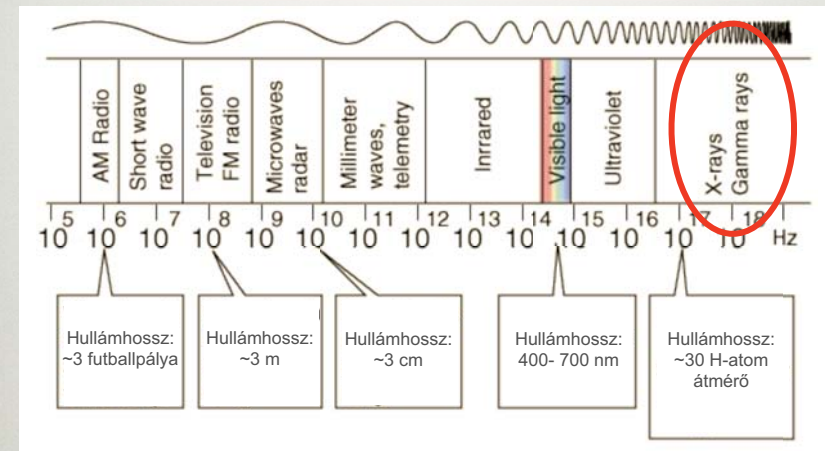


RÖNTGEN-SUGÁRZÁS

A RÖNTGENSUGÁRZÁS ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁS



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

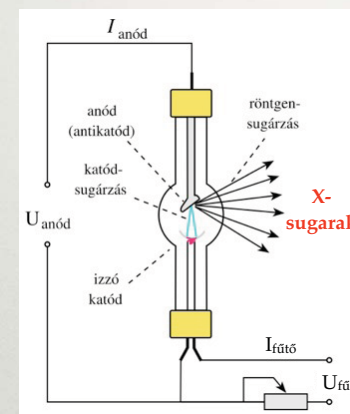
RÖNTGENSUGÁRZÁS

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

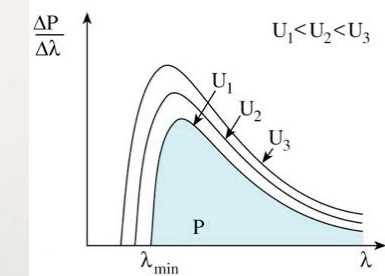
A RÖNTGENSUGÁRZÁS KELTÉSE



Wilhelm Konrad Röntgen
(1845-1923)



Fékezési vagy folytonos Rtg sugárzás



Maximális
fotonenergia (ϵ_{\max}):
 $eU_{\text{anód}} = \epsilon_{\max} = hf_{\max}$

Határhullámhossz
(Duane-Hunt-törvény):
 $\lambda_{\min} = \frac{hc}{e} \cdot \frac{1}{U_{\text{anód}}}$

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

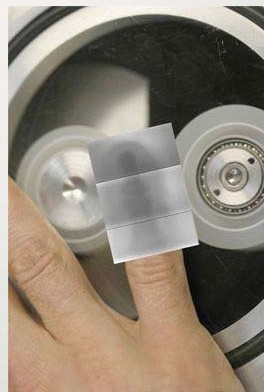
Kisugárzott összteljesítmény
($P_{\text{össz}}$ = görbe alatti terület)
egyenesen arányos $U_{\text{anód}}^2$ -tel és
 $I_{\text{anód}}$ -mal. Rtg-sugárzás előállításának
hatékonysága <1%, a gyorsítási
munka nagyrészt hővé alakul.

A RÖNTGENSUGÁRZÁS (NEM SZOKVÁNYOS) KELTÉSE

Tribolumineszcencia: dörzsöléssel kiváltott fényemisszió. Francis Bacon, 1605.

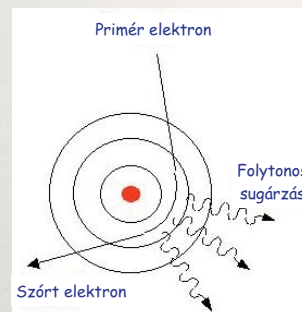


Ragasztószalag lehántásakor látható fotonok...

