

ORVOSI BIOFIZIKA II

ORVOSI BIOFIZIKA II

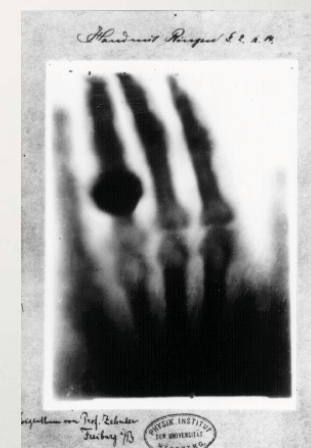
- Röntgensugárzás előállítása és tulajdonságai
- Röntgendiagnosztikai alapok
- Az elektromosság orvosi alkalmazásai
- Termodinamika - egyensúly, változás, főtételek
- Diffúzió, Brown-mozgás, Ozmózis
- Folyadékok és gázok áramlása. A véráramlás biofizikája
- Bioelektromos jelenségek
- Hang, ultrahang
- Érzékszervek biofizikája, látás, hallás
- Az élő anyag építőkövei: víz, makromolekulák, szupramolekuláris rendszerek
- A biomolekuláris szerkezetet és dinamika vizsgálómódszerei. Az MRI alapjai
- A biológiai mozgás molekuláris mechanizmusai. Biomechanika, biomolekuláris és szöveti rugalmasság
- A légzés és a szív működés biofizikája. Fizikális vizsgálat

RÖNTGEN- SUGÁRZÁS

AZ X-SUGÁR

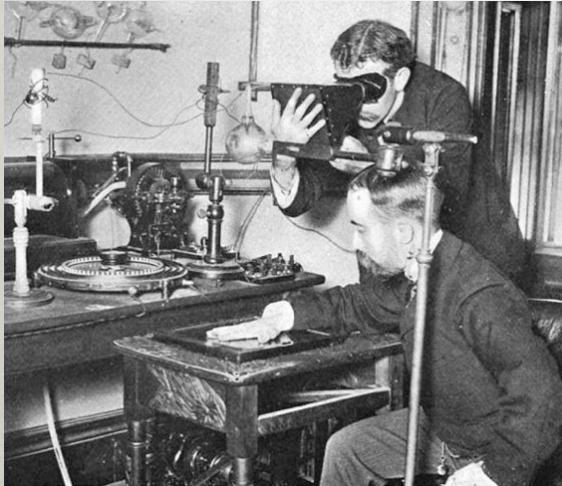


Wilhelm Konrad
Röntgen
(1845-1923)
Nobel-díj, 1901



Hand mit Ringen ("Kéz gyűrűvel"):
Wilhelm Röntgen első "orvosi" röntgenfelvétele
felesége kezéről (1895 december 22).

PAPÍRTÖLCSÉR RADIOSZKÓP



1890-es évek vége



I. világháború

ORVOSI RÖNTGENFELVÉTEL



1940



1950



ma

CIPÉSZ FLUOROSZKÓP (1930-50)




