

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

Röntgensugárzás

Előállítás, tulajdonságok

Az X-sugár



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

Sitzungs-Berichte
der
Physikalisch-medicinischen Gesellschaft
zu
WÜRZBURG.

Jahrgang 1895.	Der Abonnementspreis pro Jahrgang beträgt M. 4.—. Die Nummern werden einzeln nicht abgegeben. Grössere Beiträge erscheinen in Sonderdrucken.	No. 9.
--------------------------	--	---------------

Verlag der **Stahel'schen** K. Hof- und Universitäts-Buch- und Kunsthandlung in **Würzburg.**

Inhalt. *Konrad Rieger:* Demonstration des sogenannten „Vogelkopfkneben“
Döbös Janos aus *Battonya* in *Ungarn* (Fortsetzung), pag. 129. —
W. C. Röntgen: Ueber eine neue Art von Strahlen, pag. 132. —
Wilhelm Wislicenus: 46. Jahresbericht der physikalisch-medicinischen
Gesellschaft zu *Würzburg*, pag. 142. — **Mitglieder-Verzeichniss**, pag. 146.

Am 28. Dezember wurde als Beitrag eingereicht:
W. C. Röntgen: Ueber eine neue Art von Strahlen.
(Vorläufige Mittheilung.)

1. Lässt man durch eine *Hittorf'sche* Vacuumröhre, oder einen genügend evacuirten *Lenard'schen*, *Crookes'schen* oder ähnlichen Apparat die Entladungen eines grösseren *Ruhmkorff's* gehen und bedeckt die Röhre mit einem ziemlich eng anliegenden Mantel aus dünnem, schwarzem Carton, so sieht man in dem vollständig verdunkelten Zimmer einen in die Nähe des Apparates gebrachten, mit *Bariumplatincyankür* angestrichenen Papierschirm bei jeder Entladung hell aufleuchten, fluoresciren, gleichgültig ob die angestrichene oder die andere Seite des Schirmes dem Entladungsapparat zugewendet ist. Die Fluorescenz ist noch in 2 m Entfernung vom Apparat bemerkbar.

Man überzeugt sich leicht, dass die Ursache der Fluorescenz vom Entladungsapparat und von keiner anderen Stelle der Leitung ausgeht.

2. Das an dieser Erscheinung zunächst Auffallende ist, dass durch die schwarze Cartonhülse, welche keine sichtbaren oder ultravioletten Strahlen des Sonnen- oder des elektrischen Bogenlichtes durchlässt, ein Agens hindurchgeht, das im Stande ist, lebhaft Fluorescenz zu erzeugen, und man wird deshalb wohl zuerst untersuchen, ob auch andere Körper diese Eigenschaft besitzen.

Man findet bald, dass alle Körper für dasselbe durchlässig sind, aber in sehr verschiedenem Grade. Einige Beispiele führe ich an. Papier ist sehr durchlässig: ¹⁾ hinter einem eingebun-

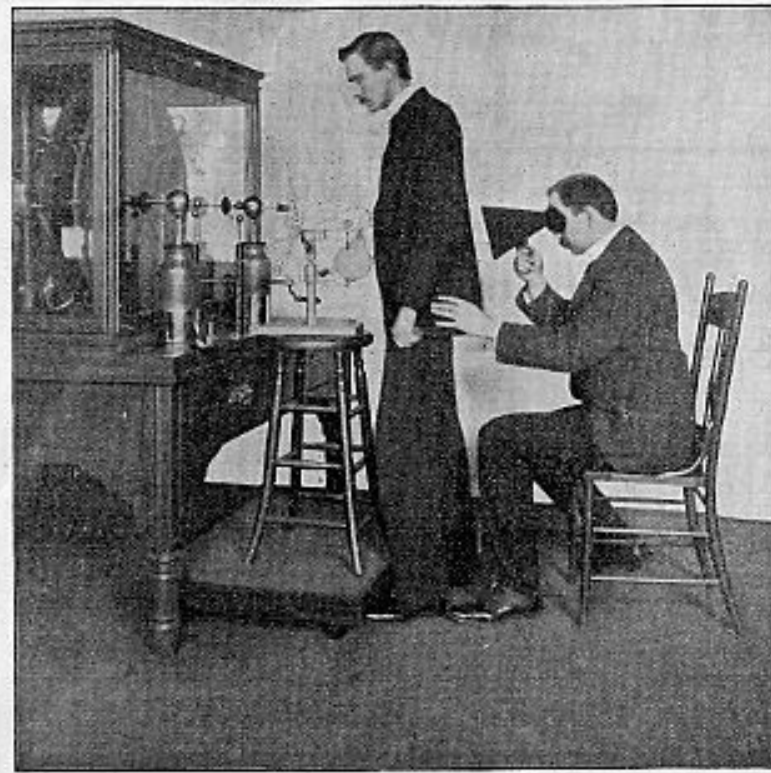
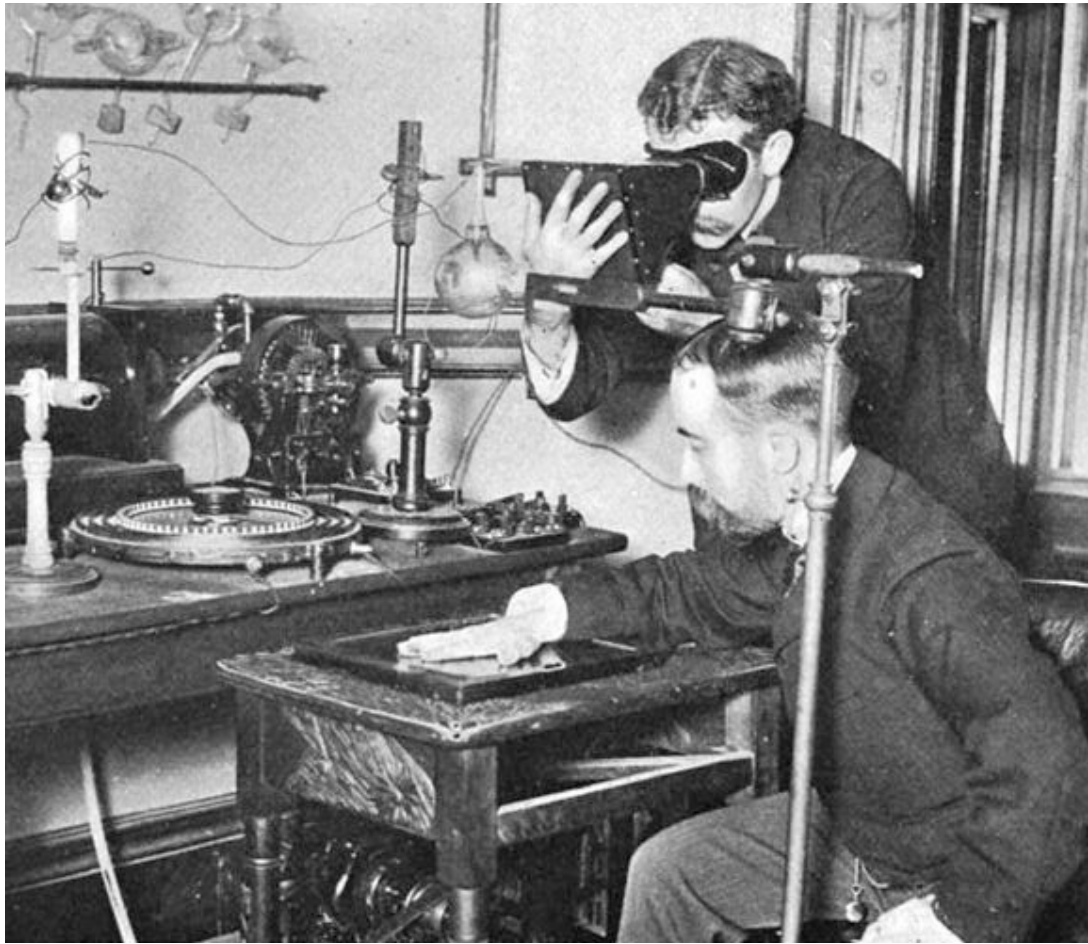
¹⁾ Mit „Durchlässigkeit“ eines Körpers bezeichne ich das Verhältniss der Helligkeit eines dicht hinter dem Körper gehaltenen Fluorescenzschirmes zu derjenigen Helligkeit des Schirmes, welcher dieser unter denselben Verhältnissen aber ohne Zwischenschaltung des Körpers zeigt.



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)



CERTIFICATE

SHOE-FITTING TEST DATA FOR _____

1. ANKLE ROLL GOOD ☐ FAIR ☐ POOR ☐

2. WEIGHT DISTRIBUTION

40%

60%

RIGHT WAY

WEIGHT DISTRIBUTION TEST

70%

30%

WRONG WAY

LEFT		RIGHT		
_____%	BALL	_____%		
_____%	OUTER	_____%		
_____%	HEEL	_____%		

3. X-RAY FITTING TEST

RIGHT WAY

X-RAY TEST

WRONG WAY

LEFT		RIGHT		
<input type="checkbox"/>	GOOD	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	FAIR	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	POOR	<input type="checkbox"/>		

