



Magsugárzások

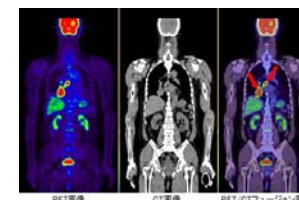
Dr Smeller László
egyetemi docens

Semmelweis Egyetem
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

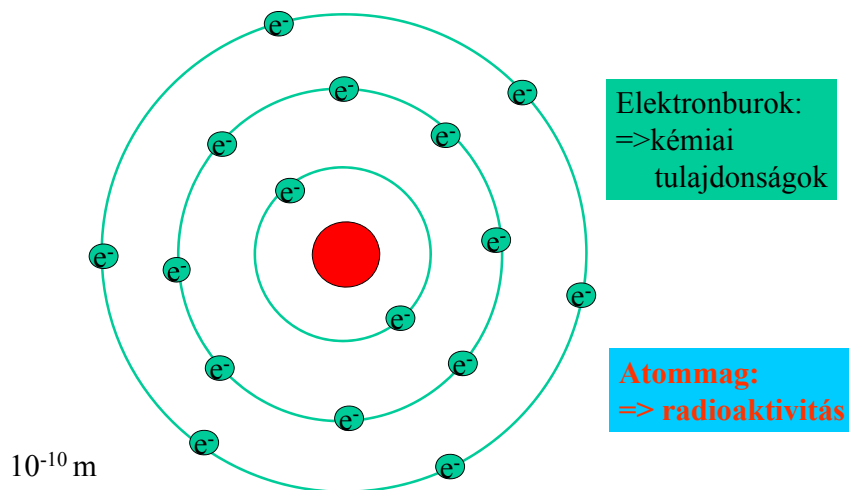
Miért érdekes?

Radioaktív izotópok ill. sugárzások

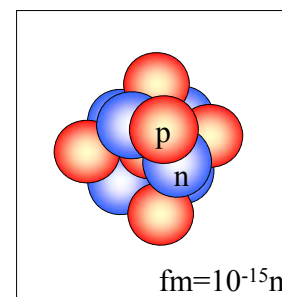
- orvosi felhasználása:
 - diagnosztika (izotópdiaosztika)
 - terápia (sugárterápia)
- gyógyszerészeti vonatkozása:
 - farmakokinetikai vizsgálatok



Az atom felépítése



Az atommag felépítése



	töltés	tömeg
proton	+1 elemi töltés	1 atomi tömegegys.
neutron	0	1 atomi tömegegys.

A (tömegszám) = protonszám + neutronszám

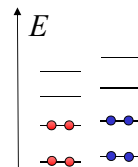
Z (rendszám) = protonszám

99
43 Tc

99 nukleon, ebből 43 proton és 56 neutron

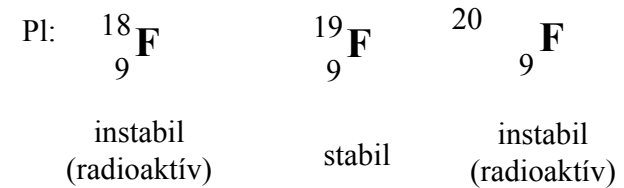
Az atommag stabilitása

- Magerők rövid hatótáv (~fm)
nagyon erős
vonzó
- Coulomb erő destabilizál!
- A nukleonok diszkrét energiaszinteken helyezkednek el.
- A mag energiája is diszkrét (kvantált)
- Az energiaszintek tipikus távolsága MeV(pJ)



