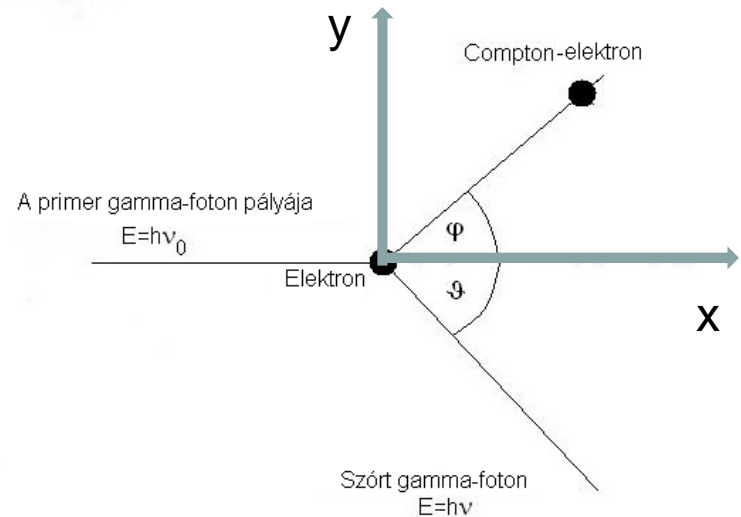


A sugárzás és az anyag kölcsönhatása

A gamma/röntgensugárzás és
anyag kölcsönhatása

Szóródások: rugalmatlan



Compton-szórás

Rugalmas szórás kis energiáknál van, azaz $h\nu \ll mc^2$.

Nagyobb energiák – rugalmatlan szórás: a foton energiája csökken (azt héjelektronnak adja át), iránya megváltozik.

Energiák: γ -foton az ütközés előtt és után: $h\nu_0$ ill. $h\nu$
elektron az ütközés előtt és után: m_0c^2 ill. mc^2 ,
 m_0 és m a nyugvó ill. a mozgó elektron tömege.

Szóródások: rugalmatlan (Compton)

Impulzusok ütközés előtt:

γ -foton: $h\nu_0/c$ az x tengely irányába, 0 az y tengely irányában

Elektron: nulla

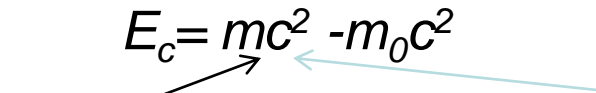
Impulzusok ütközés után:

Elektron: $p_e \cos\varphi$ az x irányban, $p_e \sin\varphi$ az y irányban

A γ -foton impulzusa ennek megfelelően csökken.

Energiamegmaradás :

$$h\nu_0 = h\nu + E_c$$

$$E_c = mc^2 - m_0c^2$$


$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E_c = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

Szóródások: rugalmatlan (Compton)

Impulzus-megmaradás:

$$\frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu}{c} \cos \vartheta + p_e \cos \varphi \qquad 0 = \frac{h\nu}{c} \sin \vartheta - p_e \sin \varphi$$

A két egyenletből kifejezzük az elektron impulzusát, négyzetre emeljük és összeadjuk az egyenleteket:

$$p_e^2 = \left(\frac{h\nu_0}{c} \right)^2 + \left(\frac{h\nu}{c} \right)^2 - 2 \left(\frac{h\nu_0}{c} \right) \left(\frac{h\nu}{c} \right) \cos \vartheta$$

Az elektron impulzusa másképp is kifejezhető:

$$p_e = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0 c \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \longrightarrow p_e^2 = m^2 v^2 = \frac{m_0^2 v^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0^2 c^2 \frac{v^2}{c^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Szóródások: rugalmatlan (Compton)

A két egyenletet egyenlővé téve, felhasználva, hogy $E=h\nu$ és $E_c = mc^2 - m_0c^2$:

$$\left(\frac{h\nu_0}{m_0c^2}\right)^2 + \left(\frac{h\nu}{m_0c^2}\right)^2 - 2\frac{h\nu_0h\nu}{(m_0c^2)^2}\cos\vartheta = \left(\frac{h\nu_0}{m_0c^2} - \frac{h\nu}{m_0c^2} + 1\right)^2 - 1$$

$$\nu_0 - \nu = \frac{h\nu_0\nu}{m_0c^2}(1 - \cos\vartheta)$$

A Planck-állandóval szorozva:

$$h\nu_0 - h\nu = \frac{h\nu_0h\nu}{m_0c^2}(1 - \cos\vartheta) = E_0 - E = \frac{E_0E}{0.51}(1 - \cos\vartheta)$$

Energia-változás: függ a foton kezdeti energiájától és a szórás szögétől:

$$\Delta E = \frac{E_0^2(1 - \cos\vartheta)}{E_0(1 - \cos\vartheta) + 0,51}$$

Fotoeffektus

Kölcsönhatás a héjelektronokkal:

$$E_k = h\nu_0 - E_i$$

E_k az elektron kinetikus energiája a kölcsönhatás után

E_i az elektron kötési energiája

$h\nu_0$ a gamma-foton kölcsönhatás előtti energiája

A folyamat lejátszódásának akkor van jelentős valószínűsége, ha a gamma-foton energiája összemérhető az elektron kötési energiájával (K- és L-héjak)

