

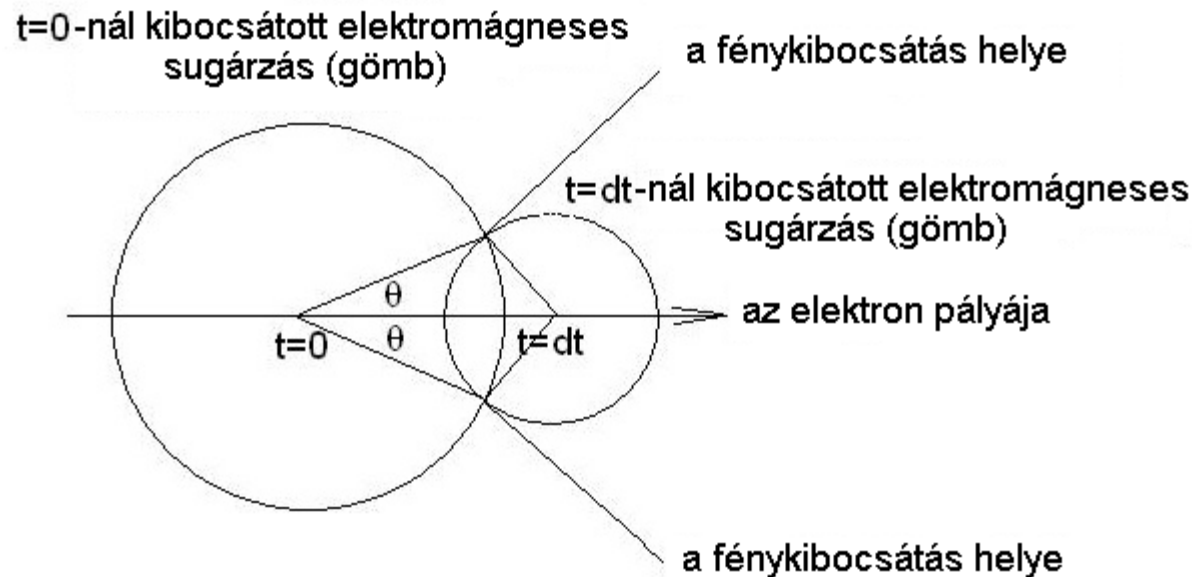
A sugárzás és az anyag kölcsönhatása

A béta-sugárzás és anyag
kölcsönhatása

Cserenkov-sugárzás

$v > c/n$, n törésmutató

$$\cos \Theta = \frac{c}{nv}$$



Cserenkov-sugárzás

- Pl. vízre ($n=1,337$):

$$\frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1.337} \text{ m/s} \approx 2.2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

0,26 MeV

A sugárzás intenzitása ($I(v)$) és sugárzás frekvenciája (f):

$$I(v) = \frac{2\pi e^2}{c^2} v \left[1 - \frac{c^2}{n^2 v^2} \right] f$$

A maximálisan elérhető intenzitás

$$I_{\max} = \frac{2\pi e^2}{c^2} \left[1 - \frac{1}{n^2} \right] f$$

Nagyobb frekvenciához nagyobb intenzitás tartozik, ezért látjuk a Cserenkov-sugárzást ibolya színűnek.

- Béta-sugárzás a fénysugárzás detektálásával is mérhető

Pozitron-annihiláció

✓ Pozitron+elektron→gamma-foton

2 db 0,51 MeV

(1 db 1,02 MeV, kb. 10 %)

((3 db 0,34 MeV))

✓ Pozitron emissziós tomográfia: ^{18}F (cukor),
 ^{11}C (aminosav)

Pozitron-annihiláció

- Az annihiláció felezési ideje a termalizáció ideje: az az idő, amikor a pozitron sebessége kb. nullára csökken (kb. 10^{-10} s)
- A teljes termalizációt megelőzően a pozitron és az elektron kölcsönhatásában egy rövid életű könnyű elem, a pozitronium keletkezik, atommagja a pozitron. Felfogható nulla rendszámú elemnek.
- Orto- és para-pozitronium: az elektron és a pozitron spinje párhuzamos vagy ellentétes.
- Élettartamok vákuumban: orto $1.4 \cdot 10^{-7}$ s
para $1.25 \cdot 10^{-10}$ s.

