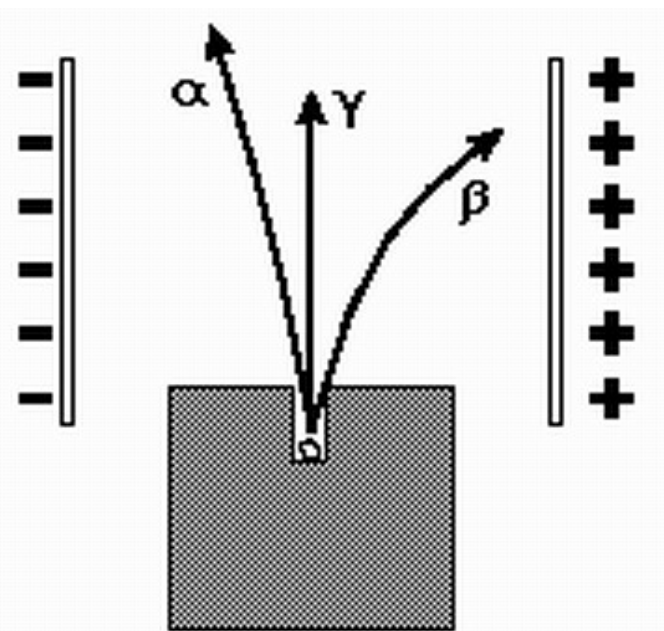
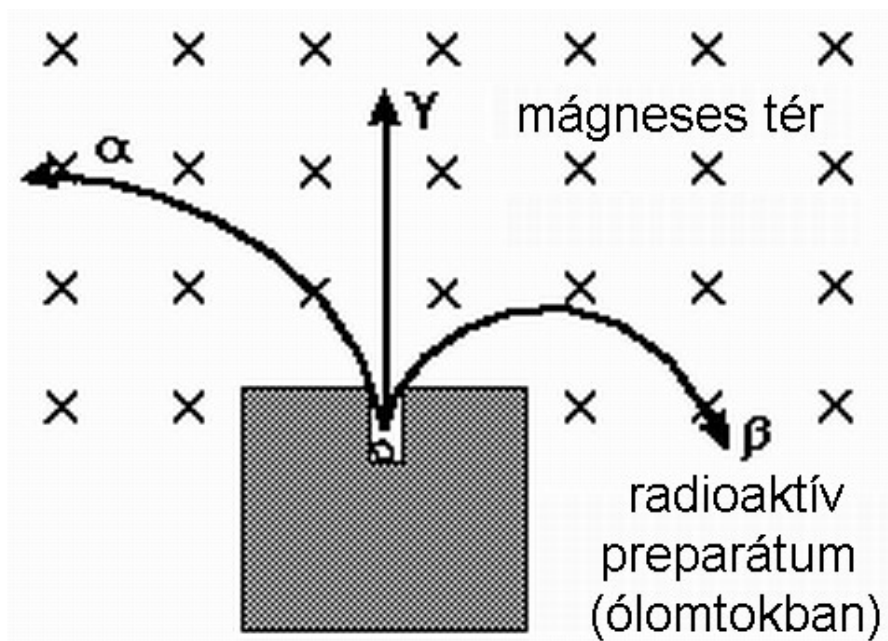
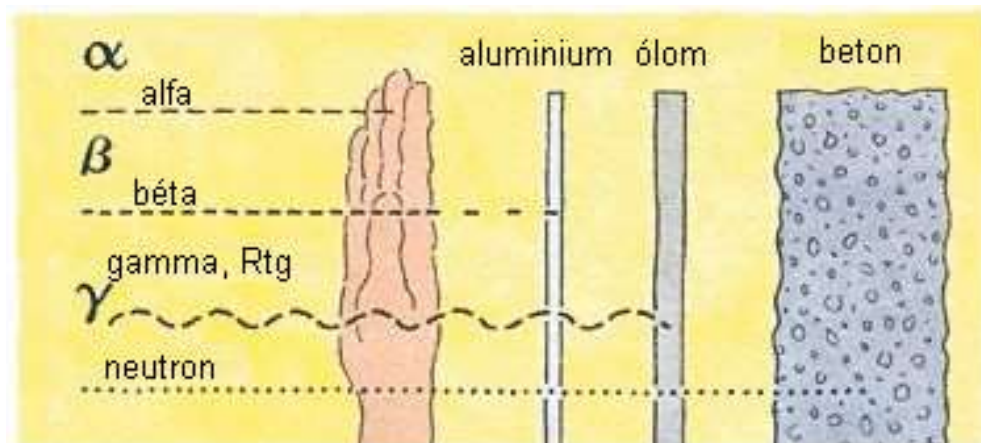
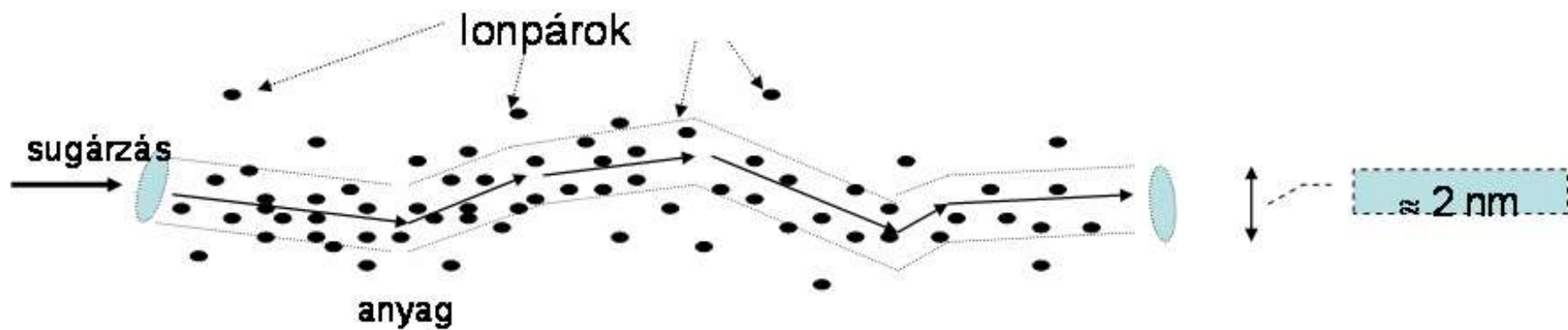


1. Az ionizáló sugárzások és az anyag kölcsönhatása



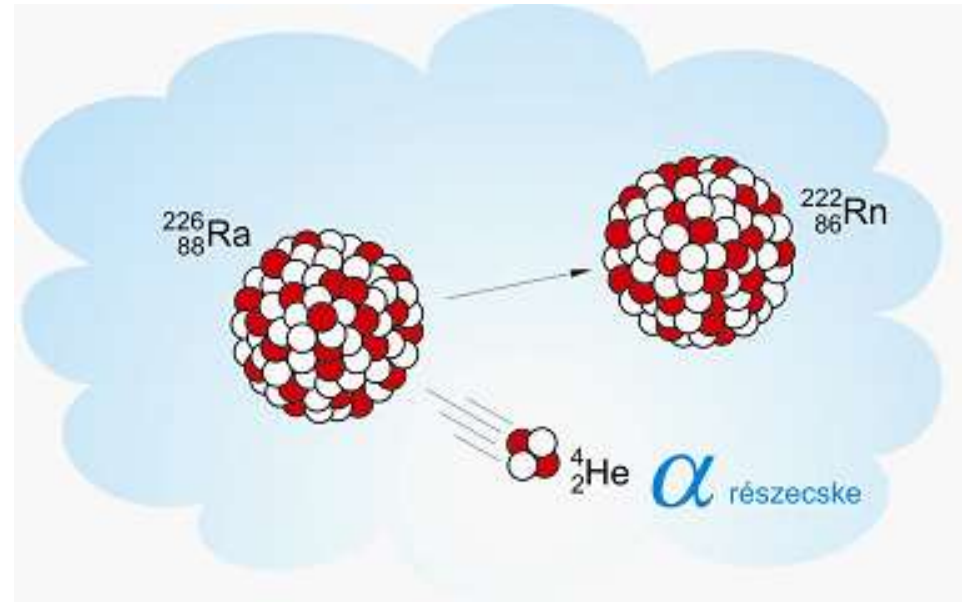
Az ionizáló sugárzások a hatásukat elsősorban az anyagban keltett ionizáció révén fejtik ki



levegőben (átlagosan) 1 ionpár keltéséhez $34 \text{ eV} = 5.4 \text{ aJ}$ energia szükséges

Alfa-sugárzás és az anyag kölcsönhatása

alfa-részecske: He atommag



elektromos töltése: $2e^+$

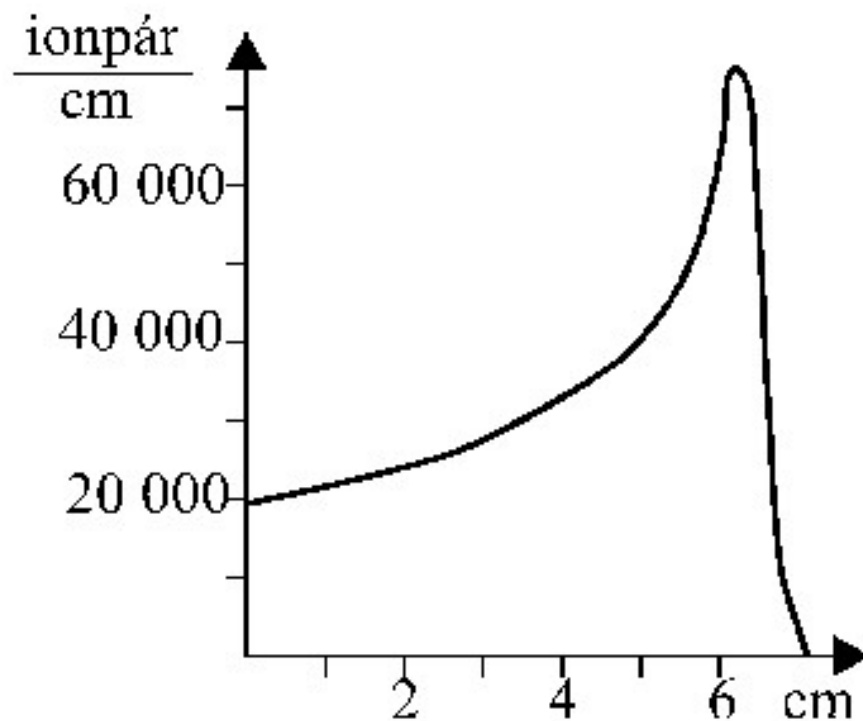
kezdő sebesség több mint 1000 km/s

kinetikus energia néhány MeV

ionizálóképesség jellemzése

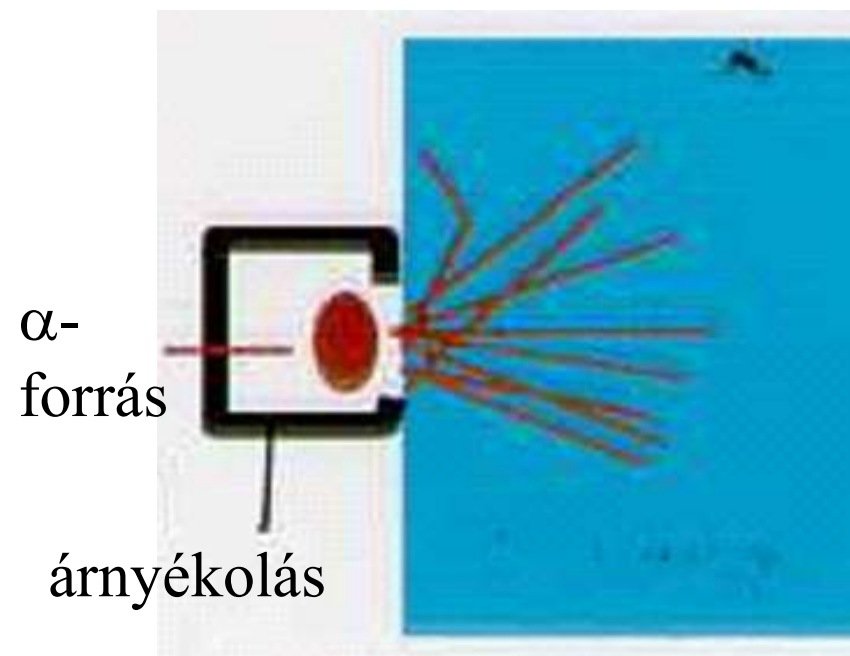
lineáris ionsűrűség (fajlagos v. specifikus ionizáció)

l hosszúságú úton n db ionpárt hoz létre



^{214}Po α -részecskéjének fajlagos ionizációja (levegő esetén) a megtett út függvényében
(Rontó - Tarján 3.1 ábra)

pályája egyenes
(v. atommagon szóródás)



hatótávolság (R, Reichweite): az a távolság, amit egy részecske a közegben befut, míg energiája a termikus értékre nem csökken

pl. Ra: R (levegőben) = 3.4 cm, R (folyadékban) = 10-100 μm

fékezőképesség: egységnyi úthosszra vonatkoztatott energia veszteség (*a közeg szempontjából*)

lineáris energia átadás (**LET**, Linear Energy Transfer)
(*a részecske szempontjából*)

$\text{LET} = (\text{lineáris ionsűrűség}) \cdot (1 \text{ ionpár keltésére jutó energia})$

egyéb hatások: (ionizáció/gerjesztések)

karakterisztikus röntgen-sugárzás

szcintilláció

biológiai: funkcionális és morfológiai elváltozások

végül: hő

atommaggal való ütközés: magreakció (kis valószínűséggel)

Béta-sugárzás és az anyag kölcsönhatása

béta-részecske: elektron
(vagy pozitron)

elektromos töltése: $1e^-$ (vagy $1e^+$)

