

Orvosi biofizika II

Orvosi Biofizika II

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

Az X-sugár

Röntgensugárzás

Előállítás, tulajdonságok

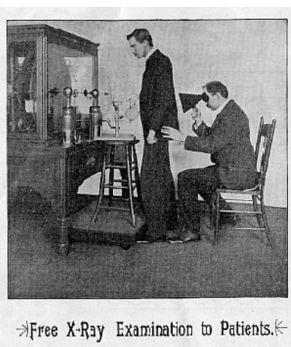
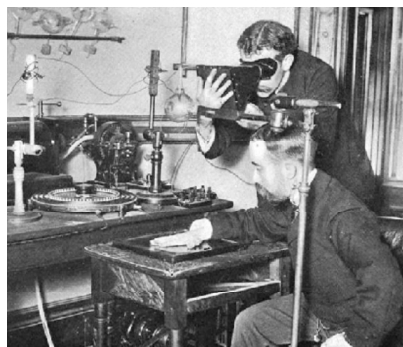


Wilhelm Konrad
Röntgen
(1845-1923)
Nobel-díj, 1901



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

Papírtölcsér radioszkóp



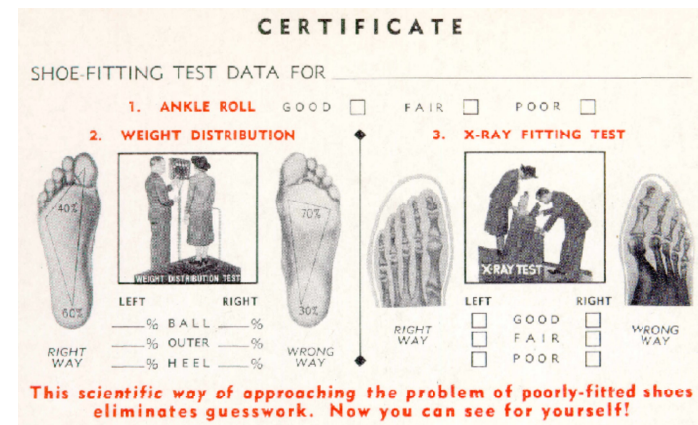
→Free X-Ray Examination to Patients.←



1890-es évek vége

I. világháború

Cipész fluoroszkóp (1930-50)



Orvosi röntgenfelvétel



1940

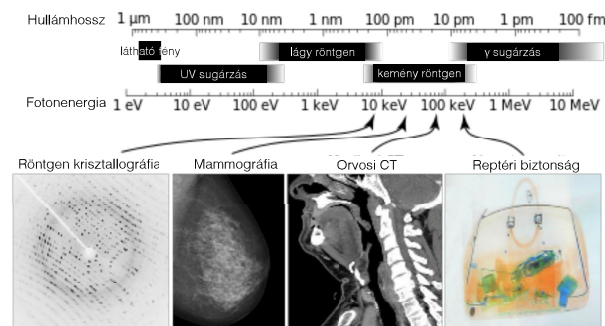


1950



ma

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

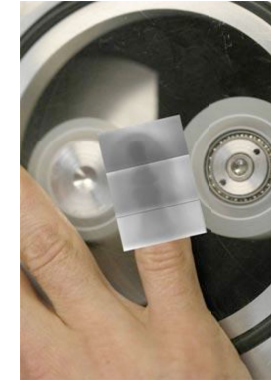
- A röntgensugárzás keltése
- Spektrális tulajdonságok
- A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal 1: diffrakció
- A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal 2: abszorpció

A röntgensugárzás (nem szokványos) keltése

Tribolumineszcencia: dörzsöléssel kiváltott fényemisszió. Francis Bacon, 1605.

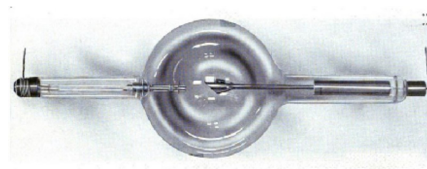
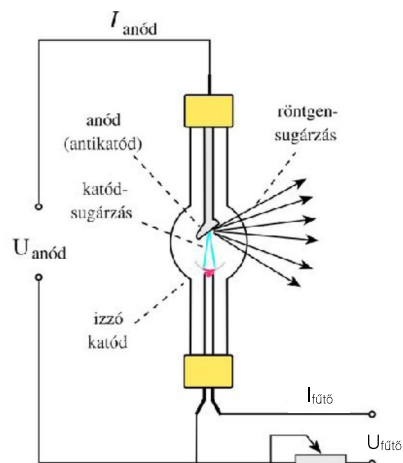


Ragasztószalag lehántásakor látható fotonok...