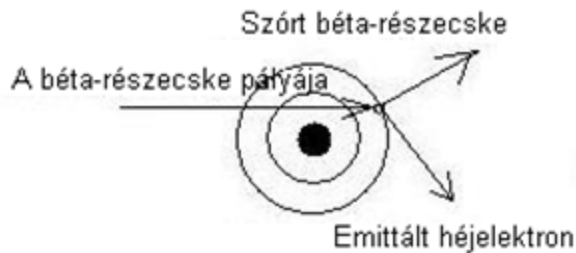
Más közegekben a kémiai reakciók csökkentik az élettartamot –
reakciókinetikai vizsgálatok

Pórusméret-meghatározás: kisebb pórusok – rövidebb élettartam

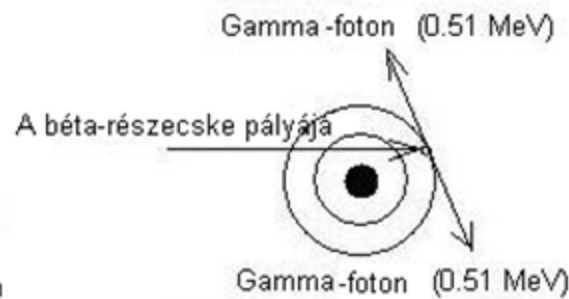
β -sugarak abszorpciója

Kölcsönhatás az elektronokkal

Ionizáció



Annihiláció



Kölcsönhatás a mag erőterével

Fékeződés, folytonos röntgen-sugárzás



Kölcsönhatás az anyag molekuláival

Cserenkov-sugárzás

β -sugarak abszorpciója

$$I = I_0 e^{-\mu(E)l}$$

I_0 és I a β -sugárzás intenzitása az abszorbensbe való belépés előtt, ill. a l vastagságú abszorbens rétegen való áthaladás után

$\mu(E)$ az lineáris abszorpciós együttható (mm^{-1} , cm^{-1} , m^{-1}).

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu(E)}{\rho} \frac{m}{l \cdot f}} = I_0 e^{-\mu d}$$

μ a tömegabszorpciós együttható (felület/tömeg)

$d = m/f$ a felületi sűrűség.

Felezési rétegvastagság:

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

β -sugarak abszorpciója

- A tömegabszorpciós koefficiens és a maximális béta-energia ($E_{\beta max}$) összefüggése különböző rendszám tartományokban:

$$Z < 13: \quad \mu = \frac{35Z}{M_a E_{\beta max}^{1,14}} \qquad Z > 13: \quad \mu = \frac{7,7Z^{0,31}}{E_{\beta max}^{1,14}}$$

M_a az abszorbens relatív atomtömege. Vegyületekre a komponensek tömegtörtjéből számolható (w):

$$\mu = \sum_{i \rightarrow 1}^n w_i \mu_i$$

Béta-sugarak abszorpciója: exponenciális függvény

Monoenergetikus (>0.2 MeV) elektron-sugárzás (pl. konverziós elektronok) – lineáris abszorpciós törvény

<0.2 MeV: az abszorpciós törvény többé-kevésbé eltér a lineáristól

Béta-sugárzás hatótávolsága

Empírikus formulák a különböző béta-energiákra pl.