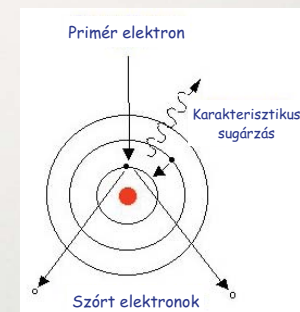


...és röntgenfotonok emittálódnak. (Nature News, October 2008)

A RÖNTGENSUGÁRZÁS KELETKEZÉSI MECHANIZMUSAI



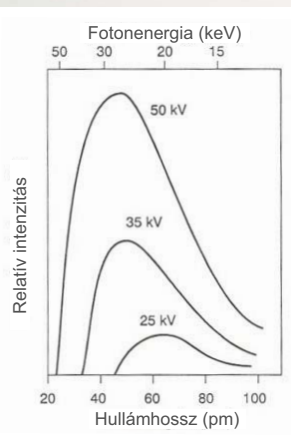
Fékezési sugárzás
("Bremsstrahlung")



Karakterisztikus sugárzás

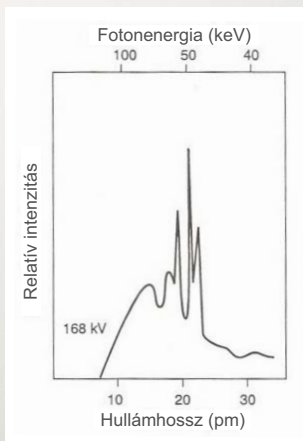
A RÖNTGENSUGÁRZÁS SPEKTRÁLIS TULAJDONSÁGAI

Fékezési sugárzás



Folytonos spektrum

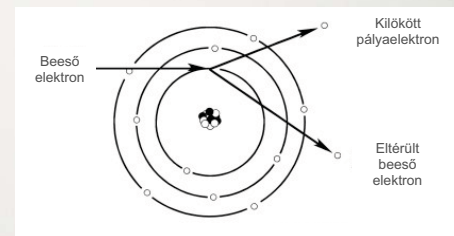
Karakterisztikus sugárzás



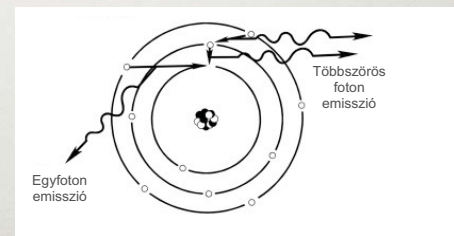
Vonalas spektrum

A KARAKTERISZTIKUS RÖNTGENSUGÁRZÁS KELETKEZÉSE

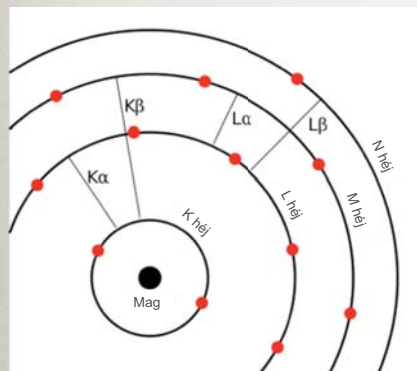
1. lépés - gerjesztés:
pályaelektron kilökése,
instabil állapot



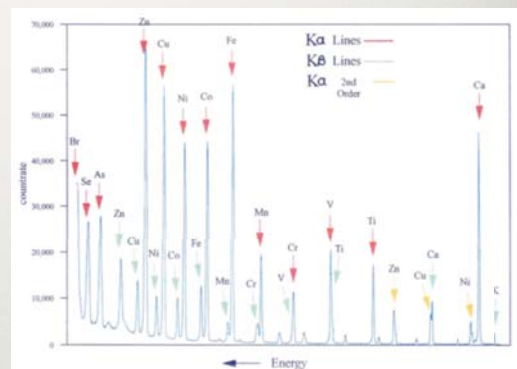
2. lépés - emisszió:
elektronhiány pótlása
magasabb energiájú
pályákról: karakterisztikus
fotonok keletkezése