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

Röntgensugárzás keltése - gyakorlat



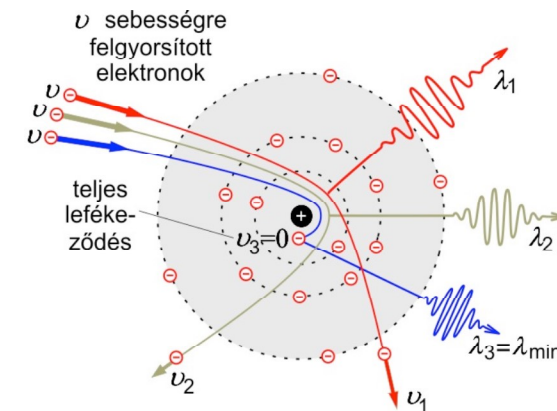
Röntgenső (Coolidge, 1900-as évek eleje).



Forgóanódos röntgenső (anód forgás hűtés végett)

Fékezési röntgensugárzás

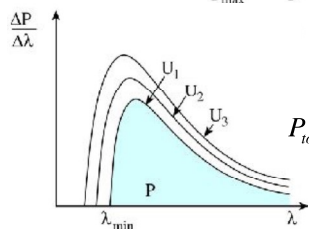
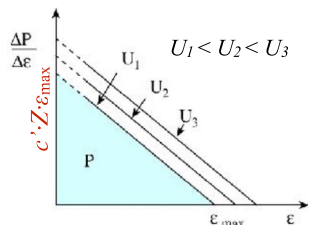
A felgyorsított elektronok lelassulnak ("lefékeződnek") — és ezért mozgási energiát veszítenek — az anód atomjainak elektromos terében



"Bremsstrahlung"

A fékezői röntgensugárzás spektruma

Folytonos spektrum



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

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

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

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

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

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

Maximális fotonenergia (ε_{max})
 N.B.: Elektron teljes mozgási energiája egy lépésben alakul át (ritka esemény).
 e : elektron töltése;
 $U_{\text{anód}}$: gyorsítófeszültség;
 $eU_{\text{anód}}$: gyorsítási munka
 h : Planck állandó;
 f_{max} : határfrekvencia

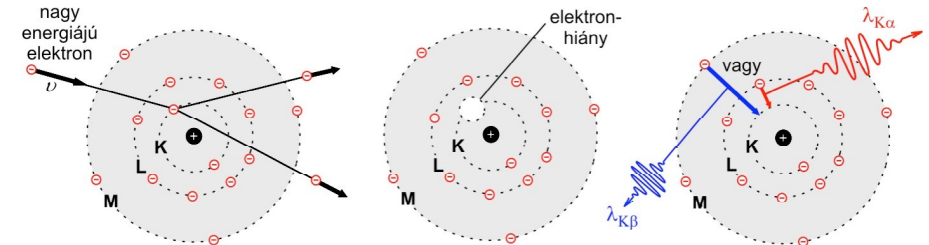
Határhullámhossz (λ_{min})
 (Duane-Hunt-törvény)
 N.B.: A határhullámhossz a gyorsítófeszültséggel fordítottan arányos
 c : fénysebesség;
 hc/e : konstans (1.2398 kV·nm)

Energiaspektrum
 (teljesítmény energia-függése)

Összteljesítmény (P_{tot})
 (háromszög területe alapján)
 C_{Rtg} : arányossági tényező ($1.1 \times 10^{-9} \text{ V}^{-1}$);
 $I_{\text{anód}}$: anódáram (időegység alatt anódba csapódó elektronok száma);
 Z : anód anyagának rendszáma

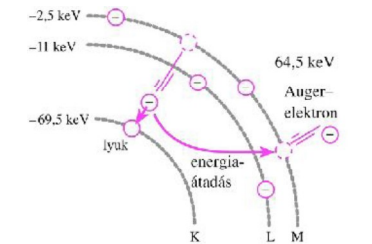
Hatásfok (η)
 P_{in} : befektetett teljesítmény
 N.B.: Típusosan $\eta < 1\%$.

