keletkezik.

A foton energiája függ a

- a beérkező elektron energiájától
- az elterülő elektron pályájától
- a target rendszámától

A maximális fotonenergia a belépő elektron mozgási energiájával egyenlő.

2. Karakterisztikus sugárzás



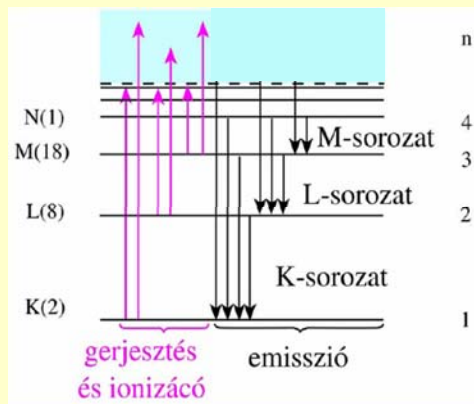
A belepő elektron – ha energiája elég nagy – belső héjon lévő elektront gerjeszthet/ionizálhat.

A távozó elektron helyen “lyuk” marad.

Az energiainimum eléréséhez a betöltetlen állapotot magtól távolabbi elektron tölti be.

A héjak közötti energiakülönbséggel azonos energiájú foton keletkezik.

Lehetséges energiaátmenetek



A lehetséges fotonenergia a target elektronszerkezetétől függ

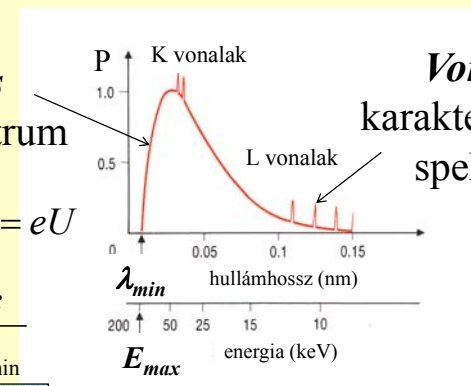
A röntgensugárzás spektruma

Folytonos
fékezési spektrum

$$E_{\max} = \frac{1}{2}mv^2 = eU$$

$$eU = h \frac{c}{\lambda_{\min}}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$$

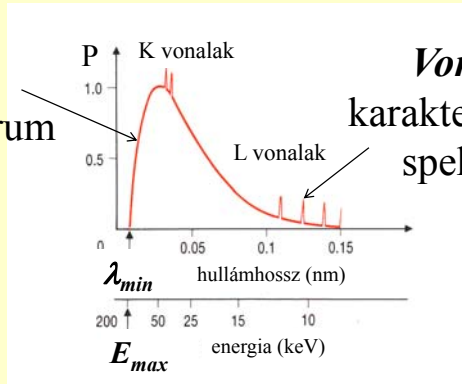


Vonalas
karakterisztikus
spektrum

A röntgensugárzás spektruma

Folytonos
fékezési spektrum

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$$



Vonalas
karakterisztikus
spektrum

Duane-Hunt szabály

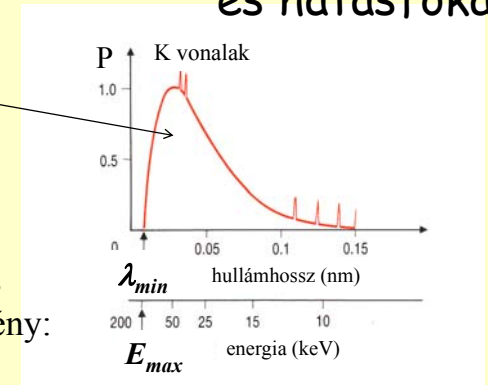
A röntgenső teljesítménye és hatásfoka

$$P = cIU^2Z$$

$$c = 1,1 \times 10^{-9} [1/V]$$

befektetett elektromos
teljesítmény:

$$P' = IU$$



$$\eta = \frac{P}{P'} = cUZ$$

A röntgenső hatásfoka

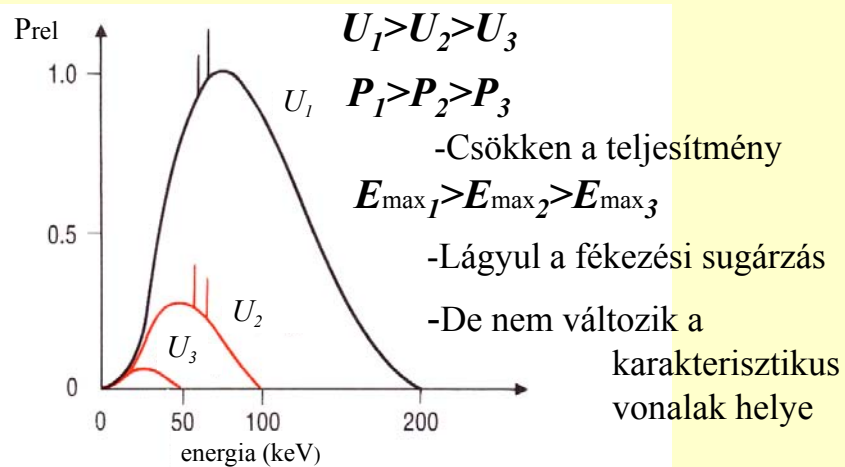
$$\eta < 1\%$$

Az elektron mozgási energiájának döntő része
(>99%) hővé alakul

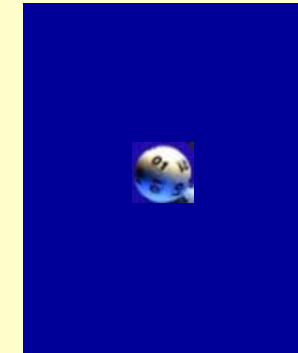
Hogyan változik a sugárzás,
ha csökken a gyorsító feszültség?



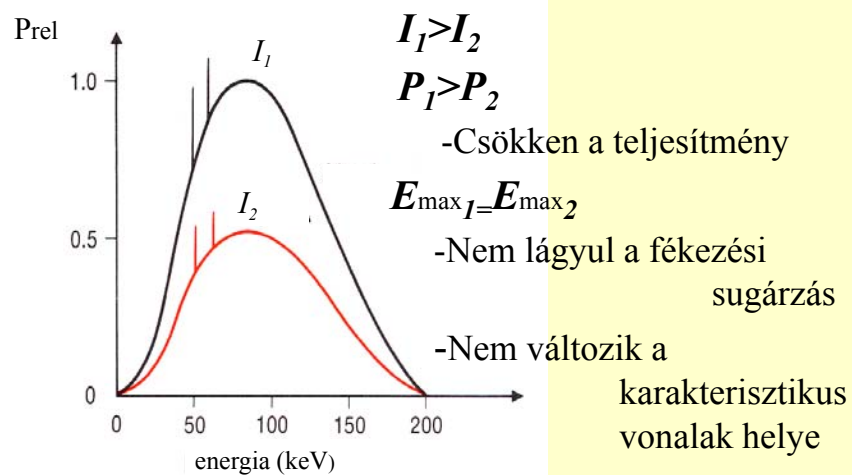
ha csökken a gyorsító feszültség :



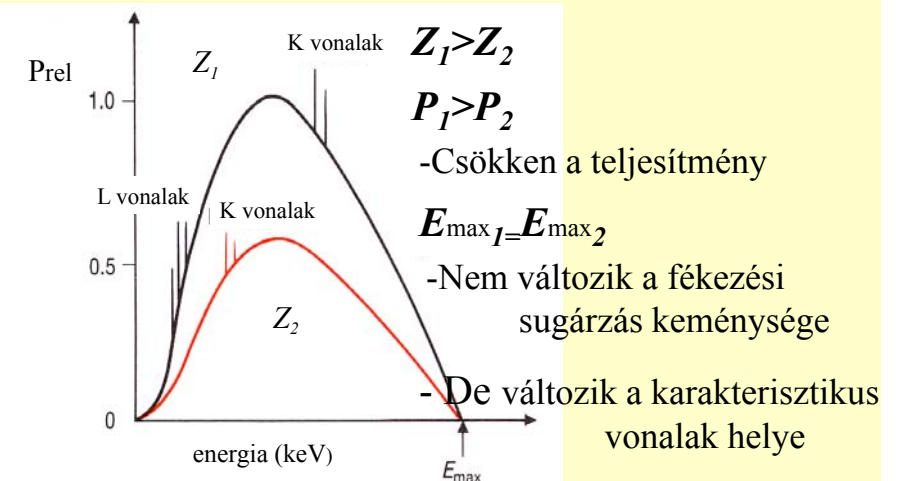
Hogyan változik a sugárzás,
ha csökken az áramerősség?