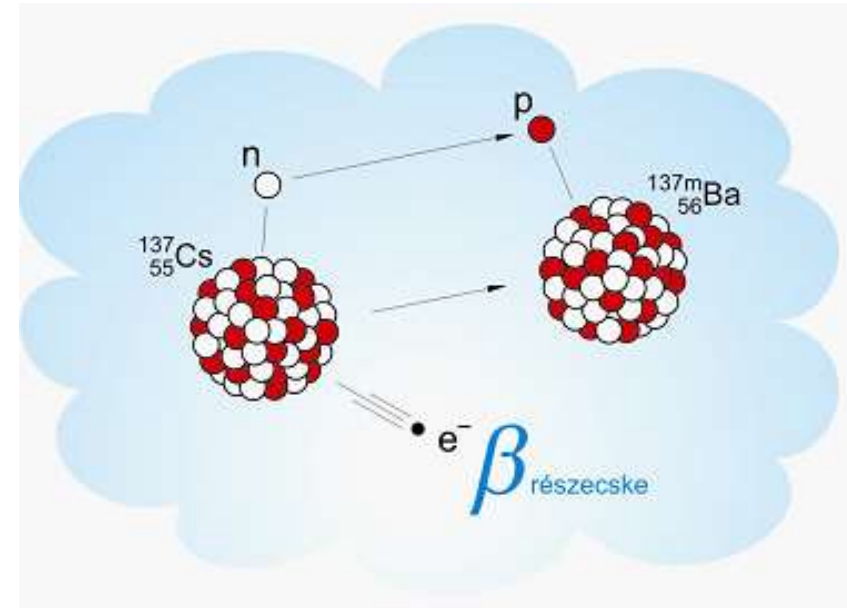
lineáris ionsűrűség: az alfaénál 1000-szer kisebb

pályája zezugos (az elektron szóródik az elektronokon),
visszaszórás is lehet

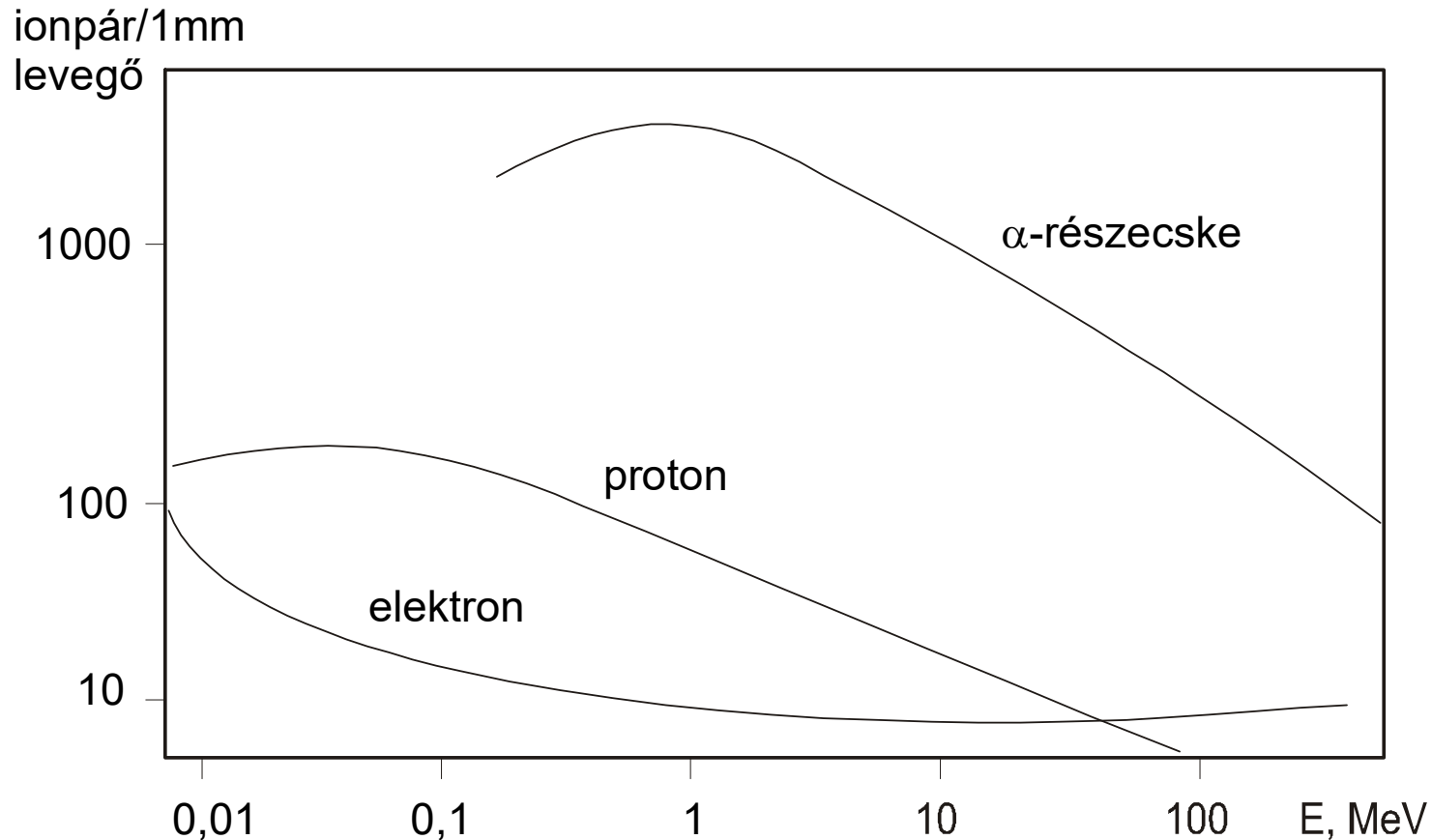
spektruma folytonos (antineutrínó!), így nincs egységes hatótávolság

levegőben: 10 cm- 1 m

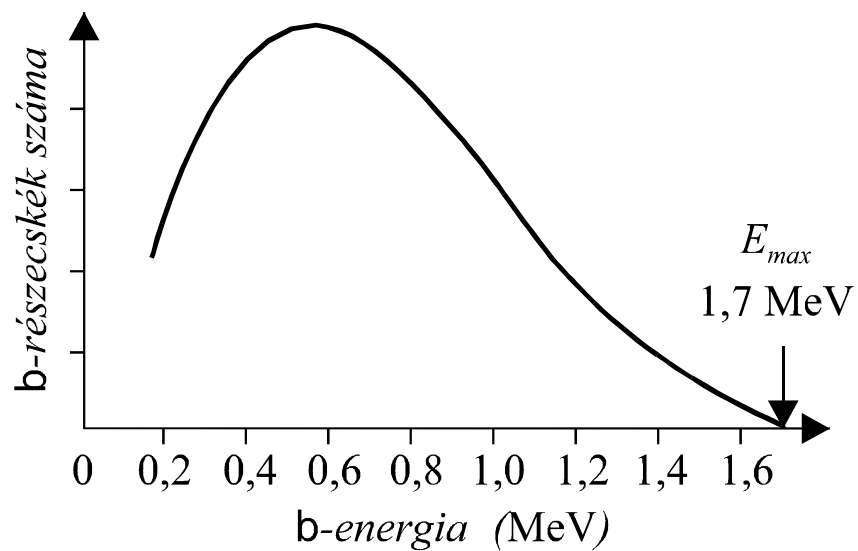
víz (szövet): 1 mm-1cm



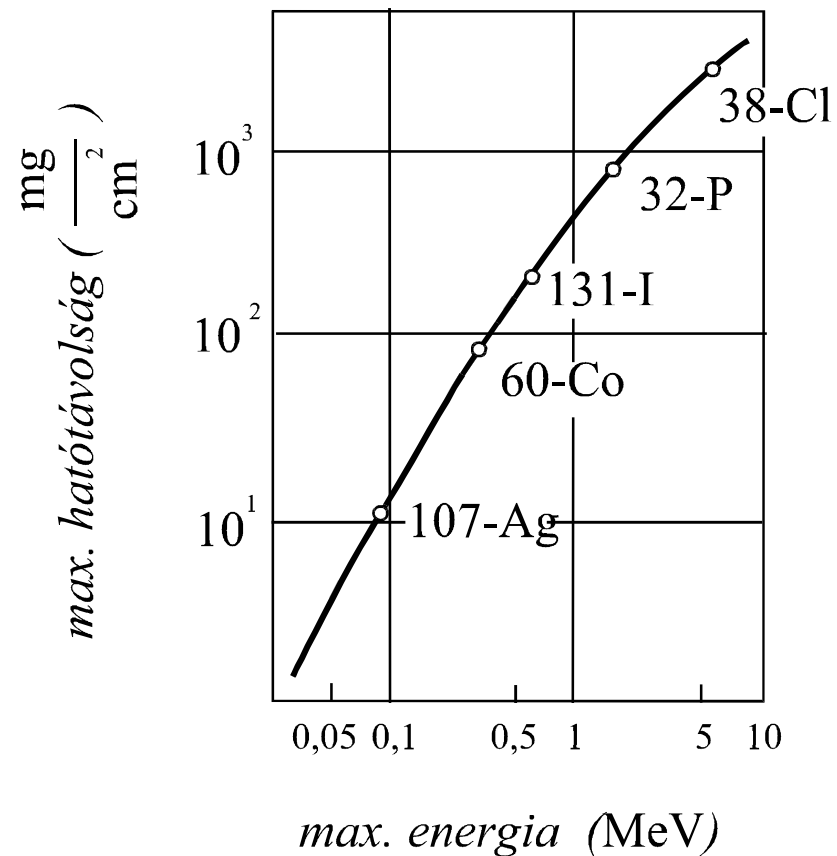
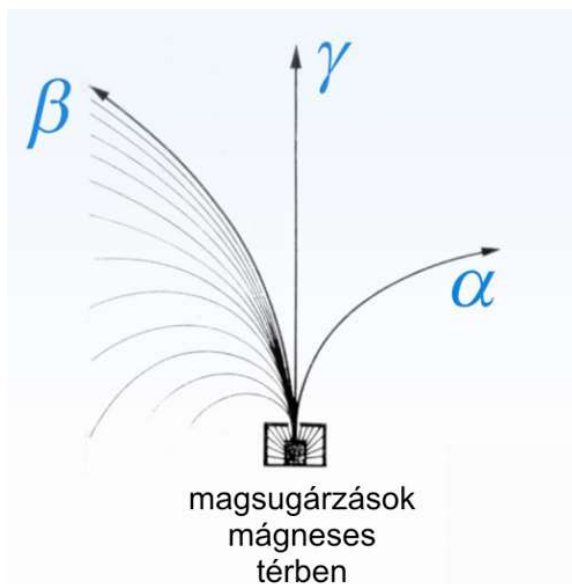
Töltéssel rendelkező részecskék fajlagos ionizációja levegőben



Az α -, a β - és a proton sugárzás átlagos fajlagos ionizációja a részecske energia függvényében, a levegőben

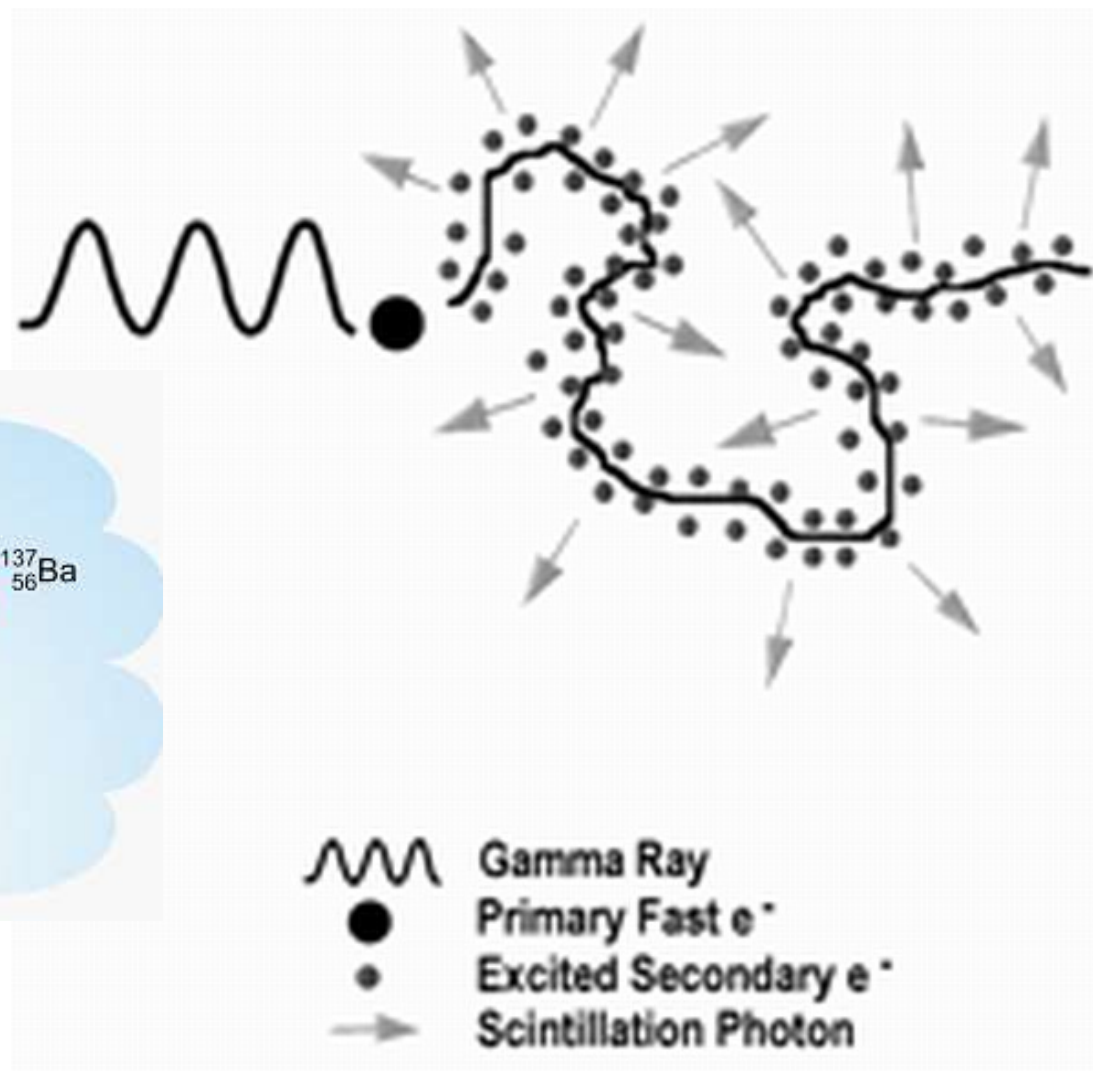
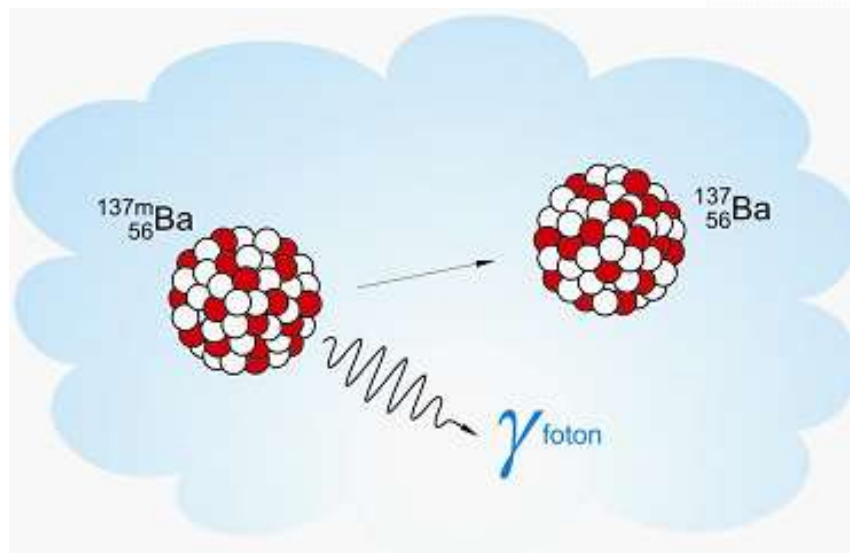