Karakterisztikus röntgensugárzás

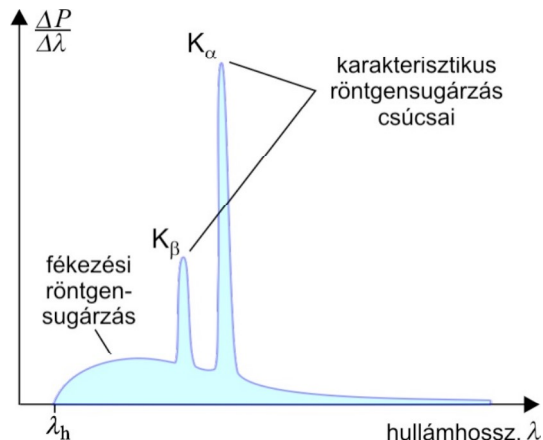


A belső pályáról kilökött elektron nagyenergiájú pályáról pótlódik

Elektronátmenet energiája külső héj elektron kiszabadulására fordítható: Auger elektron



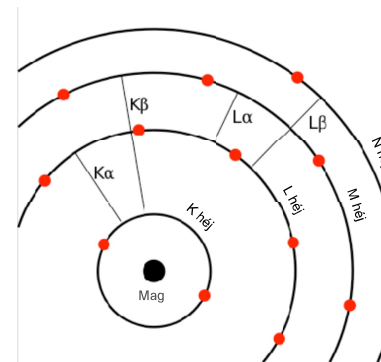
Karakterisztikus röntgensugárzás spektruma