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

Orvosi röntgenfelvétel



1940

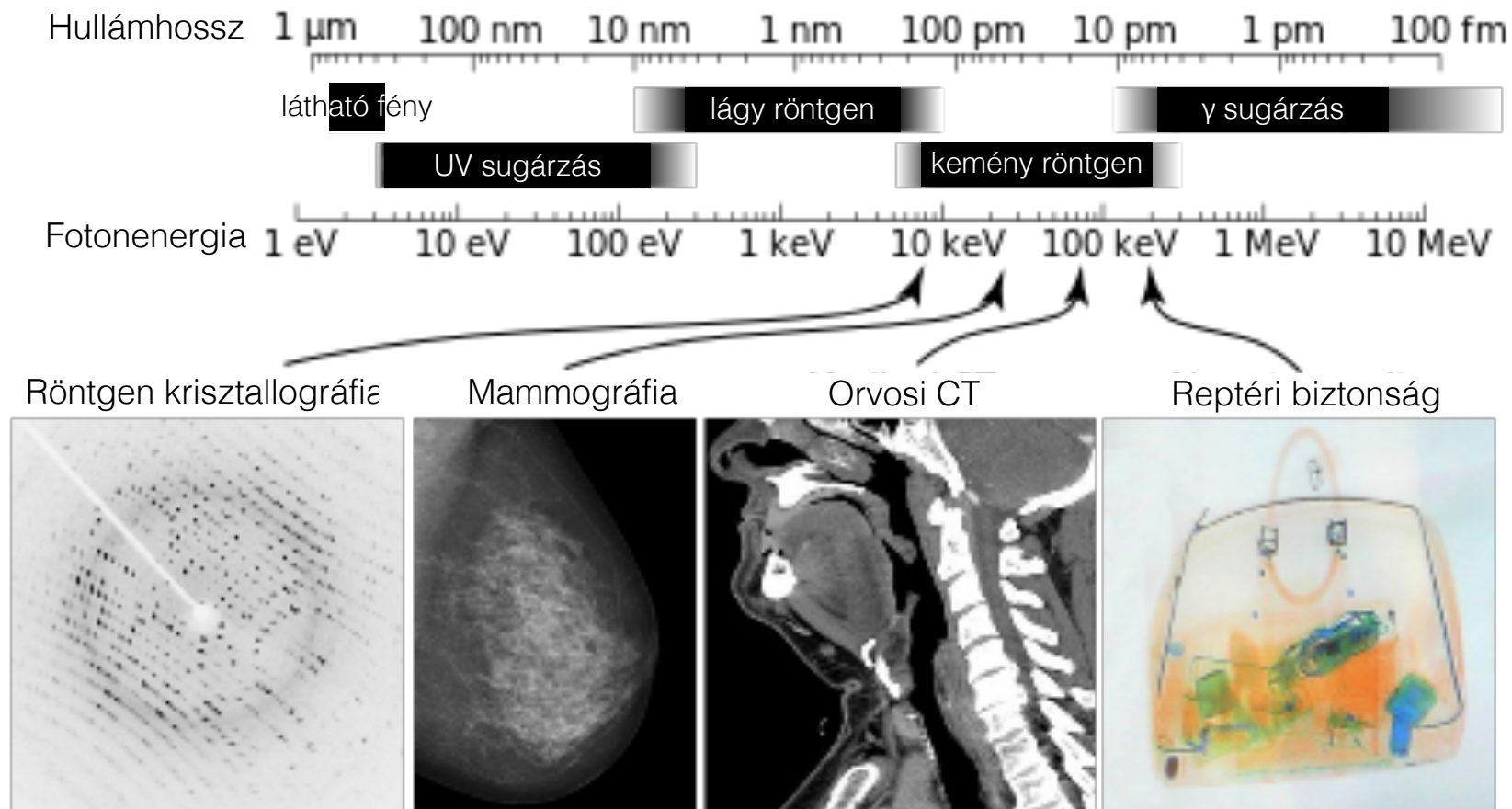


1950



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

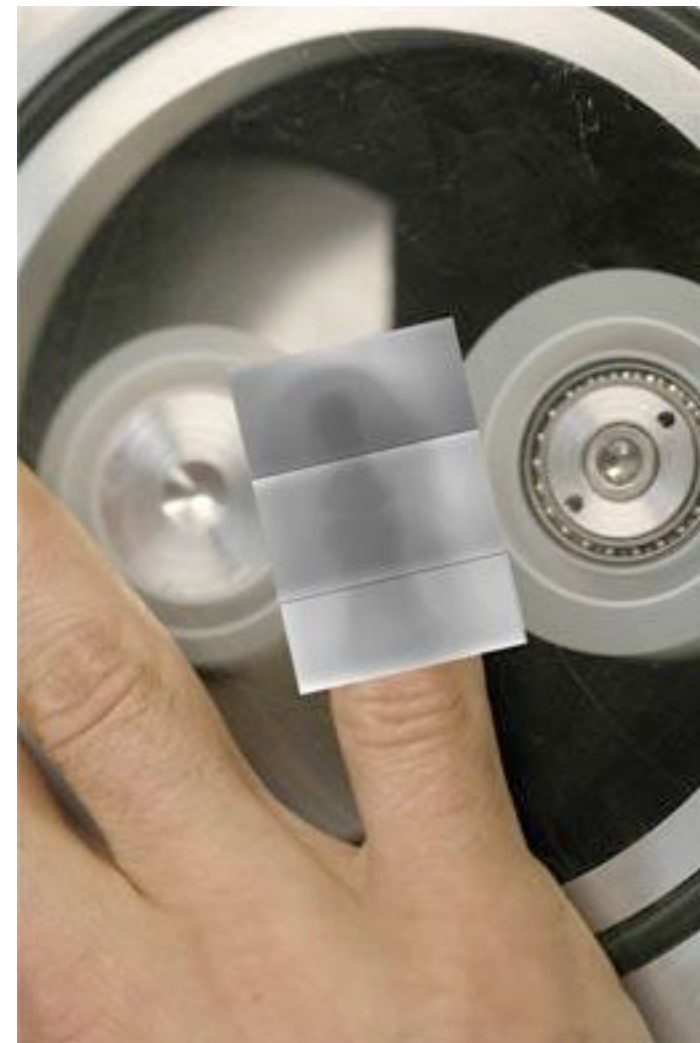
- A röntgensugárzás keltése
- Spektrális tulajdonságok
- A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal 1: diffrakció
- A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal 2: abszorpció

A röntgensugárzás (nem szokványos) keltése

Tribolumineszcencia: dörzsöléssel kiváltott fényemisszió. Francis Bacon, 1605.

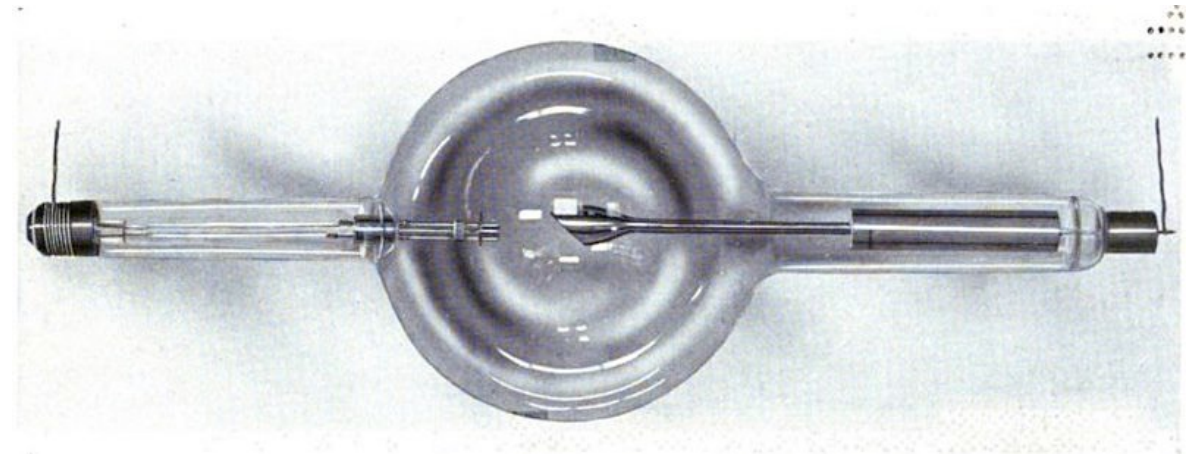
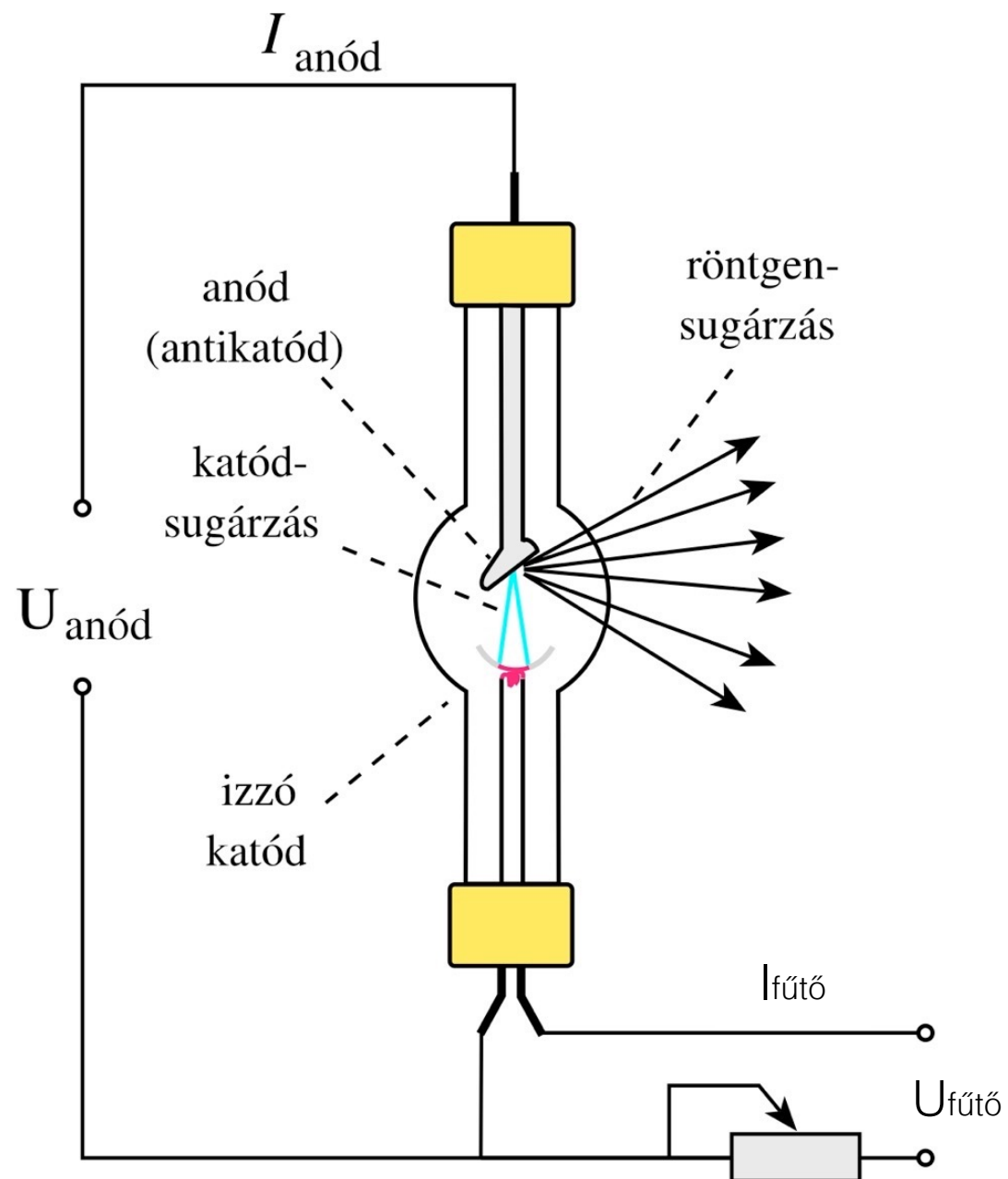


Ragasztószalag lehántásakor
látható fotonok...



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

Röntgensugárzás keltése - gyakorlat



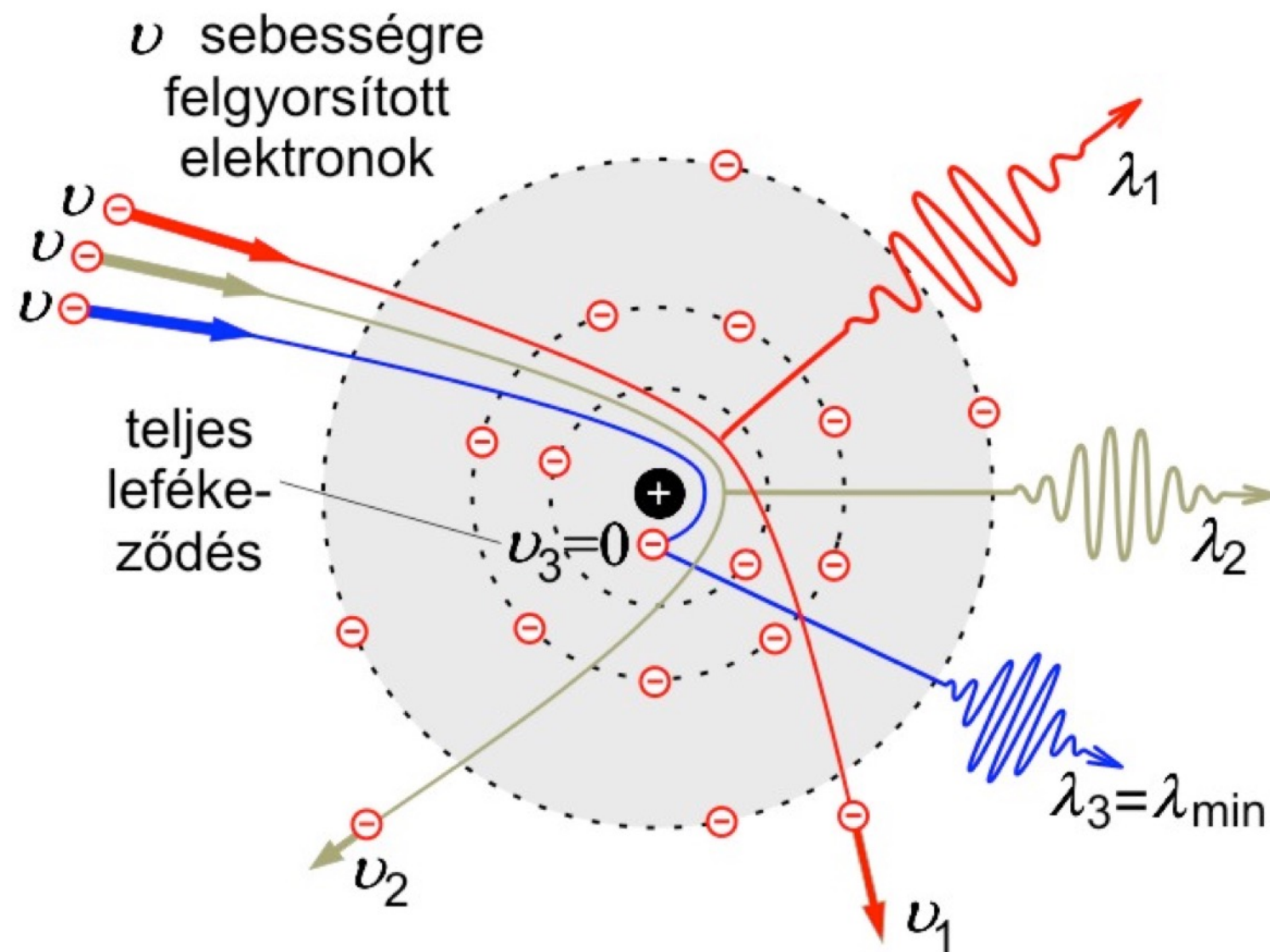
Röntgenső (Coolidge, 1900-as évek eleje).