Izotóp

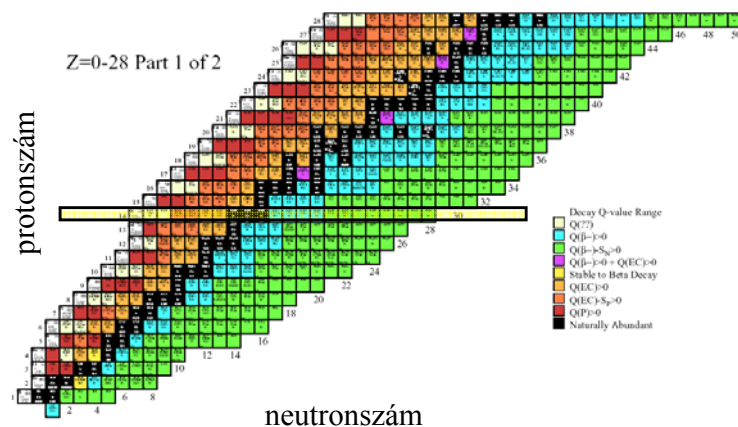
Azonos rendszámú de eltérő tömegszámú atommagok
=> azonos protonszám eltérő neutronszám
ugyanazon elem módosulatai, kémiai tulajdonságuk ua.



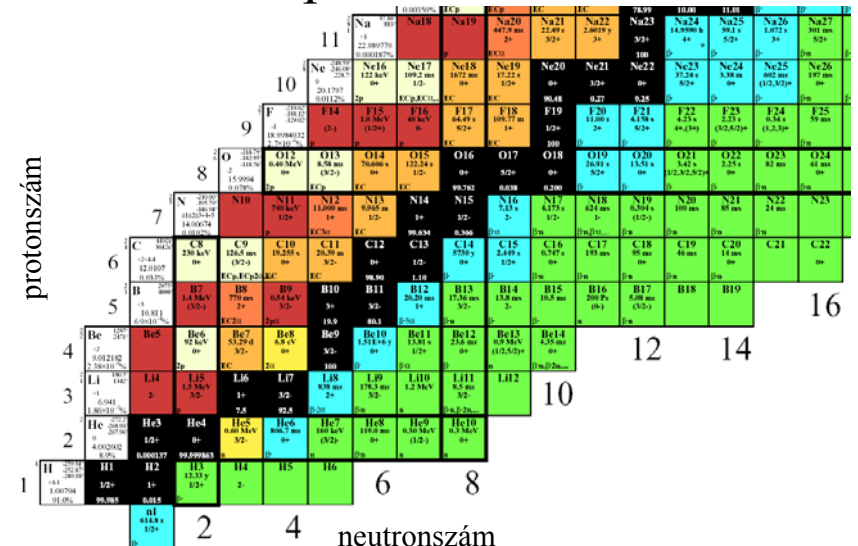
izotóp <-> radioaktív izotóp

Izotóptáblázat

Table of Isotopes (1998)



Izotóptáblázat részlet



Bomlások és részecskék


$$\beta^- \text{-bomlás: } \beta^-$$

β^- részecske = elektron
 β^+ részecske = pozitron

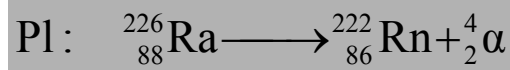
K-elektron befogás

karakterisztikus
Röntgen-foton

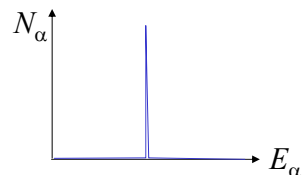
Izomer magátalakulás

γ -sugárzás

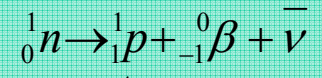
α - bomlás: ^4He atommag válik le a magról
nehéz atommagoknál fordul elő
izotópdiagnosztikai jelentősége nincs



