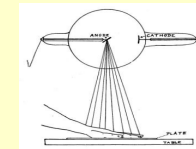


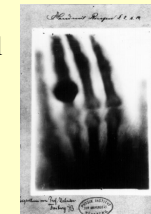
A röntgensugárzás előállítása és tulajdonságai



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



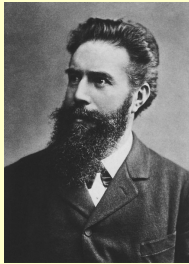
a kor

1896: Becquerel felfedezi a radioaktivitást

1897: Thomson felfedezi az elektront

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



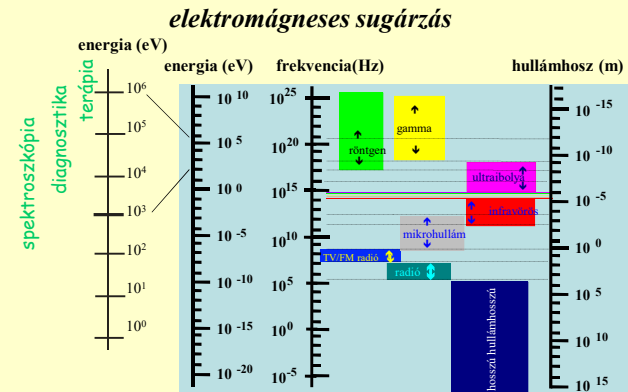


Felfedezés – 1895. november
 Publikálás – 1895. december
 Orvosi alkalmazás – 1896. január

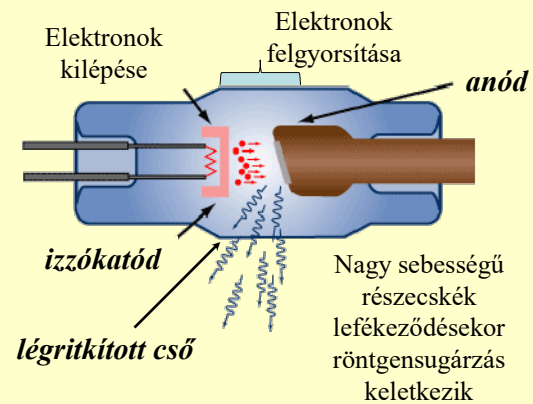
Wilhelm Conrad Röntgen

1901 Fizikai Nobel-Díj
 a röntgensugárzás
 felfedezéséért

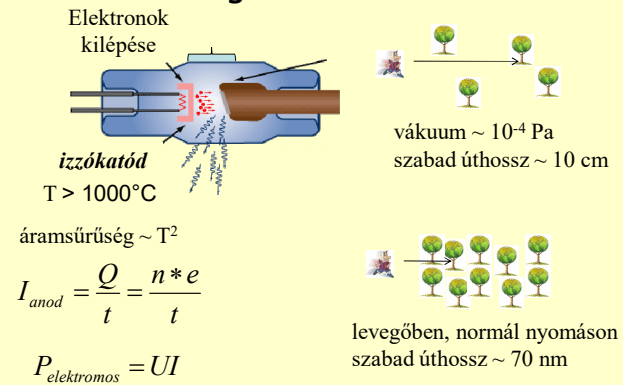
A röntgensugárzás



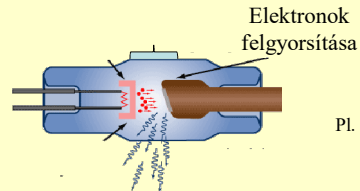
A röntgenső felépítése



A röntgenső működése



A röntgenső működése



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

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

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

Elektromos tér munkája

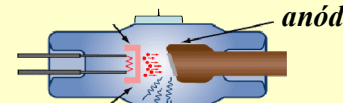
$$W = \Sigma F \Delta s = Q \Sigma E \Delta s$$

$$W = QU$$

$$\downarrow$$

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

A röntgenső működése



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

Az anód **fokusza** (az elektronok becsapodásának helye)