Forgóanódos röntgenső (anód forgás hűtés végett)

Fékezési röntgensugárzás

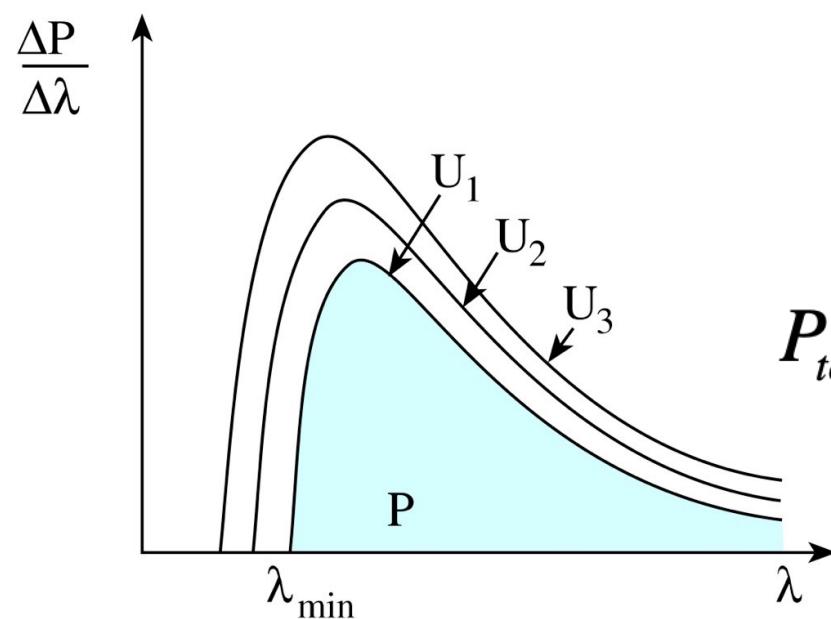
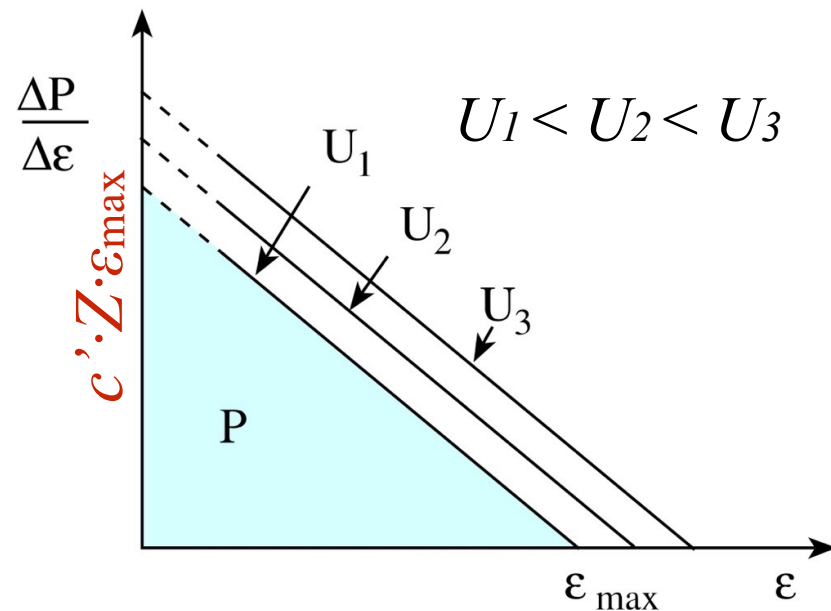
A felgyorsított elektronok lelassulnak (“lefékeződnek”) — és ezért mozgási energiát veszítenek — az anód atomjainak elektromos terében



“Bremsstrahlung”

A fékezési röntgensugárzás spektruma

Folytonos spektrum



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

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

$$\lambda_{\text{min}} = \frac{hc}{e} \cdot \frac{1}{U_{\text{anód}}}$$

Határhullámhossz (λ_{min})

(Duane-Hunt-törvény)

N.B.: A határhullámhossz a gyorsítófeszültséggel fordítottan arányos

c : fénysebesség;

hc/e : konstans (1.2398 kV·nm)

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

Energiaspektrum

(teljesítmény energia-függése)

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

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

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

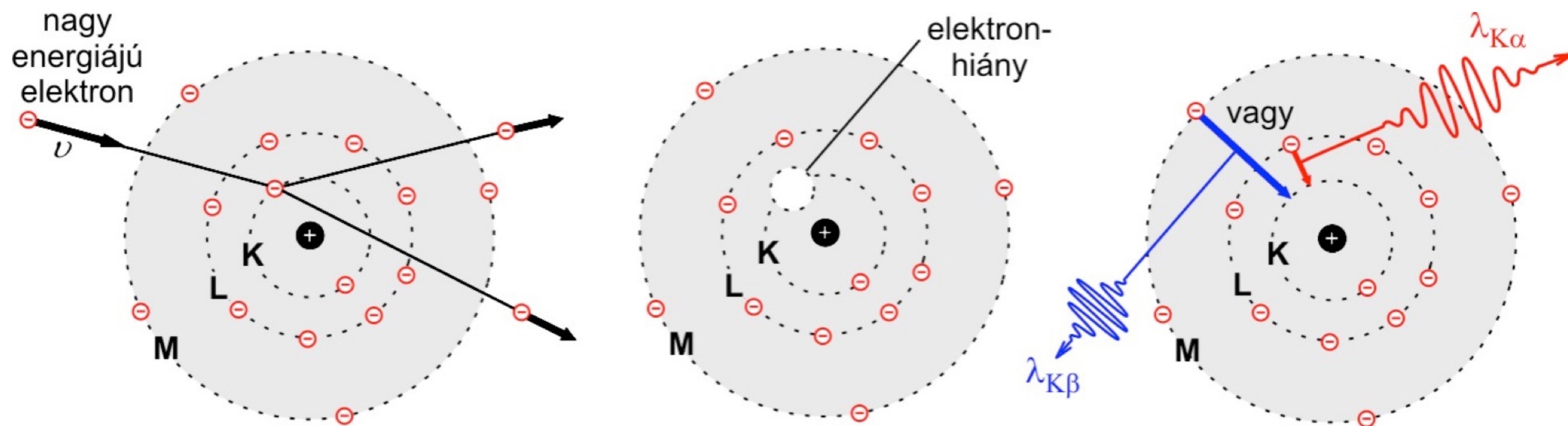
$$\eta = \frac{P_{\text{tot}}}{P_{\text{in}}} = \frac{C_{\text{Rtg}} \cdot I_{\text{anód}} \cdot U_{\text{anód}}^2 \cdot Z}{I_{\text{anód}} \cdot U_{\text{anód}}} = C_{\text{Rtg}} \cdot U_{\text{anód}} \cdot Z$$

Hatásfok (η)

P_{in} : befektetett teljesítmény

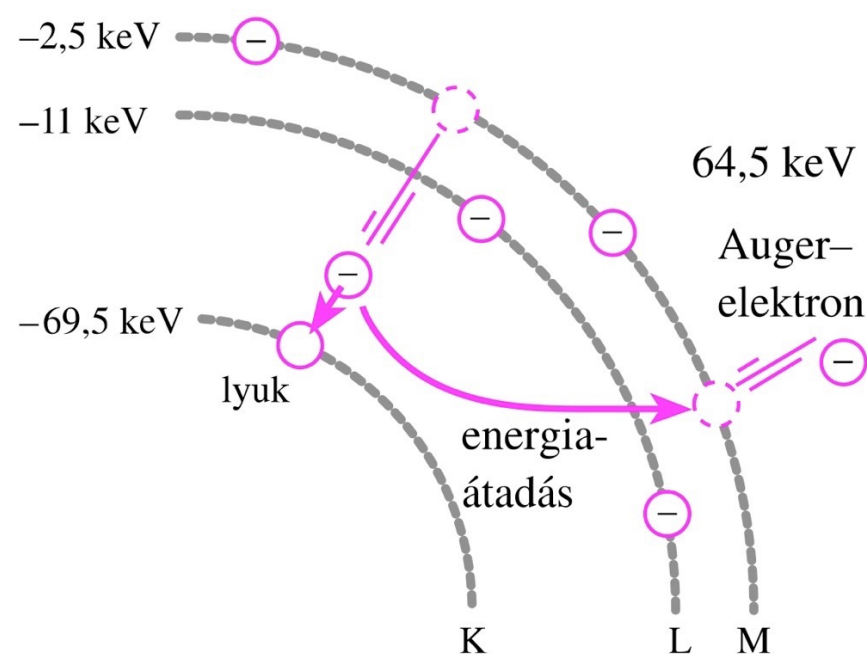
N.B.: Típusosan $\eta < 1\%$.