Vonals energiaspektrum
 $E_{\alpha} \sim \text{MeV}$

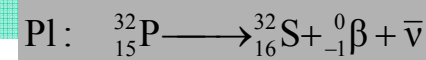


neutronúlsúly



az atommagban
marad

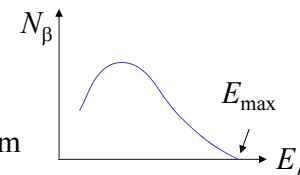
kilép



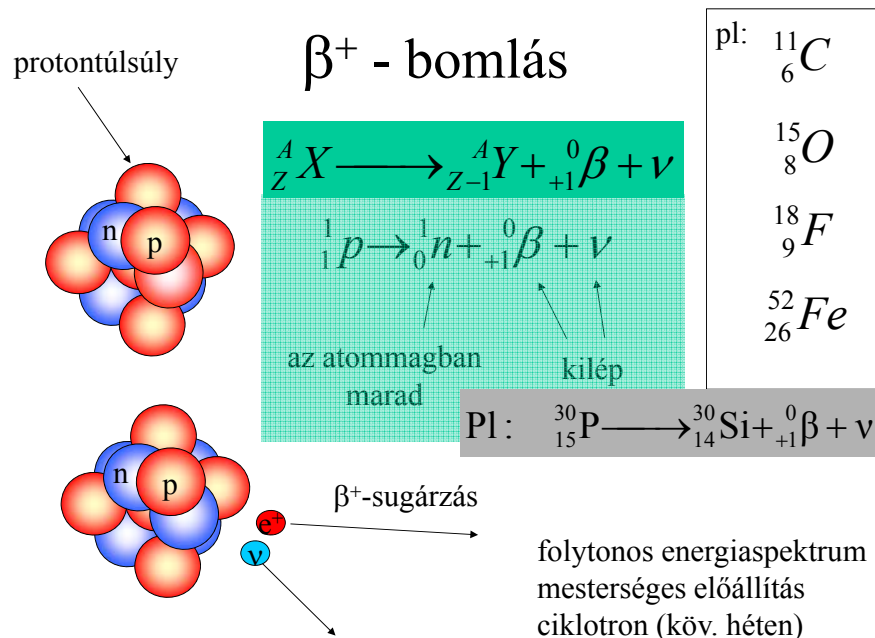
pl: ${}^{20}_9F$
 ${}^{32}_{15}P$
 ${}^{59}_{26}Fe$
 ${}^{131}_{53}I$

β^- -sugárzás

folytonos
energiaspektrum



jelölések: $\beta^- = {}^0_{-1}\beta = e^-$



Kitérő...

tömegek: $m_p = 1,672623 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 $m_n = 1,674928 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ } szabad állapotban!

β^- bomlás OK mert $m_n > m_p$

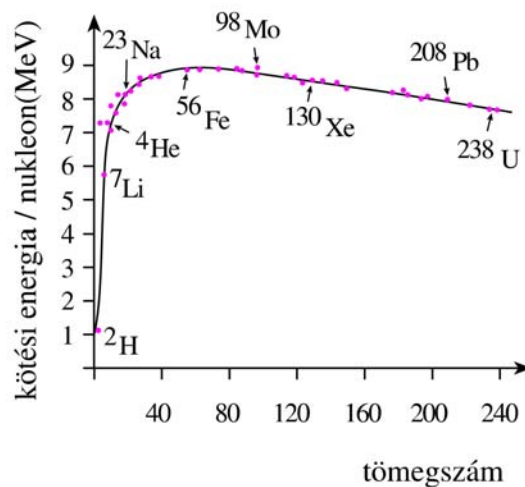
β^+ bomlás ?

Megoldás: Einstein féle tömeg-energia ekvivalencia

$$E = mc^2$$

kötött nukleon: alacsonyabb energiaszint: kisebb tömeg!

Mennyire stabil az atommag?
 Kötési energia



Energiahiány=tömeghiány: így lehet
 megmérni a kötési energiát

Tömeghiány, pl: $^{208}_{82}\text{Pb}$

$$E = mc^2$$

n: $1,008665 \times 126 = 127,0918 \text{ au.}$

p: $1,007276 \times 82 = 82,5966 \text{ au.}$

209,6884 au.

$^{208}_{82}\text{Pb}$ tényleges: 207,9766 au.