Az elektron kilökésével létrejött elektronhiányos állapot megszüntése:

karakterisztikus röntgensugárzás: Moseley-törvény

$$\nu^* = R_y (Z - 1)^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

ν^* hullámszám

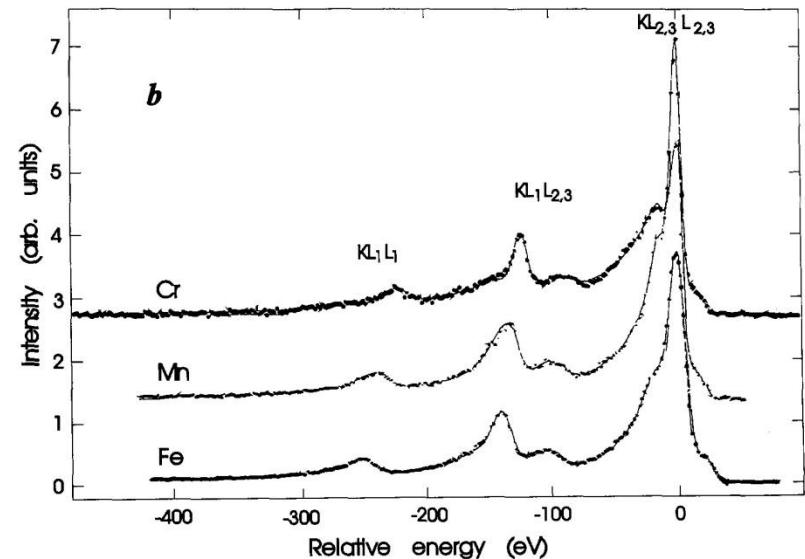
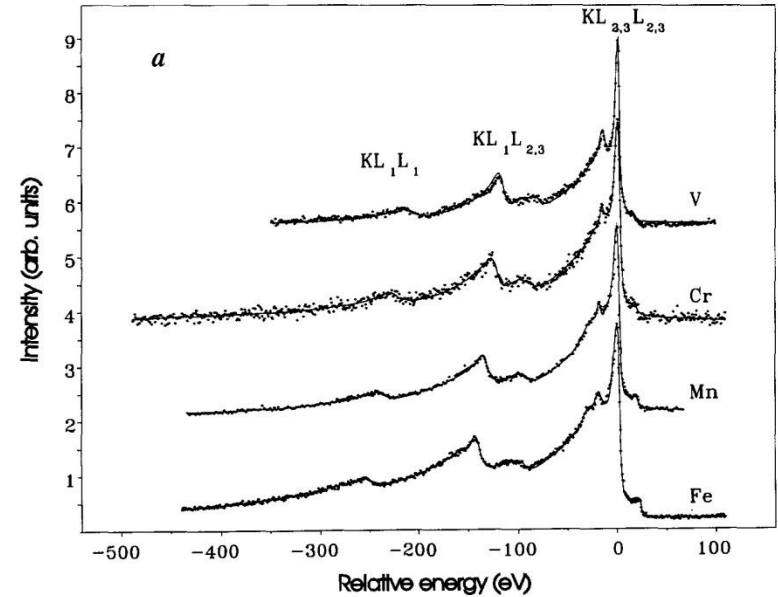
R_y a Rydberg-állandó

Z a rendszám

n és m pedig az elektronátmenetet létrehozó elektronhéjak főkvantumszáma.

Fotoeffektus

Auger-effektus: további elektronok távoznak az elektronhéjból Kisebb rendszámoknál az Auger-effektus, nagyobb rendszámoknál a karakterisztikus röntgensugárzás kedvezményezett.



Fotoeffektus

A fotoeffektus hatáskeresztmetszete (σ_f), - empirikus formula

$$\sigma_f = \text{áll.} \frac{Z^{4.1}}{E_\gamma^3}$$

E_γ a gamma/röntgen-fotonok energiája.

A fotoeffektus termékei:

fotoelektronok

karakterisztikus röntgenfotonok

Auger-elektronok

Kapcsolódó analitikai módszerek

nagy felbontású béta-spektroszkópia

fotoelektronspektroszkópia

röntgenfluoreszcencia analízis

Auger-elektron spektroszkópia (Radioanalitika)

Pároképződés

Ha a γ -foton energiája ($h\nu$) nagyobb, mint két elektron (m_0c^2) nyugalmi tömegének megfelelő energia, akkor a gamma-foton az atommag Coulomb-terével úgy lép kölcsönhatásba, hogy egy elektron és egy pozitron keletkezik. Ezt a folyamatot a pároképződésnek, az annihiláció fordított folyamatának nevezzük.