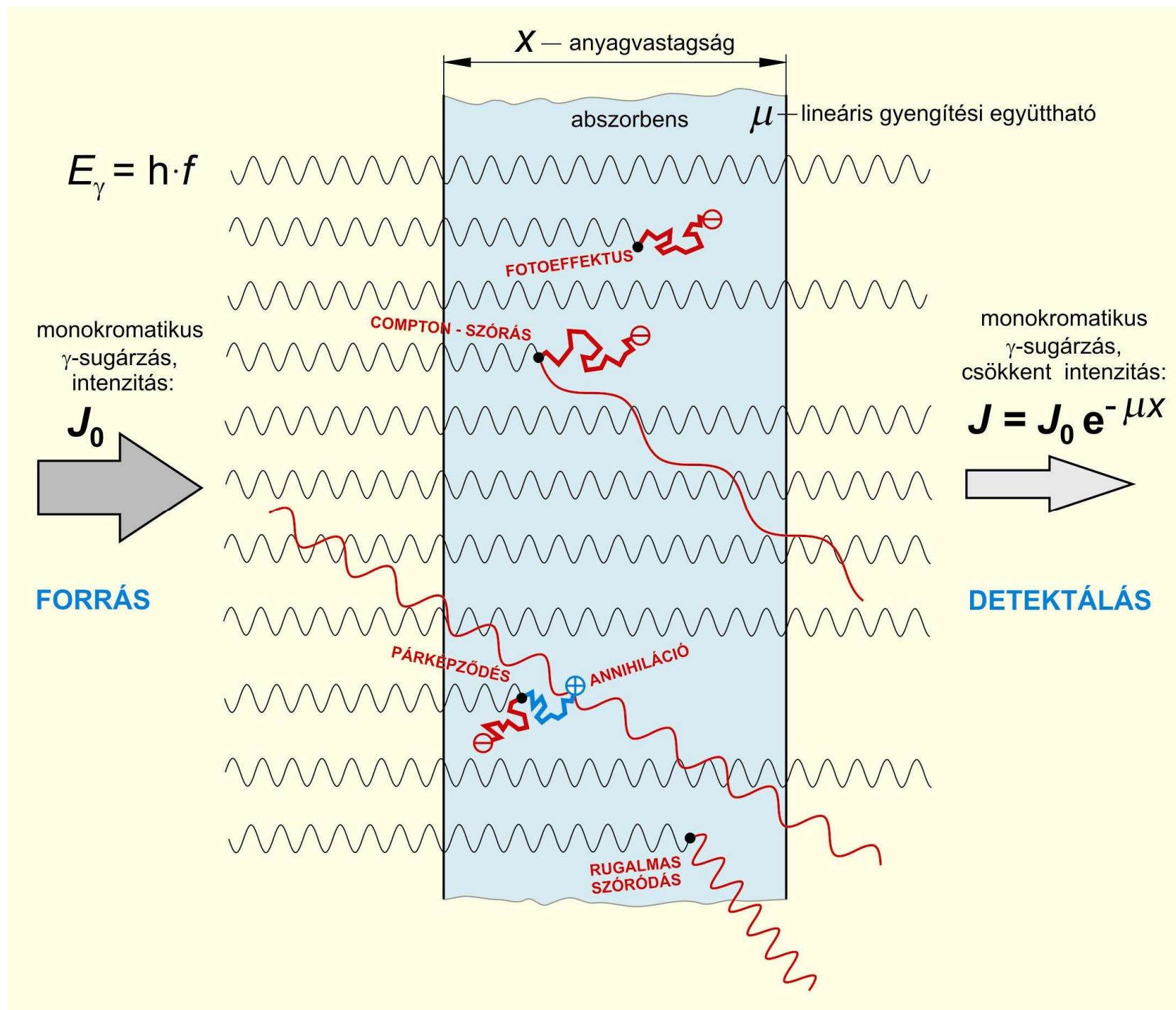
^{32}P β -spektruma
(Rontó - Tarján 3.2 ábra)

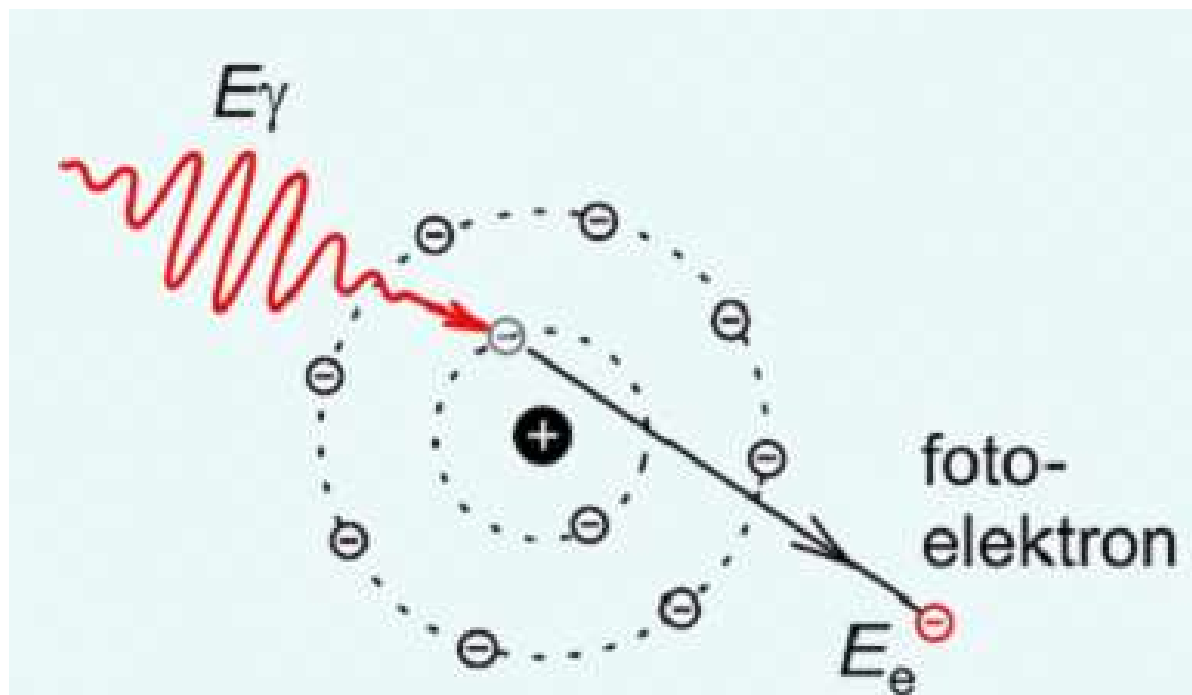


β sugárzás maximális
hatótávolsága a maximális
energia függvényében
(Rontó - Tarján 3.3 ábra)

Gamma/röntgen-sugárzás anyaggal való kölcsönhatása



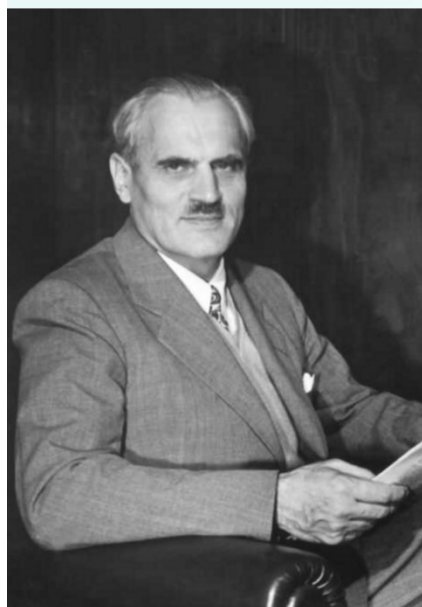
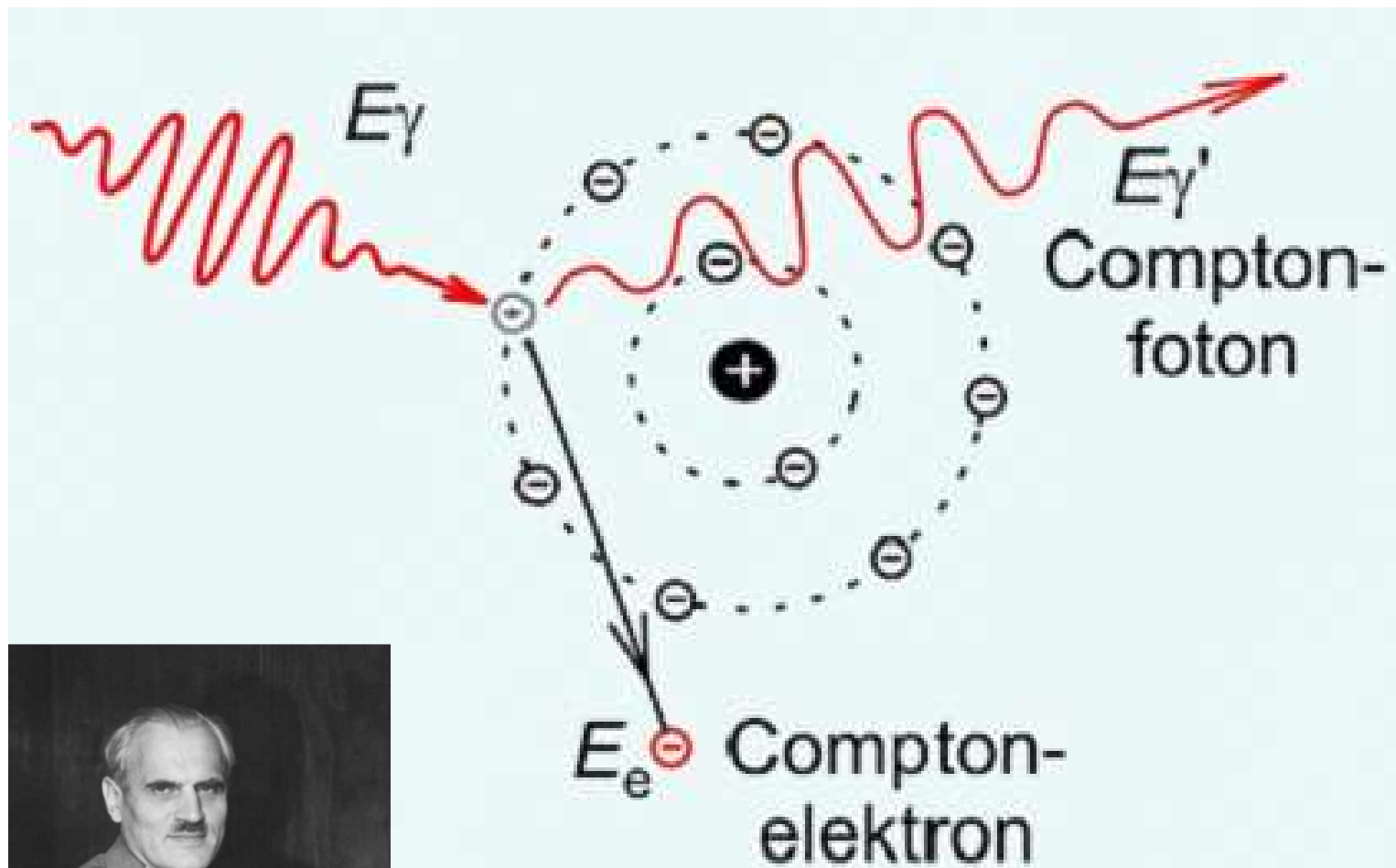




fotoeffektus

$$E_\gamma = A + E_e$$

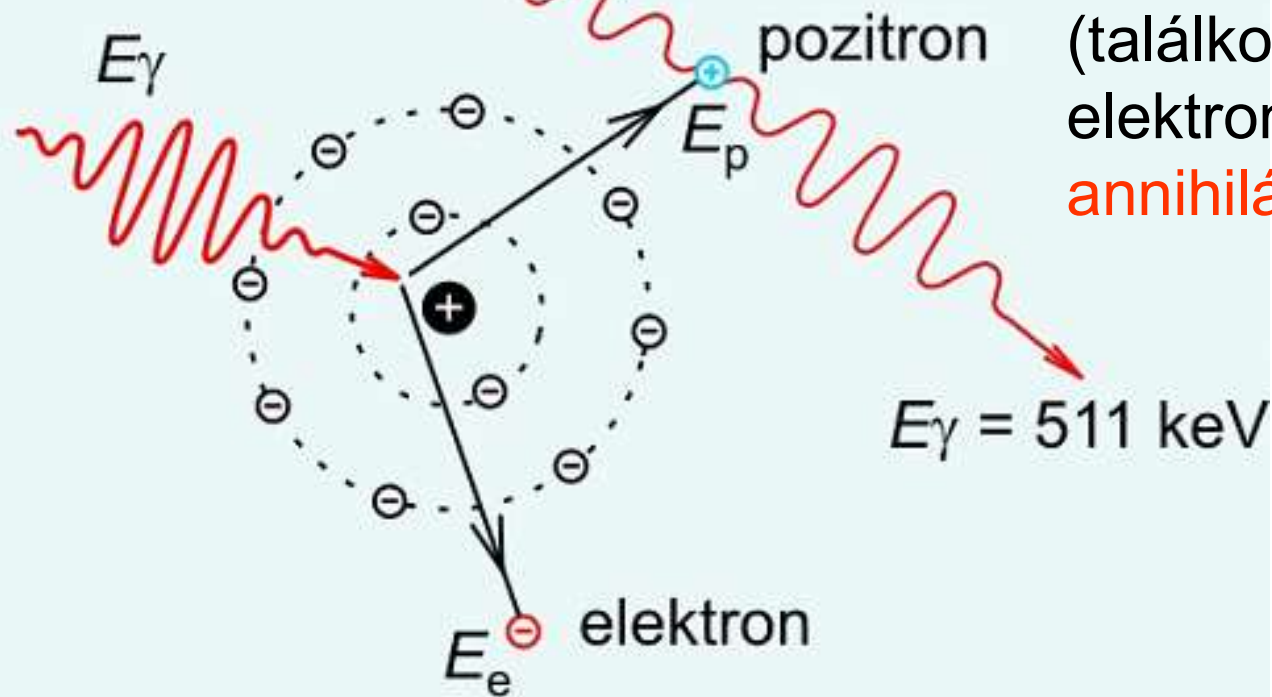
A = kilépési munka



Compton-szórás

$$E_\gamma = A + E_e + E_\gamma'$$

$$E_\gamma = 511 \text{ keV}$$



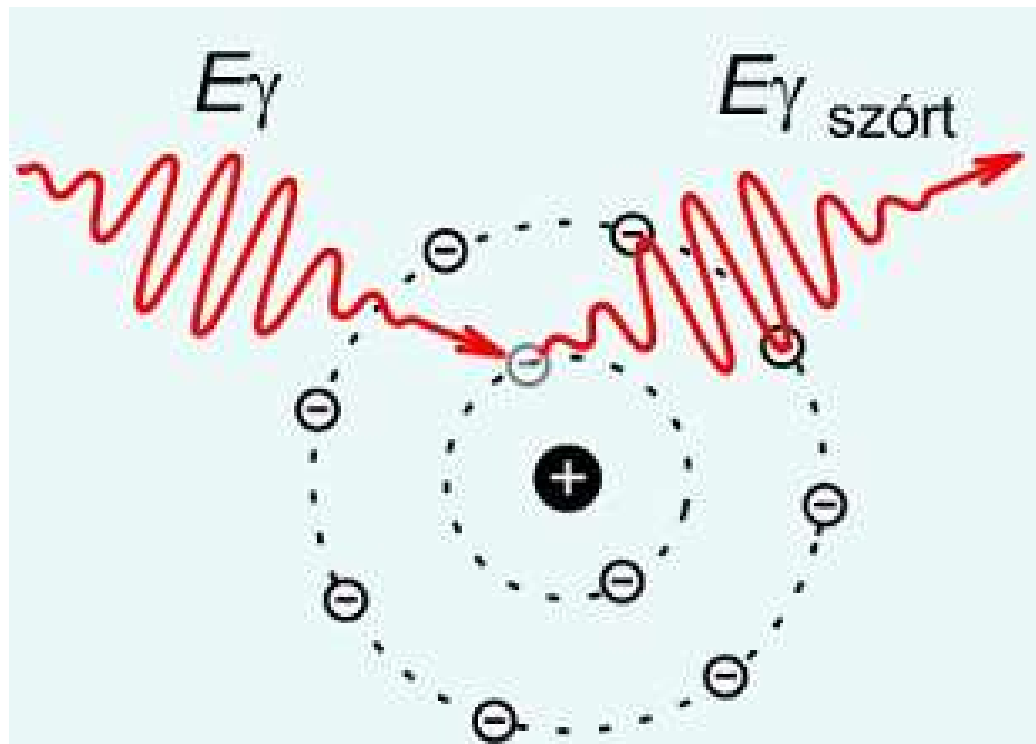
(találkozik egy
elektronnal)