$$E_{\max} < 0.2 \text{ MeV}$$

$$R = \frac{1}{1.500} E_{\max}^{\frac{5}{3}}$$

$$0.03 < E_{\max} < 0.15 \text{ MeV}$$

$$R = 0.15 E_{\max} - 0.0028$$

$$0.15 < E_{\max} < 0.8$$

$$R = 0.407 E_{\max}^{1.38}$$

$$E_{\max} > 0.8 \text{ MeV}$$

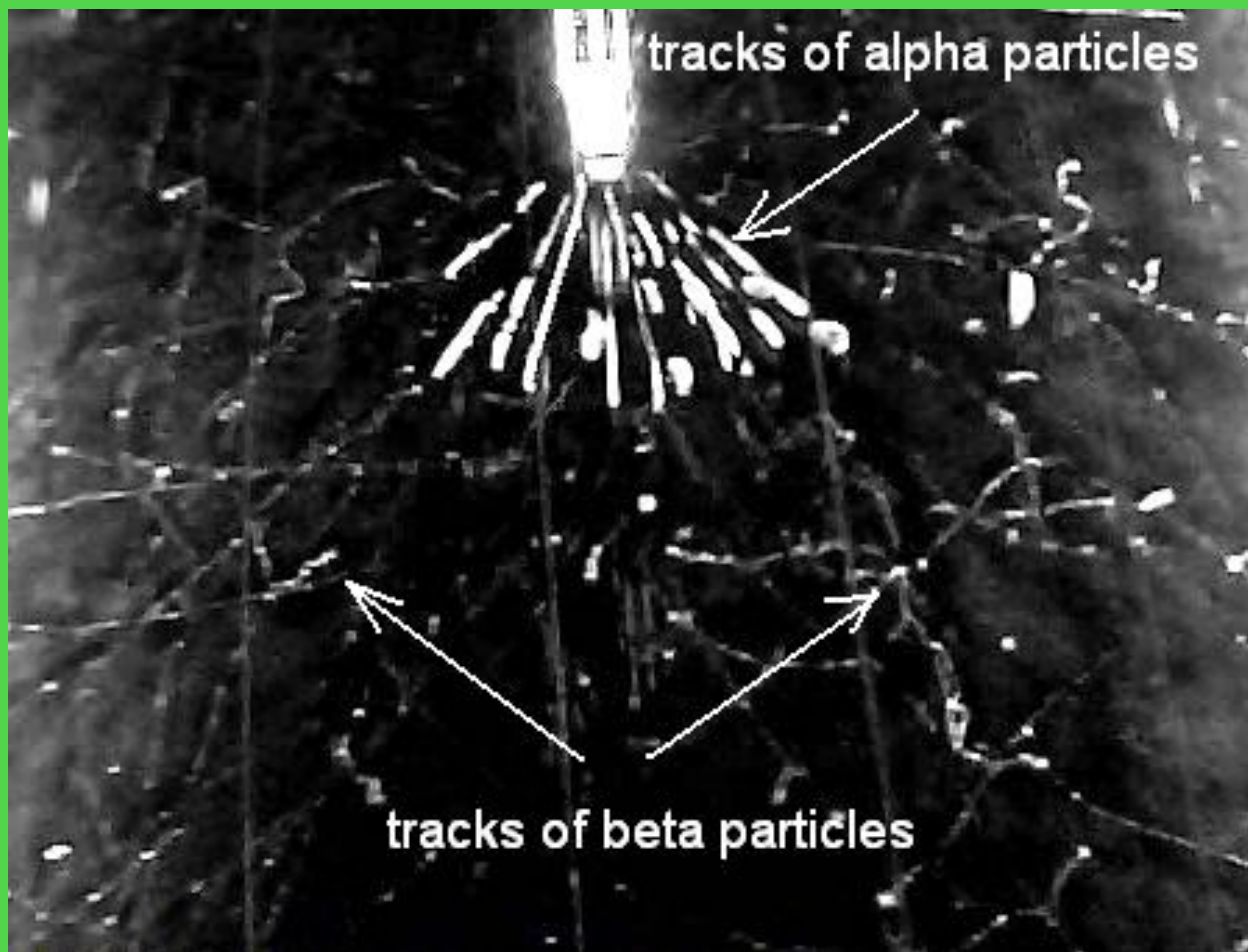
$$R = 0.524 E_{\max} - 0.133$$

$$E_{\max} > 1 \text{ MeV}$$

$$R = 0.571 E_{\max} - 0.161$$

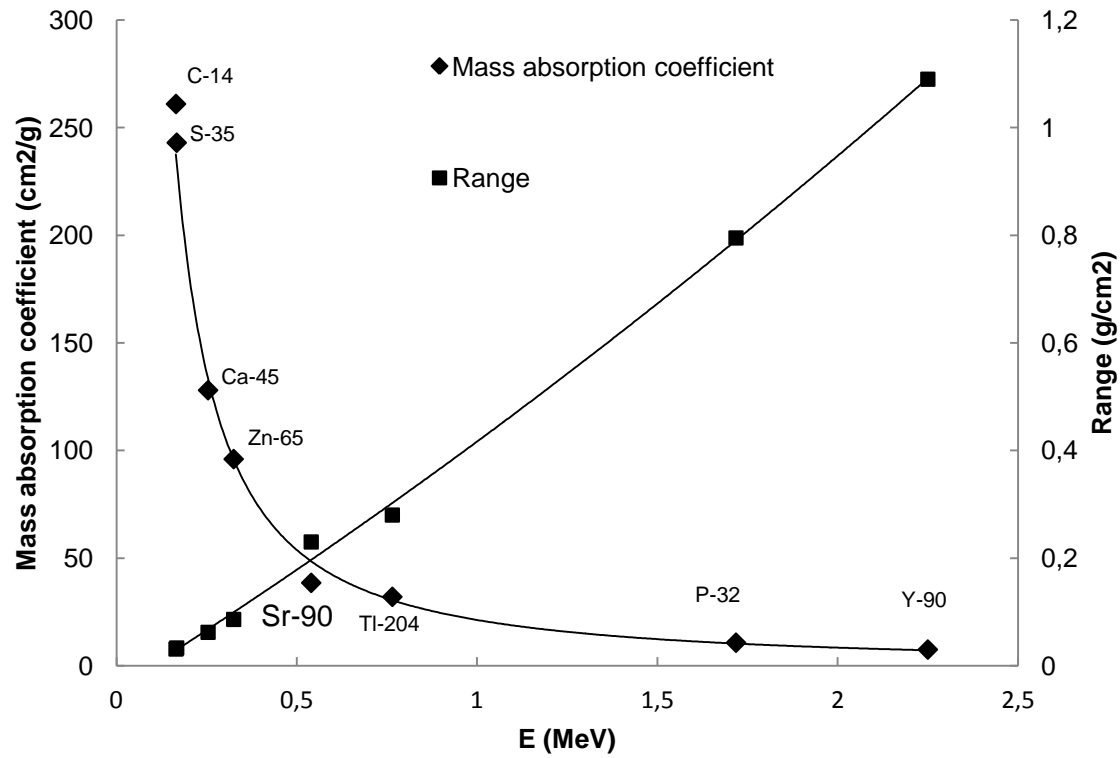
Dimenziók: g/cm² és MeV

De: a hatótávolság a rendszámtól is függ, ami itt nincs benne-a számított értékek ált. nagyobbak a reálisnál –ún. konzervatív becslésre jó!



Abszorpció több béta-sugárzó esetén

$$I = I_{10}e^{-\mu_1 d} + I_{20}e^{-\mu_2 d} + \dots + I_{n0}e^{-\mu_n d}$$