$$h\nu = m_0c^2 + E_{e^-} + m_0c^2 + E_{e^+}$$

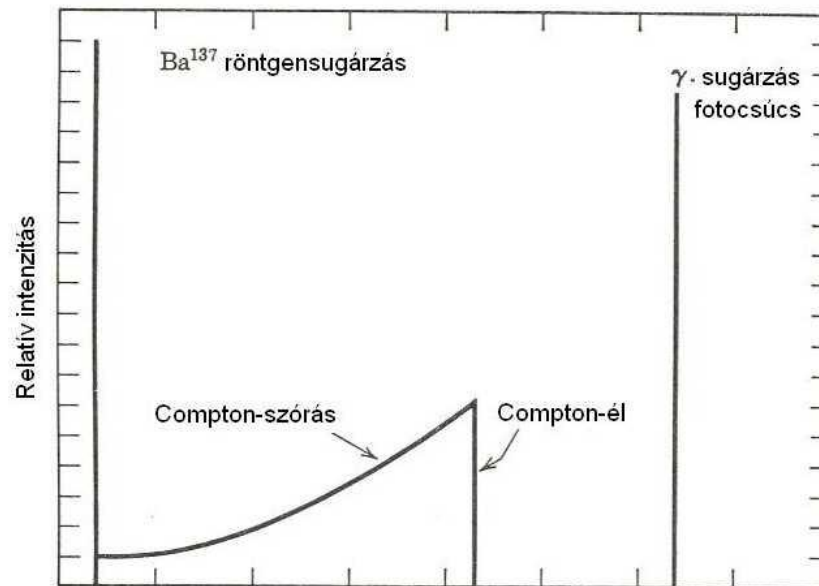
$$\sigma_p = KZ^2 f(E_\gamma)$$

E_γ a γ -sugárzás energiája

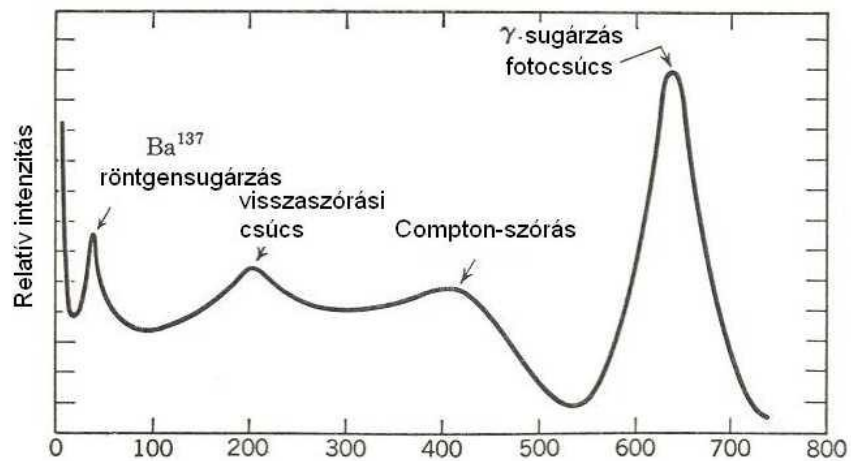
Z annak az elemnek a rendszáma, melynek Coulomb-terével kölcsönhatásba lép a γ -sugárzás