A RÖNTGEN SPEKTRUM AZ ELEMI ÖSSZETÉTELT JELLEMZI

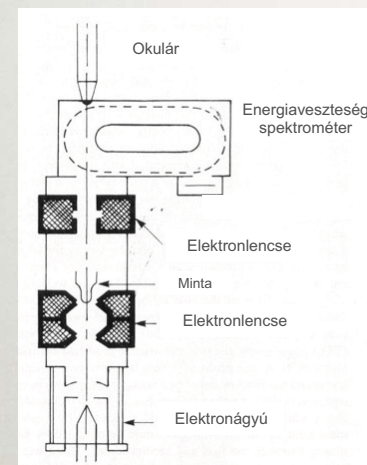


Elektron átmenetek Ca atomban

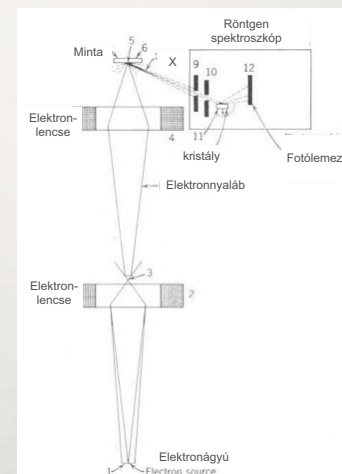


Energiadiszperzív röntgen fluoreszcencia spektrum

KARAKTERISZTIKUS RÖNTGENSUGÁRZÁS DETEKTÁLSA

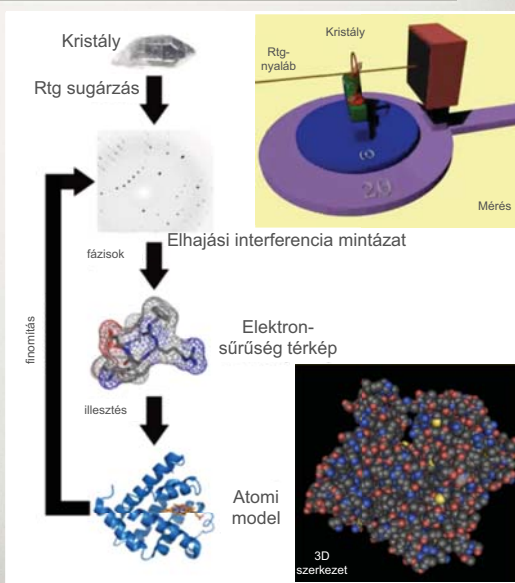
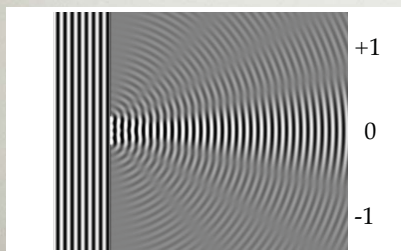
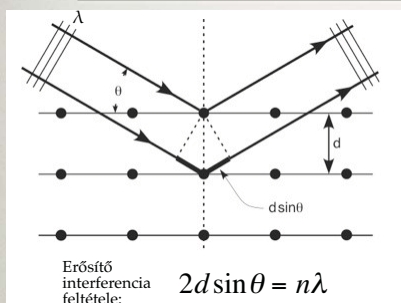


Elektron próba mikroanalizátor (energiavesztés mérése)

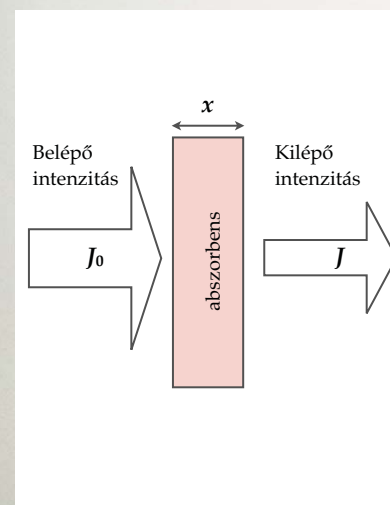


Röntgen spektroszkóp (Rtg energiaspektrum mérése)