Béta-sugárzás önabszorpciója

- Állandó összaktivitás: a nagy energiájú, ún. kemény β -sugárzóknál. A minta teljes aktivitása állandó, csak a hordozó mennyisége változik.

d (g cm^{-2}) a minta rétegvastagsága

I_0 a teljes mintából a felületre mérőleges irányba elinduló sugárzás intenzitása (azaz a hordozómentes minta intenzitása)

I_0/d az egységnyi rétegvastagságból kiinduló sugárzás intenzitása

$I_0 dx/d$ dx elemi rétegvastagság kiinduló sugárzás intenzitása

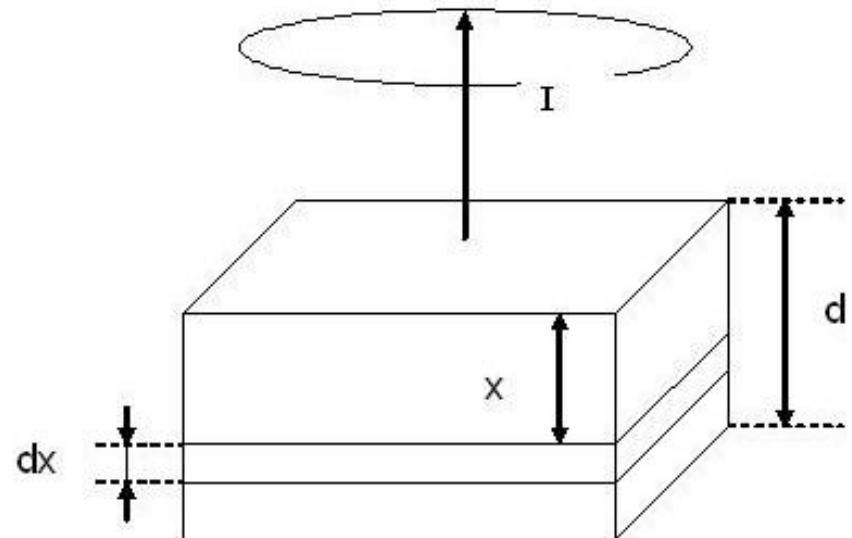
A felülettől x távolságban levő dx elemi rétegből eredő sugárzás a felületig eljutva abszorbeálódik és intenzitása csökken:

$$dI = \frac{I_0}{d} \exp(-\mu x) dx$$

μ a preparátum tömegabszorpciós koefficiense

x (g cm^{-2}) a dx réteg távolsága a felülettől

$$I = \frac{I_0}{\mu d} [1 - \exp(-\mu d)]$$



Béta-sugárzás önabszorpciója

✓ Állandó fajlagos aktivitás

I_0 és $I_0 \exp(-\mu d)$ az egységnyi rétegvastagságból a felület irányába elinduló ill. a felületre érkező sugárzás intenzitása.

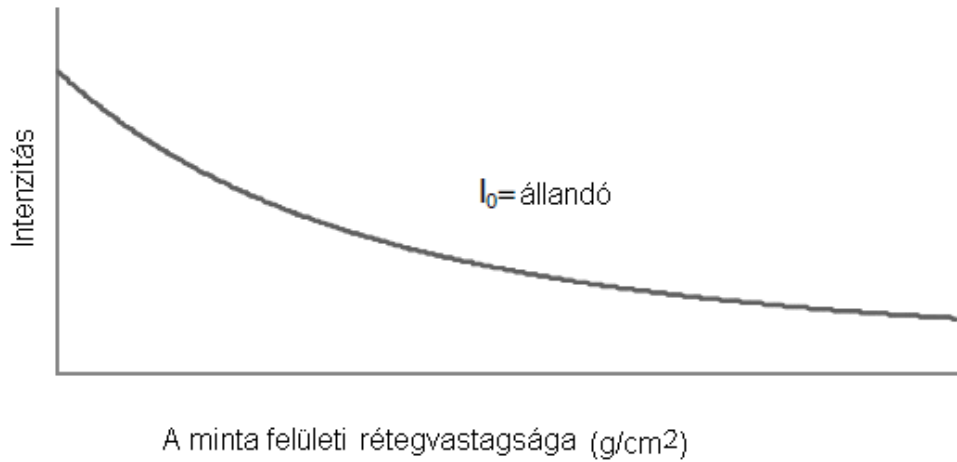
A teljes preparátumból időegység alatt a felületre érkező intenzitás:

$$I = \int_0^d I_0 \exp(-\mu x) dx = \frac{I_0}{\mu} [1 - \exp(-\mu d)]$$

$$I = I_\infty [1 - \exp(-\mu d)]$$

$$\frac{I_0}{\mu} = \text{állandó} = I_\infty$$

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$



Állandó összes aktivitás



Állandó fajlagos aktivitás

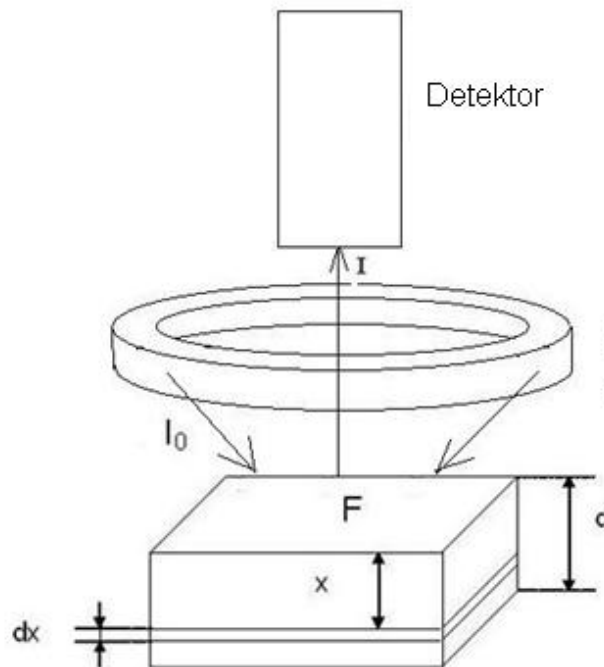
Béta-sugárzás visszaszórása

d a minta vastagsága, F a felülete, erre merőlegesen esik I_0 intenzitású β -sugárnyaláb (dimenziója intenzitás/felületi sűrűség)! Az abszorpció miatt x mélységben levő dx vastagságú felületelemre már csak

$$dI_x = I_0 e^{-\mu x}$$

intenzitású nyaláb érkezik. Ha ν az egységnyi vastagságú felületelemre érkező β -részecskéknek az a hányada, mely 180° -os szóródást - visszaszóródást - szenved, akkor a dx vastagságú felületelemre visszaszórt intenzitás:

$$\nu dI_x dx = \nu I_0 e^{-\mu x} dx$$



A béta-sugárzó az ólommal árnyékolt gyűrű alján helyezkedik el

Béta-sugárzás visszaszórása

A visszaszórt sugárzás az "x" vastagságú rétegen áthaladva még egyszer adszorpciót szenved. A visszaszórt sugárzás energiája kisebb lehet, mint az eredeti béta-sugárzásé, így a tömegabszorpciós együtthatók különbözhetnek (μ_{in}) és (μ_{out}). A két abszorpció eredő hatását kifejezhetjük: $\mu_{in} + \mu_{out} = \mu_b$.

A F felületre érkező sugárnyaláb intenzitása:

$$dI = \nu I_0 e^{-(\mu_{in} + \mu_{out})x} dx = \nu I_0 e^{-\mu_b x} dx$$

A teljes mintavastagságról visszaszórt intenzitás:

$$I = \int_0^d dI = \frac{\nu}{\mu_b} I_0 [1 - e^{-\mu_b d}]$$

Béta-sugárzás visszaszórása

A visszaszórt sugárzás maximális értéke végtelen vastag minta esetében:

$$I_{\infty} = I_0 \frac{\nu}{2\mu}$$

A β -sugárzás visszaszóródását a vizsgálandó anyagról az Rf visszaszórási együtthatóval fejezhetjük ki:

$$Rf = \frac{I_{\infty}}{I_0}$$

Rf értékek és a rendszám (Z) kapcsolata – empirikus összefüggések, pl. :

$$I_{\infty\omega} = k_1 Z^{k_2}$$

$I_{\infty\omega}$ a szórt intenzitás egy adott szögnél, $k_1 = \frac{0.0415 I_{\infty\omega}}{2\pi}$ $k_2 = 2/3$.

Müller formula: $R = aZ + b$

a és b a periódusos rendszer egy-egy periódusában állandó.

Hidrogén – hipotetikus rendszám: -7.434.

Béta-sugárzás visszaszóródására jellemző állandók a Müller-formula alkalmazásához

Periódus	Z	a	b	R
II.	2-10	1.2311	-2.157	0.3-10.2
III.	10-18	0.96731	0.476	10.2-17.9
IV.	18-36	0.68582	5.556	17.9-30.3
V.	36-54	0.34988	17.664	30.3-36.6
VI.	54-86	0.26225	22.396	36.6-45

Béta-sugárzás visszaszórása

Vegyületekre, keverékekre az átlagrendszaómot vesszük figyelembe:

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i A_i Z_i}{\sum_{i=1}^n n_i A_i} = \sum_{i=1}^n x_i Z_i$$

Z_i a komponensek rendszáma, n_i az atomok száma, A_i az atomtömeg, x_i az i-dik atom tömegtörtje