CERTIFICATE


SHOE-FITTING TEST DATA FOR _____

1. ANKLE ROLL GOOD ☐ FAIR ☐ POOR ☐


2. WEIGHT DISTRIBUTION



RIGHT WAY




WEIGHT DISTRIBUTION TEST




WRONG WAY


3. X-RAY FITTING TEST



RIGHT WAY



X-RAY TEST

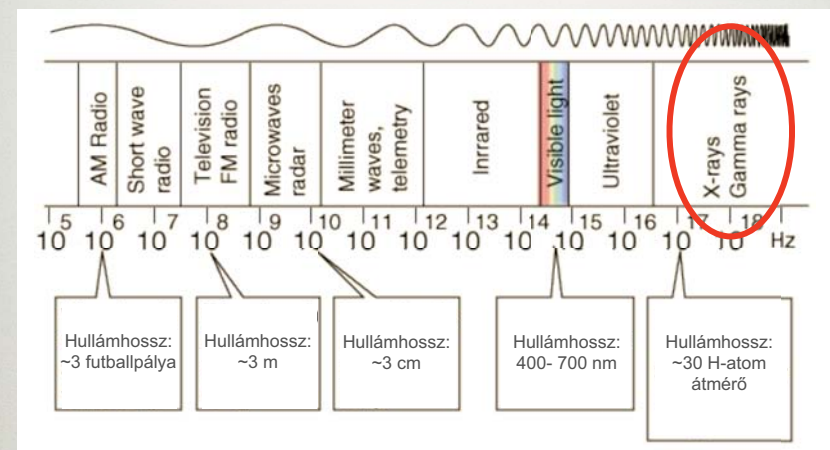


WRONG WAY

LEFT RIGHT LEFT RIGHT
 _____% BALL _____% _____% GOOD _____%
 _____% OUTER _____% _____% FAIR _____%
 _____% HEEL _____% _____% POOR _____%

This scientific way of approaching the problem of poorly-fitted shoes eliminates guesswork. Now you can see for yourself!

A RÖNTGENSUGÁRZÁS: ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁS



Hullámhossz 10 - 0.01 nm. **Frekvencia** 30×10^{15} - 30×10^{18} Hz. **Energia** 120 eV - 120 keV.
(petahertz - exahertz)

RÖNTGENSUGÁRZÁS

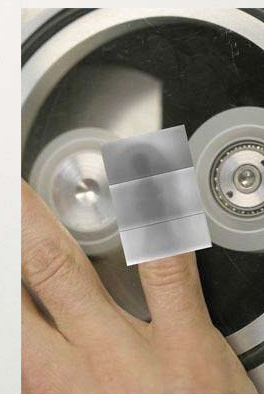
- A röntgensugárzás keltése
- Spektrális tulajdonságok
- A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal 1: diffrakció
- A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal 2: abszorpció

A RÖNTGENSUGÁRZÁS (NEM SZOKVÁNYOS) KELTÉSE

Tribolumineszcencia: dörzsöléssel kiváltott fényemisszió. Francis Bacon, 1605.

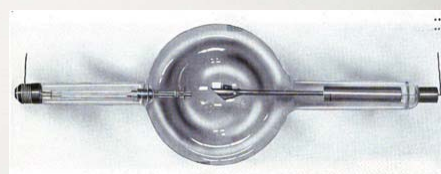
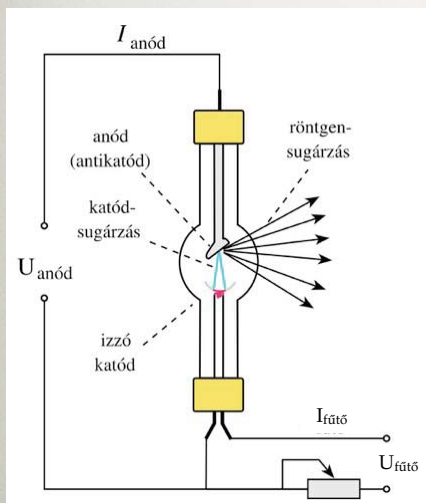


Ragasztószalag lehántásakor látható fotonok...



...és röntgenfotonok emittálódnak. (Nature News, October 2008)

RÖNTGENSUGÁRZÁS KELTÉSE - GYAKORLAT



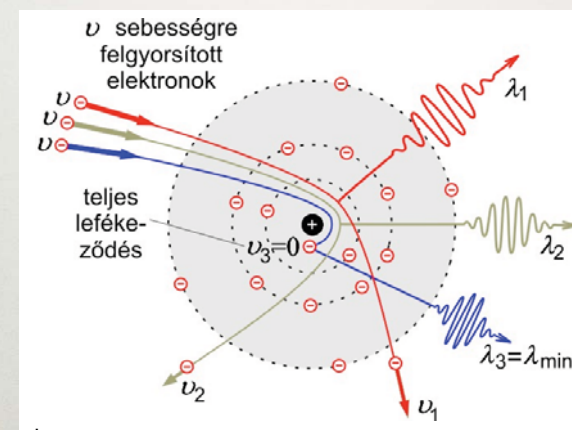
Röntgenső (Coolidge, 1900-as évek eleje).



