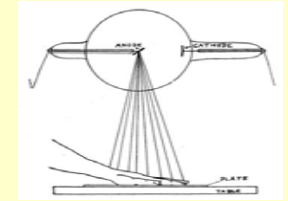


## A röntgensugárzás előállítása és tulajdonságai



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

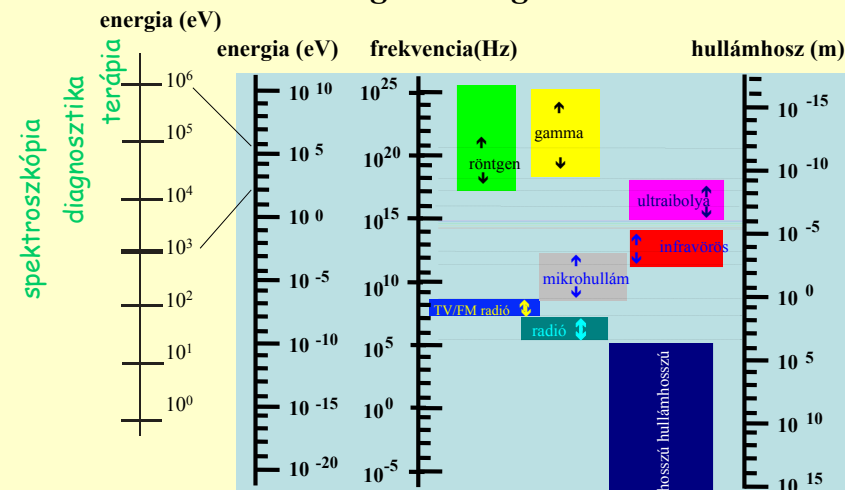
Orvosi alkalmazás – 1896. január

## Wilhelm Conrad Röntgen

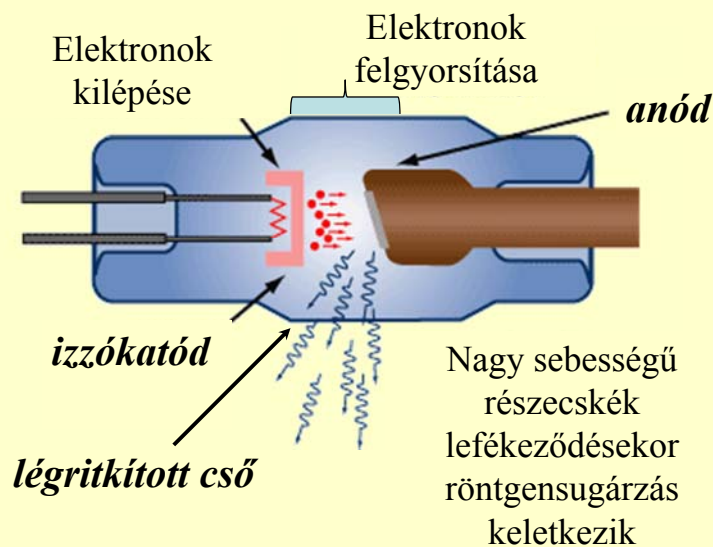
1901 Fizikai Nobel-Díj  
a röntgensugárzás  
felfedezéséért

## A röntgensugárzás

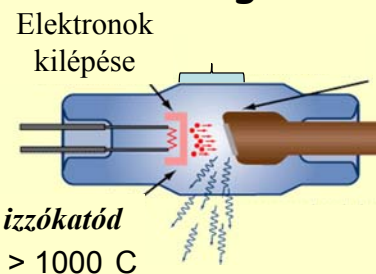
### elektromágneses sugárzás



## A röntgenső felépítése



## A röntgenső működése



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

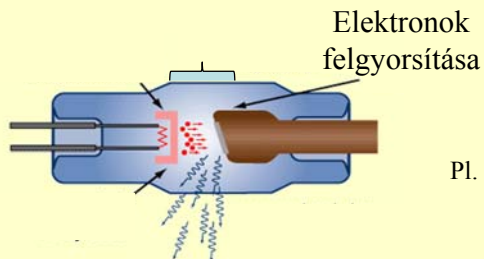
áramsűrűség  $\sim T^2$

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

$$P_{elektromos} = UI$$

levegőben, normál nyomáson  
szabad úthossz  $\sim 70$  nm

## A röntgenső működése



Elektromos tér munkája

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

$$W = QU$$

$$\downarrow$$

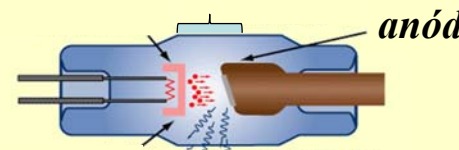
$$W = \frac{1}{2} m_e v^2$$

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

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

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

## A röntgenső 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<sup>2</sup>  
 (fogászati gyakorlatban elég)  
 -forgó egyenletesebb hőeloszlás, terhelhetőség:  
 10000 W/ mm<sup>2</sup>