Hiány: 1,7118 au. =

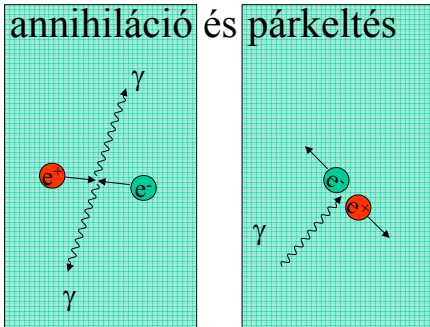
= $1,7118 \times 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$$\Delta E = \Delta mc^2 = 2,84 \cdot 10^{-27} \text{ kg} (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 2,56 \cdot 10^{-10} \text{ J} =$$

$$= 1,60 \text{ GeV} = 208 \times 7,69 \text{ MeV}$$

Elektron és pozitron

- antirészecskék
- tömeg ua, töltés ellentétes ...
- **annihiláció** és **párkeltés**



Einstein:
tömeg-energia
ekvivalencia

$$E=mc^2$$

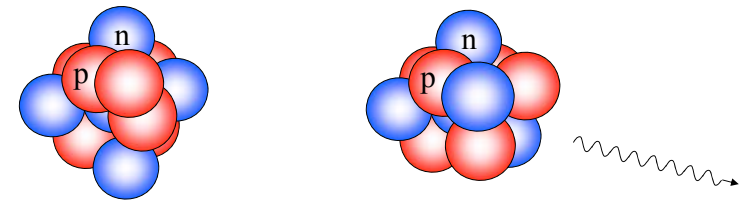
$$m_e c^2 = 511 \text{ keV} \approx 0,5 \text{ MeV}$$

... kitérő vége

Prompt γ -sugárzás

A bomlás után a nukleonok elhelyezkedése
energetikailag kedvezőtlen lehet

Átrendeződés: alacsonyabb energiaszintre jut,
a fölös energiát kisugározza γ foton formájában



protonszám, neutronszám változatlan! Kísérőjelenség.

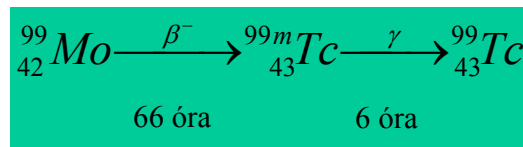
Izomer magátalakulás

Ha a bomlás utáni mag elég hosszú ideig stabil,
a γ -sugárzás később keletkezik.
A két folyamat szeparálható.

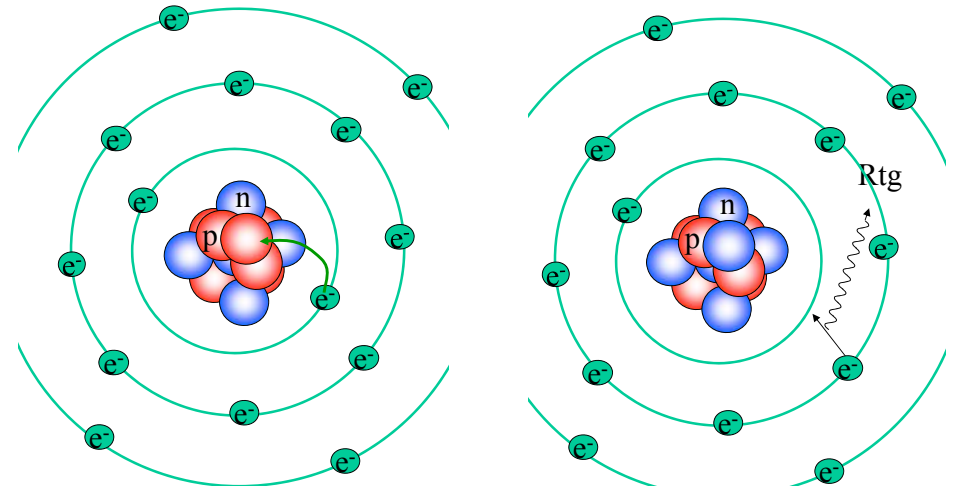
Tisztán γ -sugárzó izotóp állítható elő!