Forgóanódos röntgenső (anód forgás hűtés végett)

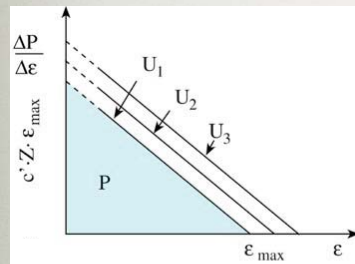
FÉKEZÉSI RÖNTGENSUGÁRZÁS

A felgyorsított elektronok lelassulnak ("lefékeződnek") — és ezért mozgási energiát veszítenek — az anód atomjainak elektromos terében

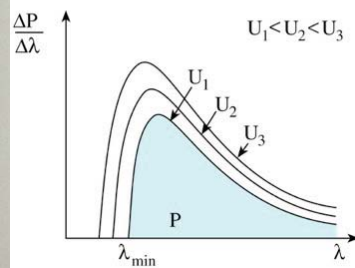


"Bremsstrahlung"

A FÉKEZÉSI RÖNTGENSUGÁRZÁS SPEKTRUMA



Folytonos spektrum



$$eU_{anód} = \varepsilon_{max} = hf_{max}$$

Maximális fotonenergia (ε_{max})

h = Planck állandó; c = fénysebesség;
 e = elektron töltése; $eU_{anód}$ = gyorsítási munka

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

Határhullámhossz (λ_{min})
 (Duane-Hunt-törvény)

$$\frac{\Delta P}{\Delta \varepsilon} = c \cdot Z \cdot (\varepsilon_{max} - \varepsilon)$$

Energiaspektrum
 (teljesítmény energia-függése)

$$P_{tot} = \frac{1}{2} c \cdot Z \cdot \varepsilon_{max}^2 = c \cdot Z \cdot U_{anód}^2 \cdot e^2$$

Összteljesítmény
 (háromszög területe alapján)

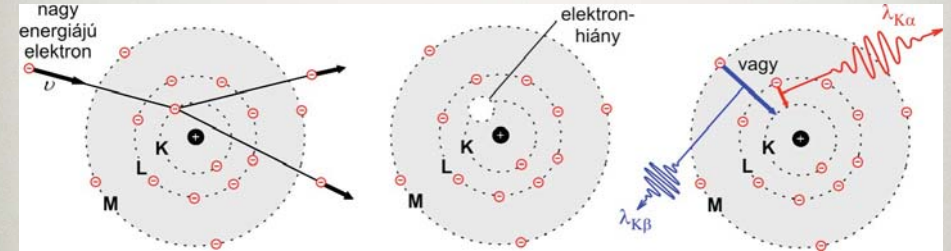
$$P_{tot} = C_{Rtg} \cdot I_{anód} \cdot U_{anód}^2 \cdot Z$$

Összteljesítmény

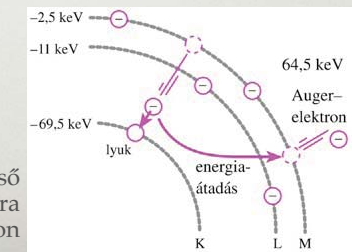
$$\eta = \frac{P_{tot}}{P_{in}} = \frac{C_{Rtg} \cdot I_{anód} \cdot U_{anód}^2 \cdot Z}{I_{anód} \cdot U_{anód}} = C_{Rtg} \cdot U_{anód} \cdot Z$$