## A röntgensugárzás keletkezésének lépései

Töltött részecskék generálása

$e^-$ ,  $H^+$ , könnyű ionok

Gyorsítás

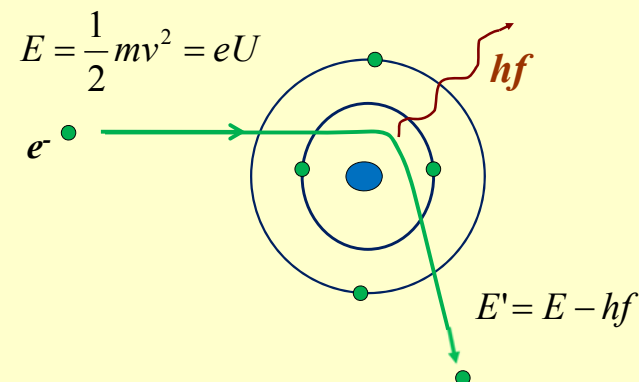
röntgenső, részecskegyorsító

Lefékezés

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

## A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusa

### 1. Fékezési sugárzás



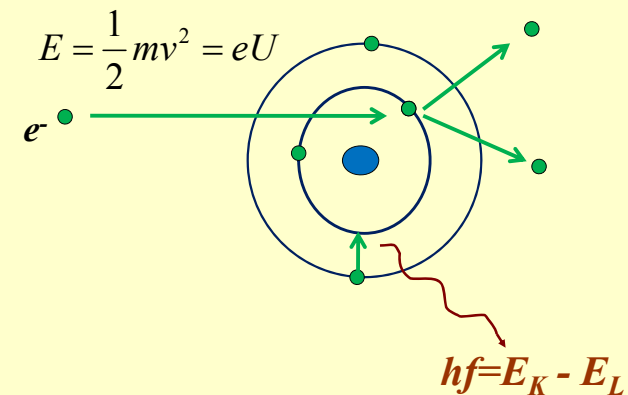
A belepő elektron eltérül a mag erőterében.  
 Az eltérülő elektron mozgási energiája csökken.  
 Az energiakülönbséggel azonos energiájú foton keletkezik.

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



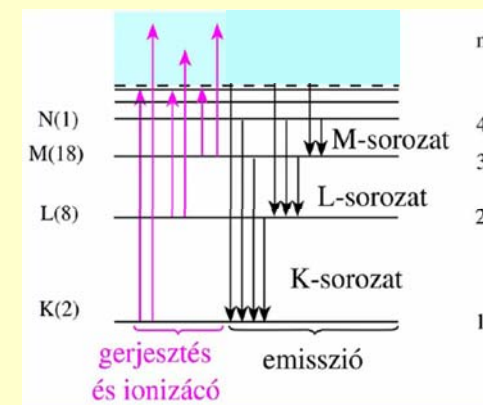
A belepő elektron – ha energiája elég nagy – belső héjon lévő elektront gerjeszthet/ionizálhat.

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

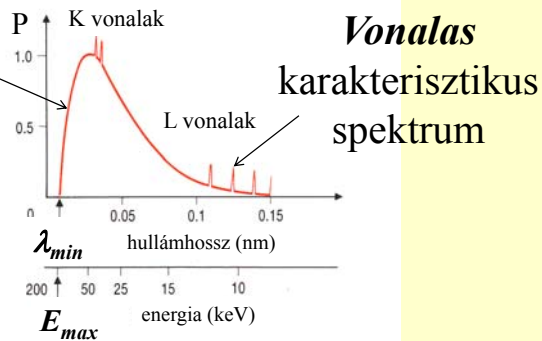
## A röntgensugárzás spektruma

**Folytonos**  
fékezési spektrum

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

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

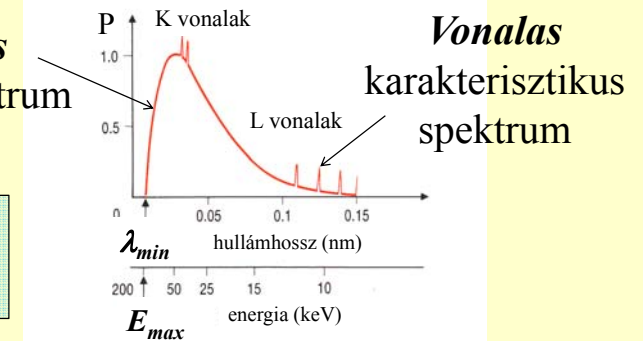
$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$$