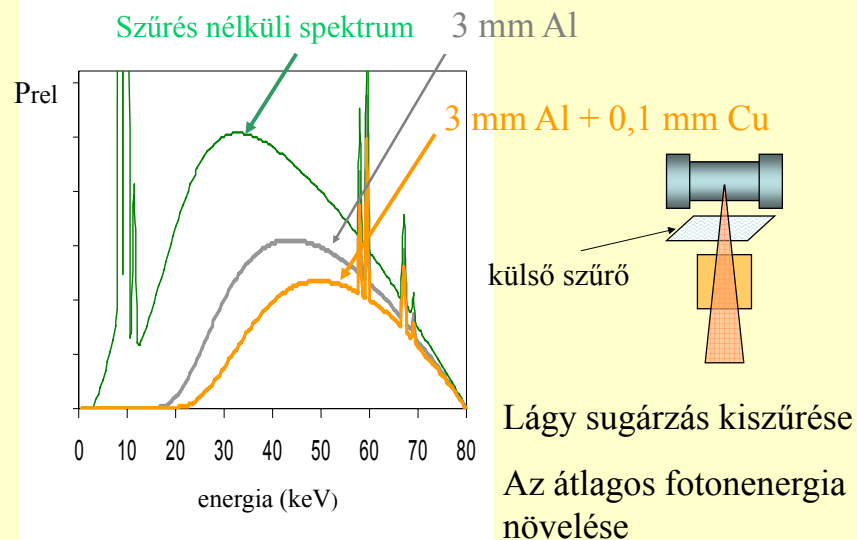
ha csökken az áramerősség:



Hogyan változik a sugárzás,
ha változik az anód anyaga?



Szűrők alkalmazása



Szűrők alkalmazása

A sugárzás tulajdonságainak (spektrum, térbeli eloszlás) módosítása

A felépítésből adódó **szerkezeti elemek** szűrő hatása.

A sugár útjába helyezett **külső szűrő**, általában Al vagy Cu lemezek.

Pl. az anód anyaga, röntgencső fala, sugárkapu, stb. Ezek segítségével szabályozhatunk.