Karakterisztikus röntgensugárzás

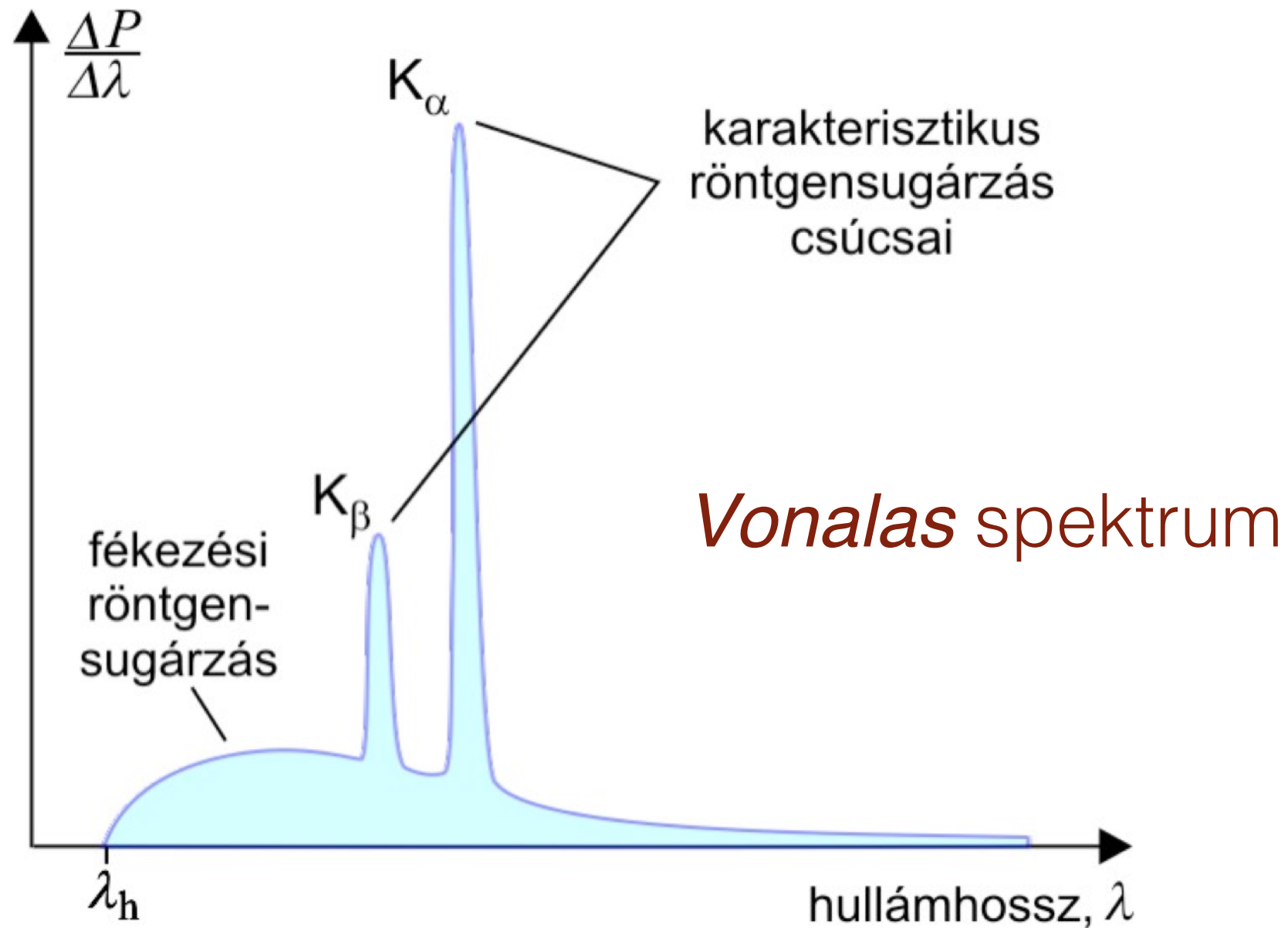


A belső pályáról kilökött elektron nagyenergiájú pályáról pótlódik

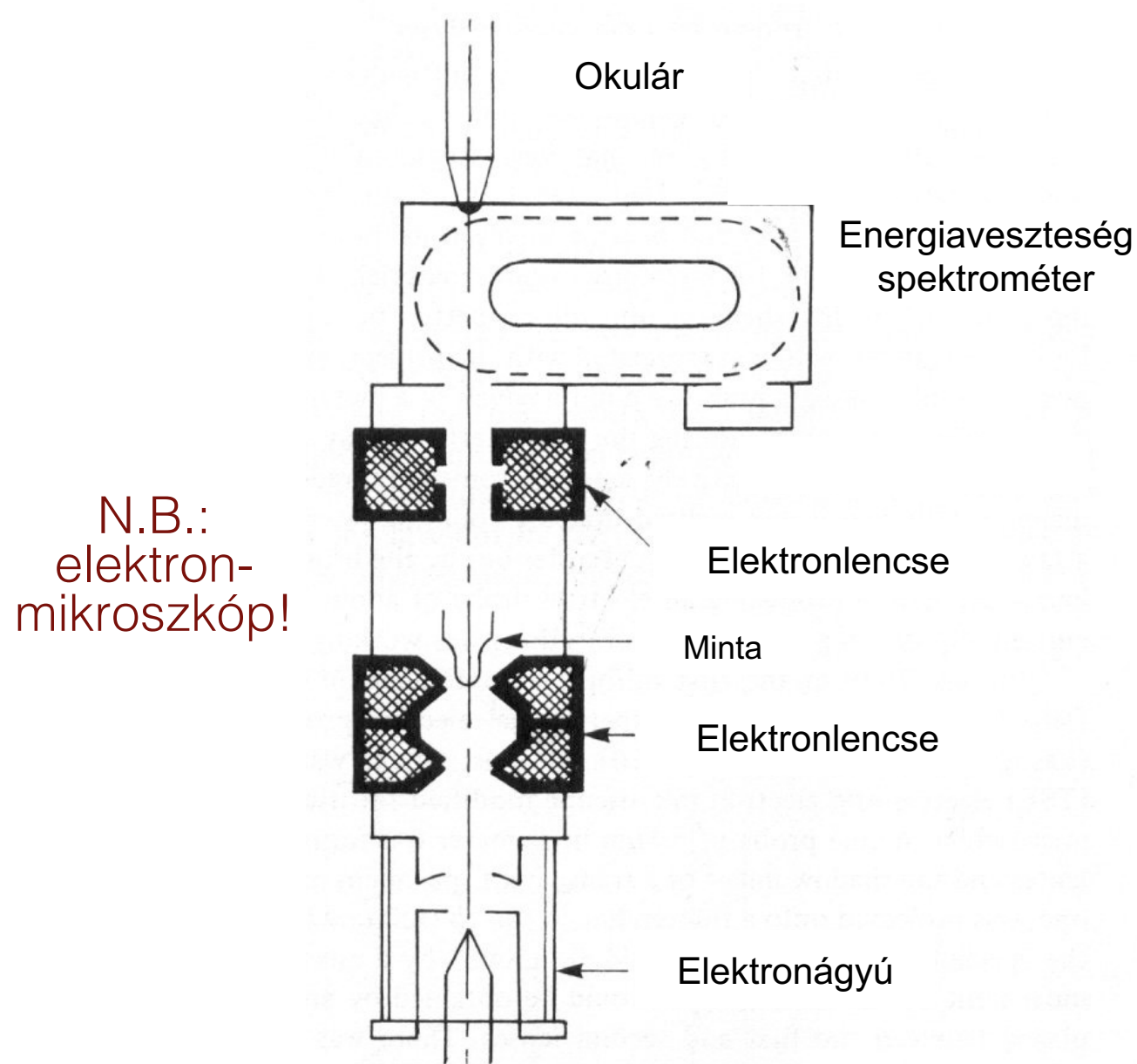
Elektronátmenet energiája külső héji elektron kiszabadulására fordítható: Auger elektron



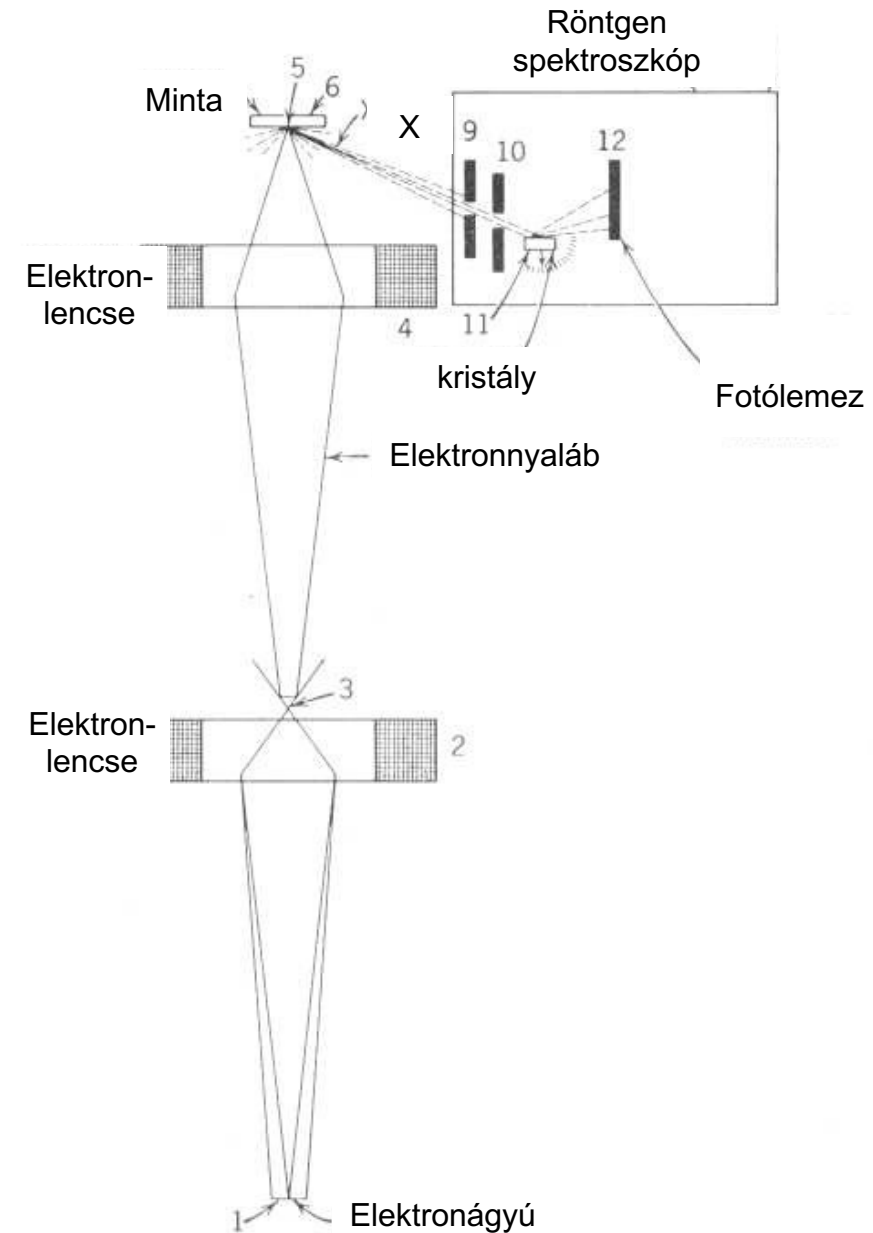
Karakterisztikus röntgensugárzás spektruma



Karakterisztikus röntgensugárzás detektálása



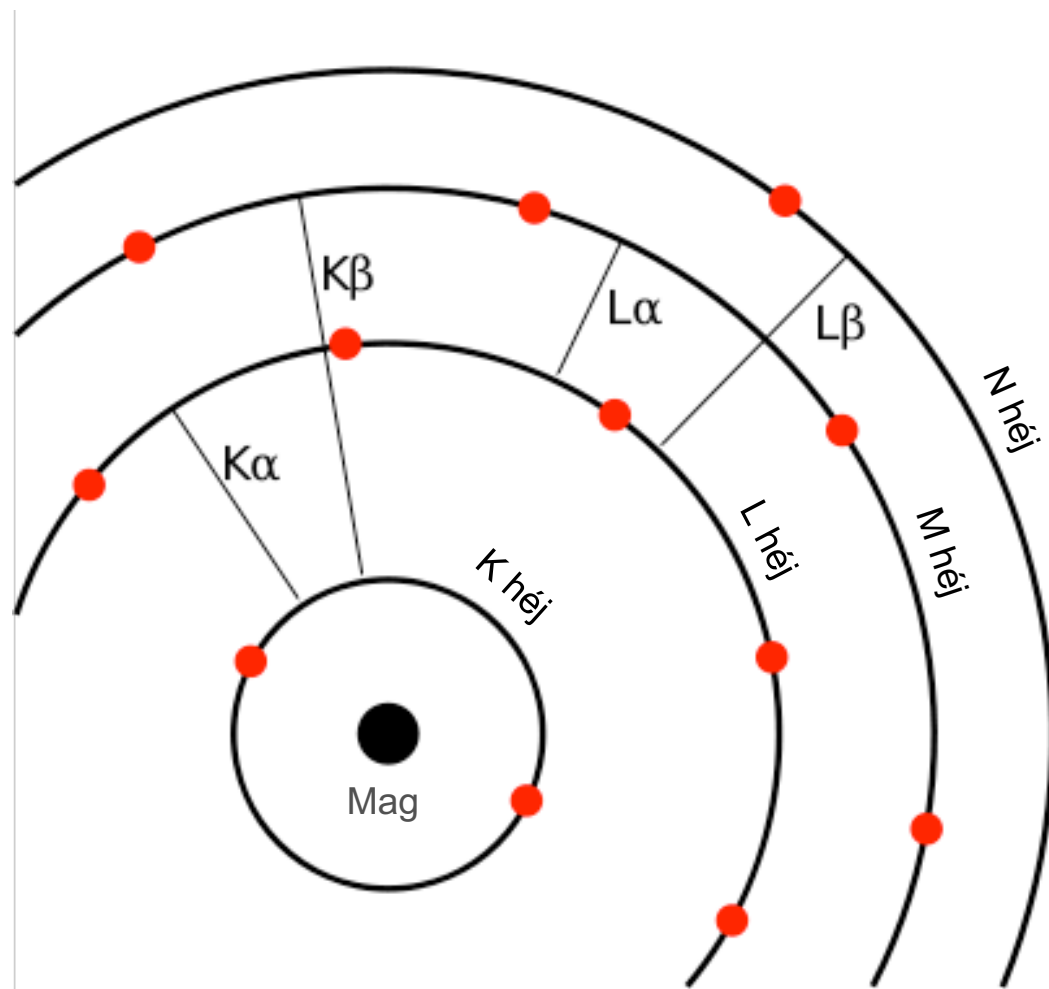
Elektron próba mikroanalizátor
(energiavesztés mérése)