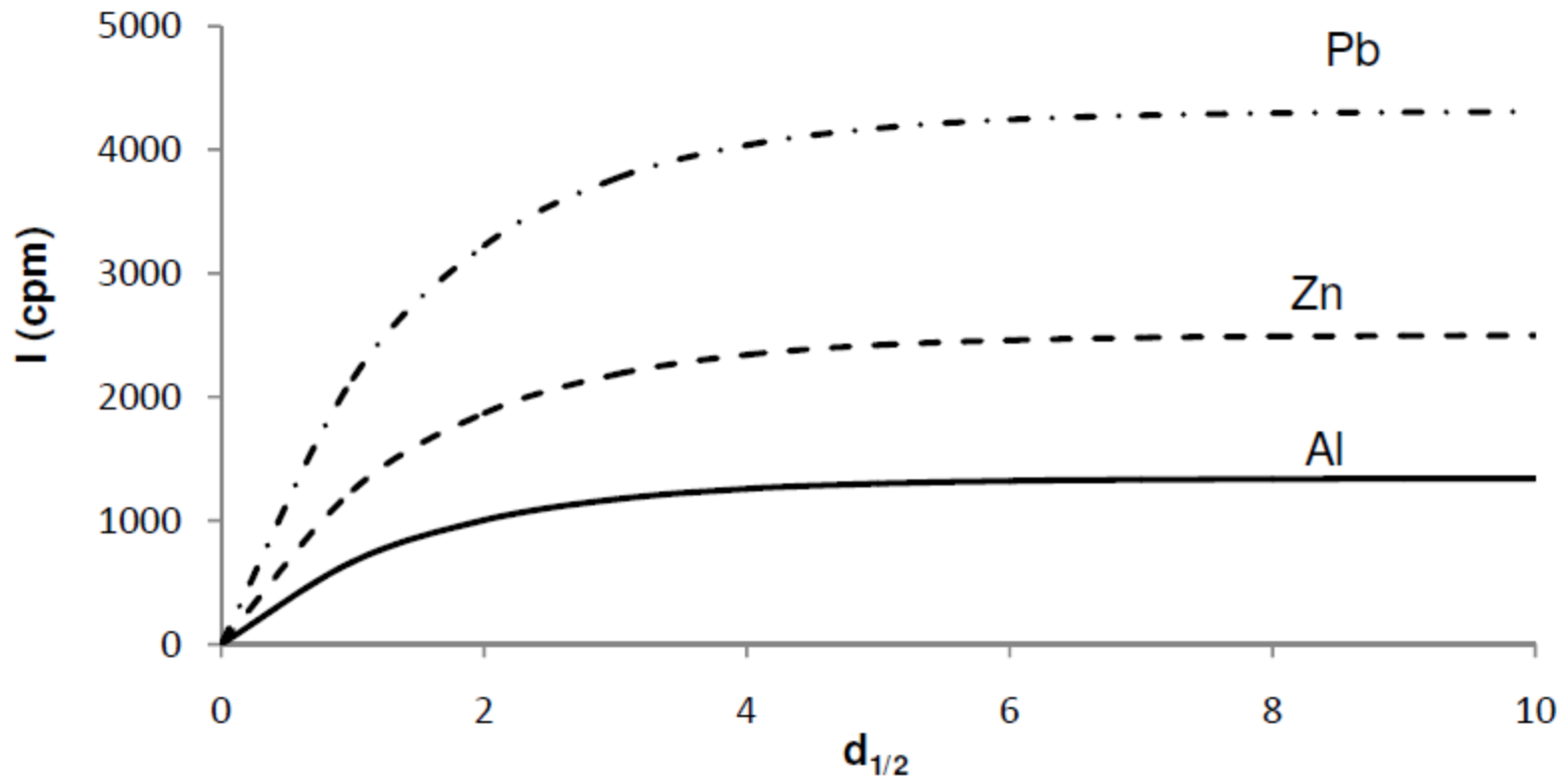
A visszaszórási egyenletek oldatokra is érvényesek, a $Rf - x_i$ függvény lineáris – koncentráció meghatározható

a függvényt $x_i=1$ -re extrapolálva a tiszta anyag Rf értéke megkapható

A béta-visszaszóráás alkalmazása:

1. rétegvastagság meghatározására (ipari alkalmazások, Radioanalitika)
2. vastag rétegre felvitt vékony bevonatok vastagságának meghatározására
3. átlagrendszaó meghatározására
4. oldatok koncentrációjának meghatározására