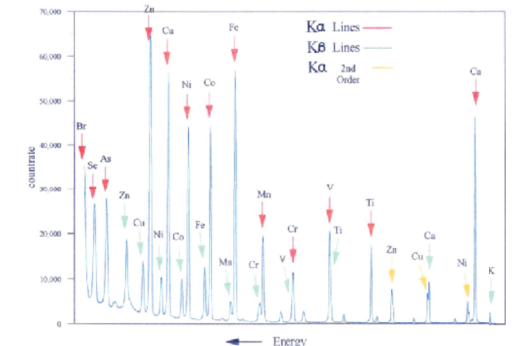
Vonalas spektrum

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

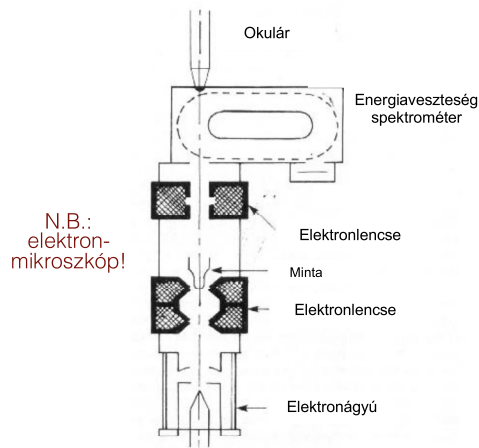


Elektron átmenetek Ca atomban

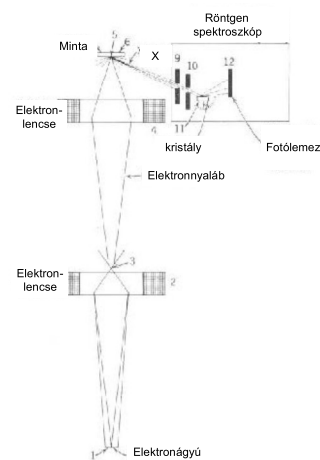


Energiadiszperzív röntgen fluoreszcencia spektrum

Karakterisztikus röntgensugárzás detektálása

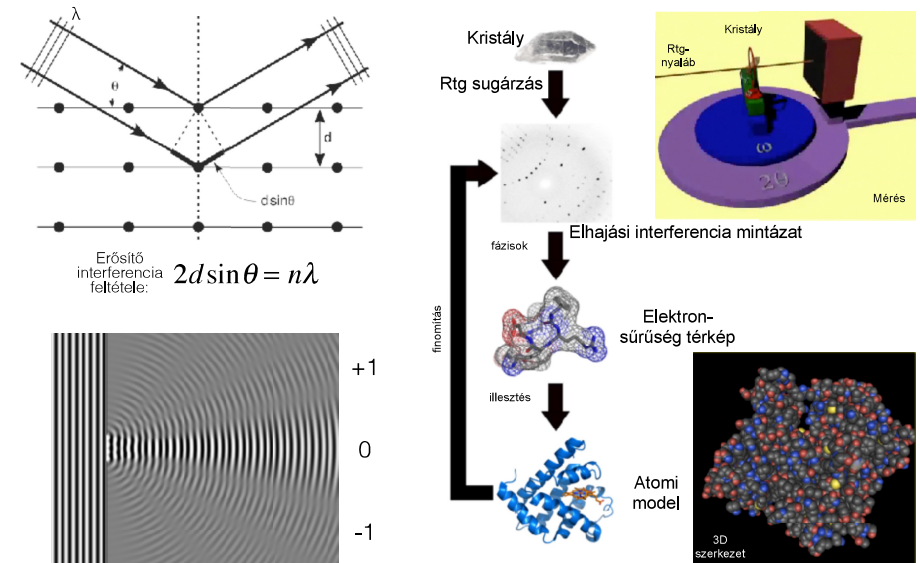


Elektron próba mikroanalizátor (energiavesztés mérése)

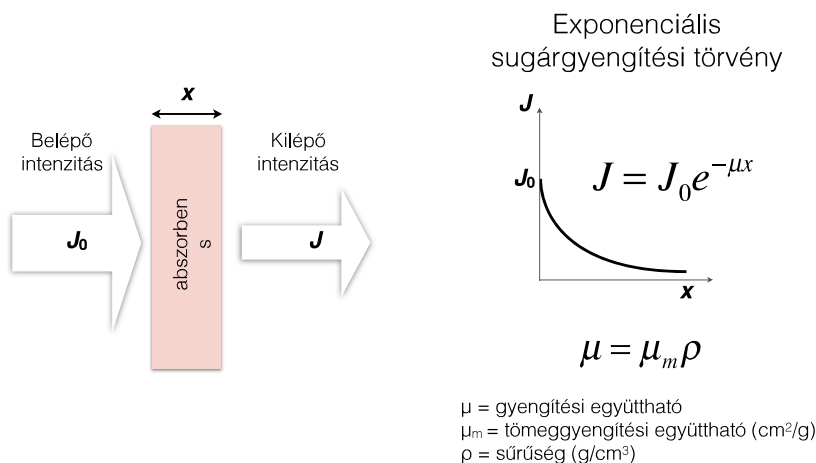


Röntgen spektroszkóp (Rtg energiaspektrum mérése)

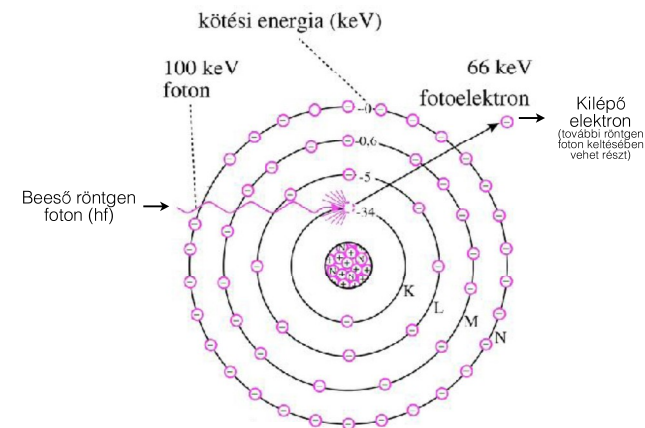
A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal 1: Diffrakció



A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal 2: Abszorpció



Kölcsönhatás mechanizmus I: Röntgen fotoeffektus



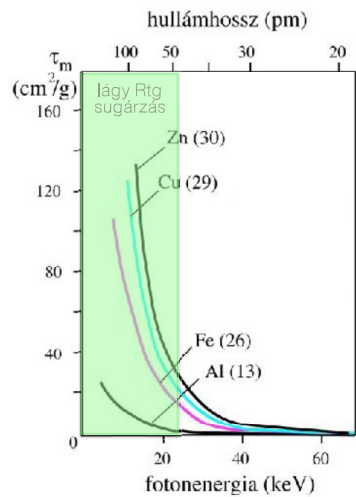
A diagnosztikai röntgenben fellépő legfontosabb hatás

Fotoeffektus gyengítési együttható:

$$\tau = \tau_m \rho$$

τ_m = fotoeffektus tömeggyengítési együttható
 ρ = sűrűség

A fotoeffektus 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})