A RÖNTGENSUGÁRZÁS KÖLCSÖNHATÁSA AZ ANYAGGAL 1: DIFFRAKCIÓ



A RÖNTGENSUGÁRZÁS KÖLCSÖNHATÁSA AZ ANYAGGAL 2: ABSZORPCIÓ



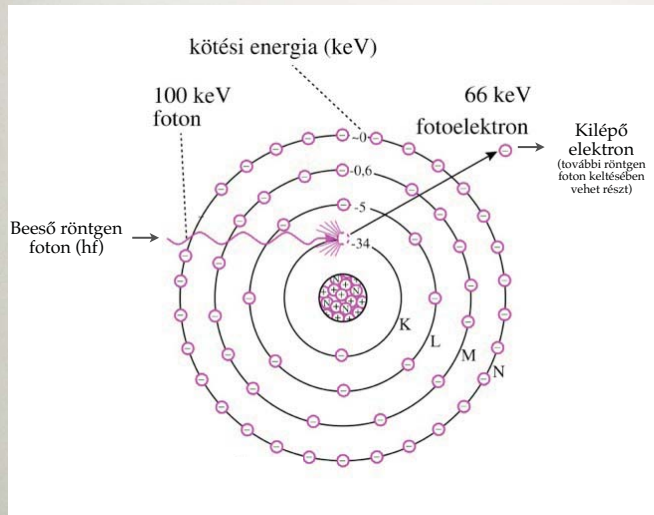
Exponenciális sugárgyengítési törvény

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

$$\mu = \mu_m \rho$$

μ = gyengítési együttható
 μ_m = tömeggyengítési együttható (cm²/g)
 ρ = sűrűség (g/cm³)

KÖLCSÖNHATÁS MECHANIZMUS I: RÖNTGEN FOTOEFFEKTUS



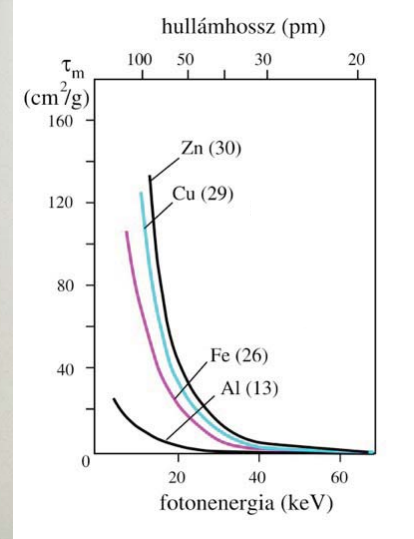
A diagnosztikai
röntgenben fellépő
legfontosabb hatás

Fotoeffektus gyengítési
együttható:

$$\tau = \tau_m \rho$$

τ_m =fotoeffektus tömeggyengítési
együttható
 ρ =sűrűség

A FOTOEFFEKTUS FÜGG A FOTONENERGIÁTÓL ÉS A RENDSZÁMTÓL



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

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

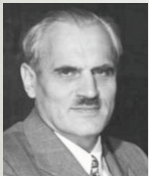
Többkomponensű rendszerben:
"effektív rendszám" (Z_{eff})

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

E =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)

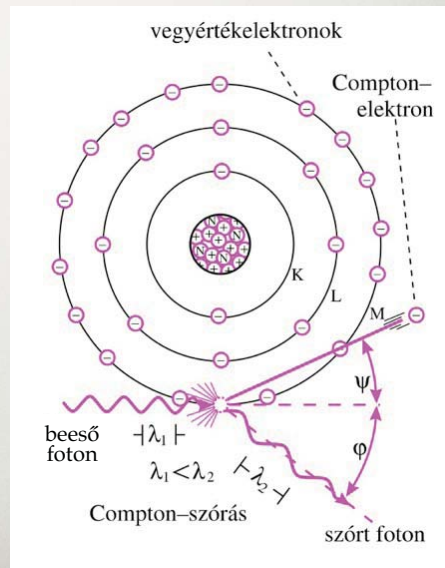
Energiamérleg:

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

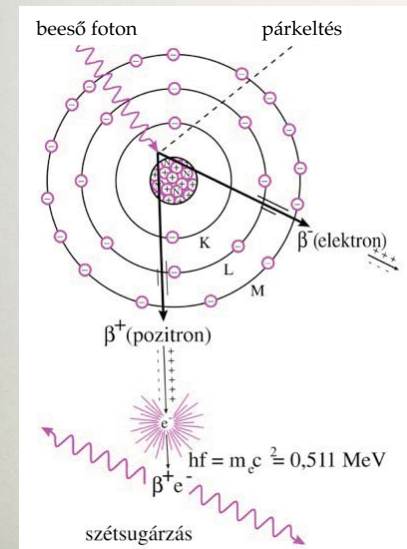
A =kötési energia
 hf_{scatt} =szórt foton energiája
 E_{kin} =Compton-elektron mozgási energiája