Hátránya: csökkenti az intenzitást
növeli a felvétel idejét

Előnye: kb 80%-kal csökkentheti a páciens sugárterhelését

Tipikus előállítási körülmények az orvosi gyakorlatban

Gyorsító feszültség: 25 – 200 kV

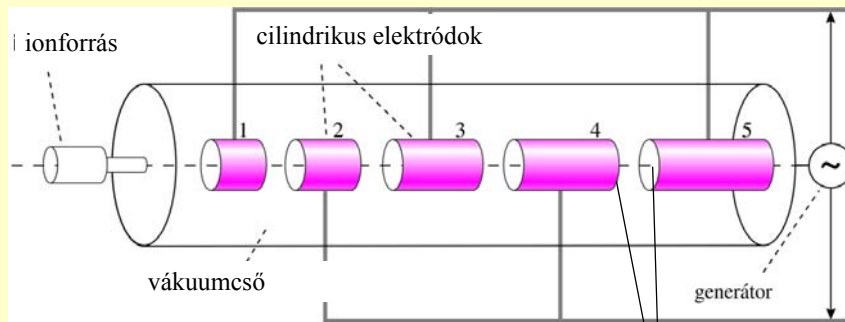
Anód áram: 1 – 1000 mA

Anód anyaga: általában W, mammográfiában Mo

Speciális előállítási körülmények

Részecskegyorsítók

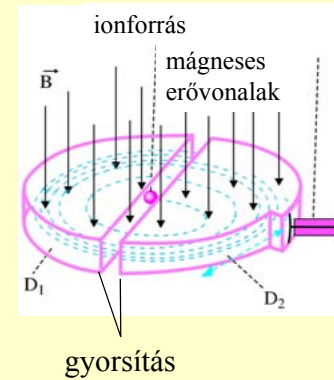
Lineáris gyorsítók



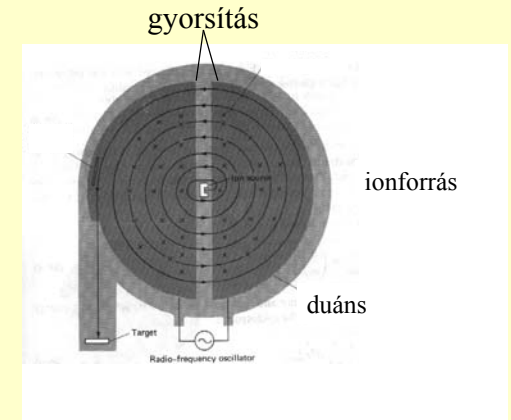
Alkalmazása pl. sugárterápiában

gyorsítás

Ciklotron

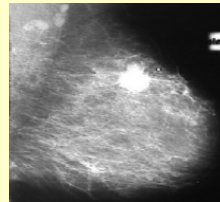


mágneses tér (Lorenz-erő) → körpálya
elektromos tér → gyorsulás; pálya sugara nő



A röntgensugárzás orvosi alkalmazásai

Röntgendiagnosztika



Sugárterápia



Sterilizálás



A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal

Intenzitás gyengülésének törvénye

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

μ függ a foton energiájától
az abszorbens rendszámától
az abszorbens sűrűségétől (!)

μ függ az abszorbens sűrűségétől (!)

DE! μ és a sűrűség aránya állandó

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

μ_m [cm²/g] : tömeggyengítési állandó

**Függ – a foton energiájától
– az abszorbens rendszámától**

Intenzitás gyengülésének törvénye

$$J = J_0 e^{-\mu_m x_m}$$

$$x_m = \rho x$$

x_m [g/cm²] : felületi sűrűség

Már tudjuk, hogy

$$\mu = \frac{0.693}{D}$$

és

$$D_m = \rho D$$

$$\mu_m = \frac{0.693}{D_m}$$

A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal

Intenzitás gyengülése

$$J = J_0 e^{-\mu_m x_m}$$

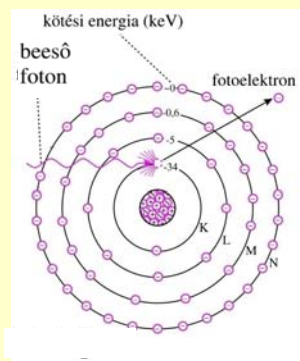
szerint

**Függ – a foton energiájától
– az abszorbens rendszámától**

A kölcsönhatás mechanizmusa

Fotóeffektus

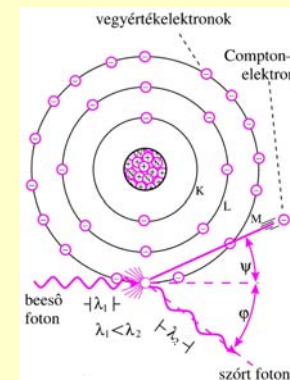
$$hf = E_{\text{köt}} + \frac{1}{2}m_e v^2$$