=> Izotópdiaosztika

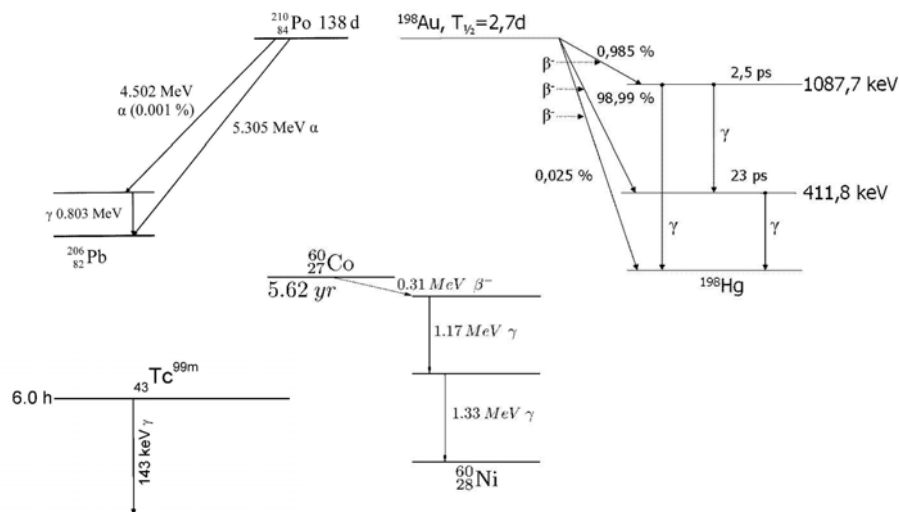
Pl: ^{99m}Tc



K-befogás



Példák bomlási sémákra



Bomlás, hasadás, fúzió

- Bomlás: kis részecske távozik (α , β , γ ...)
- Hasadás: kb. két azonos részre hasad (nehéz magoknál)
Pl: ${}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow 2 \text{ db közepes mag} + 2-3 \text{ neutron}$
- Fúzió könnyű magok egyesülése



A radioaktív izotópokat jellemző mennyiségek

Aktivitás (a sugárforrást jellemzi)

Felezési idő (a bomlás sebességét jellemzi)

Részecskeenergia (a sugárzást jellemzi)

Aktivitás (Λ)

$$\Lambda = \left| \frac{dN}{dt} \right| \quad \left(= \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| \right)$$

N = a bomlásra képes atomok száma
 t = idő

Az egységnyi idő alatt elbomlott atomok száma

mértékegysége: becquerel Bq
1 Bq = 1 bomlás/sec

A gyakorlatban: kBq, MBq, GBq, TBq

mérhetetlenül alacsony

természetes radioaktivitás szintje

in vivo diagn.

óvatosan dolgozzunk vele!

terápiában alkalmazott aktivitás

Bomlástörvény

$\Delta N \sim N$ N a bomlásra képes (=elbomlatlan) atomok száma

$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ λ : bomlási állandó, bomlási valószínűség [1/s]
 $1/\lambda = \tau$ idő! átlagos élettartam

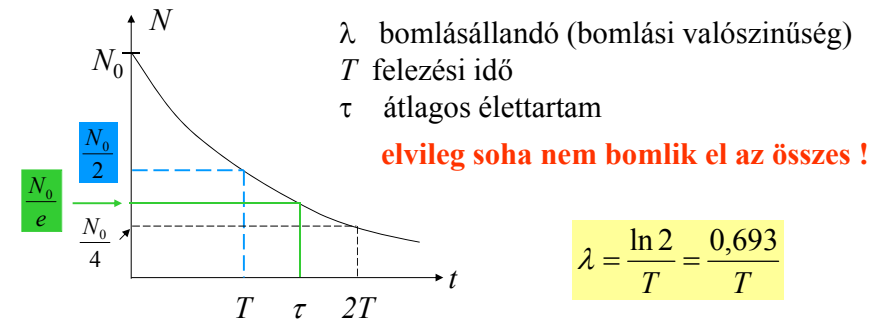
differentiálegyenlet

megoldása: $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ **exponenciális lecsengés!**

N_0 a z elbomlatlan atomok száma kezdetben ($t=0$)