annihiláció

párképződés

$$E_\gamma = 2 m_e c^2 + E_e + E_p$$

(ha $E_\gamma > 1022 \text{ keV}$)



rugalmas
szóródás

$$E_\gamma = E_\gamma \text{ szórt}$$

A sugárzás leírására használható fizikai mennyiségek

energia

$$E \quad [\text{J}]$$

teljesítmény

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W} \right]$$

intenzitás

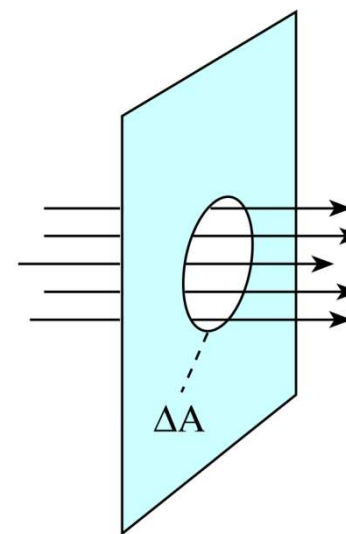
$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

energia áram

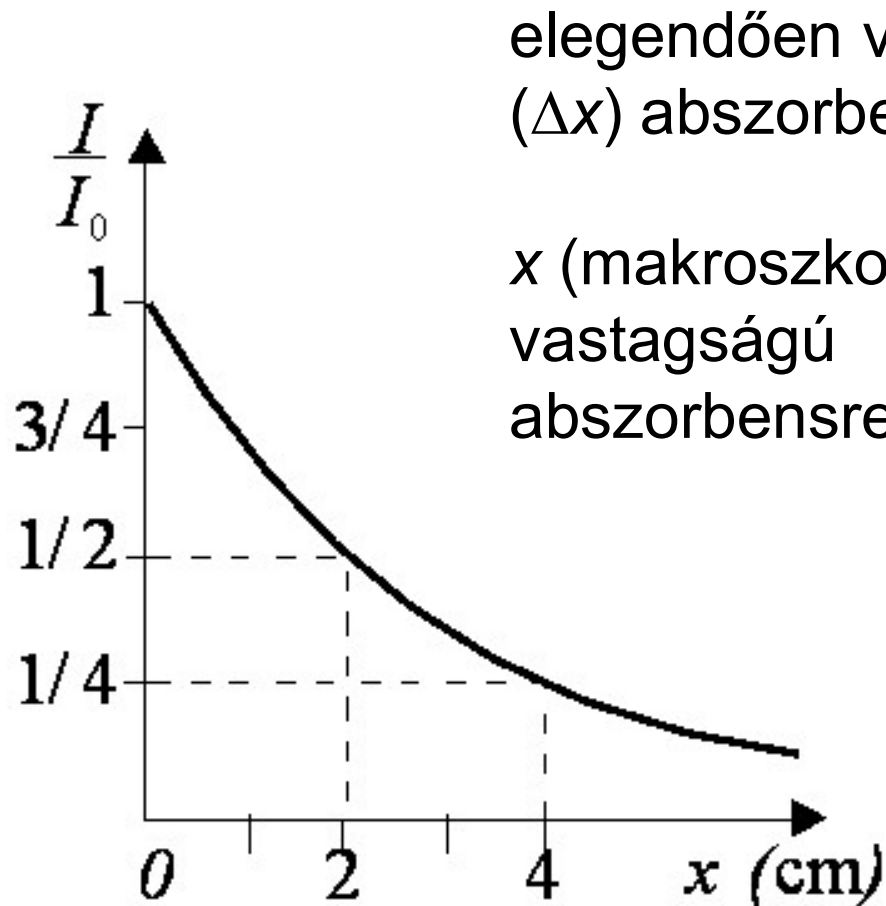
(Power)

spektrum is!

$$2.6 \cdot 10^{21} \cdot 1 \text{ eV} \stackrel{?}{=} 2.6 \cdot 10^{17} \cdot 10^4 \text{ eV}$$



A sugárintenzitás gyengülése



elegendően vékony
(Δx) abszorbensre:

$$\Delta J = -\mu J \Delta x$$

$$\frac{\Delta J}{\Delta x} = -\mu J$$

x (makroszkopikus)
vastagságú
abszorbensre:

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

μ : gyengítési
együttható

$$\mu = \frac{0,693}{D}$$

pl. $D = 2$ cm

D felezési rétegvastagság

A sugárintenzitás gyengülése

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

$$J = J_0 e^{-\mu_m x_m}$$

$$\mu = \mu(Z, \rho; \varepsilon)$$

$$\mu_m = \mu_m(Z; \varepsilon)$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

gyengítési
együttható

tömeg-
gyengítési
együttható

$$\mu = \frac{0,693}{D}$$

$$\mu_m = \frac{0,693}{D_m}$$

részleges gyengítési eh.-k

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

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

a kitevő:

$$-\mu X = -\mu_m \underset{\substack{\uparrow \\ \text{sűrűség}}}{\rho} X = -\varepsilon^* \underset{\substack{\uparrow \\ \text{moláris} \\ \text{konc.}}}{c} X = -\sigma \underset{\substack{\uparrow \\ \text{részecske} \\ \text{konc.}}}{n} X$$

$$\mu = \mu(Z, \rho; \varepsilon)$$

gyengítési együttható, 1/cm

$$\mu_m = \mu_m(Z; \varepsilon)$$

tömeggyengítési együttható, cm²/g

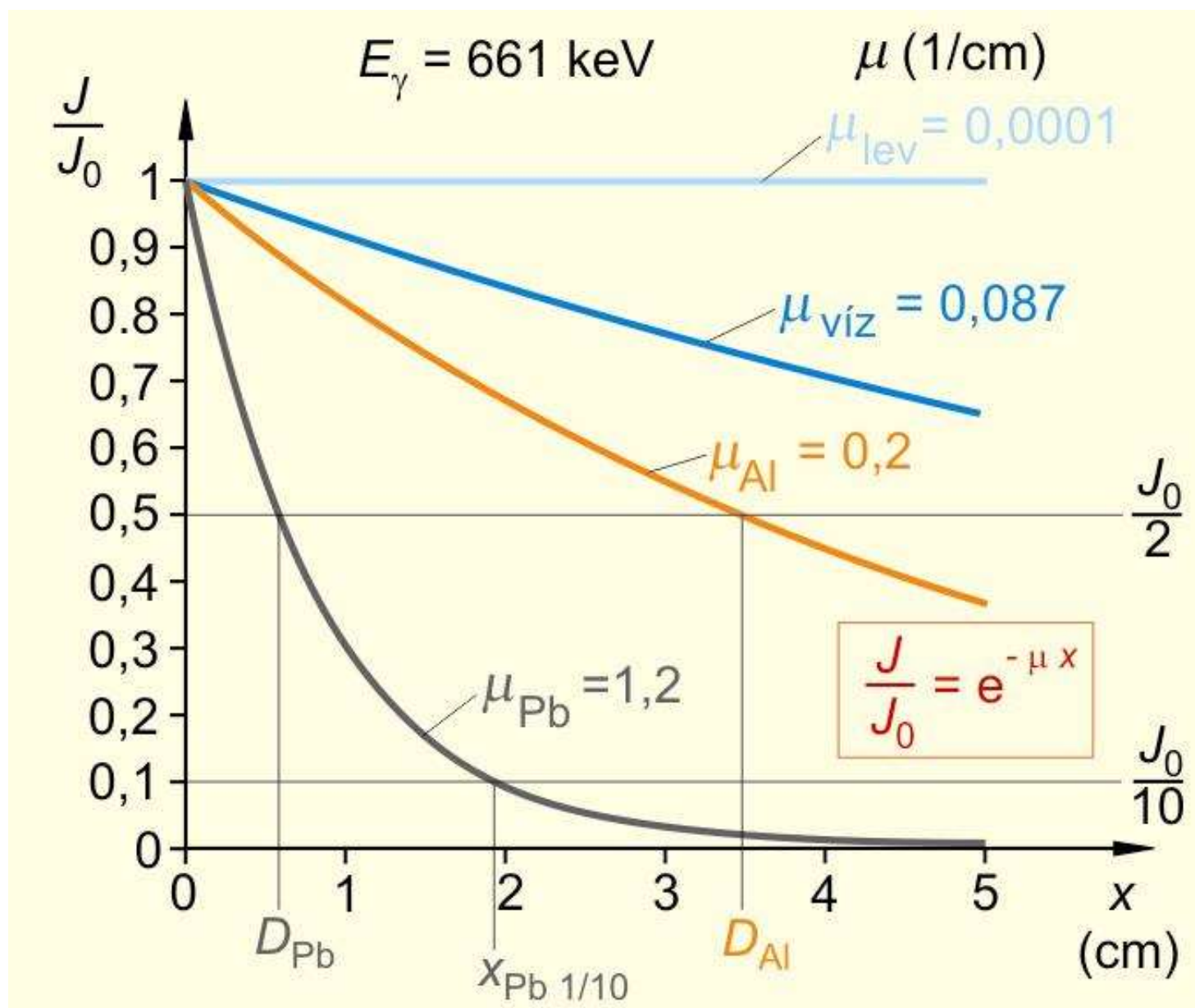
$$\varepsilon^*$$

moláris extinkciós együttható,
L/(mol*cm)