K állandó

Cs-137



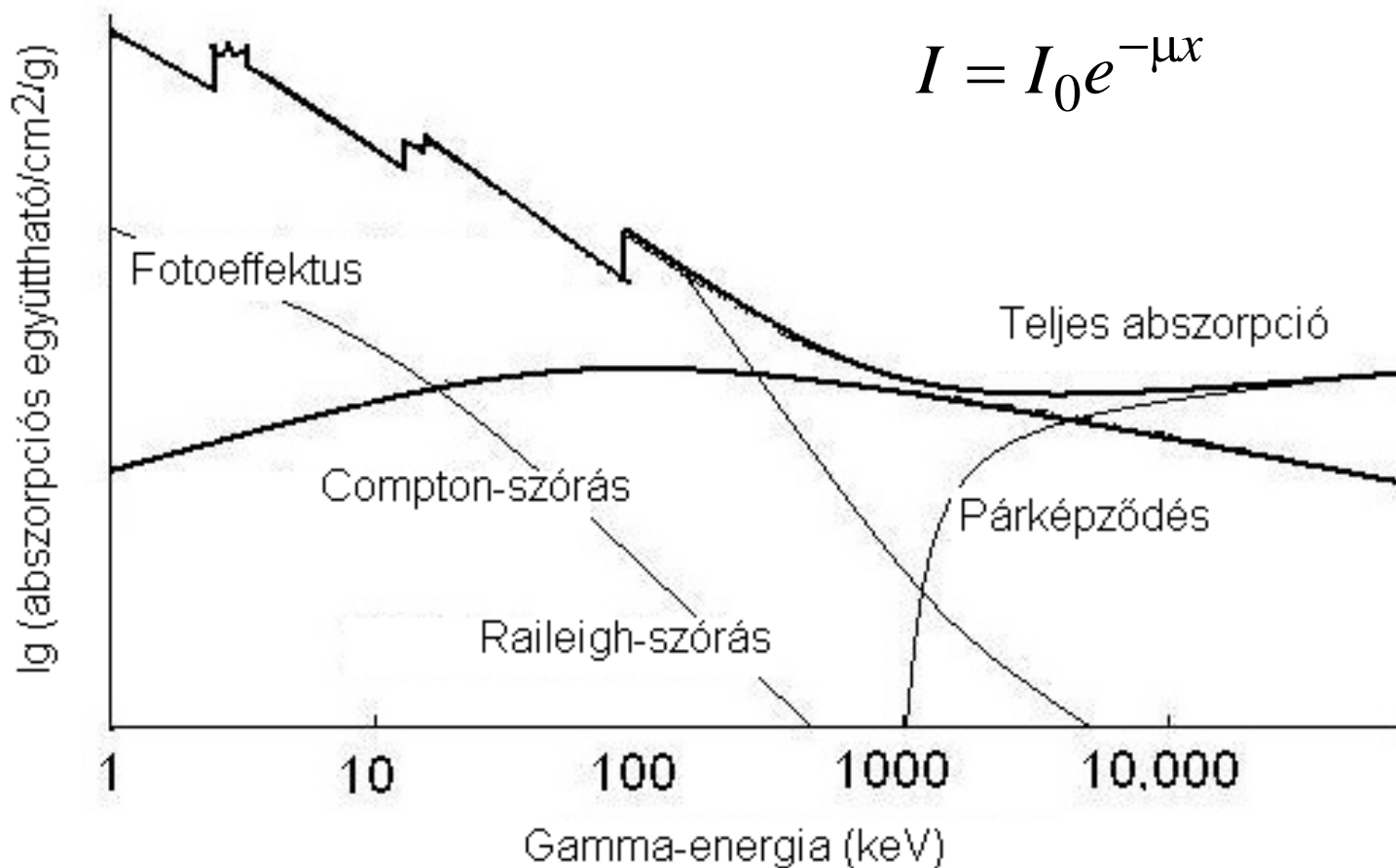
a



b

Gamma-sugárzás teljes abszorpciója

$$\mu = \mu_{\text{Rayleigh}} + \mu_{\text{Thomson}} + \mu_{\text{fotoeffektus}} + \mu_{\text{Compton}} + \mu_{\text{párképz}}.$$



Magrezonancia-abszorpció: Mössbauer-effektus

Magvisszalökődés miatti energiavesztés (E_R) - impulzusmegmaradás:

$$-Mv = \frac{E_0}{c} \longrightarrow v = -\frac{E_0}{Mc} \qquad E_R = \frac{1}{2}Mv^2 = \frac{E_0^2}{2Mc^2}$$
$$E = E_0 - 2E_R$$

E_0 a magból kilépő gamma-foton energiája

M az atommag tömege

v az atommag sebessége a γ -foton eltávoztása után

c a fény vákuumban mért sebessége

Természetes vonalszélesség (Γ): Heisenberg-féle bizonytalansági reláció

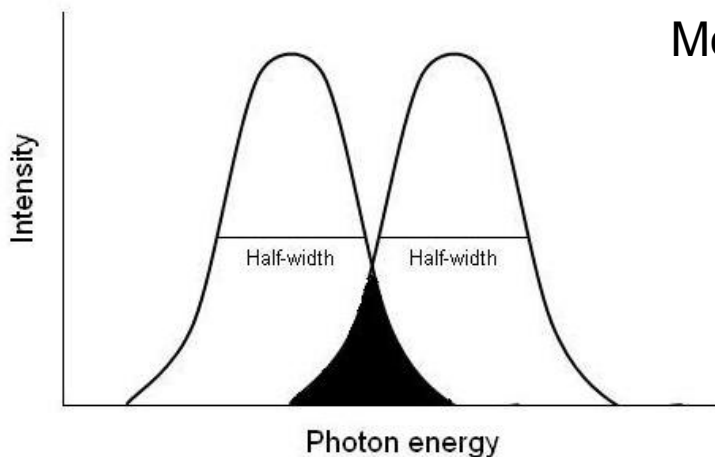
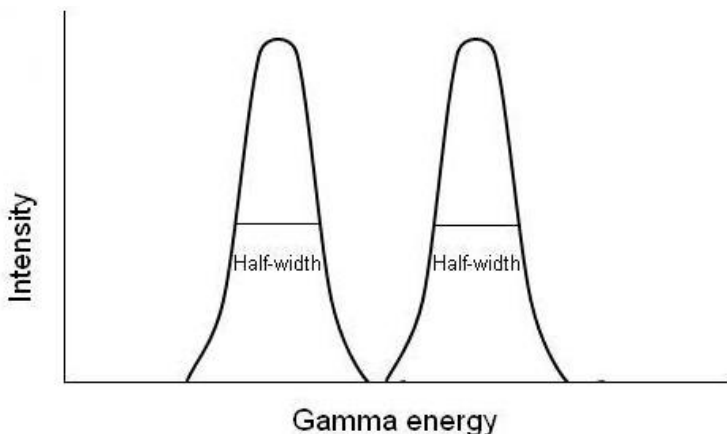
$$\Gamma \tau = \frac{h}{2\pi}$$

τ a gerjesztett állapot élettartama, magfolyamatoknál 10^{-9} - 10^{-7} s, a vonalszélesség nagyon kicsi

Mössbauer-effektus

A vonalakat szélesíti a hőmozgás: különböző sebességűek a gamma-fotonokat kibocsátó atomok, mozognak egymáshoz képest: a frekvencia (ν) a Doppler-effektus miatt eltolódik:

$$\nu = \nu_0 \left(1 \pm \frac{v}{c} \right)$$



Mössbauer: a hőmérséklet hatását akarta kiküszöbölni, a mintákat hűtötte: a visszalökött atom az egész kristály, annak tömege írható M helyére.