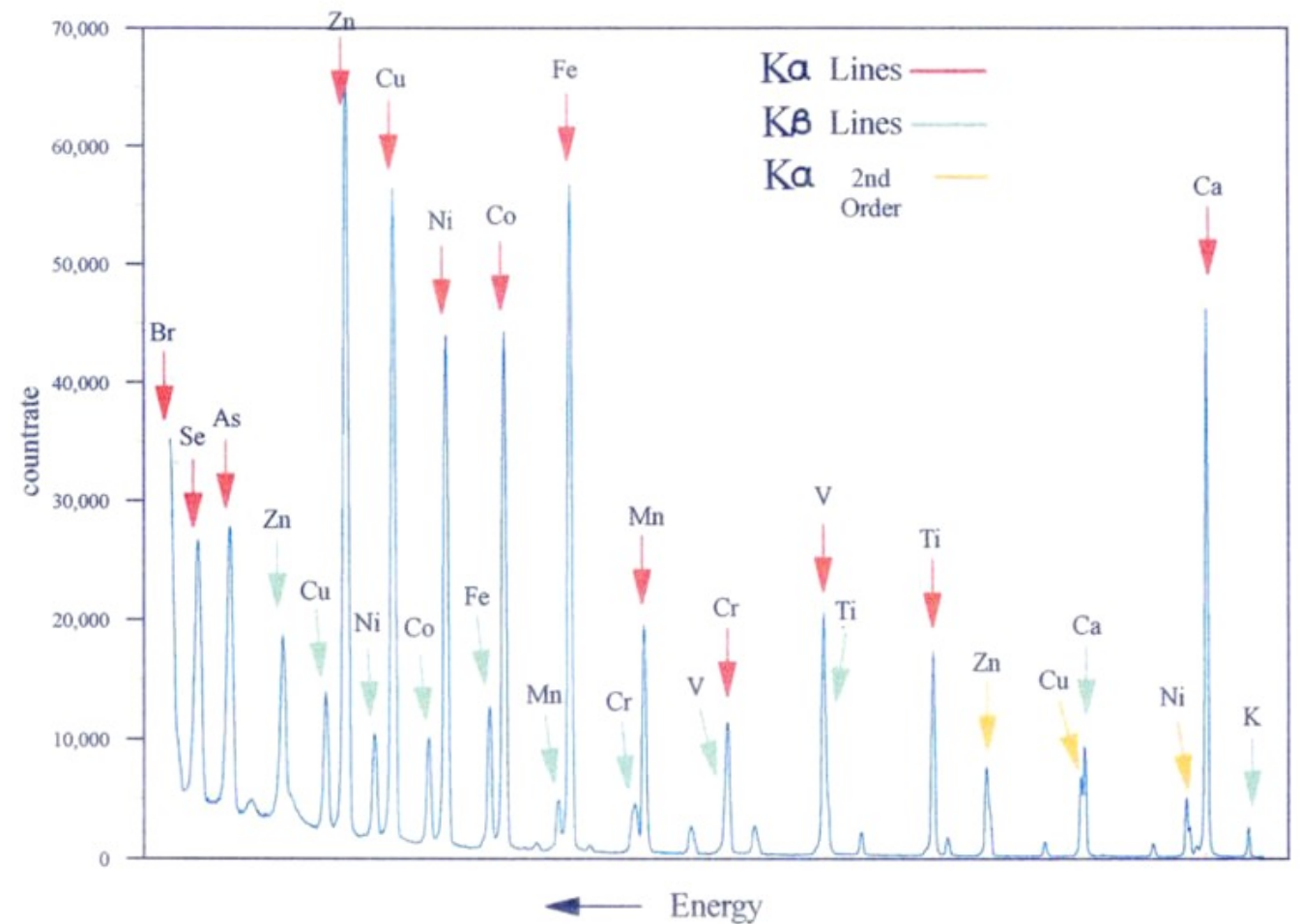
Röntgen spektroszkóp
(Rtg energiaspektrum mérése)