## A röntgensugárzás spektruma

**Folytonos**  
fékezési spektrum

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



**Duane-Hunt szabály**

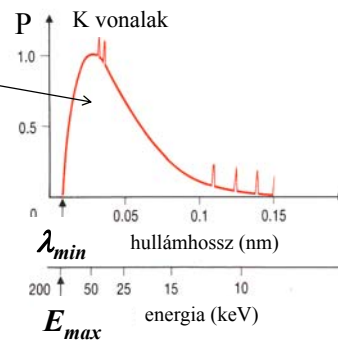
## A röntgencső teljesítménye és hatásfoka

$$P = cIU^2Z$$

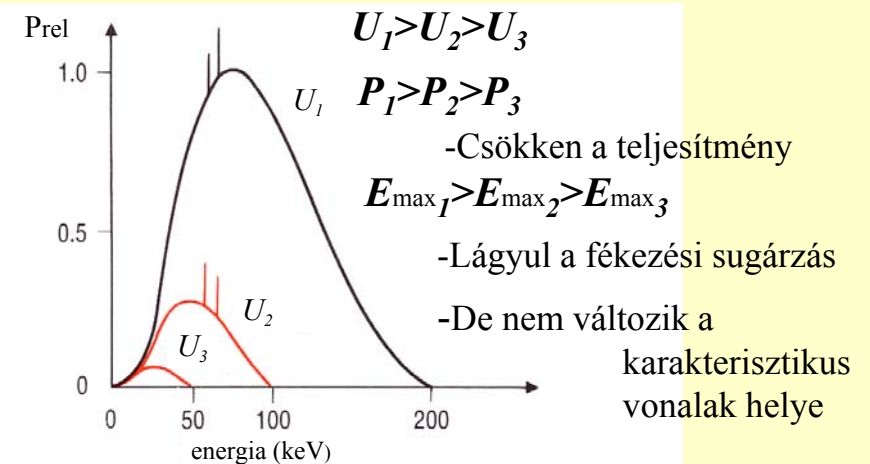
$$c = 1,1 \times 10^{-9} [1/V]$$

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

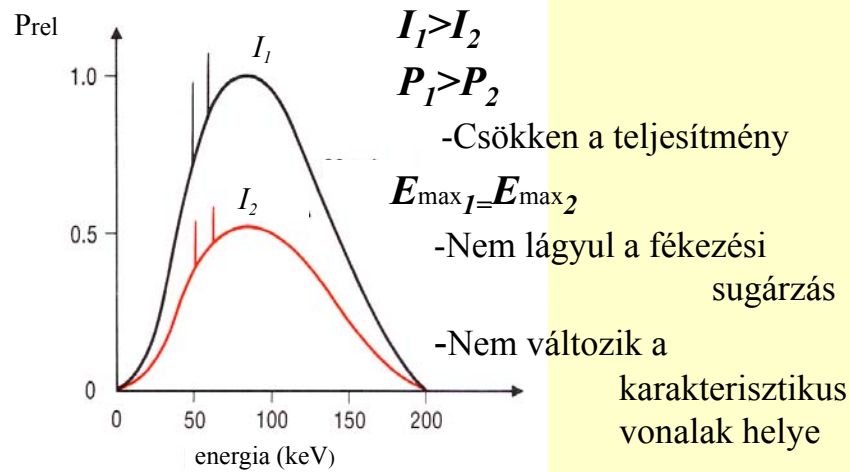