Hatékonyság <1%

KARAKTERISZTIKUS RÖNTGENSUGÁRZÁS

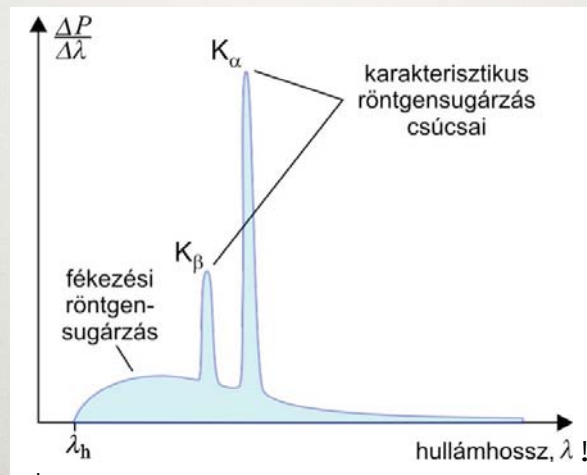


A belső pályáról kilökött elektron nagyenergiájú pályáról pótlódik



Elektronátmenet energiája külső héj elektron kiszabadulására fordítható: Auger elektron

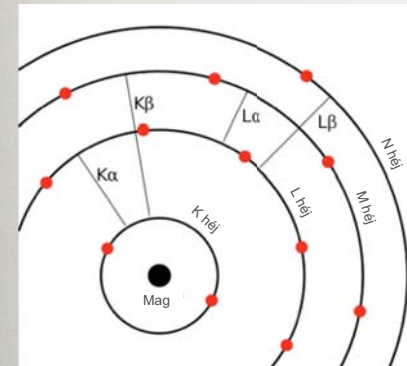
KARAKTERISZTIKUS RÖNTGENSUGÁRZÁS SPEKTRUMA



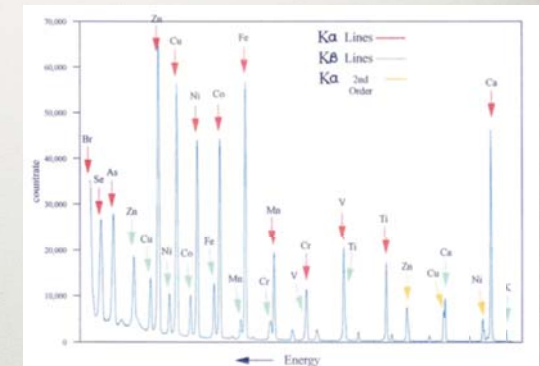
Vonalas spektrum

A RÖNTGEN SPEKTRUM AZ ELEMI ÖSSZETÉTELT JELLEMZI

Mivel a belső pálya-elektronok vesznek része a jelenség létrejöttében, a spektrum az elemi (és nem molekuláris) tulajdonságokat jellemzi