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

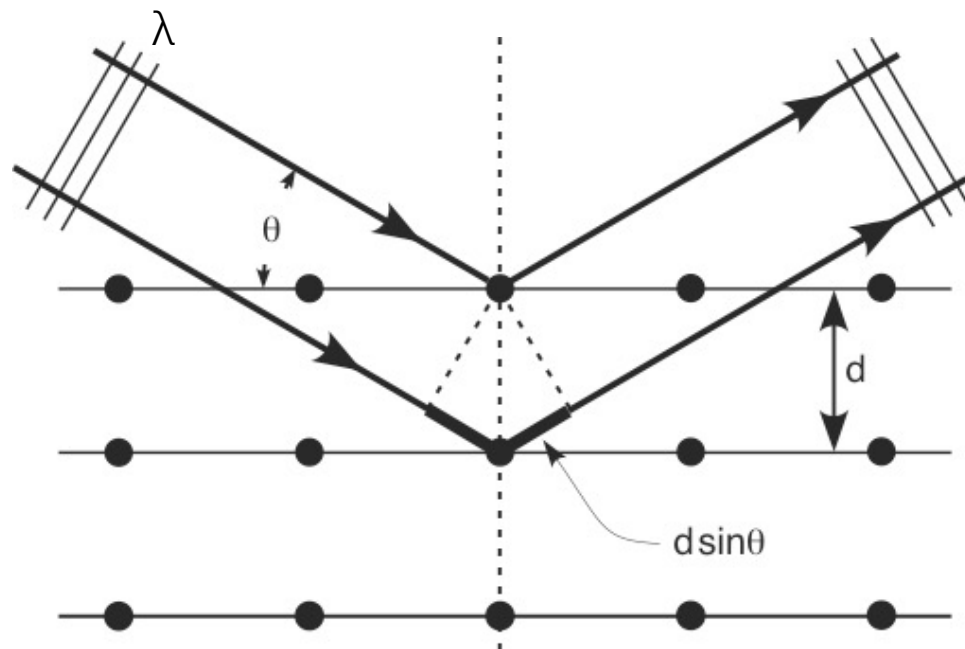


Elektron átmenetek Ca atomban

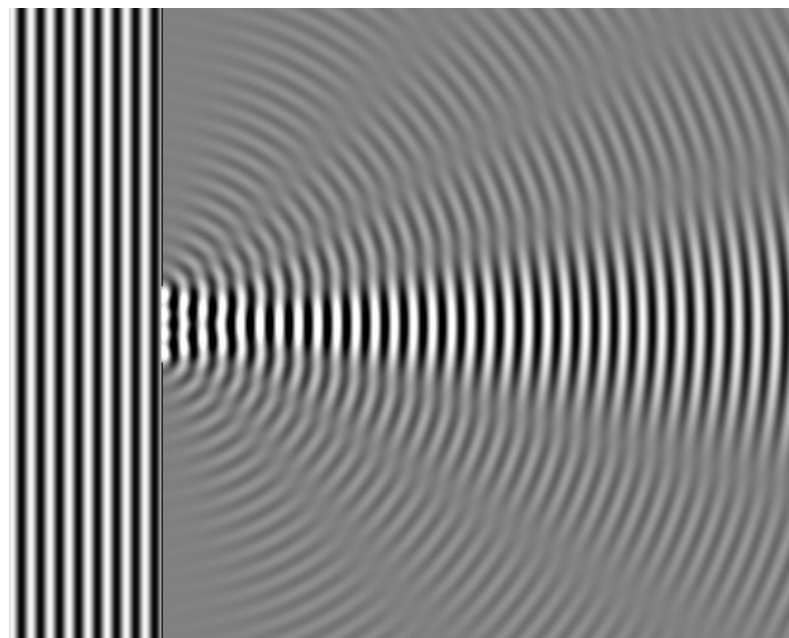


Energiadisziperzív röntgen fluoreszcencia spektrum

A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal 1: Diffrakció



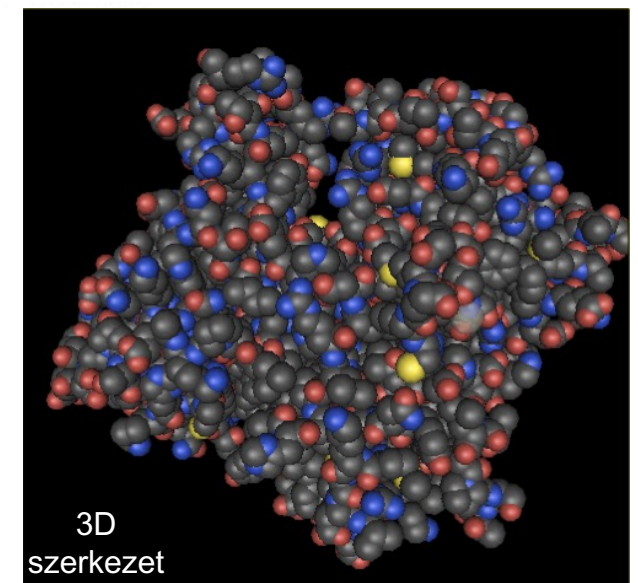
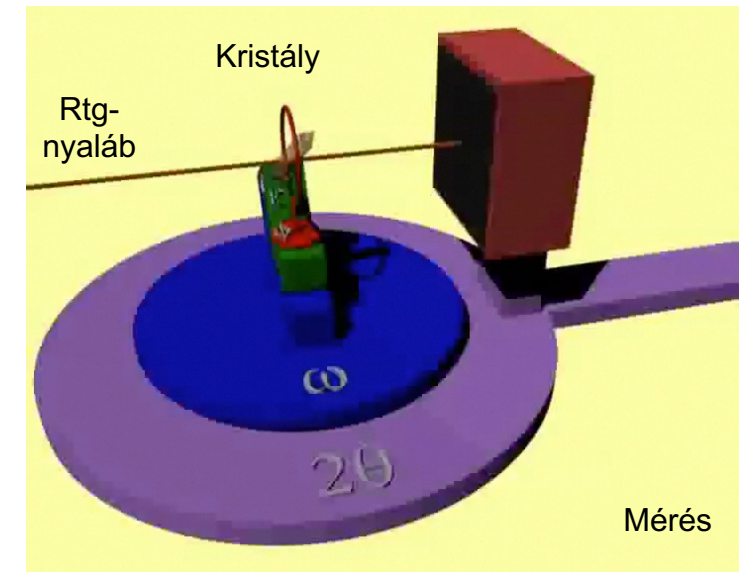
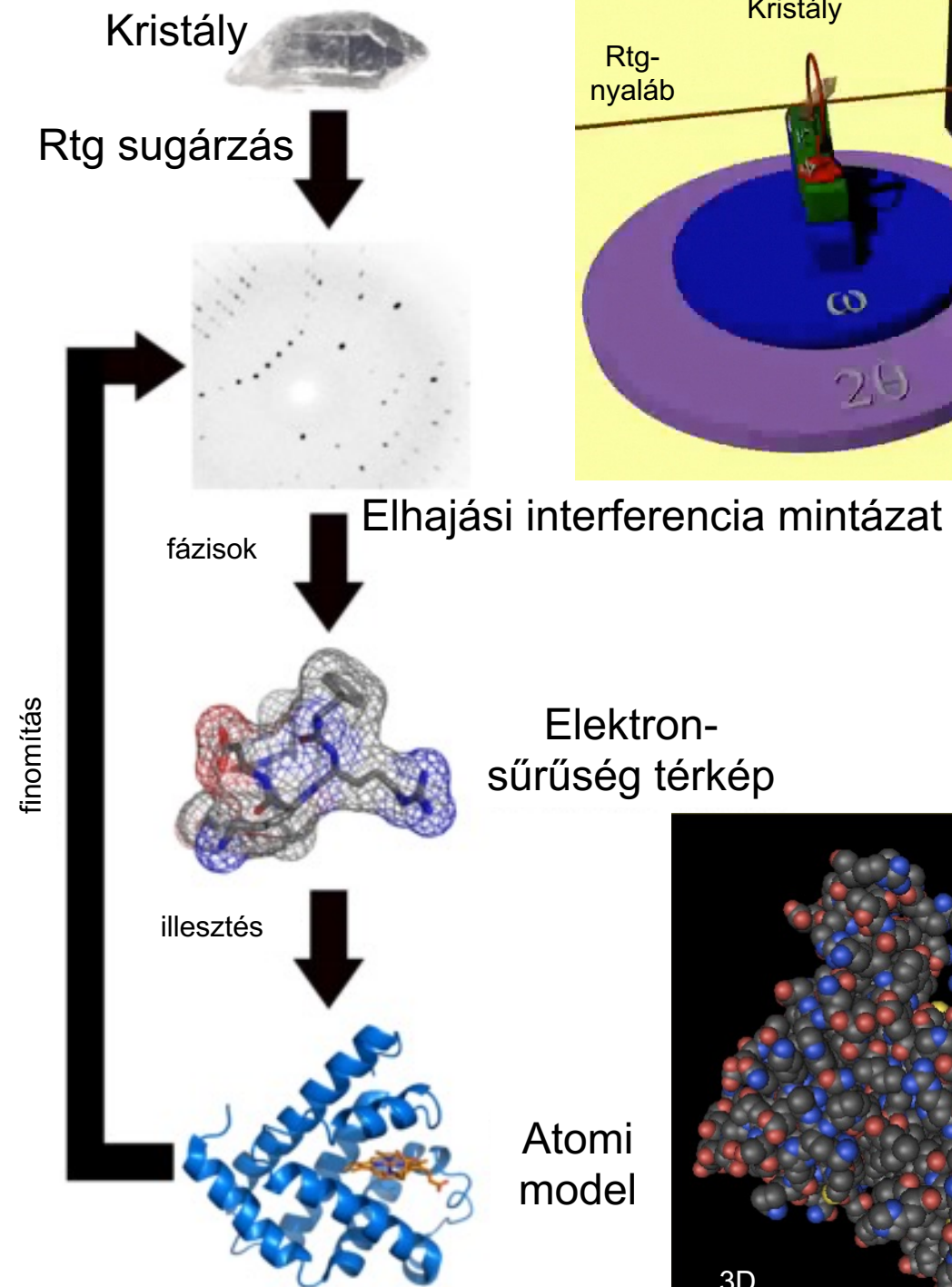
Erősítő
interferencia
feltétele: $2d \sin \theta = n\lambda$



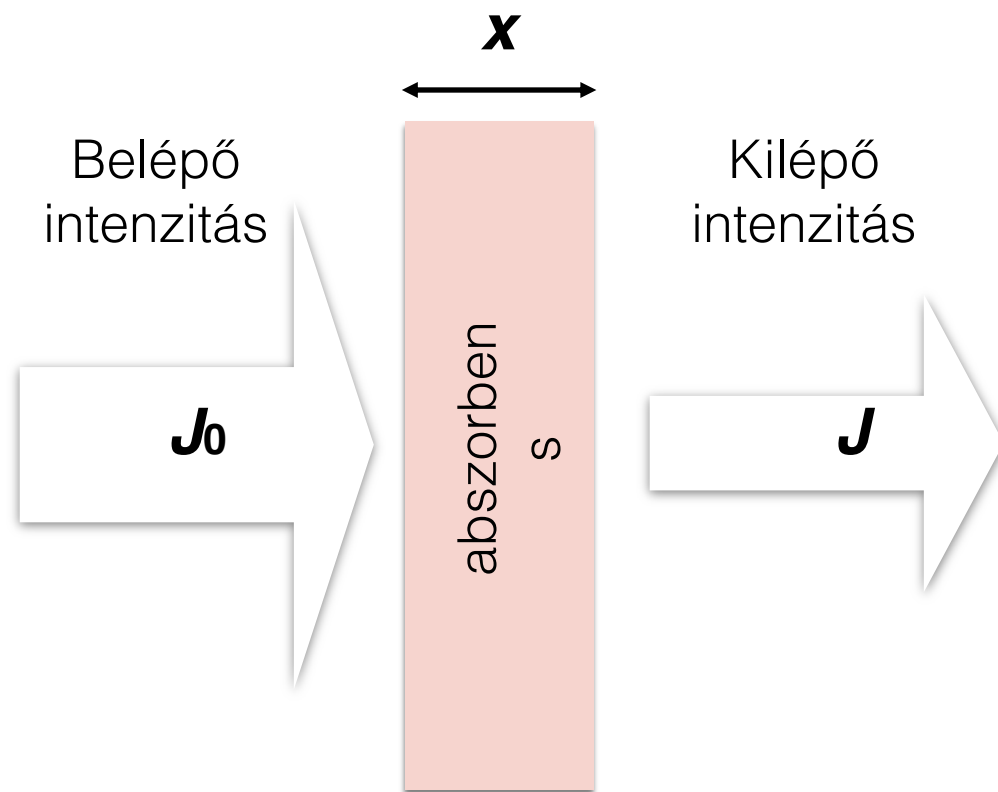
+1

0

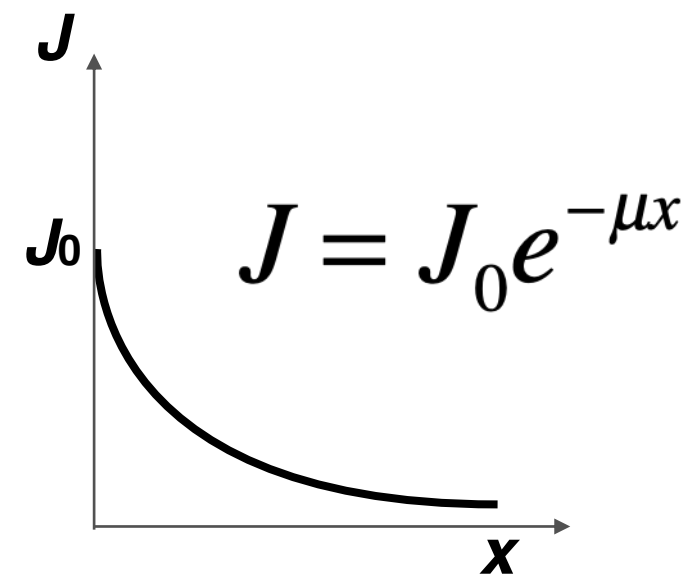
-1



A röntgensugárzás kölcsönhatása az anyaggal 2: Abszorpció



Exponenciális
sugárgyengítési törvény



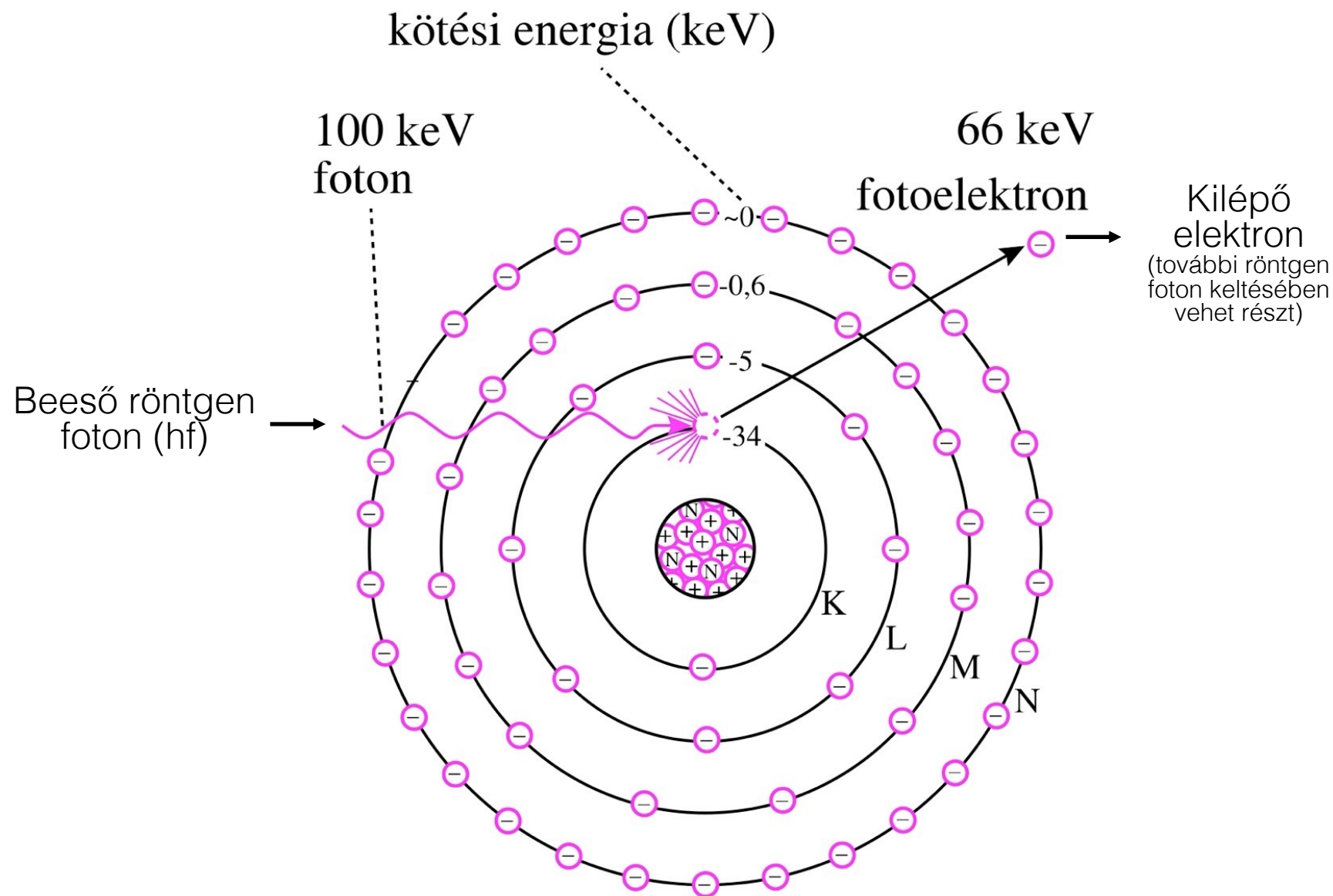
$$\mu = \mu_m \rho$$

μ = gyengítési együttható

μ_m = tömeggyengítési együttható (cm^2/g)

ρ = sűrűség (g/cm^3)