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

ϵ =fotonenergia

Z =rendszám

w =móltört

n =komponensek száma

Közeg	Z_{eff}
Levegő	7,3
Víz	7,7
Lágú szövet	7,4
Csontszövet	13,8

Kölcsönhatás mechanizmus II: Compton szórás



Arthur Holly Compton
(1892-1962)

Energiamérleg:

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

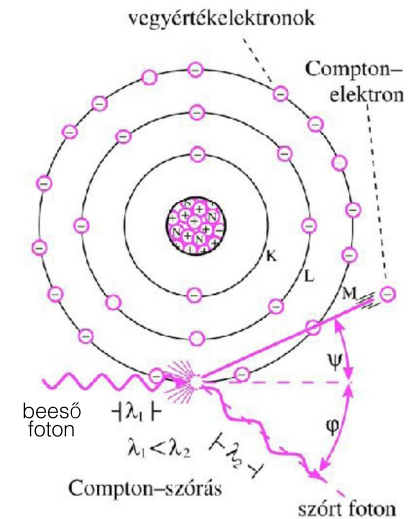
A =kötési energia

hf_{scatt} =szórt foton energiája

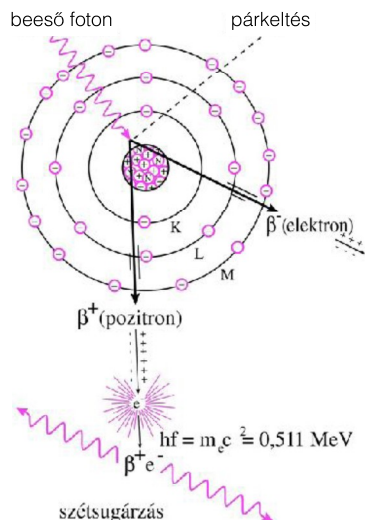
E_{kin} =Compton-elektron mozgási energiája

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

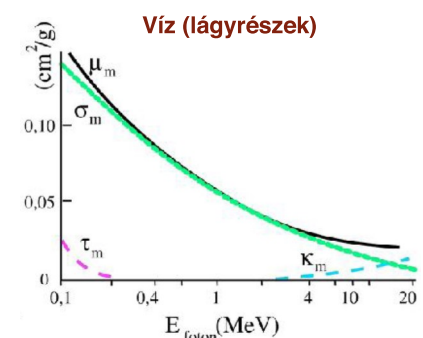
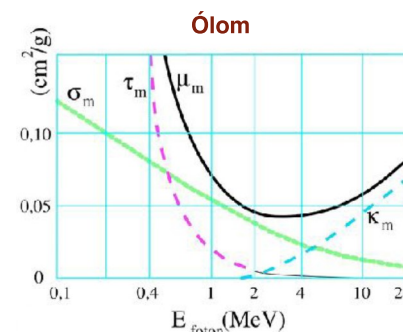
Párkeltés gyengítési
együttható:

$$\kappa = \kappa_m \rho$$

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

Sugárgyengítési mechanizmusok

Fotonenergia és közeg hatása



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

μ_m =tömeggyengítési együttható

σ_m =Compton-szórás tömeggyengítési együttható

τ_m =fotoeffektus tömeggyengítési együttható

κ_m =párkeltés tömeggyengítési együttható

A sugárgyengítés mechanizmusai

Mechanizmus	Tömeggyengítési együttható fotonenergia (ϵ) - függése	Tömeggyengítési együttható rendszám (Z) - függése	Releváns ϵ tartomány lágyszövetben
Rayleigh szórás	$\sim 1/\epsilon$	$\sim Z^2$	10 - 30 keV
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:

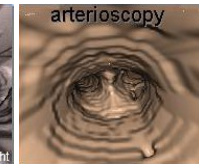
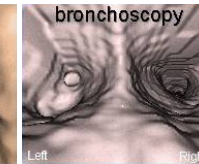
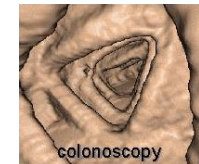
1. lágyszövet és csont közötti kontrasztmechanizmus: fotoeffektus ($\sim Z^3$)
2. lágyszöveten belüli kontrasztmechanizmus: Compton-szórás ($\sim \rho$)

Rtg-sugárzás mai orvosi alkalmazásai

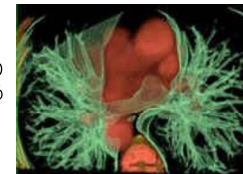
Spirális CT



Virtuális
endoszkópia



3D
rekonstrukció



Angiográfia