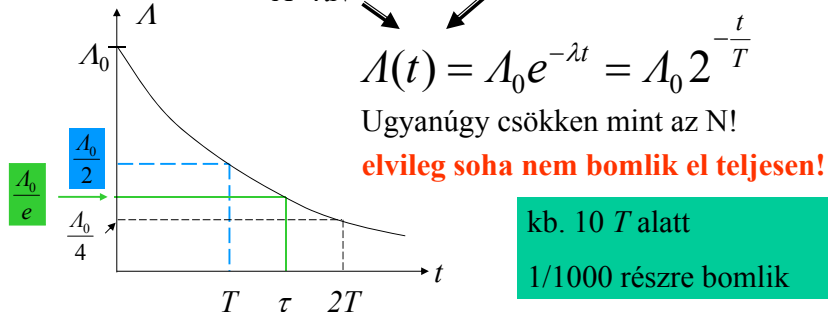
Felezési idő, bomlástörvény

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$



Az aktivitás időbeli csökkenése

$A = \left| \frac{dN}{dt} \right|$ $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ $N = N_0 e^{-\lambda t}$
 $A = \lambda N$



A felezési idő az izotóp típusától függ

^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ év	^{60}Co	5,3 év
^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ év	^{59}Fe	1,5 hó
^{40}K	$1,3 \cdot 10^9$ év	^{56}Cr	1 hó (28 nap)
^{14}C	5736 év	^{131}I	8 nap
^{137}Cs	30 év	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 óra
^3H	12,3 év	^{18}F	110 perc
		^{11}C	20 perc
		^{15}O	2 perc
		^{222}Th	2,8 ms

**Ezeket az adatokat
tilos megtanulni!**

Részecskeenergia

Általában elektronvoltban (eV) mérik.

$$eV = \text{elemi töltés} \times 1 \text{ Volt} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

tipikus részecskeenergiák (a magátalakuláskor felszabaduló energia) **MeV** nagyságrendben vannak.

Általában:

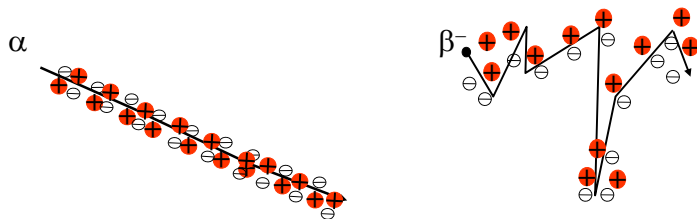
Minél nagyobb a részecskeenergia, annál nagyobb a hatótáv.
(egy adott sugárzáson belül)

Sugárzások elnyelődése

α	}	elektromos töltéssel rendelkező részecskék
β^+		
β^-		
γ	}	töltetlen részecskék (elektromágneses sugárzás)
Rtg		

Töltött részecskék elnyelődése

Útjuk során ionizálnak, energiájukból folyamatosan leadnak.
Az energia egy véges úthosszon elfogy. **Hatótávolság**



Hatótávolság

α -részecske

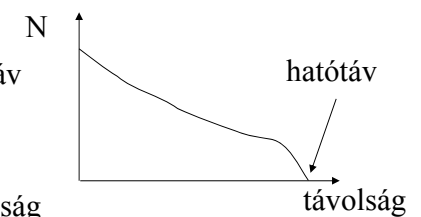
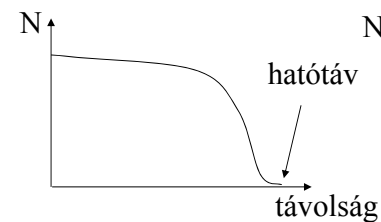
β^- -részecske