-kis fókusz \rightarrow élesebb kép
 -nagy fókusz \rightarrow jobb hőeloszlás

Az anód **helyzete**: -álló - terhelhetőség: néhány W/ mm²
 (fogászati gyakorlatban elég)
 -forgó egyenletesebb hőeloszlás, terhelhetőség:
 10000 W/ mm²

A röntgensugárzás keletkezésének lépései

Töltött részecskék generálása

e^- , H^+ , könnyű ionok

Gyorsítás

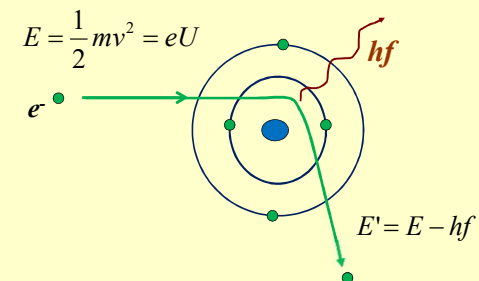
röntgenső, részecskegyorsító

Lefékezés

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

A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusa

1. Fékezési sugárzás



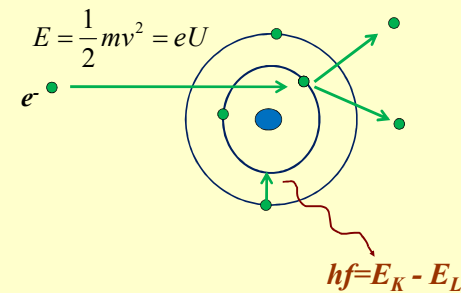
A belepő elektron eltérül a mag erőterében.
 Az eltérülő elektron mozgási energiája csökken.
 Az energiakülönbséggel azonos energiájú foton keletkezik.

A foton energiája függ a

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

A maximális fotonenergia a belepő elektron mozgási energiájával egyenlő.

2. Karakterisztikus sugárzás



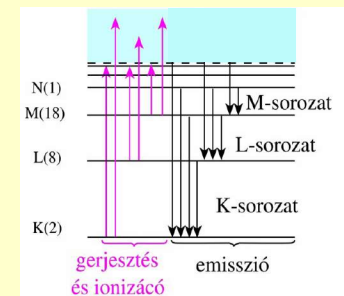
A belepő elektron – ha energiája elég nagy – belső héjon lévő elektront gerjeszthet/ionizálhat.