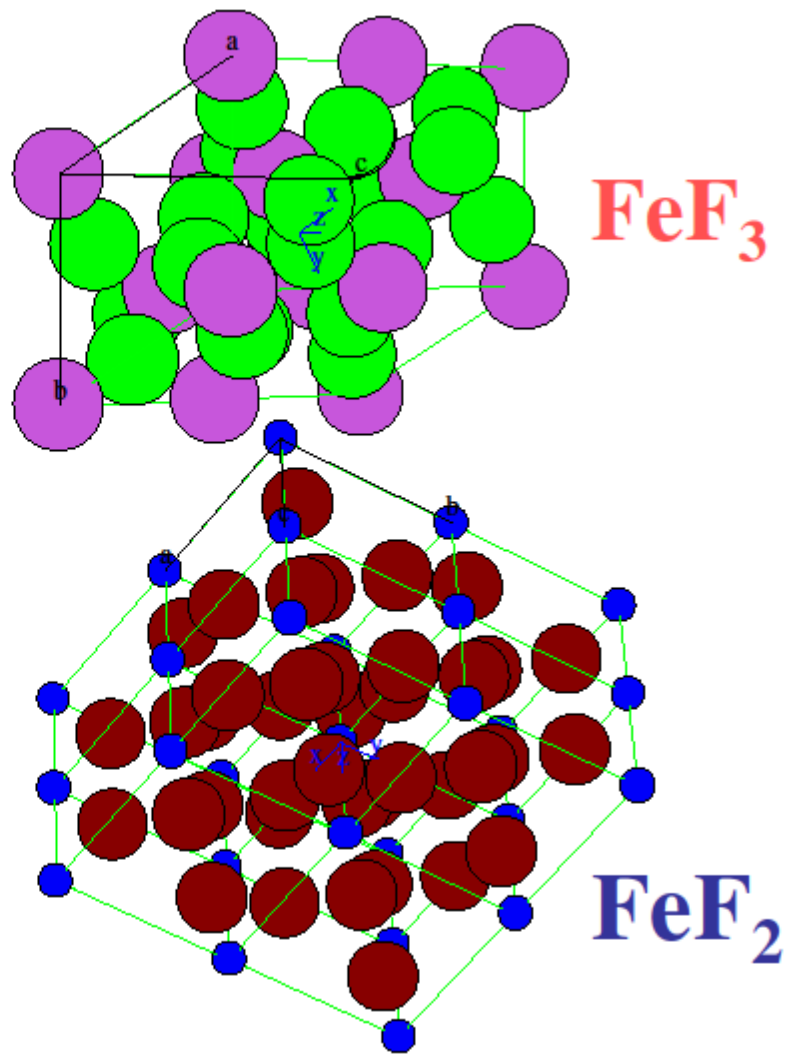
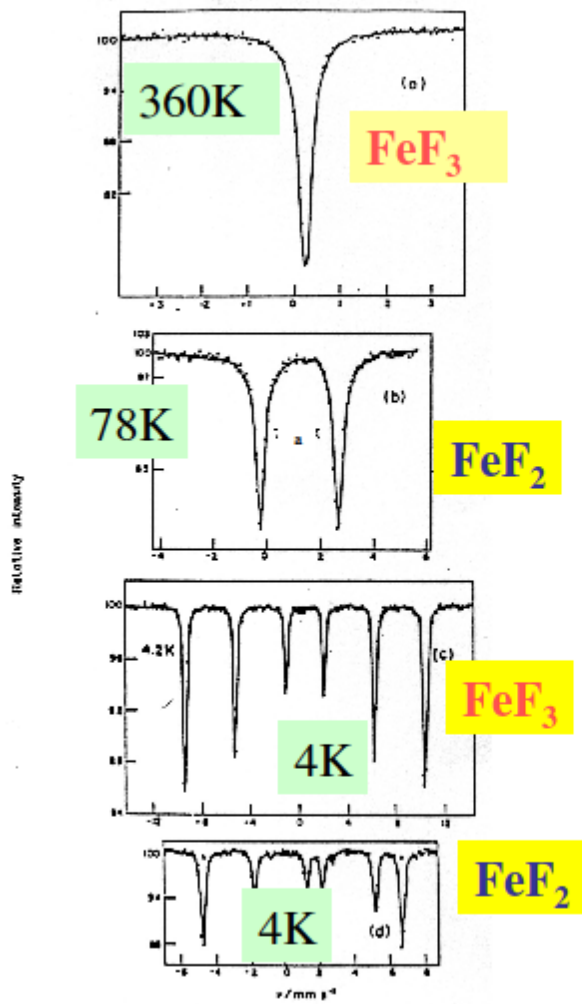
Mössbauer-effektus

Alkalmazását a kémiai analízisben: a kémiai állapot, azaz az oxidációs állapot és a kémiai környezet az elektronfelhő és a mag között fennálló elektrosztatikus kölcsönhatás miatt megváltoztatja az atommag energiaállapotát - izomereltolódásnak vagy kémiai eltolódás

Ennek energiája 7-8 nagyságrenddel kisebb, mint a nukleáris energiák.