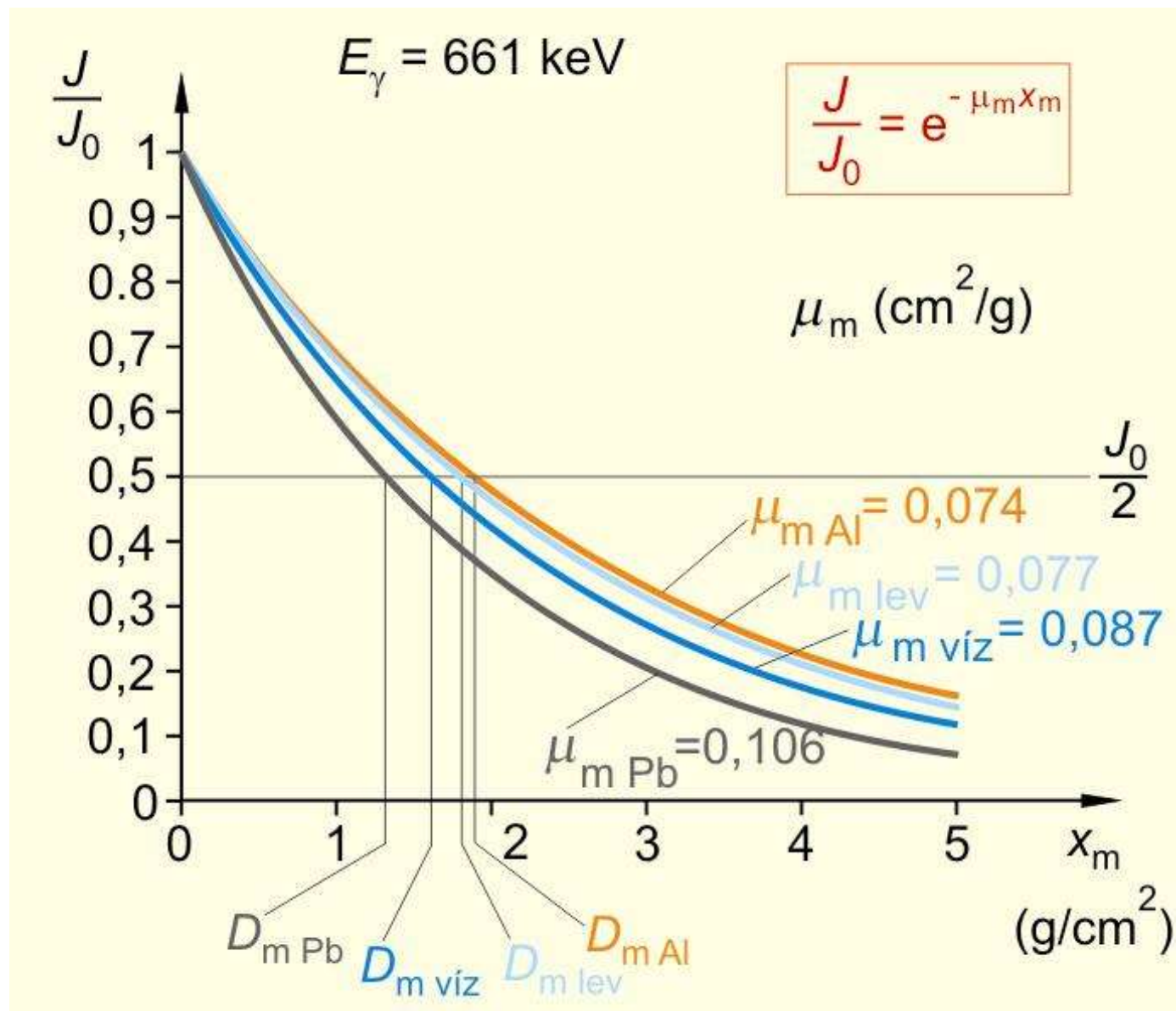
$$\sigma$$

hatáskeresztmetszet, cm²

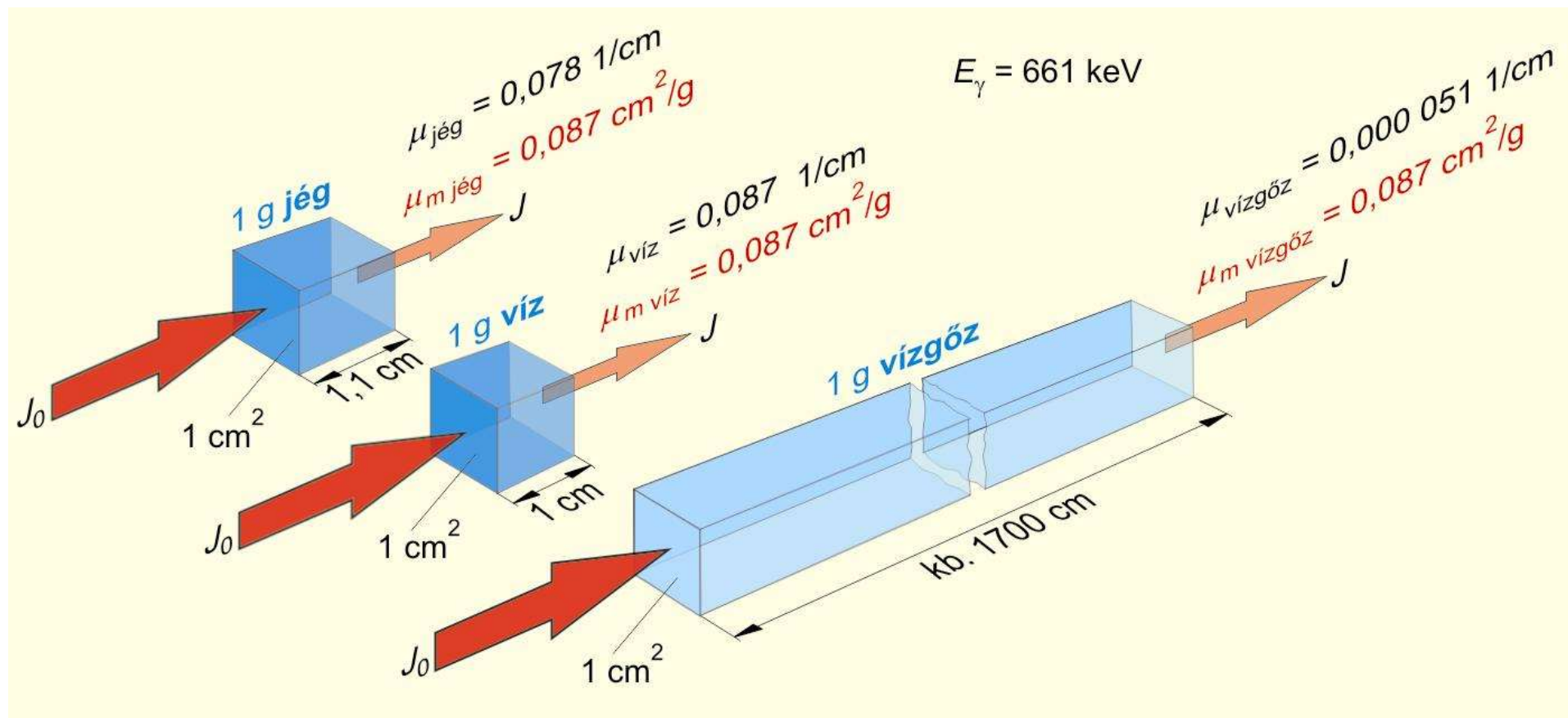
Gyengítési együttható



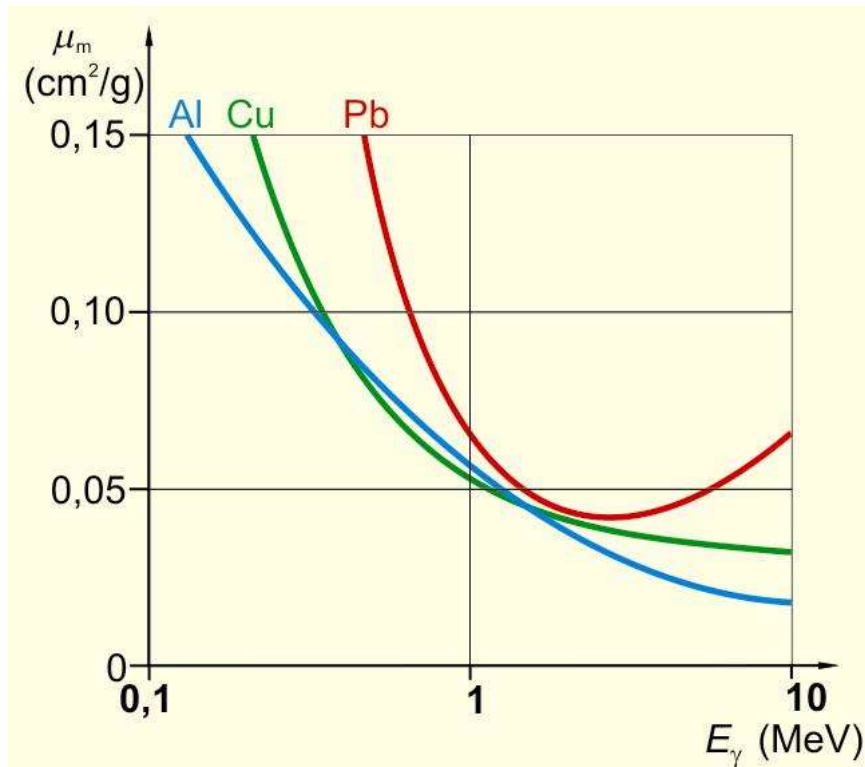
Tömeggyengítési együttható



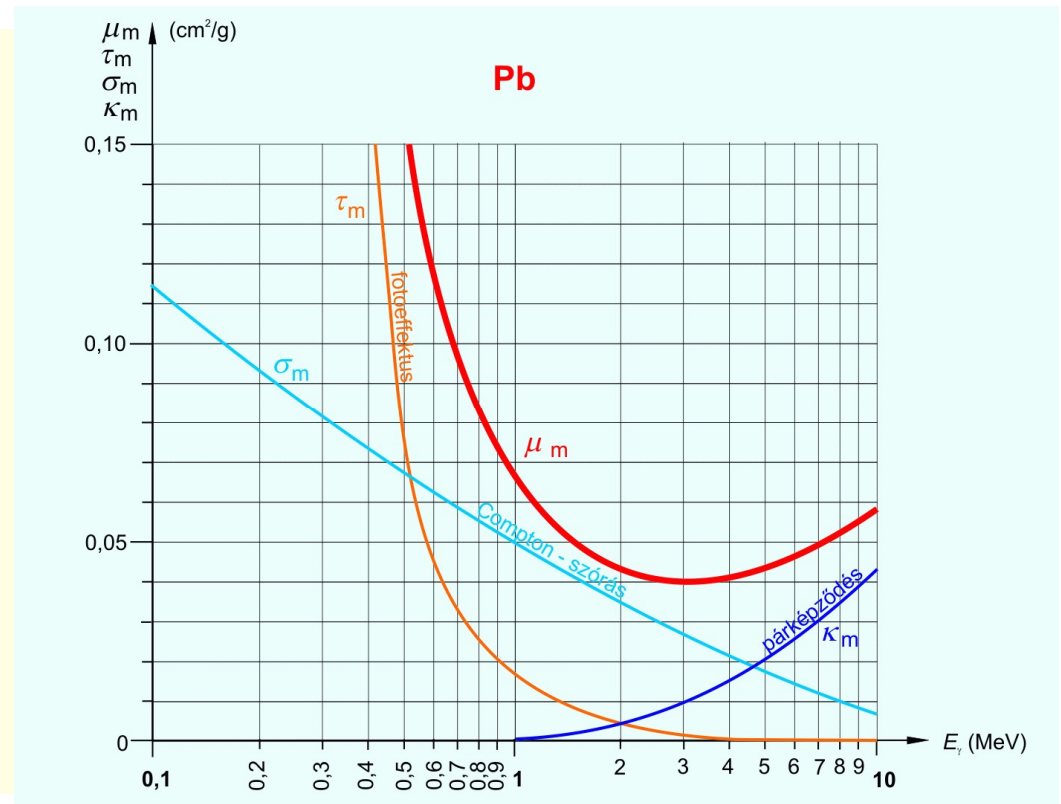
Gyengítési/tömeggyengítési együttható



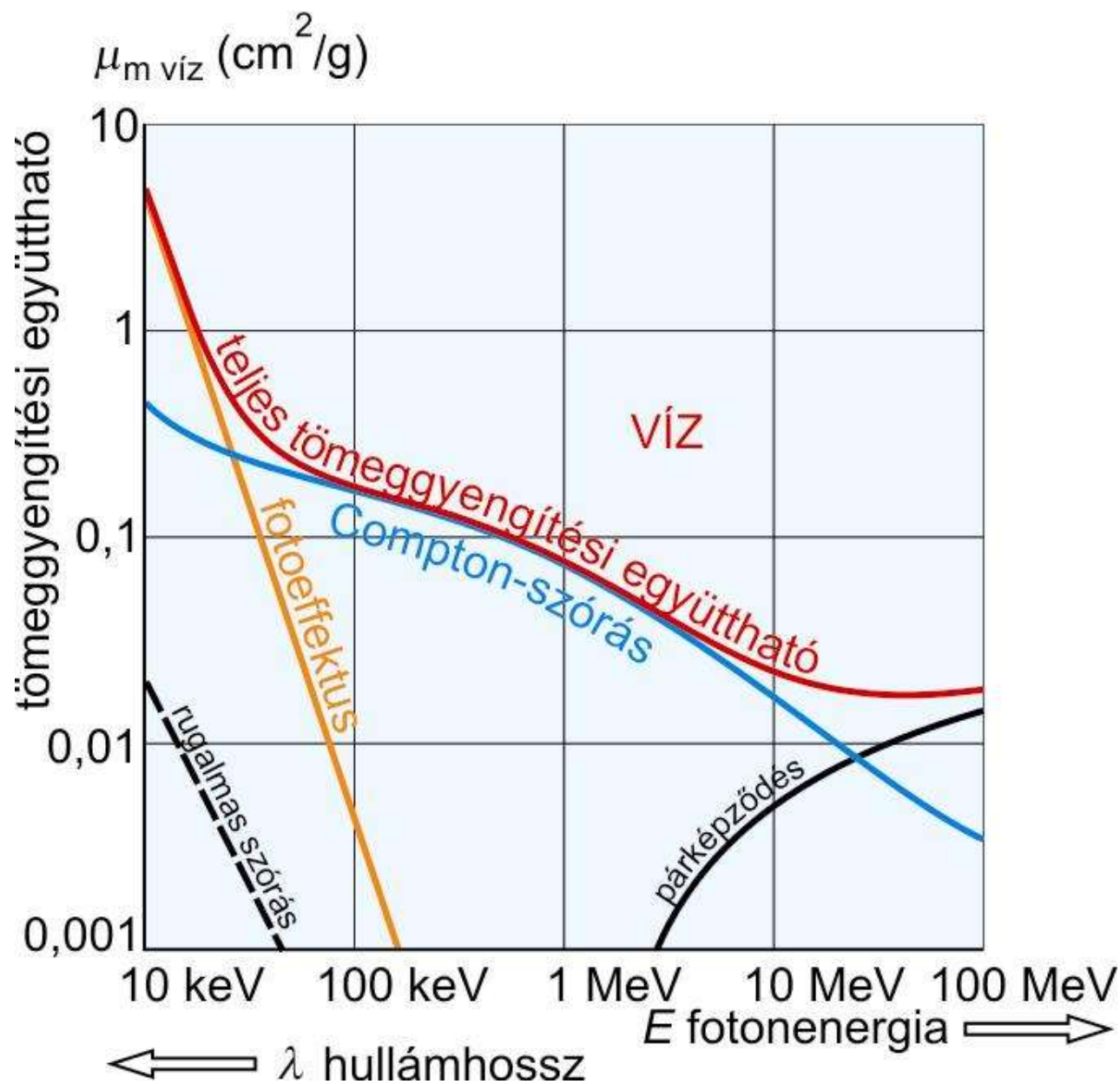
μ_m fotonenergiától és az abszorbens minőségétől való függése