Kölcsönhatás mechanizmus I: Röntgen fotoeffektus



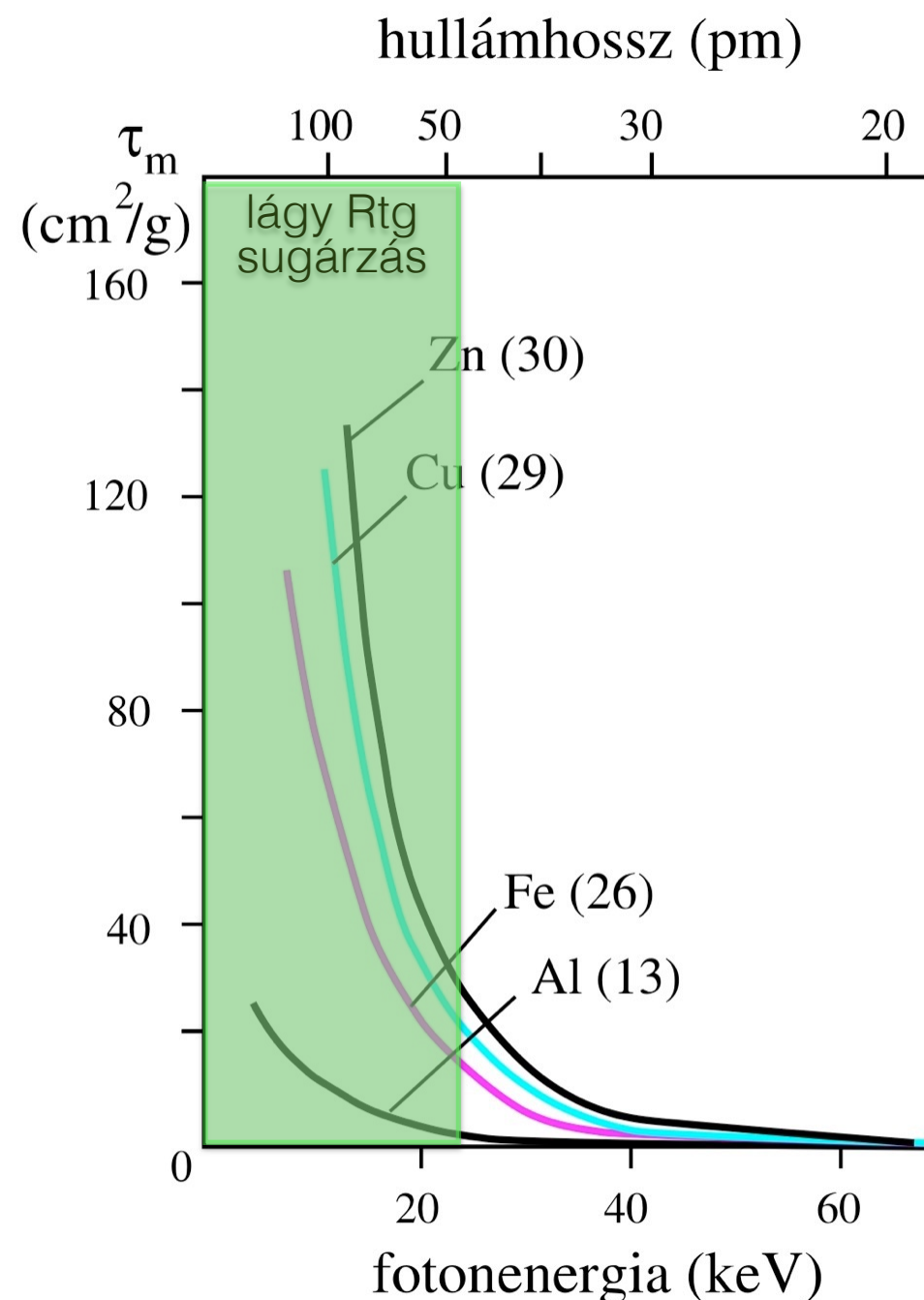
A diagnosztikai
röntgenben fellépő
legfontosabb hatás

Fotoeffektus gyengítési
együttható:

$$\tau = \tau_m \rho$$

τ_m = fotoeffektus
tömeggyengítési
együttható
 ρ = sűrűség

A 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

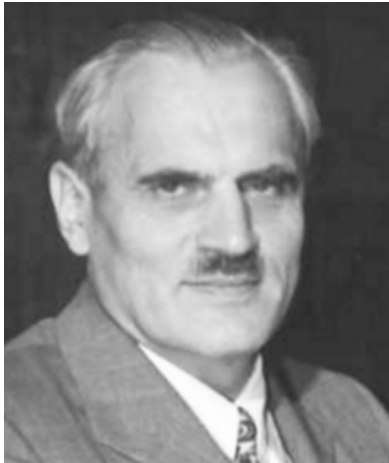
Z =rendszám

w =móltört

n =komponensek száma

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

Kölcsönhatás mechanizmus II: Compton szórás



Arthur Holly
Compton
(1892-1962)

Energiamérleg:

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

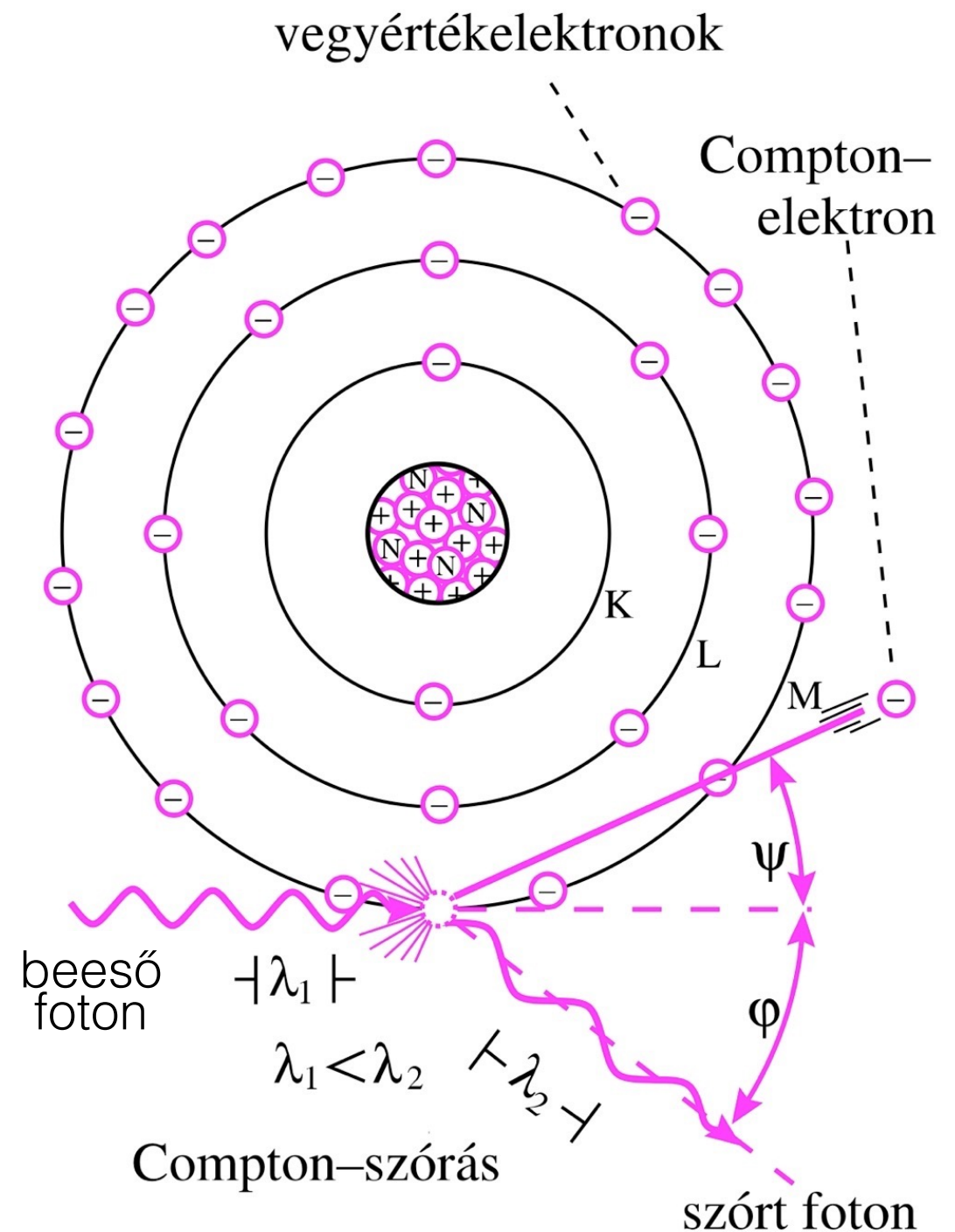
A =kötési energia

hf_{scatt} =szórt foton energiája

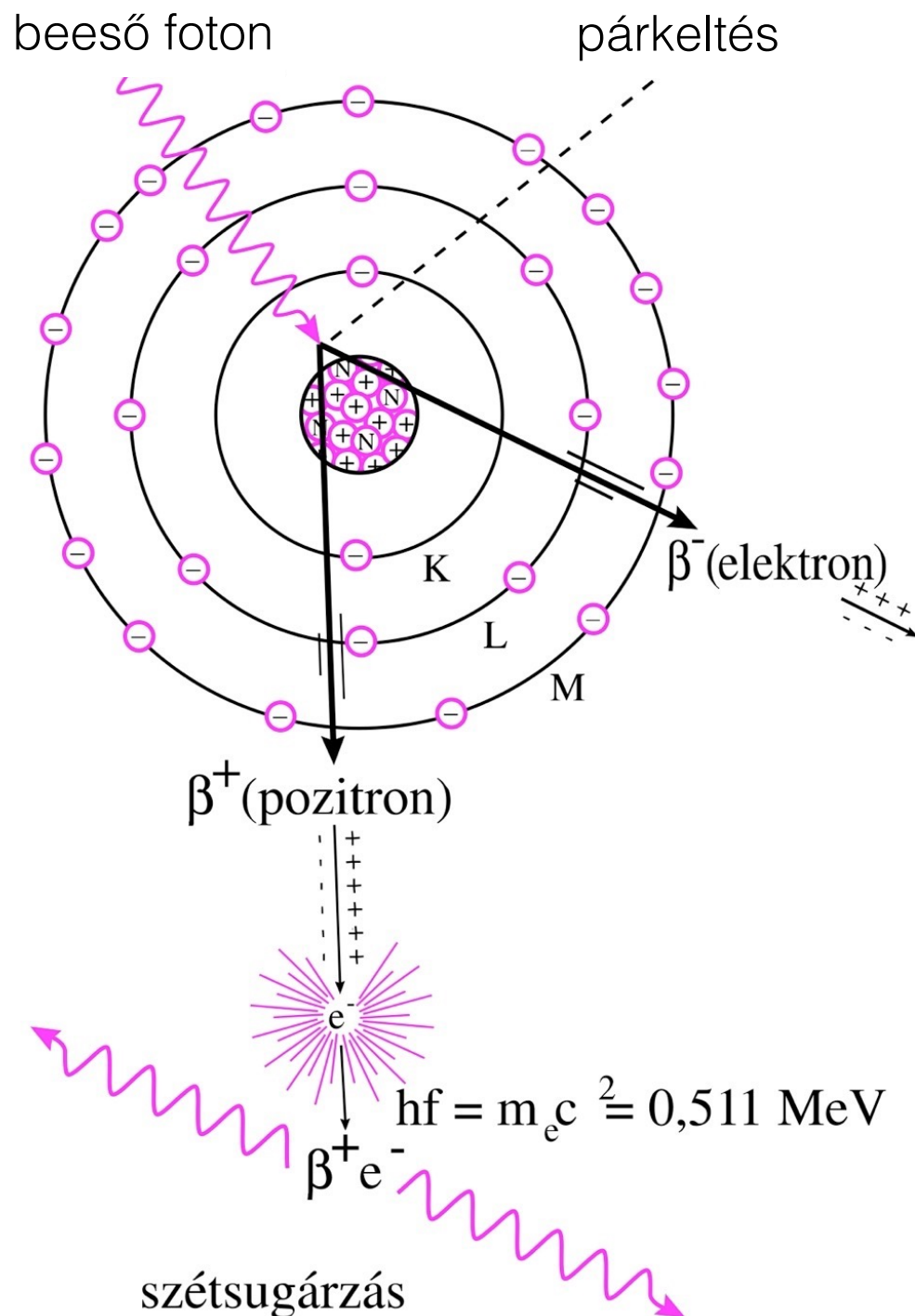
E_{kin} =Compton-elektron mozgási energiája