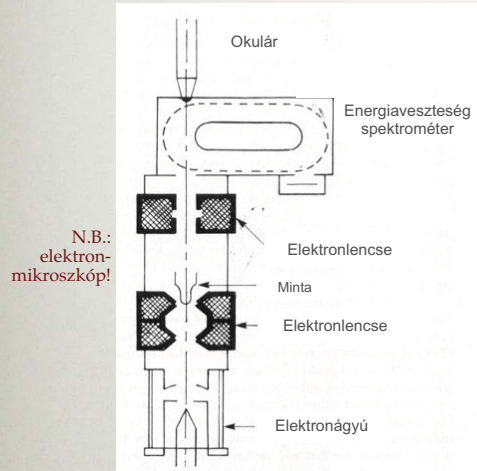


Elektron átmenetek Ca atomban

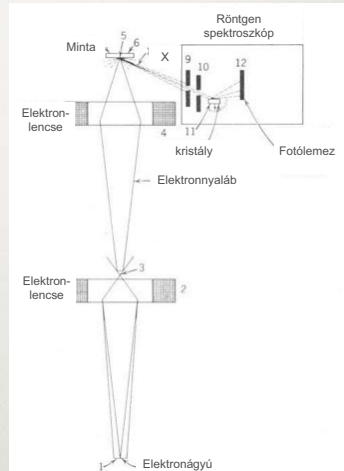


Energiadiszperzív röntgen fluoreszcencia spektrum

KARAKTERISZTIKUS RÖNTGENSUGÁRZÁS DETEKTÁLSA

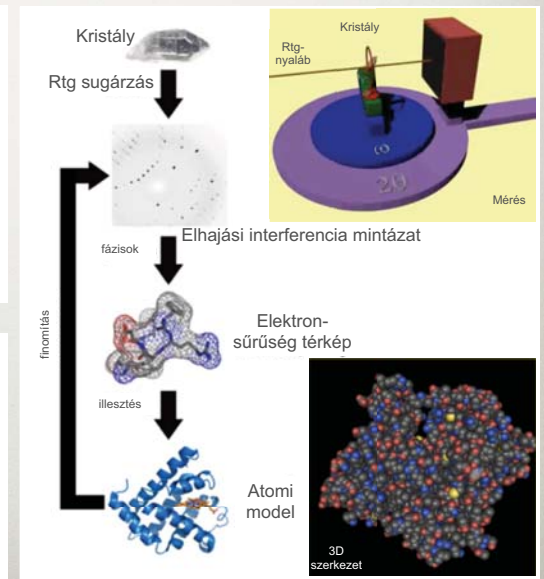
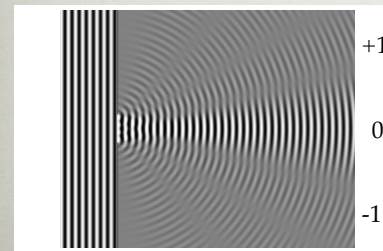
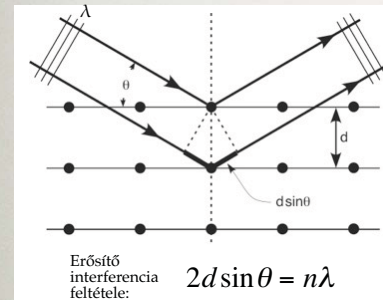


Elektron próba mikroanalizátor
(energiavesztés mérése)

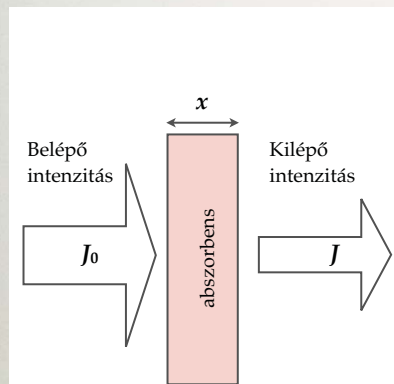


Röntgen spektroszkóp
(Rtg energiaspektrum mérése)