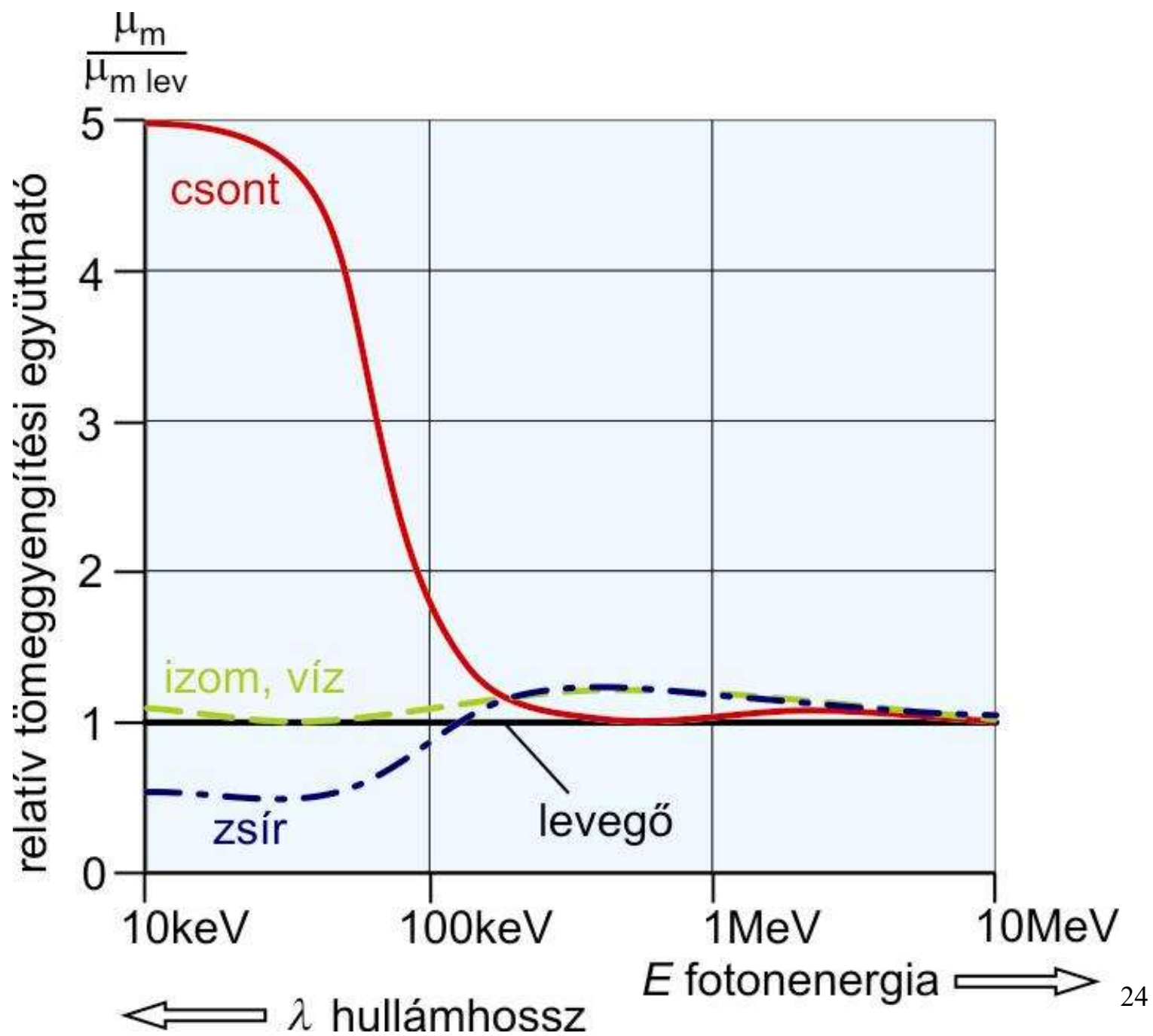


μ_m részfolyamatainak fotonenergiától való függése ólom esetén



μ_m részfolyamatainak fotonenergiától való függése víz esetén

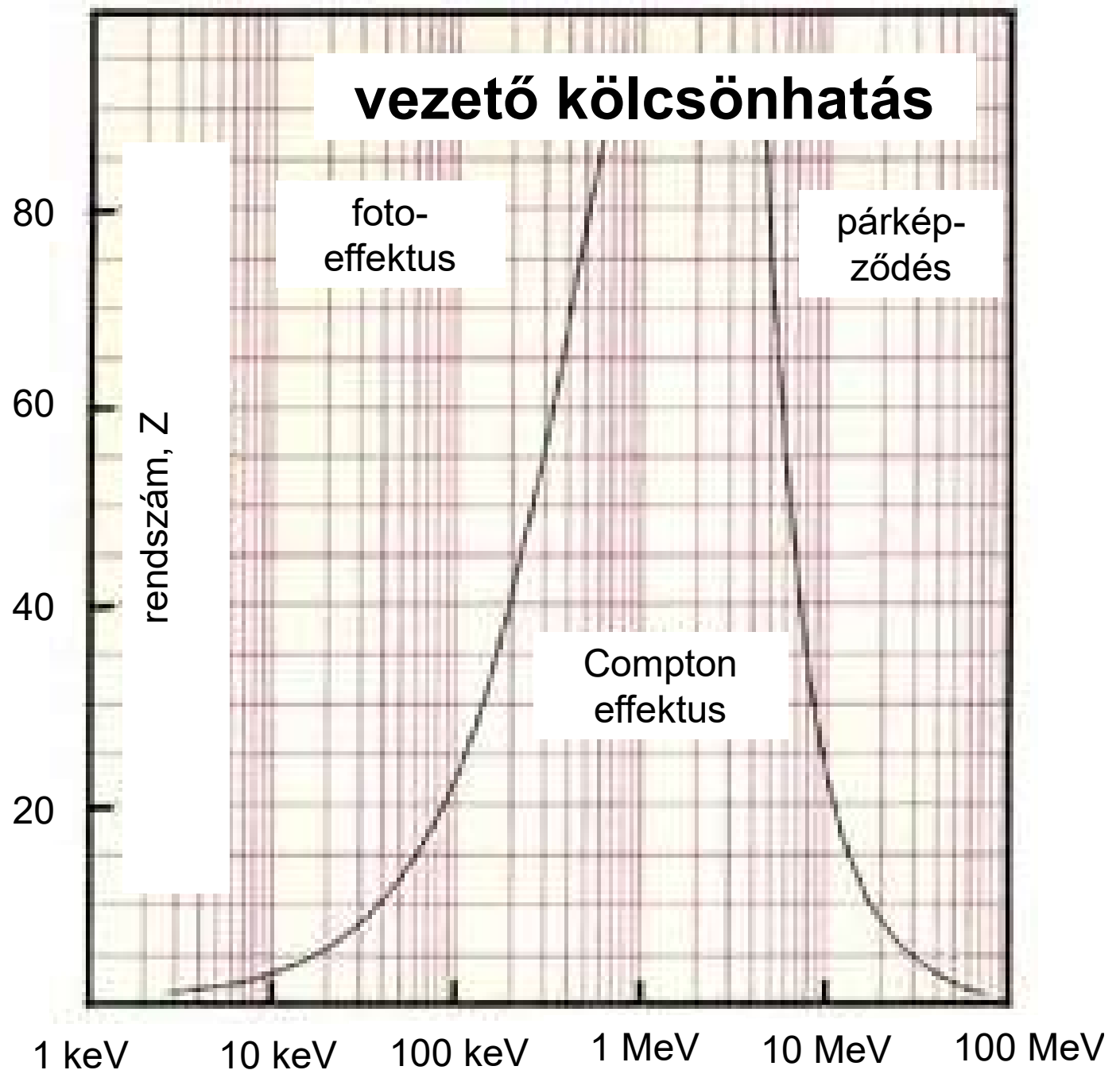




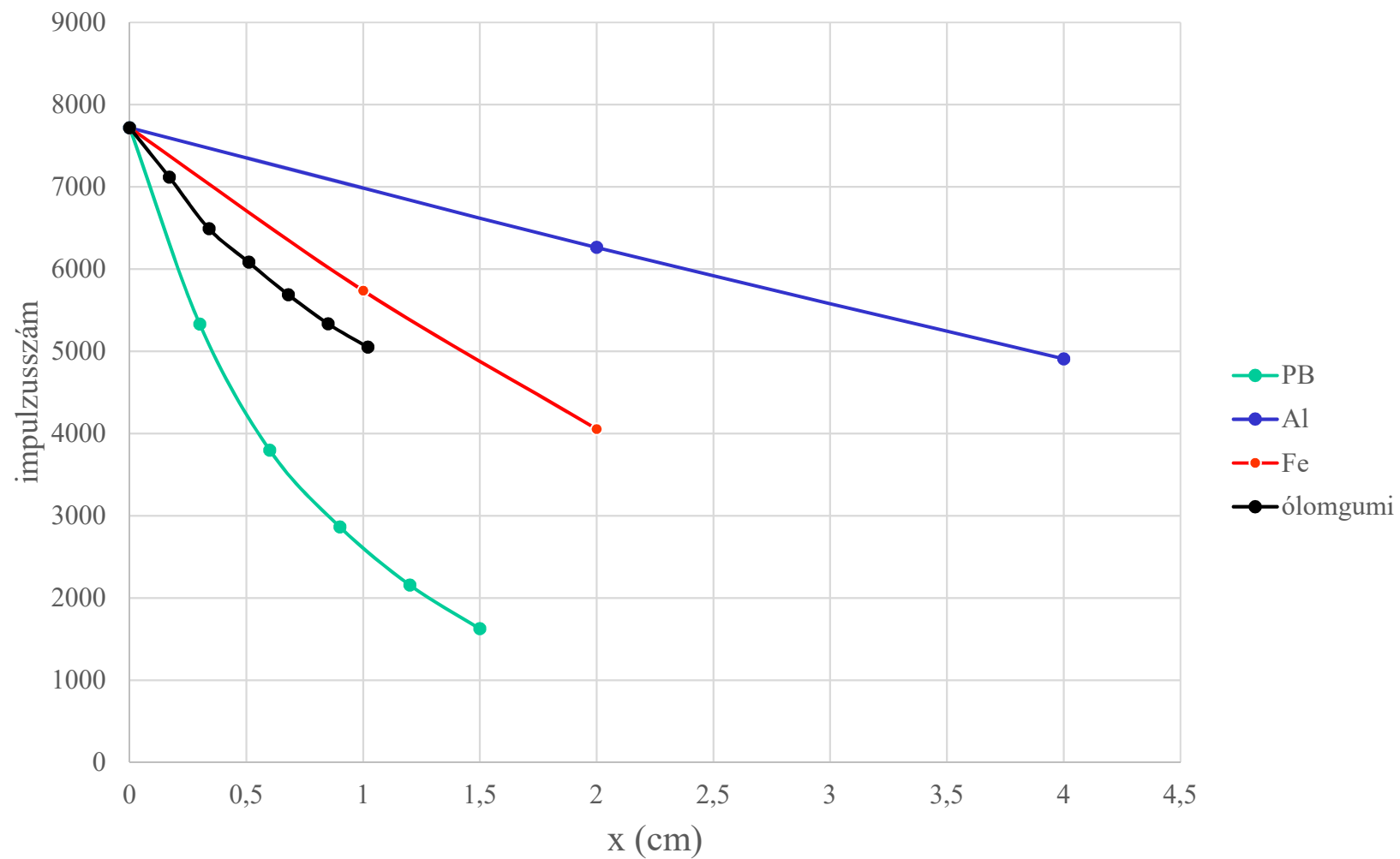
$$Z_{eff} = \sqrt[3]{\sum (f_i Z_i^3)}$$

Effektív rendszámok

<i>anyag</i>	Z_{eff}
zsír	6-7
levegő	7.26
víz	7.5
lágyszövet	7-8
csont	12-14
jód	53
bárium	56
ólom	82



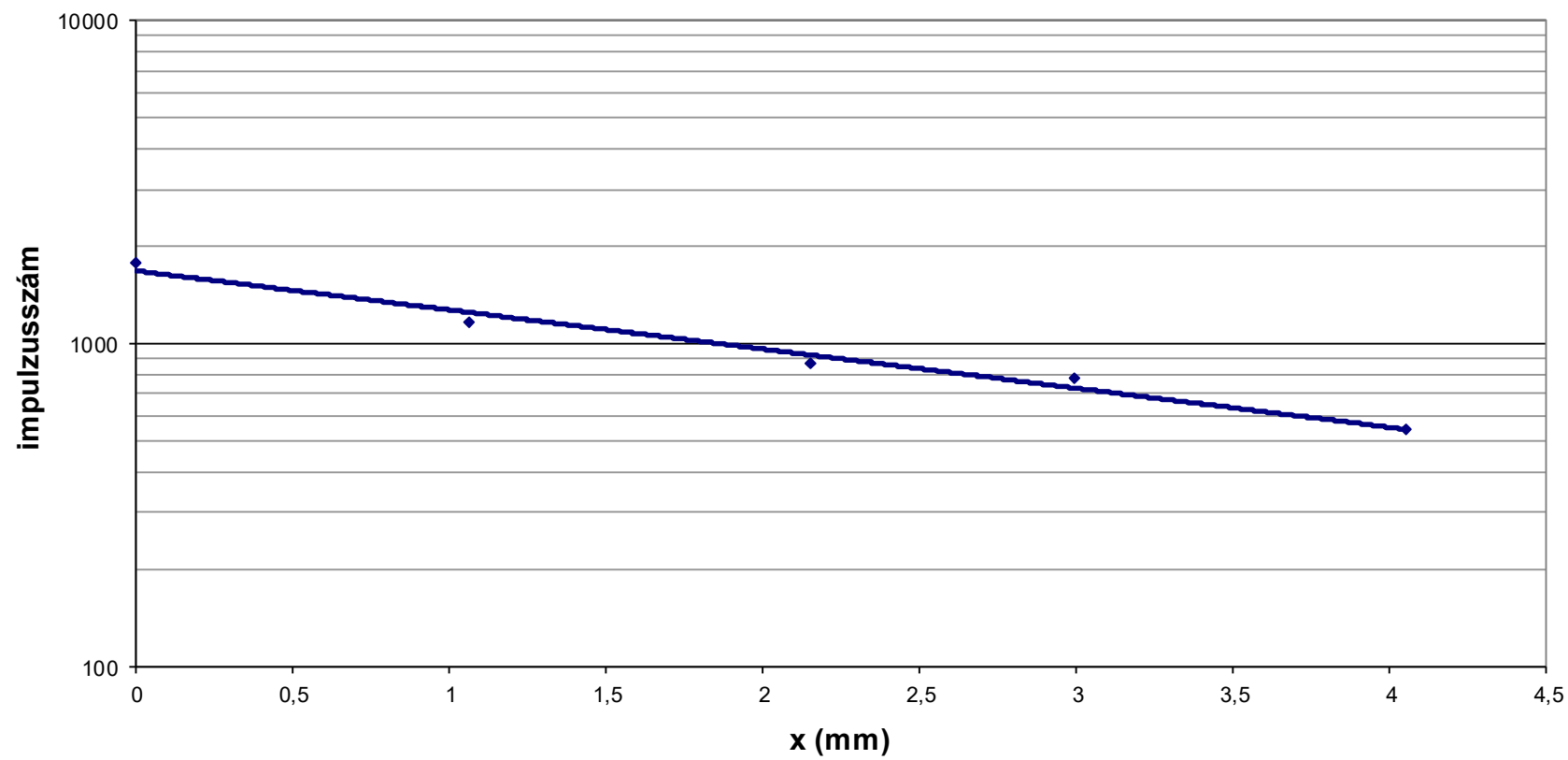
A ^{137}Cs gamma sugárzásának elnyelődése különböző anyagokban



A sugárgyengülést jellemző adatok Cs-137 gamma sugárzására (E = 661 keV)

	sűrűség (g/cm³)	D (cm)	μ (1/cm)	μ_m (cm²/g)
Pb	11,3	0,678	1,02	0,094
ólomgumi	4,3	1,79	0,387	0,09
Fe	7,9	1,92	0,36	0,046
Al	2,7	5,6	0,12	0,046

**I-125 (E=35,5 keV) sugárzásának gyengülése alumíniumban
(D= 2,1 mm)**



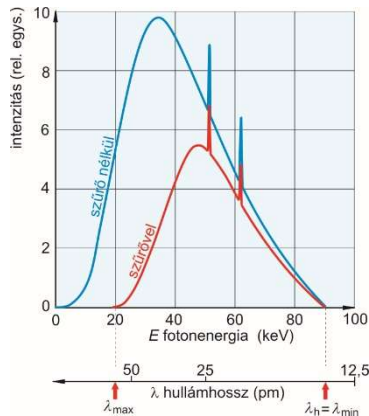
Kisebb fotonenergiáknál (diagnosztikus rtg és γ), nagyobb rendszámú gyengítő anyagoknál (pl. Pb, csont) főleg fotoeffektus.