Compton-effektus
gyengítési együttható:

$$\sigma = \sigma_m \rho$$



KÖLCSÖNHATÁS MECHANIZMUS III: PÁRKELTÉS



Energiamérleg:

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

m_e =elektron tömege
 c =fénysebesség

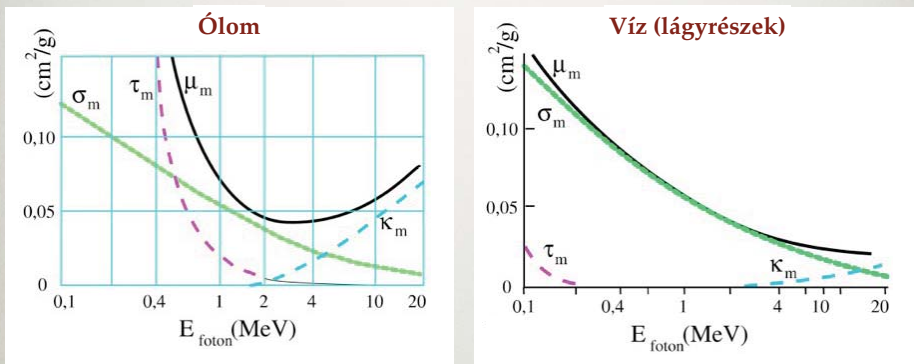
Párkeltés gyengítési
együttható:

$$K = K_m \rho$$

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

τ_m =fotoeffektus tömeggyengítési együttható

σ_m =Compton-szórás 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 ($\sim \epsilon$)

A RÖNTGENSUGÁRZÁS ALKALMAZÁSAI

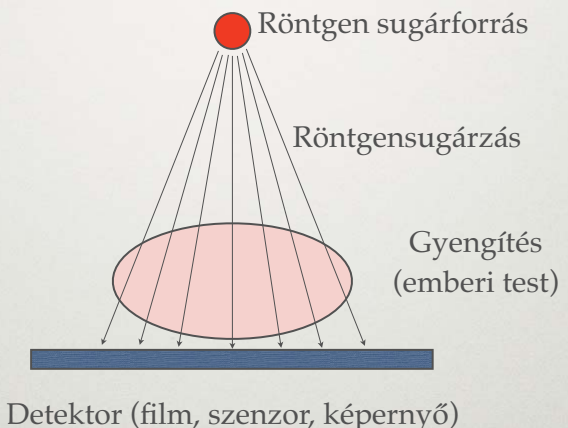


Wilhelm Konrad
Röntgen
(1845-1923)

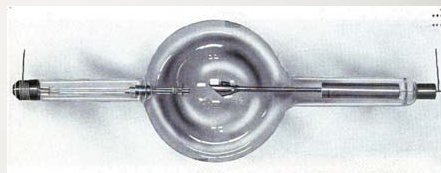
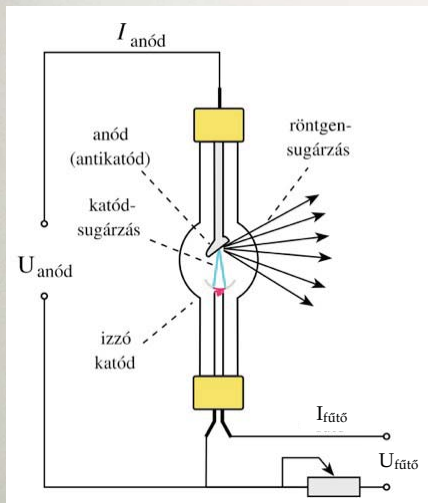


Hand mit Ringen ("Kéz gyűrűvel"):
Wilhelm Röntgen első "orvosi" röntgenfelvétele felesége kezéről (1895 december 22).

A RÖNTGEN KÉPALKOTÁS ELVE



RÖNTGENSUGÁRZÁS KELTÉSE - GYAKORLAT



Röntgenső (Coolidge, 1900-as évek eleje).