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

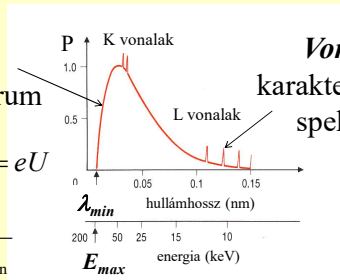
A röntgensugárzás spektruma

Folytonos
fékezési spektrum

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

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

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

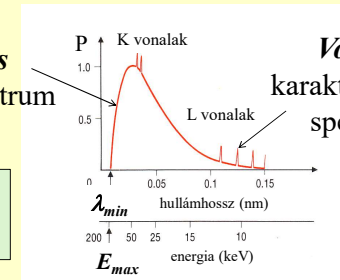


Vonalas
karakterisztikus
spektrum

A röntgensugárzás spektruma

Folytonos
fékezési spektrum

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



Vonalas
karakterisztikus
spektrum

Duane-Hunt szabály

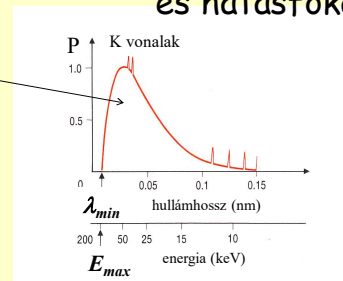
A röntgenső teljesítménye és hatásfoka

$$P = cIU^2Z$$

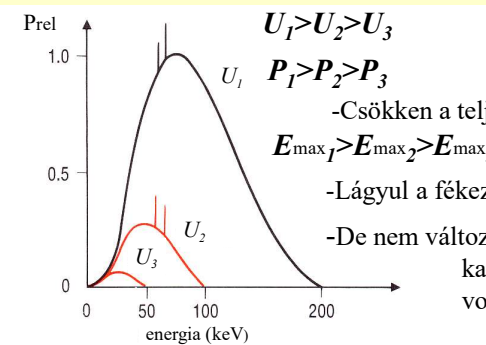
$$c = 1,1 \times 10^{-9} [1/V]$$

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

$$\eta < 1\%$$



ha csökken a gyorsító feszültség :



$$U_1 > U_2 > U_3$$

$$P_1 > P_2 > P_3$$

-Csökken a teljesítmény

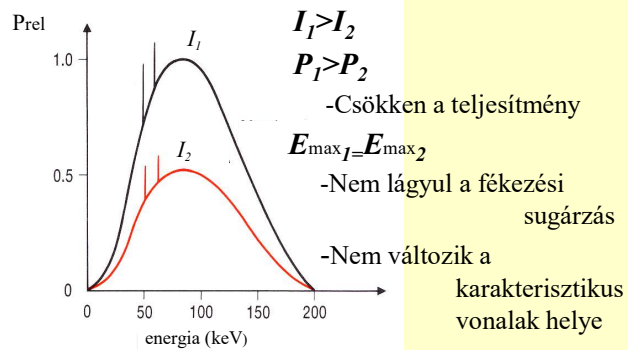
$$E_{\max 1} > E_{\max 2} > E_{\max 3}$$

-Lágyul a fékezési sugárzás

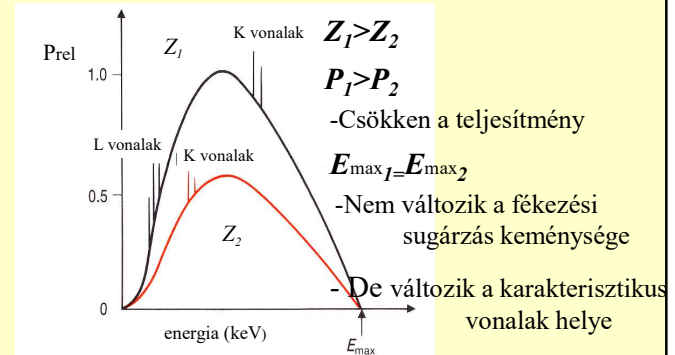
-De nem változik a

karakterisztikus
vonalak helye

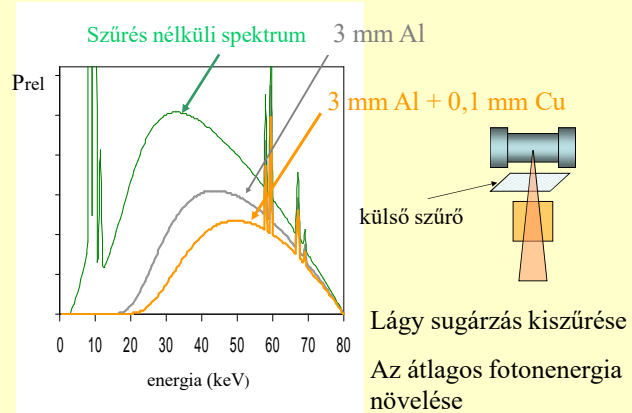
ha csökken az áramerősség:



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 paciens sugárterhelését

Tipikus előállítási körülmények az orvosi gyakorlatban

Gyorsító feszültség: 25 – 200 kV

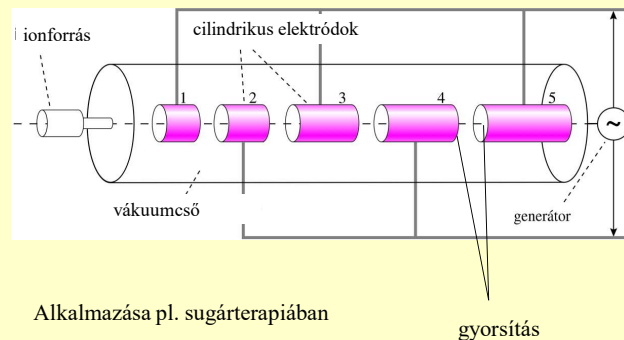
Anód áram: 1 – 1000 mA

Anód anyaga: általában W, mammográfiában Mo

Speciális előállítási körülmények

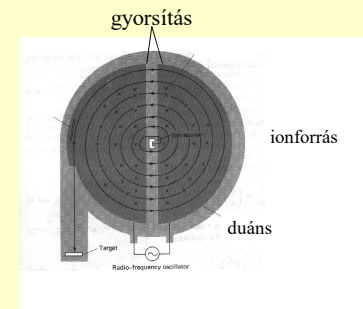
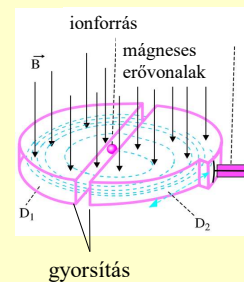
Részecskegyorsítók

Linearis gyorsítók



Alkalmazása pl. sugárterápiában

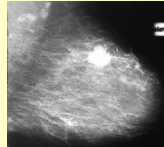
Ciklotron



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

A röntgensugárzás orvosi alkalmazásai

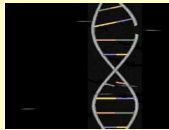
Röntgendiagnosztika



Sugárterápia



Sterilizálás



A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal

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

μ függ 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

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

és

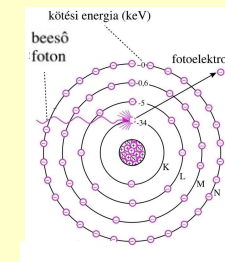
$$D_m = \rho D$$

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

A kölcsönhatás mechanizmusa

Fotoeffektus

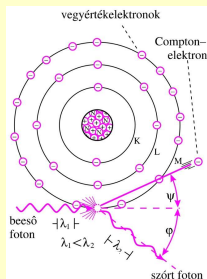
$$hf = E_{köt} + \frac{1}{2} m_e v^2$$



A kölcsönhatás mechanizmusa

Compton-szórás

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



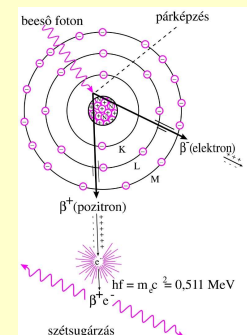
A kölcsönhatás mechanizmusa

Pároképzés

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

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

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



A részfolyamatok (abszolút és relatív) valószínűsége függ

- a foton energiájától
- az abszorbens rendszámától

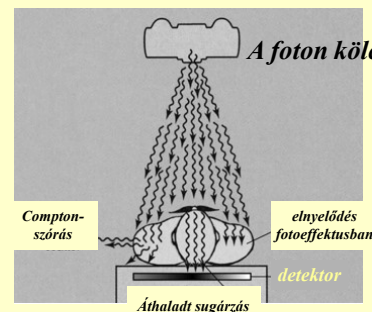
$$\mu = \tau + \sigma + \kappa$$

fotoeffektus Compton-szórás pároképzés

révén történő gyengülésre vonatkozó gyengítési állandók

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

A röntgendiagnosztika alapja: a sugárzás elnyelődése



A foton kölcsönhatásának lehetőségei:

Compton-szórás

fotoeffektus

nincs kölcsönhatás

Ellenőrző kérdések

A röntgencső felépítése

A röntgencső paraméterei

A fékezési sugárzás keletkezése és spektruma

A határhullámhossz oka, kiszámítása

A karakterisztikus sugárzás keletkezése és spektruma

A röntgensugárzás spektrumát befolyásoló paraméterek

Külső szűrők használata, hatása a kilépő röntgensugárzásra

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