Erre vonatkozóan: $\tau_m = c \lambda^3 Z^3$

Kisebb effektív rendszámú gyengítő anyagoknál (víz, lágy szövetek)

Főleg Compton-effektus ($Z_{\text{eff,víz}} = 7,69$, $Z_{\text{eff,lev}} = 7,3$)

Erre: $\sigma_m \sim Z$



Gyakorlati következmények:

-sugárvédelem nagy rendszámú anyagokkal

- szűrők

- rtg-diagnosztika (kép kontrasztossága, kontrasztanyagok)

- terápia: kis energia - felületi

- nagy energia – mély



hatótávolság: energiától függ (levegő ~ 100 m, víz ~ dm)

fajlagos ionizáció kisebb, mint β esetén

Neutronsugárzás

egyes magreakciók terméke, bombázott atommagok gerjesztett állapotba kerülnek, felesleges energiájuktól neutronkibocsátással szabadulnak meg

elektromos töltéssel nem rendelkezik, ezért csak közvetve ionizál; a kölcsönhatások fajtái:

rugalmas szóródás (rugalmas ütközés, proton és neutron tömege egyenlő), a proton ionizál

rugalmatlan szóródás (jellemzően 5 MeV felett): a neutronnal kölcsönható atommag gerjesztett állapotba kerül, majd γ vagy alfa kibocsátás

neutronbefogás (a termikus neutron beépül az atommagba): radioaktív izotóp keletkezik

maghasítás (>100 MeV): magtöredékek, n-ok, γ -sugárzás

Protonsugárzás

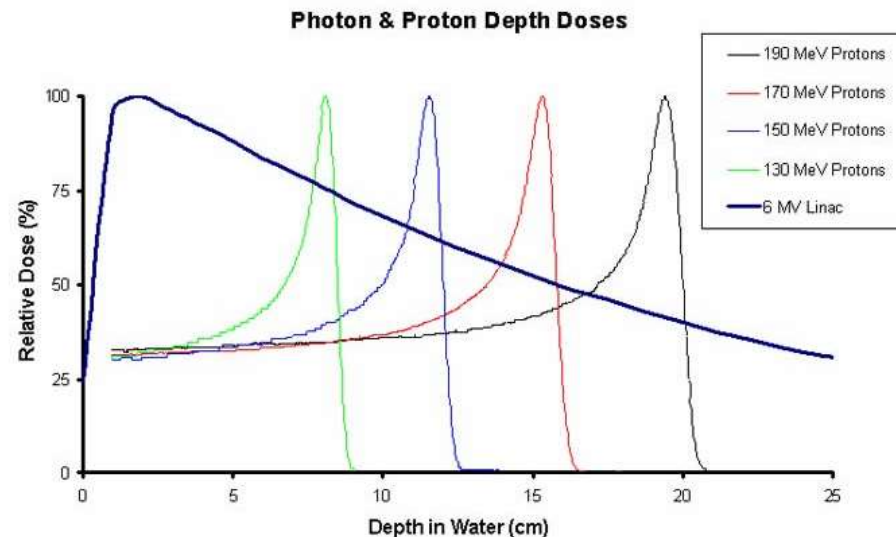
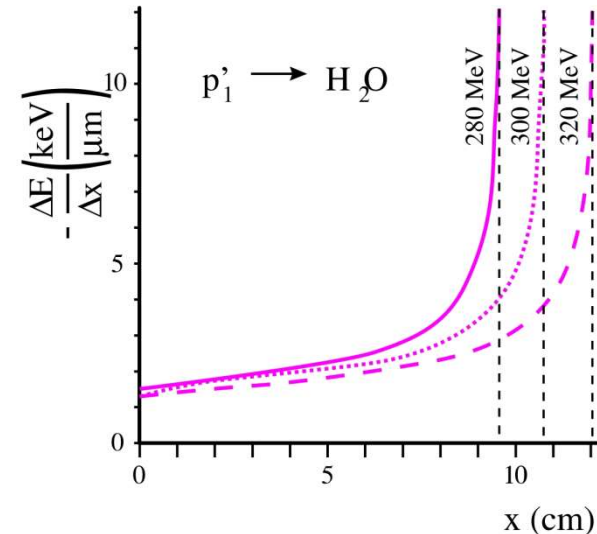
Bragg csúcsok

protonok közegbeli
kölcsönhatása
nagyon hasonló az
alfa sugárzáséhoz

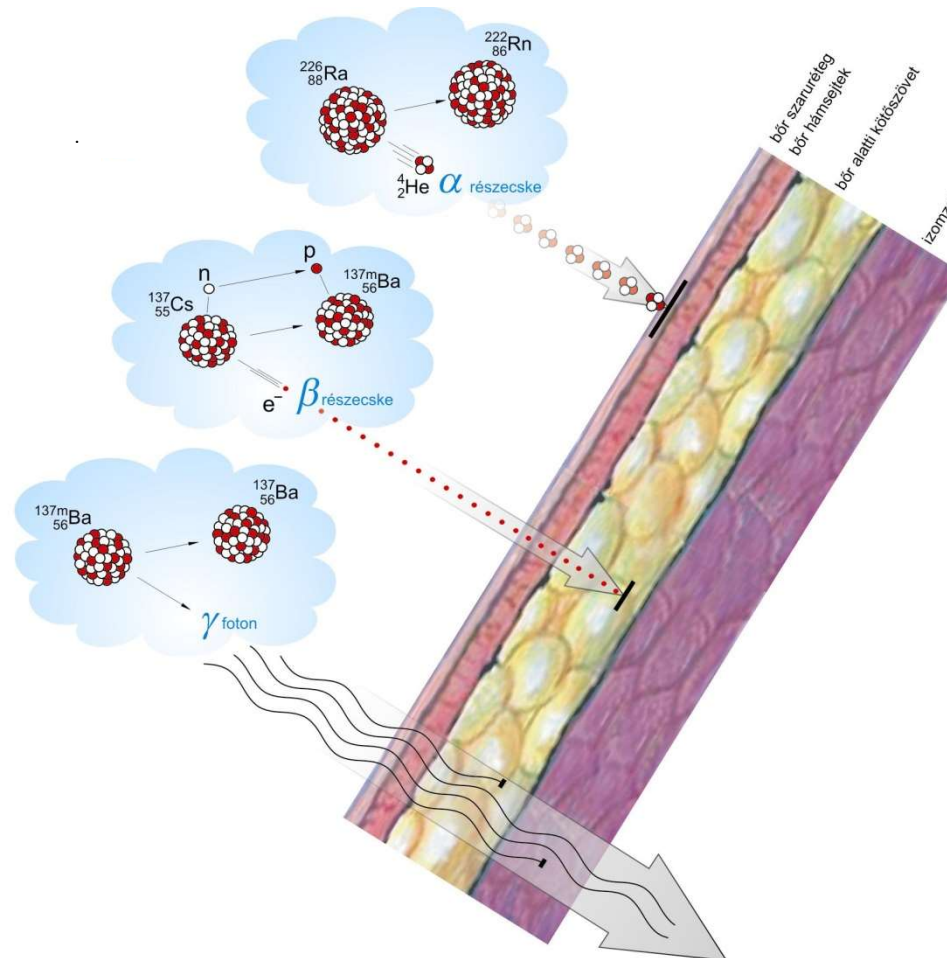
a felülethez közeli
rétegekben csak kicsi
a lefékeződés

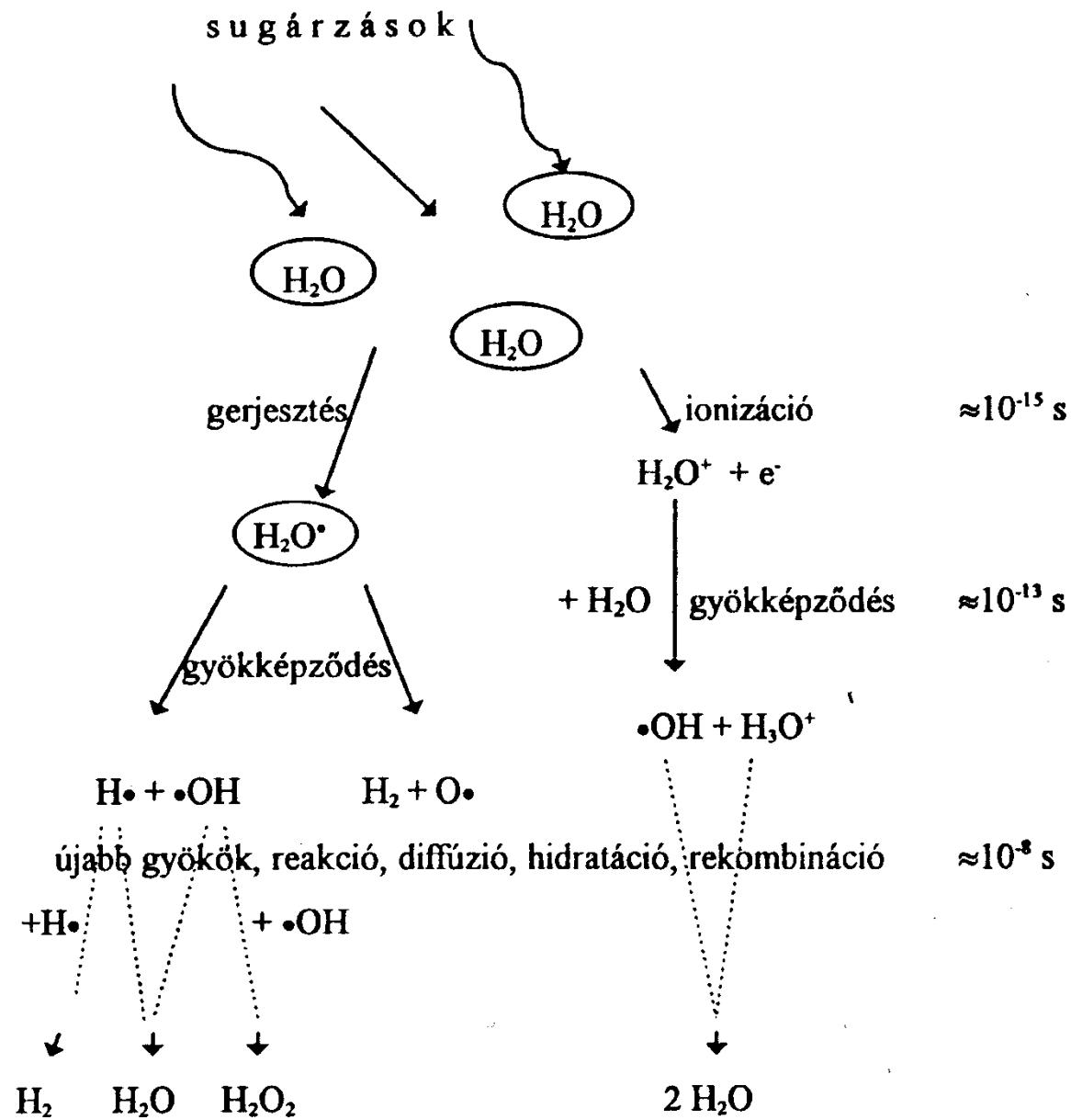
a Bragg csúcshoz
tartozó behatolási
mélység: hatótávolság
terápiás felhasználás!

különböző
energiájú
protonsugárzás
behatolása
vízbe (DFS
2.67 ábra)

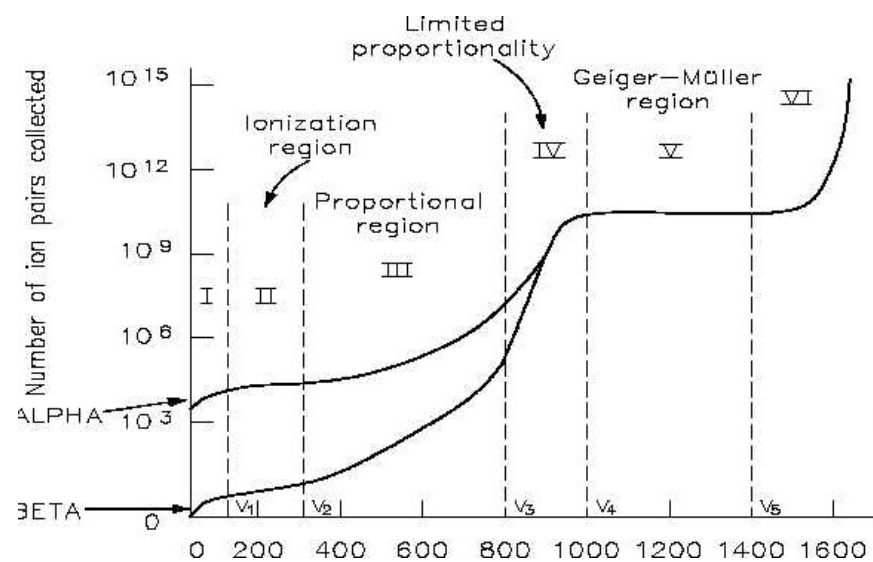


	alfa	béta	gamma	neutron
áthatolóképesség	nagyon kicsi	kicsi	nagyon nagy	nagyon nagy
veszélyesség	belső	belső/ külső	külső	külső
védelem	papír	műanyag	ólom, beton	víz, beton