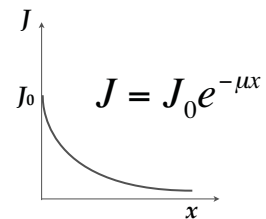
A RÖNTGENSUGÁRZÁS KÖLCSÖNHATÁSA AZ ANYAGGAL 1: DIFFRAKCIÓ



A RÖNTGENSUGÁRZÁS KÖLCSÖNHATÁSA AZ ANYAGGAL 2: ABSZORPCIÓ



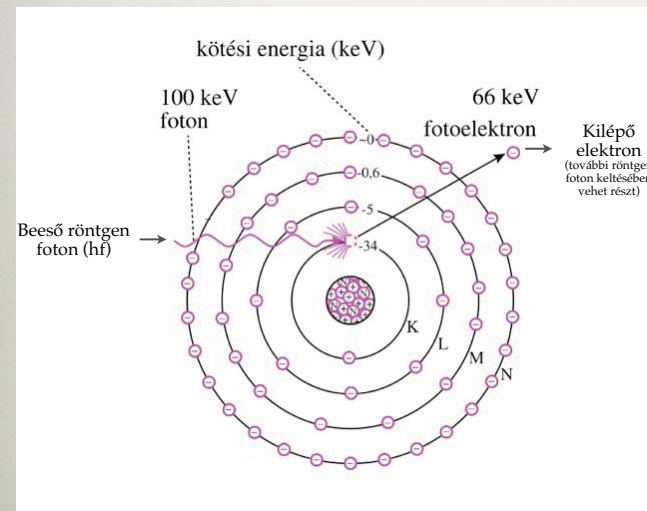
Exponenciális
sugárgyengítési törvény



$$\mu = \mu_m \rho$$

μ = gyengítési együttható
 μ_m = tömeggyengítési együttható (cm^2/g)
 ρ = sűrűség (g/cm^3)

KÖLCSÖNHATÁS MECHANIZMUS I: RÖNTGEN FOTOEFFEKTUS



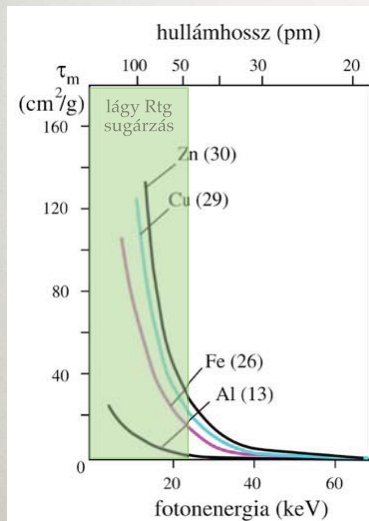
A diagnosztikai
röntgenben fellépő
legfontosabb hatás

Fotoeffektus gyengítési
együttható:

$$\tau = \tau_m \rho$$

τ_m = fotoeffektus tömeggyengítési
együttható
 ρ = sűrűség

A FOTOEFEKTUS FÜGG A FOTONENERGIÁTÓL ÉS A RENDSZÁMTÓL



$$\tau_m = \text{const} \cdot \frac{Z^3}{\epsilon^3} = C \cdot \lambda^3 \cdot Z^3$$

$$C = 5,5-6,5 \text{ cm}^2/\text{g nm}^3$$

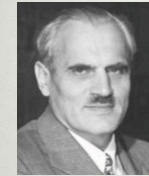
Többkomponensű rendszerben:
"effektív rendszám" (Z_{eff})

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

ϵ =fotonenergia
 Z =rendszám
 w =móltört
 n =komponensek száma

Közeg	Z_{eff}
Levegő	7.3
Víz	7.7
Lágy szövet	7.4
Csontszövet	13.8

KÖLCSÖNHATÁS MECHANIZMUS II: COMPTON SZÓRÁS



Arthur Holly Compton
(1892-1962)

Energiamérleg:

$$hf = A + hf_{\text{scatt}} + E_{\text{kin}}$$

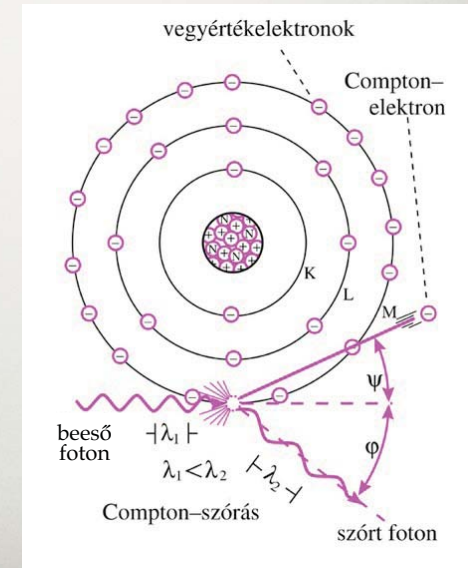
A =kötési energia

hf_{scatt} =szórt foton energiája

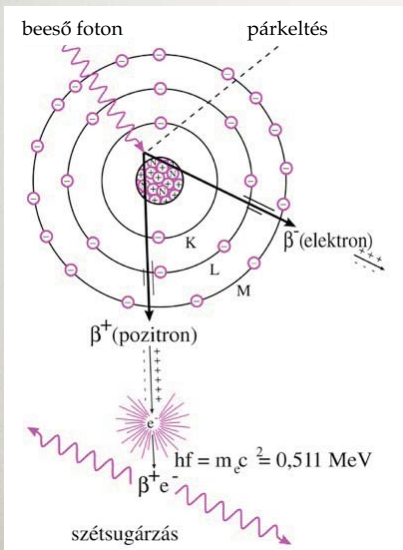
E_{kin} =Compton-elektron mozgási energiája

Compton-effektus
gyengítési együttható:

$$\sigma = \sigma_m \rho$$



KÖLCSÖNHATÁS MECHANIZMUS III: PÁRKELTÉS



(csak a terápiás röntgensugárzás esetében releváns)

Energiamérleg:

$$hf = 2m_e c^2 + 2E_{\text{kin}}$$

m_e =elektron tömege
 c =fénysebesség

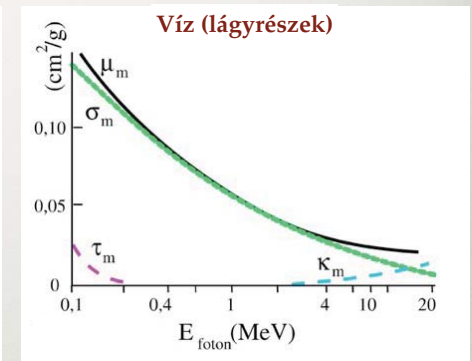
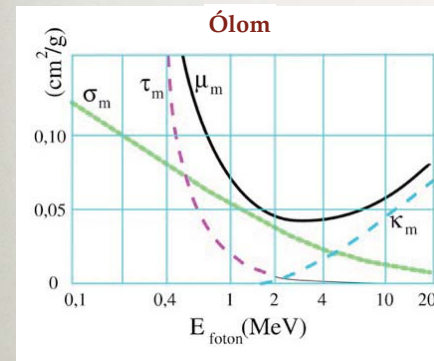
Párkeltés gyengítési
együttható:

$$\kappa = \kappa_m \rho$$

A párkeltés a nagyenergiájú
(terápiás) röntgensugárzás és a
 γ -sugárzás esetében jelentős.

SUGÁRCSILLAPÍTÁSI MECHANIZMUSOK

Fotonenergia és közeg hatása



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

μ_m =tömeggyengítési együttható

σ_m =Compton-szórás tömeggyengítési együttható

τ_m =fotofektus tömeggyengítési együttható

κ_m =párkeltés tömeggyengítési együttható

SUGÁRGYENGÍTÉSI MECHANIZMUSOK

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

Diagnosztikai röntgen:

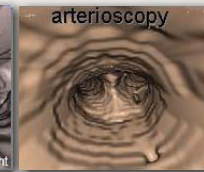
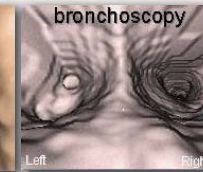
1. lágyszövet-csont közötti kontrasztmechanizmus: fotoeffektus ($\sim Z^3$)
2. lágyszöveten belüli kontrasztmechanizmus: Compton-szórás ($\sim \rho$)

RTG-SUGÁRZÁS MAI ORVOSI ALKALMAZÁSAI

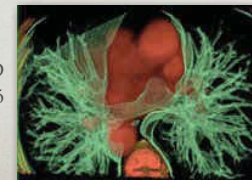
Spirális CT



Virtuális
endoszkópia



3D
rekonstrukció



Angiográfia