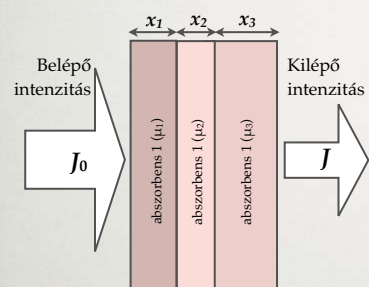
Forgóanódos röntgenső

ORVOSI RÖNTGENFELVÉTEL KÉSZÍTÉSE



1940

A RÖNTGEN KÉP



$$J = J_0 e^{-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \mu_3 x_3 + \dots)}$$

$$\lg \frac{J_0}{J} = (\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \mu_3 x_3 + \dots) \cdot \lg e$$

μ_n = n-edik abszorbens gyengítési együtthatója
 x_n = n-edik abszorbens vastagsága



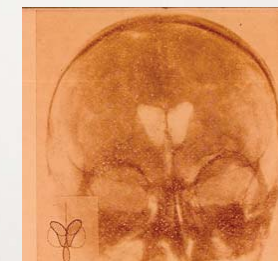
A röntgenkép szummációs kép.
 ("röntgen felvétel", "radiográfás kép", "röntgenogram")
 Kontraszt a térben különböző gyengítési
 együttható miatt lép fel.

RÖNTGEN KONTRASZT

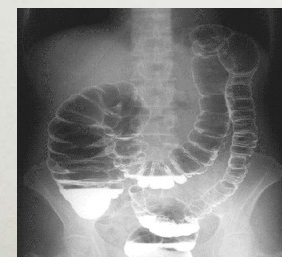
Bélrendszer
kontrasztanyaggal
feltöltve (pozitív
kontraszt)



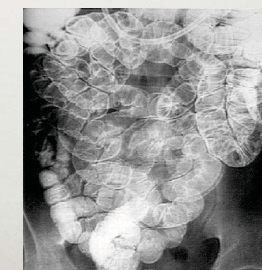
Levegő az
agykamrában
(negatív
kontraszt)



Vastagbél (dupla
kontraszt)



Vékonybél
(dupla kontraszt)



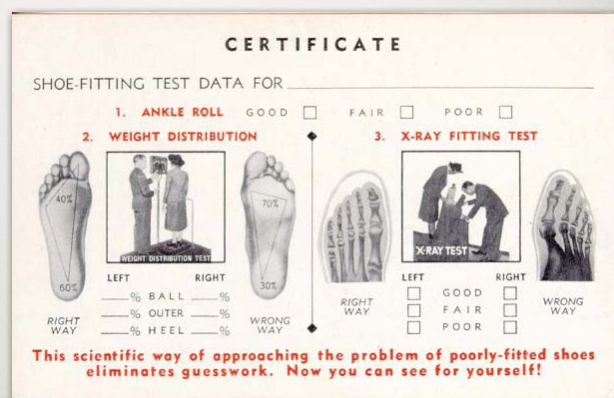
RÖNTGEN KÉPALKOTÁS JAVÍTÁSA I. FLUOROSZKÓPIA

- Wilhelm Konrad Röntgen (1895): Bárium-platinocianát röntgen megvilágításra fluoreszkál
- Papírtölcsér fluoroszkópok
- Thomas Edison: kalcium-volfrámsavas képernyő
- Cipész fluoroszkópok (1930-1950)
- 1950-es évek: Röntgen képerősítők

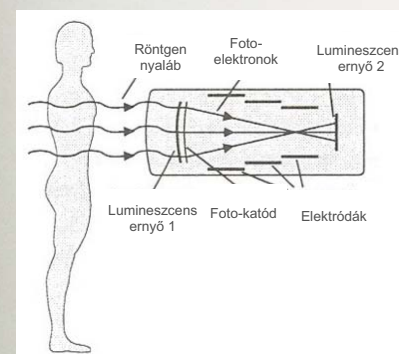
PAPÍRTÖLCSÉR RADIOSZKÓP



CIPÉSZ FLUOROSZKÓP (1930-50)



RÖNTGEN KÉPERŐSÍTŐ



A kép digitalizálására nyílik lehetőség.