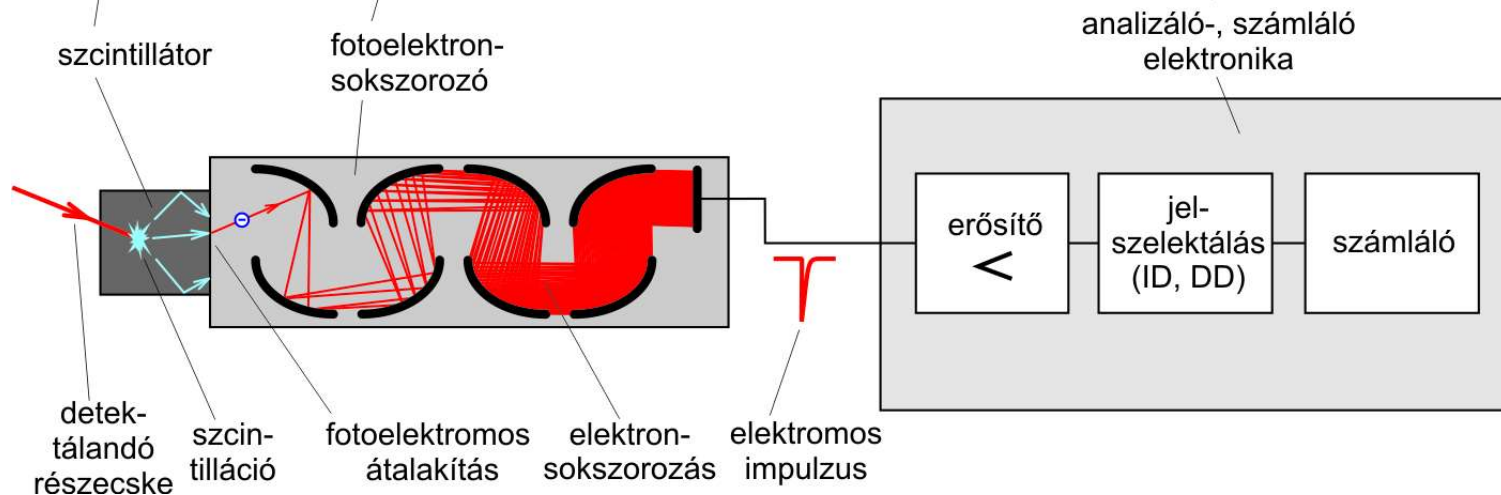


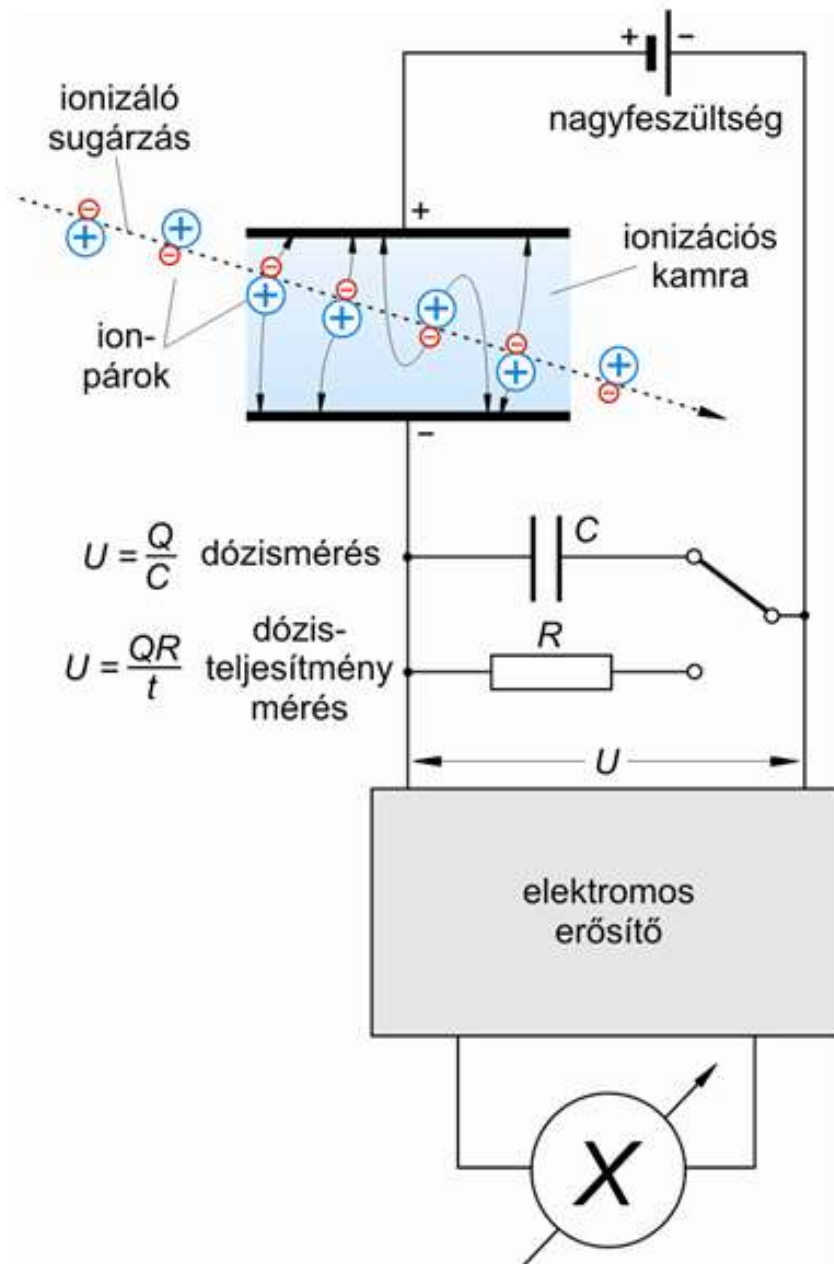


2. A sugárzások mérése

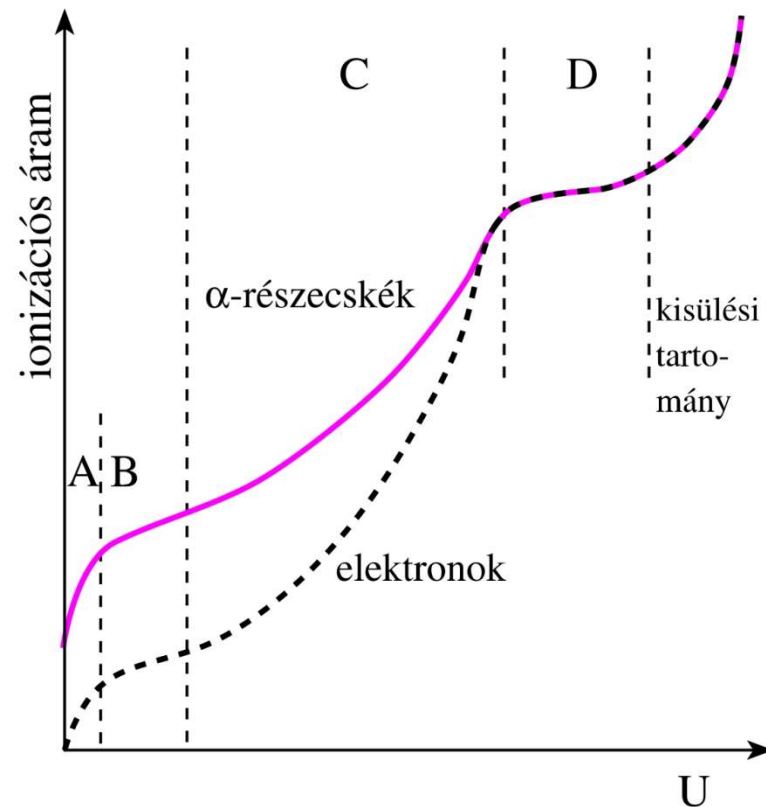


Szcintillációs számláló





Ionizációs kamra

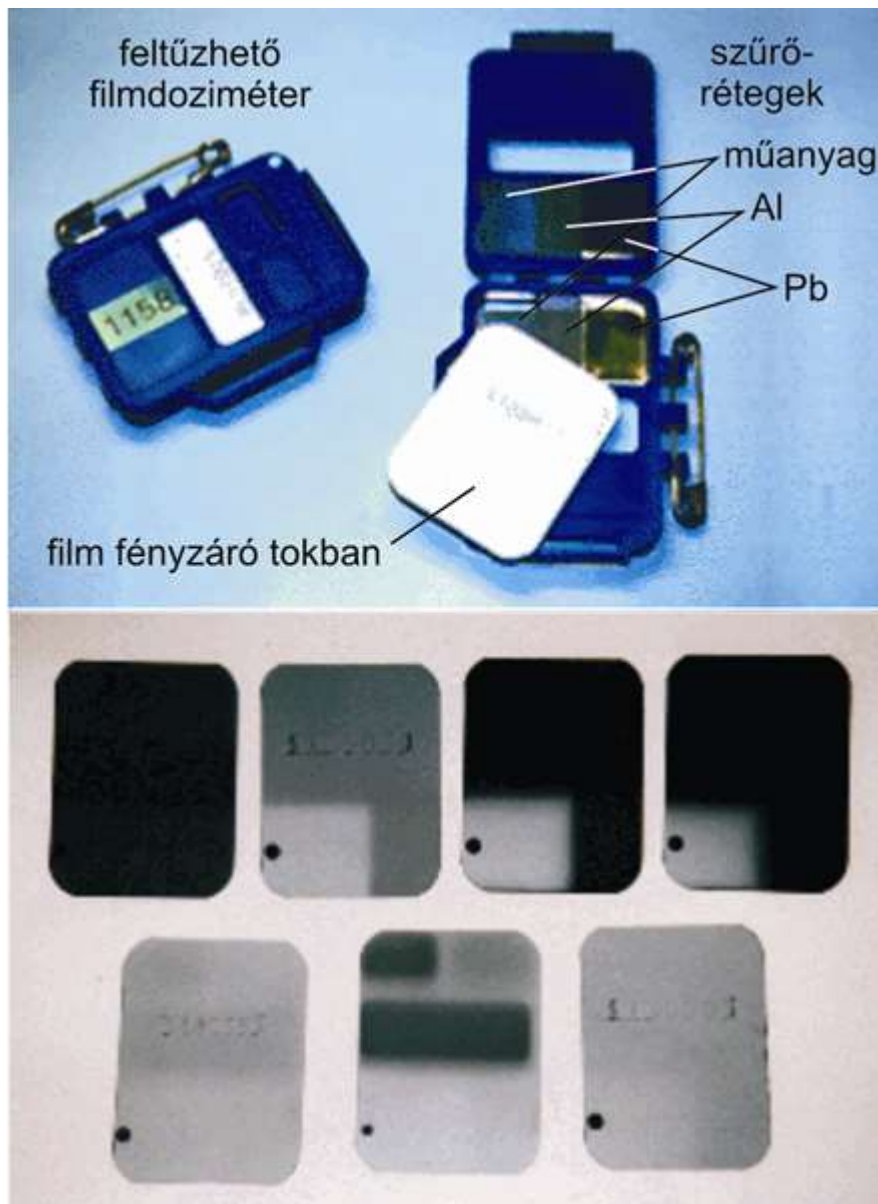


A:rekombináció

B:ionizációs kamra (összegyűjti az összes iont, a sugárzás ionizáló hatását méri)

C:proporcionális tartomány

D:Geiger tartomány (lavina effektus)



Filmdoziméter **(már nem használják)**

film fényzáró tokban
megfeketedése arányos az ionizáló
sugárzás dózisával

két réteg:
érzékenyebb ($50 \mu\text{Sv}$ - 50 mSv)
érzékletlenebb (50 mSv - 10 Sv).

szűrők:
műanyag, Al, Pb, stb.
lehetővé teszik a sugárzás fajtájának
és energiájának megállapítását,

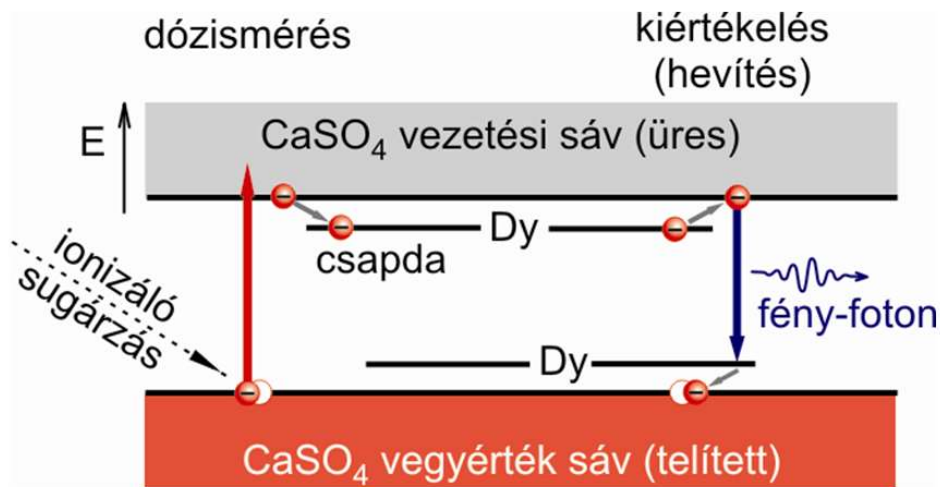
hátrányok:
csekély pontosság,
utólagos kiértékelés (pl. 1 hónap).

Zsebkamra doziméter



GM-csöves számlálók





Termolumineszcens dózismérő

az elektronok”
csapdába” kerülnek

Gyűrűbe foglalt TLD-kapszula (a kéz sugárterhelésének detektálására), ill. a magyar fejlesztésű „PILLE” nevű termolumineszcens doziméter kiértékelő egysége az űrben (Sally Ride 1984).

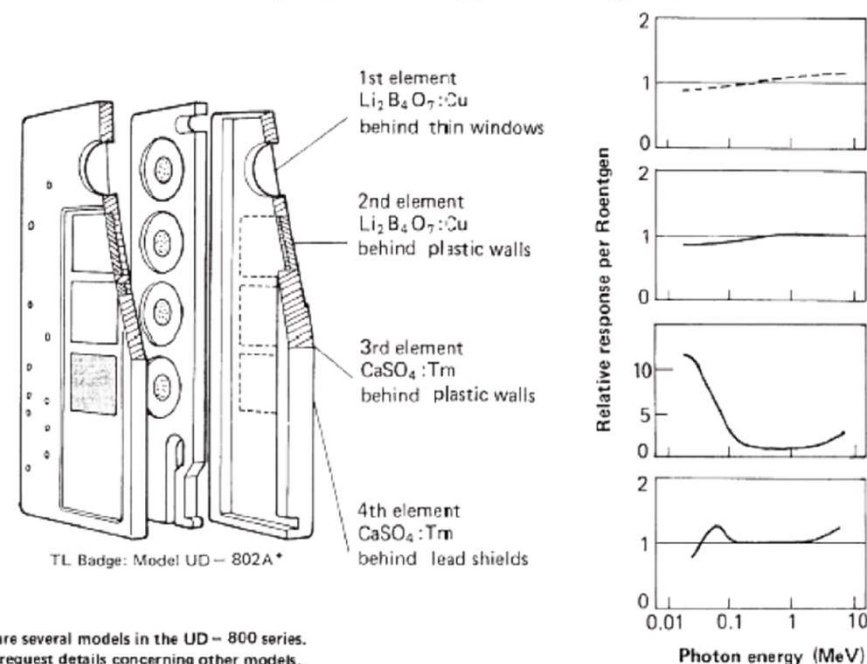


Pille doziméter





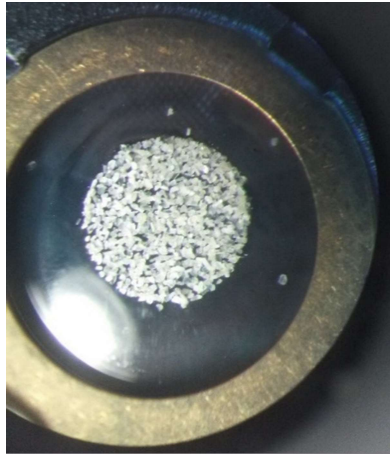
Construction of the model UD-802A, a typical TL badge, and the energy responses of each element.



UD802AT [UD807ATN]

- 4 db szűrő / 4 db TL-detektor:
- 14 mg/cm² műanyag / $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ (β, γ)
- 160 mg/cm² műanyag / $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ (β, γ)
- 160 mg/cm² műanyag / $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ (β, γ)
- 700 mg/cm² ólom / $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ (γ)

- $E_\gamma = 10 \text{ keV} \dots 10 \text{ MeV}$
- Tartomány = 10 $\mu\text{Sv} \dots 10 \text{ Sv}$
- Kimutatási határ = 1,6 μSv (Cs-137)
- Kalibrálás = 1...5 mSv
- Élettartam > 1000 (7000) kiolvasás
- Fading = 5% / év



Elektronikus operatív doziméter

- azonnal leolvasható
- egy előre beállított dózisteljesítmény elérésekor fény-, illetve hangjelzést ad