Béta-sugarak visszaszóródása



A sugárzás és az anyag kölcsönhatása

A gamma/röntgensugárzás és
anyag kölcsönhatása

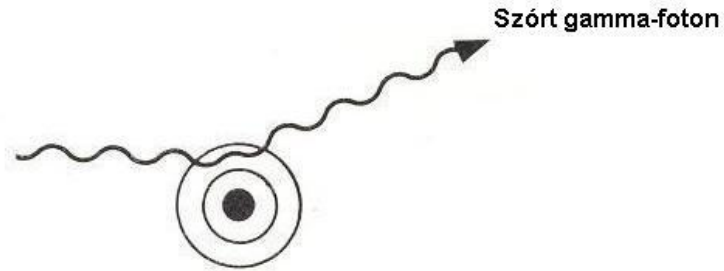
- Legfontosabb eltérés az α - és β -sugárzástól: nincs töltés és tömeg.
- Nagy energiájú elektromágneses sugárzások széles energiatartomány
 - Gamma: magátalakulásban keletkezik
 - Röntgen: elektronátmenetek váltják ki.
- A kölcsönhatások valószínűsége erősen energiatartományfüggő
- Fontos:
 - A szórások lényegesek; az energiától függően Rayleigh, Thomson és Compton-szórás a héjelektronokon, (γ, γ) és (γ, γ') reakciók a magban
 - A gamma/röntgen-fotonok közvetlenül nem ionizálnak, csak a kölcsönhatásban keletkező szekunder elektronok hoznak létre ionokat.

A kölcsönhatásba lépő anyagi rész	Abszorpció	Szóródás	
		Rugalmas	Rugalmatlan
Héjelektronok	Fotoeffektus $\sigma \sim Z^4$	Rayleigh-szóródás $\sigma \sim Z^2$	Compton-szóródás $\sigma \sim Z$
		Thomson-szóródás $\sigma \sim Z$	
Coulomb-tér	Pároképződés $\sigma \sim Z^2$		
Atommagok	fotomagreakciók (magfotoeffektus) $(\gamma, n); (\gamma, p)$ $\sigma \sim Z$	(γ, γ) magreakció $\sigma \sim Z$	(γ, γ') magreakció
	Rezonancia- abszorpció Mössbauer- spektrometria		

Kölcsönhatás a hélelektronokkal

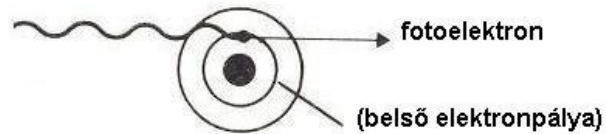
Koherens szórás

$$\sigma_{coh} \propto Z^2/E_\gamma$$



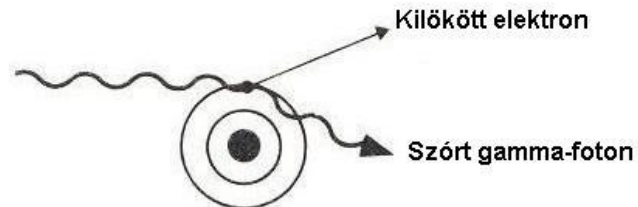
Fotoeffektus

$$\sigma_{phot} \propto Z^5/E_\gamma^{3.5}$$



Compton-szórás

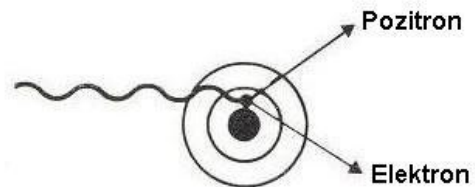
$$\sigma_{Comp} \propto Z/E_\gamma$$



Kölcsönhatás a mag erőterével

Párvépződés

$$\sigma_{pair} \propto Z^2/E_\gamma$$



Szóródások: rugalmas

Rayleigh-szórás

$< \sim 100$ keV, nehéz elemeken (ill. vegyületeiken), kis szöggel

Az elektromgneses tér polarizálja a héjelektronokat, dipólokat indukál, ami másodlagos sugárzást kelt e teljes térben

Rugalmas szórás

Thomson scattering

Röntgen- és gamma-sugárzásnál is megfigyelhető

Rugalmas szórás

A Rayleigh- és Thomson-szórás a hatáskeresztmetszet-rendszám függvényben tér el.