Mérése: Doppler-effektus segítségével - a minta és a sugárforrás egymáshoz viszonyított mozgásával hozzuk létre a magrezonancia-abszorpciót. Egyúttal a sugárforrás és a minta relatív sebességét tekintjük a kémiai eltolódás mértékének is, így azt sebesség dimenzióban (pl. cm/s, mm/s) adjuk meg. E csekély mozgási sebesség a gamma-energia rendkívül finom hangolását teszi lehetővé, amivel a forrásban és az abszorberben levő Mössbauer-nuklid kémiai környezetének eltéréséből fakadó magenergianívó-változást kompenzáljuk a forrásból kilépő gamma-foton abszorberben való elnyelődést lehetővé téve.

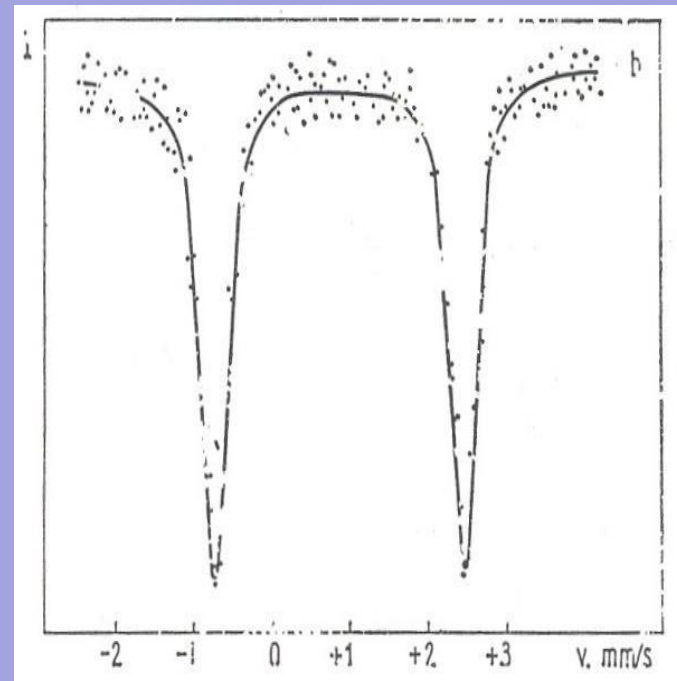
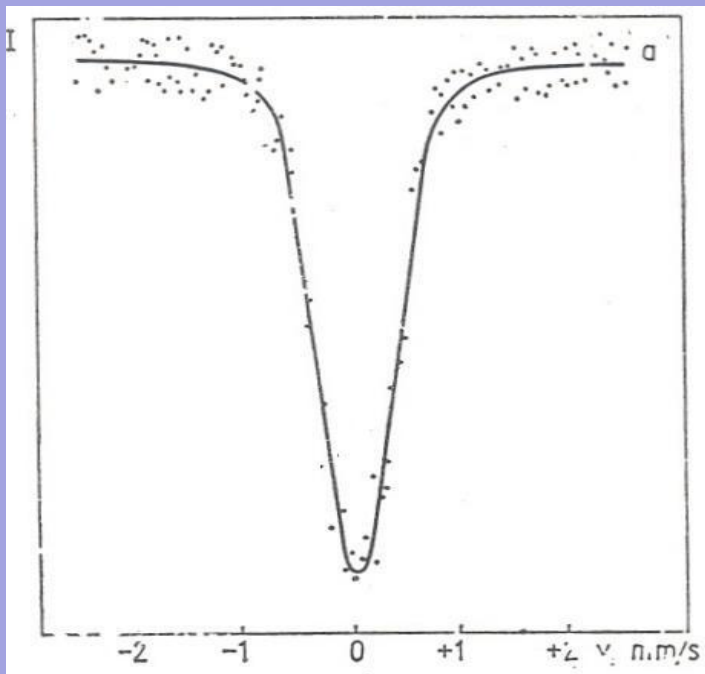
A legjelentősebb vizsgálható izotópok: ^{57}Fe , ^{119}Sn , ^{121}Sb , ^{151}Eu , ^{191}Ir , ^{195}Pt , ^{197}Au .