Compton-effektus
gyengítési együttható:

$$\sigma = \sigma_m \rho$$



Kölcsönhatás mechanizmus III: Párkeltés



(csak a terápiás röntgensugárzás esetében releváns)

Energiamérleg:

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

m_e = elektron tömege
 c = fénysebesség

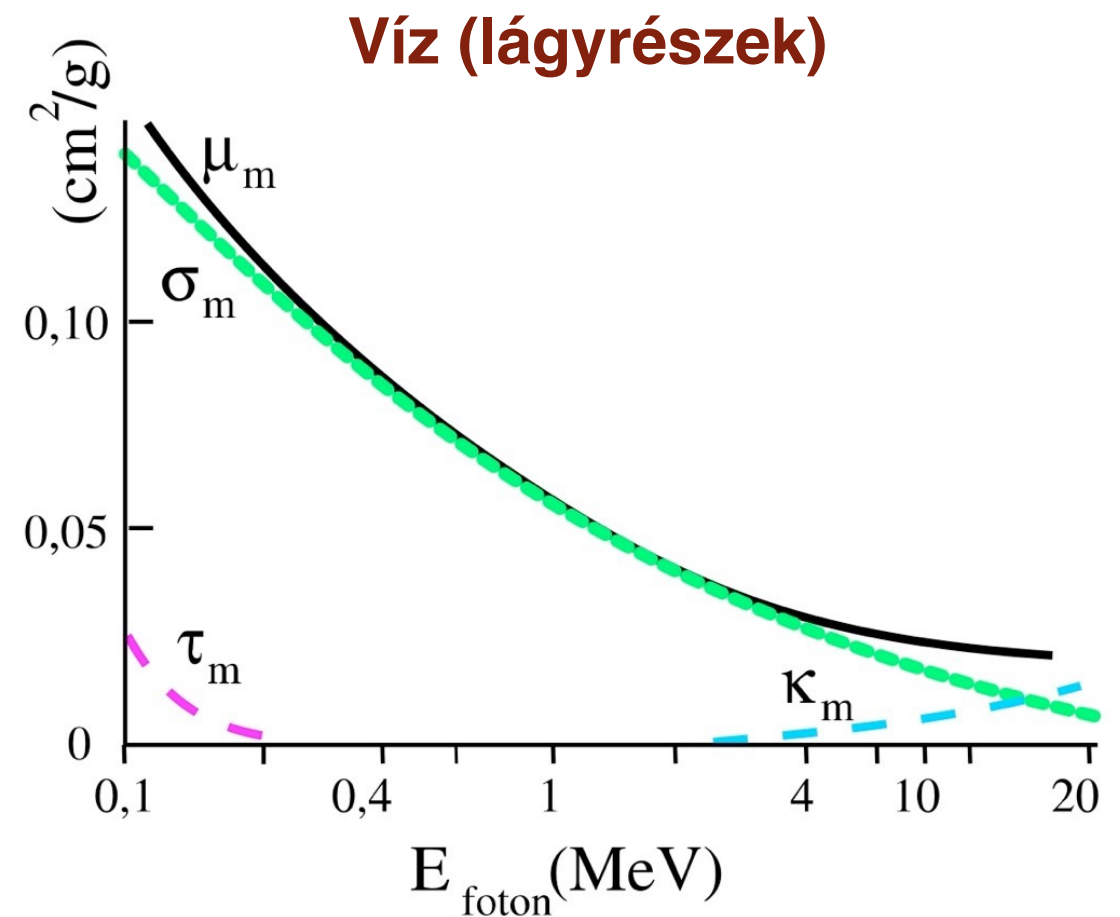
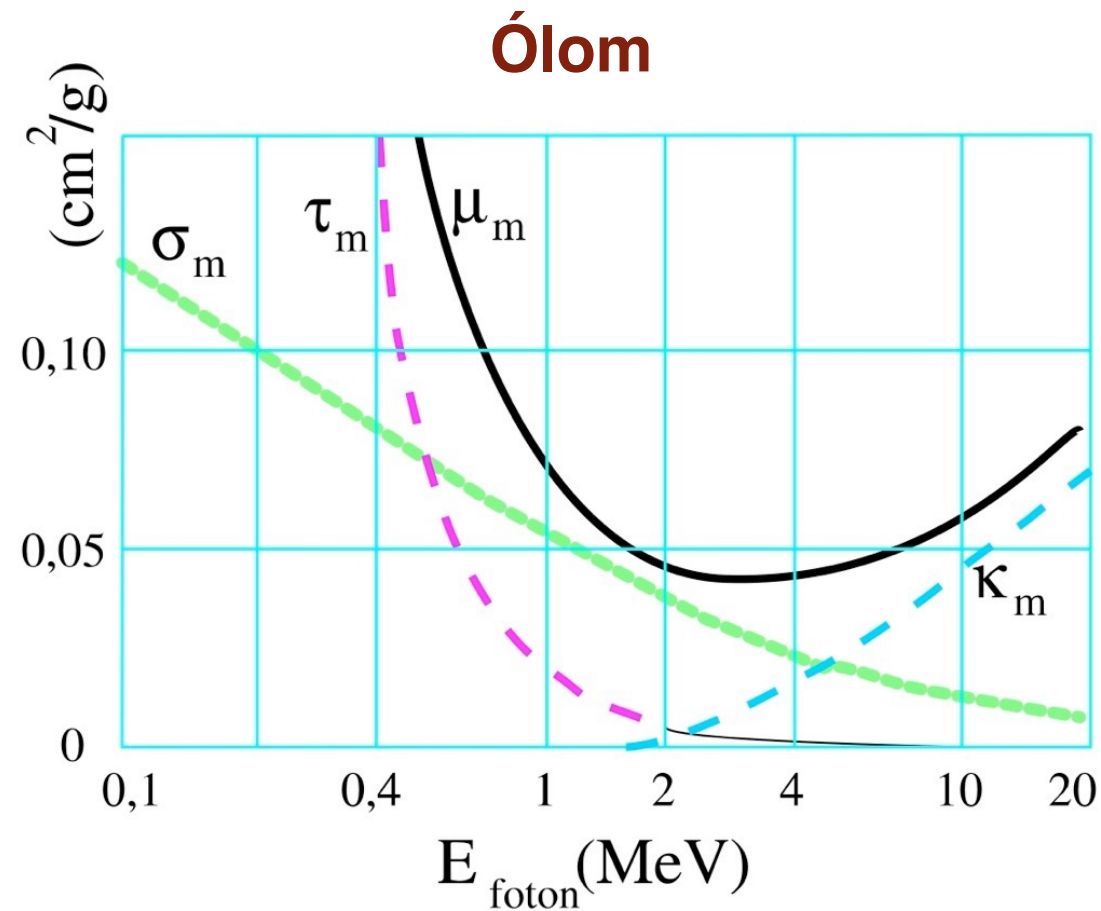
Párkeltés gyengítési
együttható:

$$K = K_m \rho$$

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

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 =fotoefektus tömeggyengítési együttható

κ_m =párkeltés tömeggyengítési együttható

A sugárgyengítés mechanizmusai

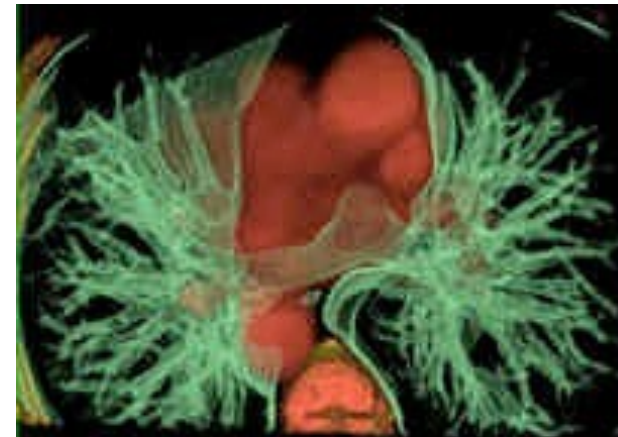
Mechanizmus	Tömeggyengítési együttható fotonenergia (ϵ) -függése	Tömeggyengítési együttható rendszám (Z) - függése	Releváns ϵ tartomány lágyszövetben
Rayleigh szórás	$\sim 1/\epsilon$	$\sim Z^2$	10 - 30 keV
Fotoeffektus	$\sim 1/\epsilon^3$	$\sim Z^3$	10 - 30 keV
Compton-szórás	ϵ növelésével lassan csökken	$\sim Z/A$ (A = tömegszám)	30 keV - 20 MeV
Párokeltés	ϵ növelésével lassan nő	$\sim Z^2$	> 20 MeV

Diagnosztikai röntgen:

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

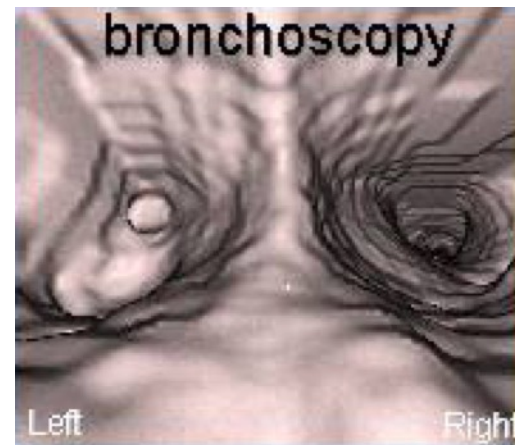
Rtg-sugárzás mai orvosi alkalmazásai

Spirális CT

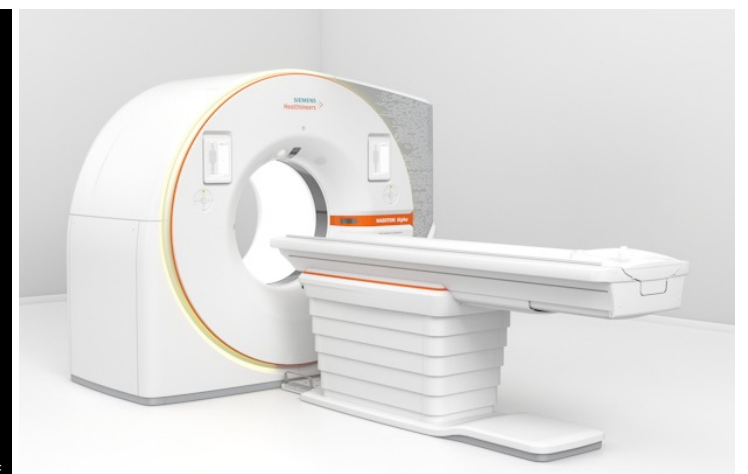
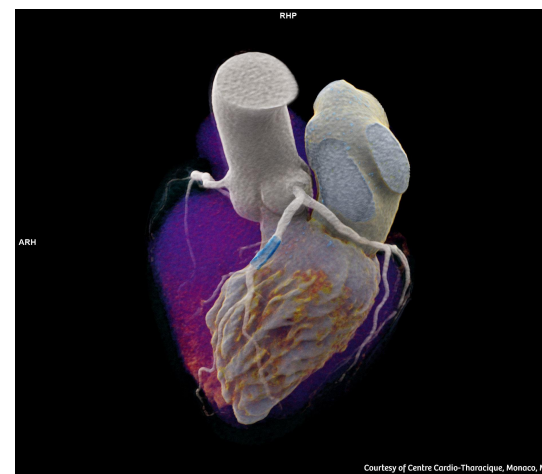


3D
rekonstrukció

Virtuális
endoszkópia



Angiográfia



Fotonszámláló CT (Photon Counting CT)

OMHV



<https://feedback.semmelweis.hu/feedback/pre-show-qr.php?type=feedback&qr=WR7XB0HFM9JD4VH3>