$$\eta < 1\%$$



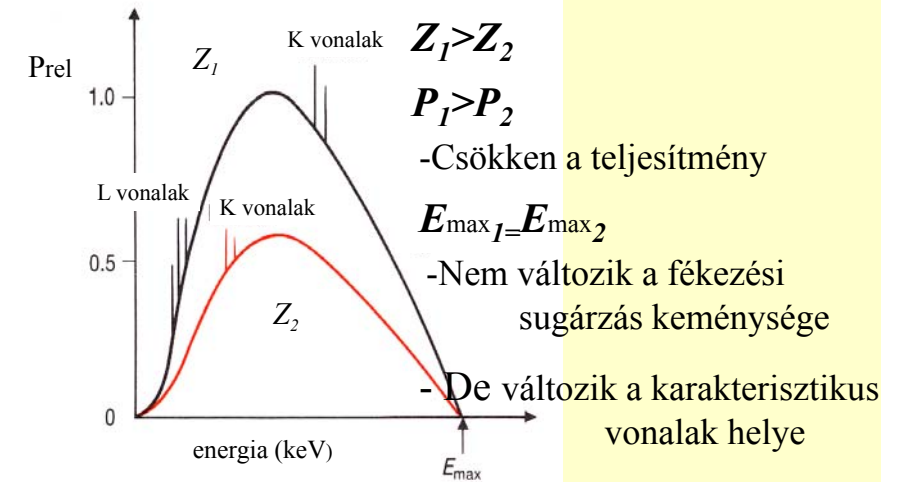
*ha csökken a gyorsító feszültség :*



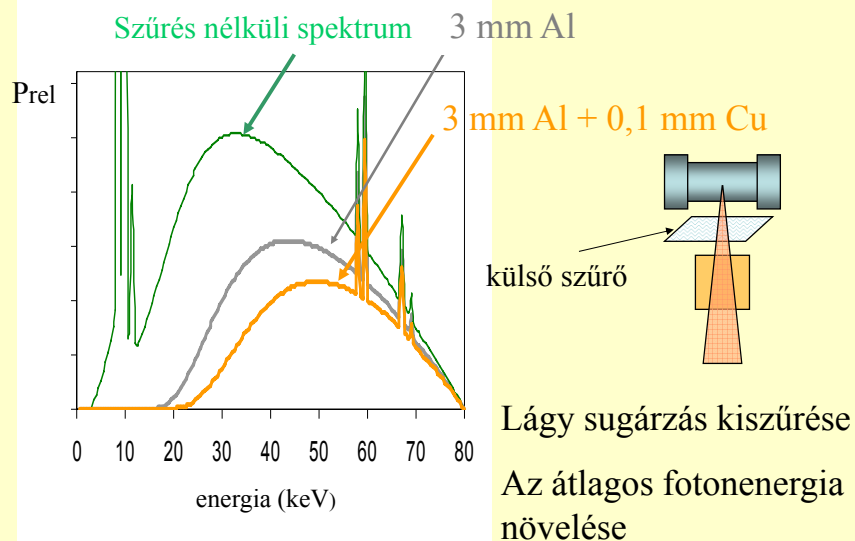
*ha csökken az áramerősség:*



*ha változik az anód anyaga:*



## Szűrők alkalmazása



## Szűrők alkalmazása

A sugárzás tulajdonságainak (spektrum, térbeli eloszlás) módosítása

A felépítésből adódó szerkezeti elemek szűrő hatása.

Pl. az anód anyaga, röntgencső fala, sugárkapu, stb.