A kölcsönhatás mechanizmusa

Compton-szórás

$$hf = E_{\text{köt}} + \frac{1}{2}m_e v^2 + hf'$$



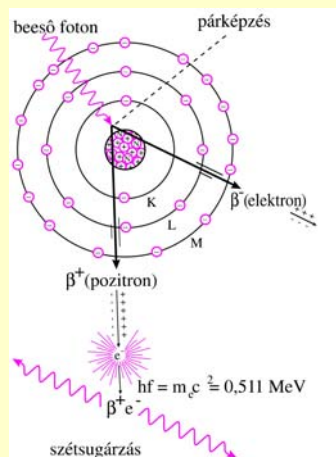
A kölcsönhatás mechanizmusa

Pároképzés

$$hf = 2m_e c^2 + \frac{1}{2}m_e v^2$$

$$hf \geq 2m_e c^2$$

$$hf \geq 1.02 \text{ MeV}$$



A részfolyamatok (abszolút és relatív) valószínűsége függ

- a foton energiájától
- az abszorbens rendszámától

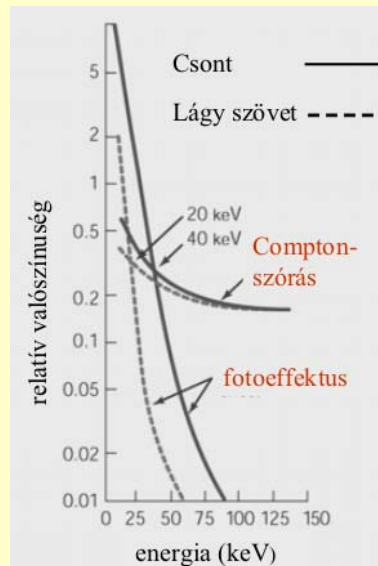
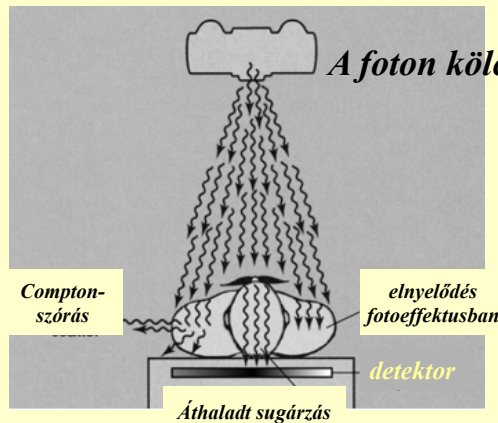
$$\mu = \tau + \sigma + \kappa$$

fotóeffektus Compton-szórás pároképzés

révén történő gyengülésre vonatkozó gyengítési állandók

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

A röntgendiagnosztika alapja: a sugárzás elnyelődése



A fotonenergia növelésével
csökken az elnyelődés.

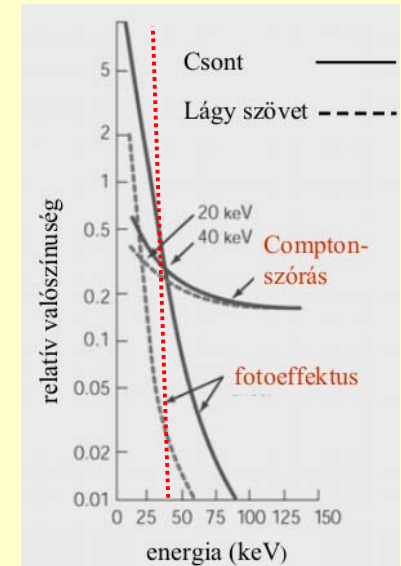
A csökkenés markánsabb a
fotoeffektusra nézve.

Kis fotonenergiáknál τ_m dominál.

τ_m markánsan változik az
abszorbens rendszámával.

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

A sugárzás spektrumának változása
drasztikusan módosíthatja az
elnyelődési folyamatokat.



Effektív rendszám

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

$$w_i = \frac{m_i}{m_{össz}}$$

pl. H₂O w_{H2}=2/18
 w_{O2}=16/18

$$Z_{eff} = 7,69$$

$$\tau_m = C \lambda^3 Z_{eff}^3$$

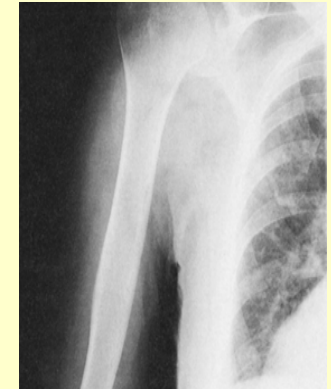


Effektív rendszám

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

$$\tau_m = C \lambda^3 Z_{eff}^3$$

anyag	Z _{eff}
levegő	7,3
víz	7,7
lágyszövet	7,4
csont	13,8



A gyengülési állandók eltolódása

	Valtozása a fotonenergiával	Változása a rendszámmal	Energiatartománya a szövetekben
τ_m	$\sim 1/E^3$	$\sim Z^3$	10 – 100 keV
σ_m	Enyhén csökken E- vel	Független a rendszámtól	0.5 – 5 MeV
κ_m	Enyhén emelkedik E-vel	$\sim Z^2$	5 MeV fölött

Kapcsolódó fejezetek:

Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika

II. 3.1

3.1.1
 3.1.2
 3.1.3
 3.1.4
 3.1.5
 3.1.6