RÖNTGEN KÉPALKOTÁS JAVÍTÁSA II. HÁTTÉRLEVONÁS

“Digital Subtraction Angiography” (DSA)



Kép 1
natív



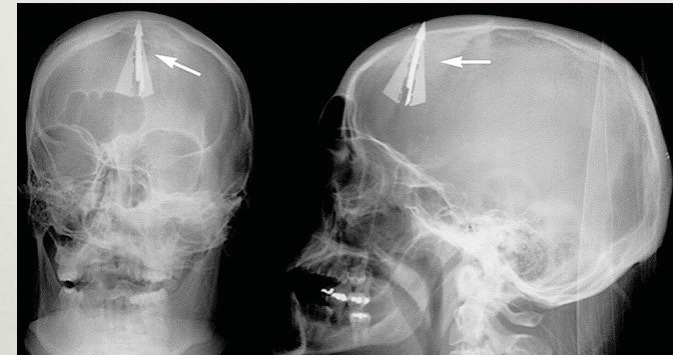
Kép 2
kontrasztanyag



DSA kép
kontrasztanyag-natív

RÖNTGEN KÉPALKOTÁS JAVÍTÁSA III. TÉRBELI INFORMÁCIÓ

Kétirányú röntgenfelvétel



Számszeríjjal elkövetett suicid kísérlet. Kétirányú koponyafelvétel.

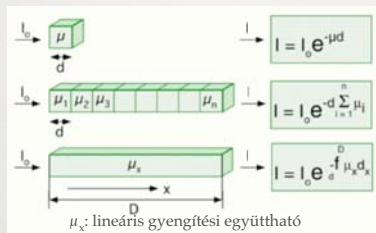
RÖNTGEN KÉPALKOTÁS JAVÍTÁSA IV. TOMOGRÁFIA



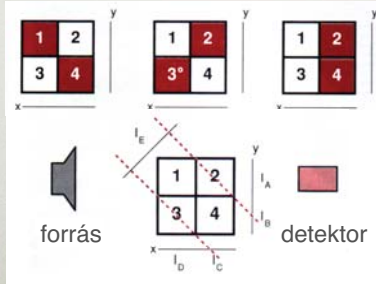
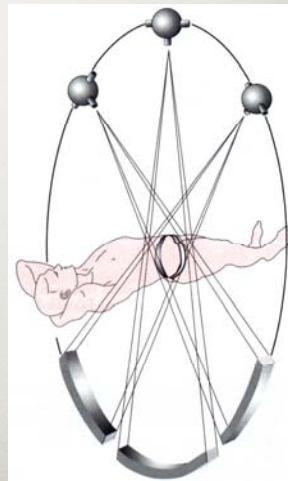
Godfrey Hounsfield



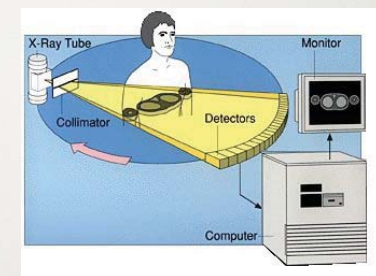
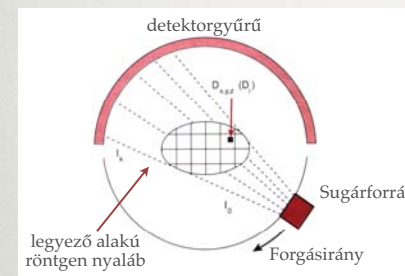
Allan Cormack
1979 Orvosi Nobel-díj



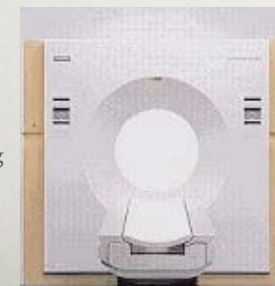
Egy komplex testről sokirányú felvételt kell készíteni: pásztázás



PÁSZTÁZÁS A CT-BEN



zárt mérőüreg



nyitott mérőüreg

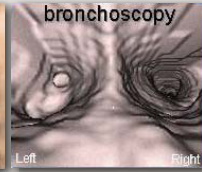


CT LEHETŐSÉGEK

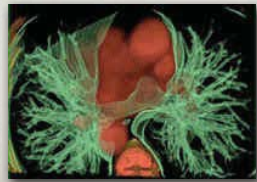
Spirális CT



Virtuális
endoszkópia



3D
rekonstrukció



Angiográfia