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

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

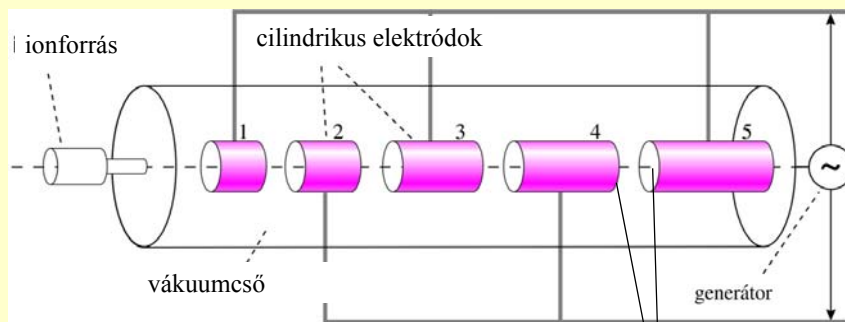
Anód áram: 1 – 1000 mA

Anód anyaga: általában W, mammográfiában Mo

## Speciális előállítási körülmények

### Részecskegyorsítók

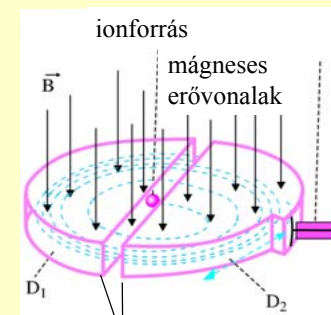
### Linearis gyorsítók



Alkalmazása pl. sugárterápiában

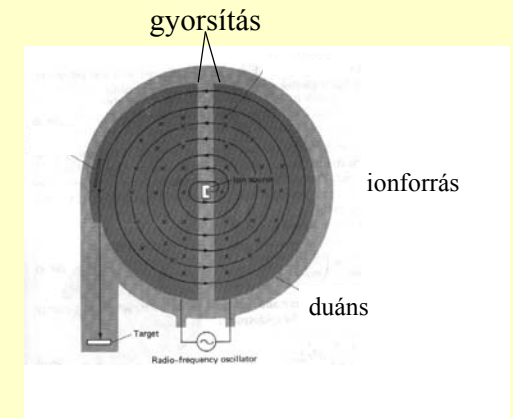
gyorsítás

### Ciklotron



gyorsítás

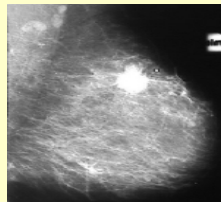
mágneses tér (Lorenz-erő) → körpálya  
elektromos tér → gyorsulás; pálya sugara nő





## A röntgensugárzás orvosi alkalmazásai

Röntgendiagnosztika



Sugárterápia



Sterilizálás



## A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal

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

$\mu$  függ az abszorbens sűrűségétől (!)

DE!  $\mu$  és a sűrűség aránya állandó

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

$\mu_m$  [cm<sup>2</sup>/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/cm<sup>2</sup>] : felületi sűrűség

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

és

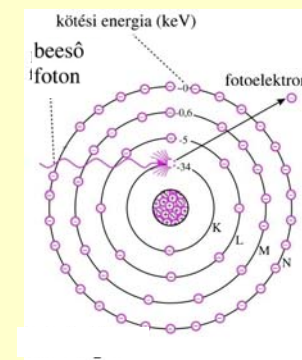
$$D_m = \rho D$$

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

## A kölcsönhatás mechanizmusa

Fotoeffektus

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

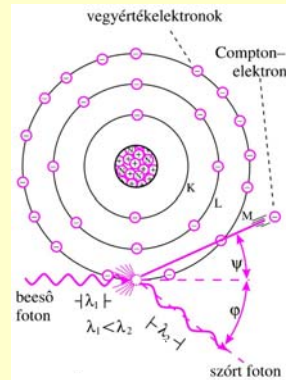




## A kölcsönhatás mechanizmusa

### Compton-szórás

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



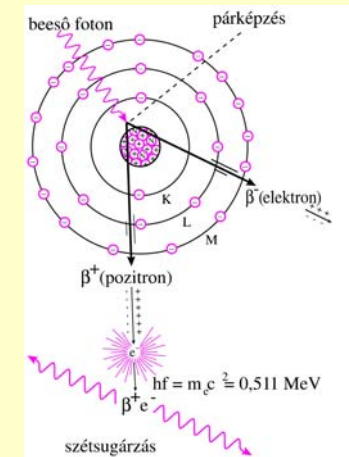
## A kölcsönhatás mechanizmusa

### Párképzés

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

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

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



A részfolyamatok (abszolút és relatív) valószínűsége függ

- a foton energiájától
- az abszorbens rendszámától

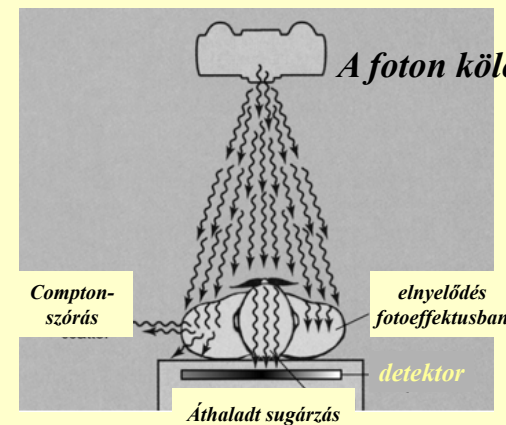
$$\mu = \tau + \sigma + \kappa$$

fotoeffektus
Compton-szórás
párképzés

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

A hét kérdése

Miért alkalmazunk a röntgendiagnosztikában Al és/vagy Cu szűrőket a kilépő sugárzás útjában úgynevezett külső szűrőként, és miért nem használunk Pb szűrőt ugyanerre?

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