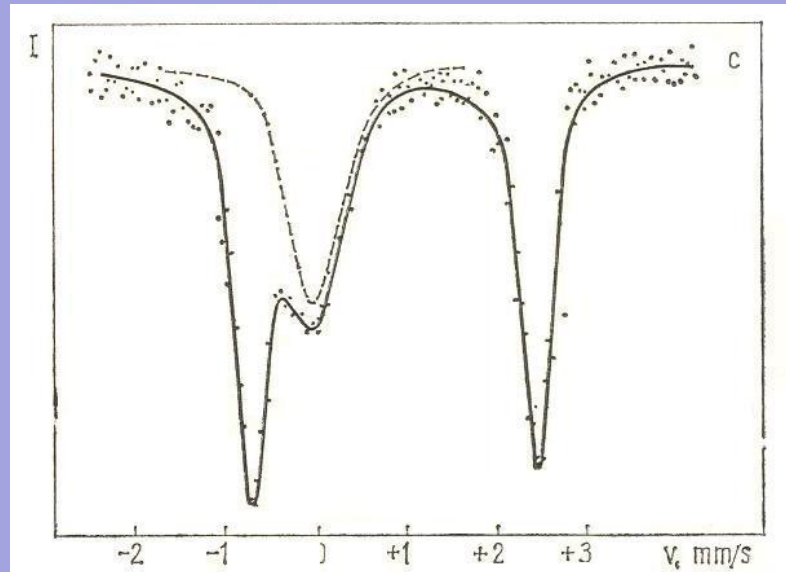
- Vas(III) a FeF_3 –ban szimmetrikus környezetben van, elektron-konfiguráció $3d^5$, nagy spin - szinglet
- Vas(II) a FeF_2 –ben aszimmetrikus kémiai környezetben van, elektron-konfiguráció $3d^6$. Az aszimmetrikus környezet kölcsönhatásba lép a mag elektromos kvadrupólus momentumával - dublet.
- Alacsony hőmérsékleten belső mágneses tér alakul ki, ami mágneses felhasadást okoz (Zeeman-effektus) - szextet.

- Vas(III) a FeF_3 –ban szimmetrikus környezetben van, elektron-konfiguráció $3d^5$, nagy spin - szinglet
- Vas(II) a FeF_2 –ben aszimmetrikus kémiai környezetben van, elektron-konfiguráció $3d^6$. Az aszimmetrikus környezet kölcsönhatásba lép a mag elektromos kvadrupólus momentumával - dublet.
- Alacsony hőmérsékleten belső mágneses tér alakul ki, ami mágneses felhasadást okoz (Zeeman-effektus) - szextet.

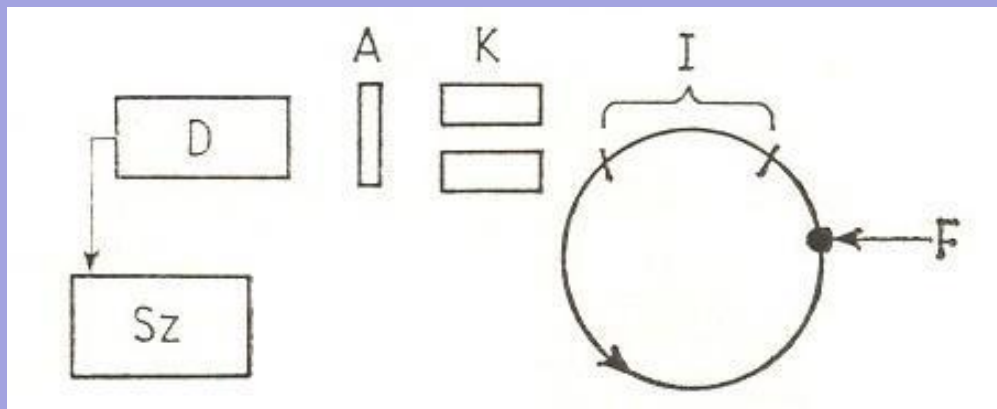
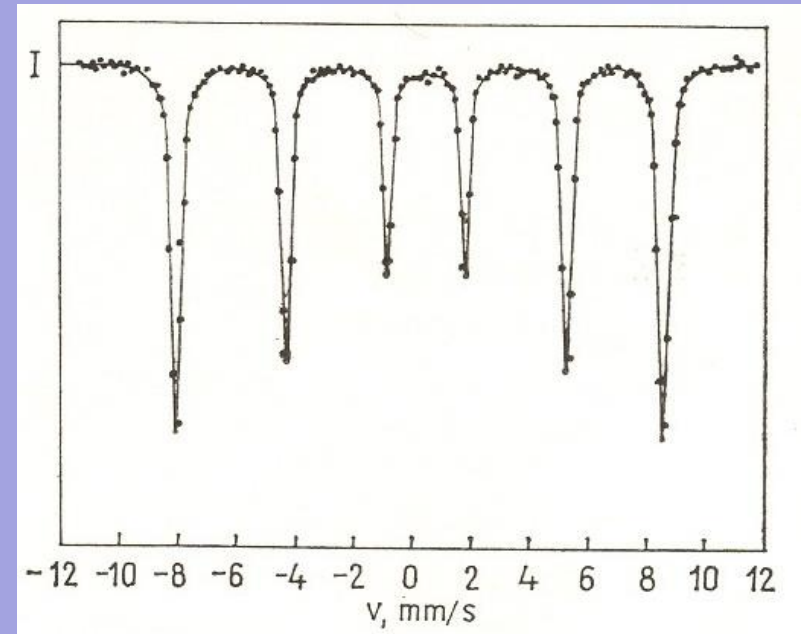
Fe(III)- és Fe(II)-szulfát Mössbauer-spektruma



Ferri- és ferro-szulfát



Mágneses felhasadás



- Sz: számláló
- D: detektor
- A: abszorbens (minta)
- K: kollimátor
- F: sugárforrás
- I: vizsgálati ív

A neutronok kölcsönhatása az anyaggal

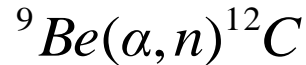
- Neutronok keletkezése
 - Neutronbomló izotópok – jelentéktelen (atomreaktorok leállítása)
 - Magreakciókban

Neutronok felfedezése

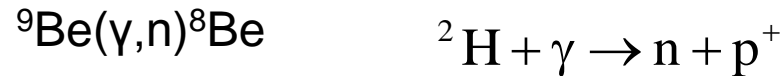
- Semleges
- Rutherford megjósolta 1920-ban
- Gyakorlati felfedezés: 1930: a magok energiaszintjeit vizsgálta Bothe and Becker. Be-ot alfa-részecskékkel sugároztak be és nagy hatótávolságú kb. 5 MeV energiájú sugárzást tapasztaltak. Feltételezték, hogy az gamma-fotonokból áll.
- 1932-ben Irene Curie és Frederic Joliot-Curie ugyanezt a kísérletet végezték, de a kilépő sugárzást másképp detektálták és sokkal nagyobb energiájúnak találták.
- Chadwick: az energia 50 MeV: ugyanabban a reakcióban keletkező gamma-energia nem függhet a detektálás módjától – tehát nem lehet csupán gamma-foton, legalább egy más típusú részecskének is keletkezni kell. A hosszú hatótávolság azt jelenti, hogy ez a részecske csak akkor ad le energiát, ha atommagokkal ütközik – neutron
- Chadwick: nyugalmi tömeg meghatározása hidrogén és nitrogén atommagokkal való rugalmas ütközésben. A neutron és a hidrogén atommag (proton) tömegének aránya kb. 1,1:1.

Neutronok előállítása

- Neutronforrások: 10^6 - 10^8 n/s cm. Alfa-forrás: Ra-226, Pu-239, Po-210

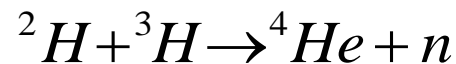
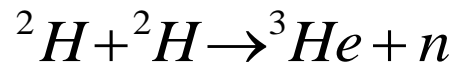


- ${}^{252}\text{Cf}$ spontán hasadásával: 10^7 - 10^9 neutrons/s.
- (γ , n) magreakcióban, ha a gamma-foton energiája meghaladja a targetmag kötési energiáját, pl. ${}^{24}\text{Na}$ -izotóp. Targetek: D, Li, Be, B. Pl.



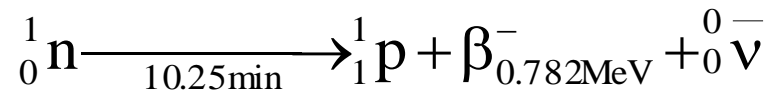
Mobil neutronforrás: ${}^{24}\text{Na}$ -izotóp sója nehézvízben oldva

- Neutrongenerátorok: a hidrogén izotópjainak (deutérium, trícium) magreakcióival. Ezeket lineáris gyorsítóban felgyorsítják, majd D- és/vagy T-tartalmú fém-hidrid targetbe ütköztetik. Hozam 10^8 - 10^9 n/s.



Neutronok előállítása

- Ciklotronban (p,n) magreakcióban. Target: lítium vagy berillium
- Atomreaktorok: (n,f)
- Spallációs neutronforrás
 - Spalláció: fotonok vagy más, nagy energiájú részecskék (pl. GeV energiájú protonok) ütköznek a maggal, abból sok kisebb részecske (neutrons, könnyű atommagok) vagy fotonok lépnek ki.
 - Target: nehéz elem (pl. higany, wolfrám, ólom)
 - Csak néhány ilyen létesítmény van a világon
- A szabad neutronok élettartama kicsi, protonná, béta-részecskévé (0.728 MeV) és antineutrínóvá alakulnak:



A reakció felezési ideje: 10.25 min.

Neutron kölcsönhatása az anyaggal

Kölcsönhatásban részt vevő anyagi rész	Változások	
	A sugárzásban	Az anyagban
Héjelektron	-	
A páratlan elektronok mágneses tere	Rugalmas szórás Rugalmatlan szórás	- Gerjesztés vagy mágneses relaxáció
Magerőtér	-	
Mag	Magreakció Rugalmas szórás Rugalmatlan szórás	Új atommag Kémiai változás chemical change - Gerjesztés vagy mágneses relaxáció

Neutron kölcsönhatása az anyaggal

- Legfontosabb kölcsönhatások:
 - Magreakciók (Elméleti fizikai kémia II.)
 - Szórás (rugalmas és rugalmatlan)
- Magreakciók
 - Izotópelőállítások (Elméleti fizikai kémia II.)
 - Nukleáris energiatermelés
 - Analitika (kvalitatív, kvantitatív, szerkezetvizsgálatok – radioanalitika)
 - Szórási vizsgálatok – radioanalitika)