levegőben **néhány cm**

levegőben **m** nagyságrendű

szövetben **0,01-0,1 mm**

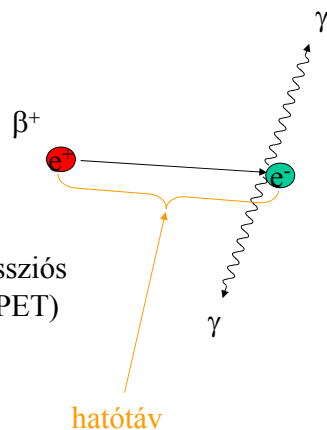
szövetben **cm**



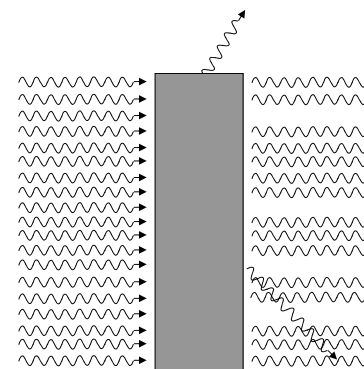
β^+ -sugárzás

annihiláció

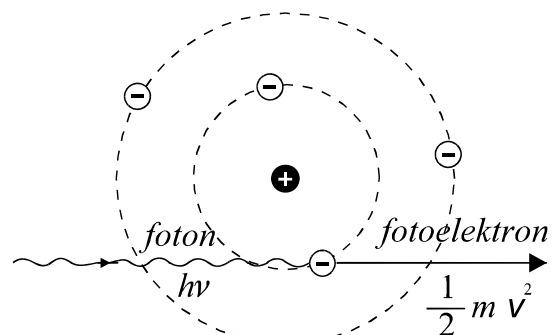
Ld: Pozitron Emissziós
Tomográfia (PET)



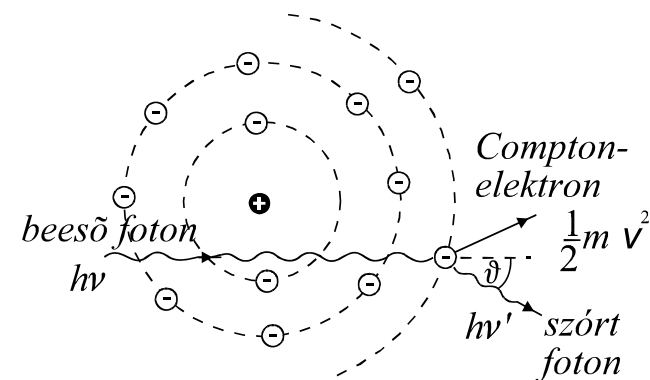
A γ -sugárzás elnyelődése



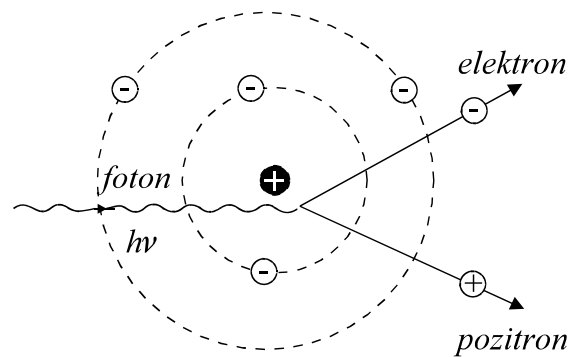
Fotoeffektus



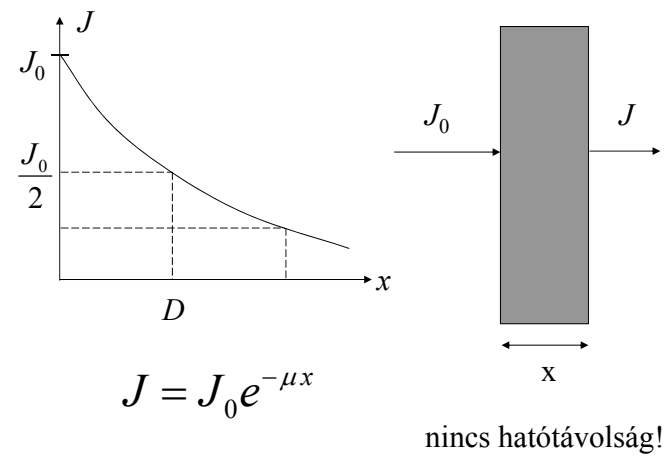
Compton effektus



Pároképződés



γ - és röntgensugárzás gyengülése



Köszönöm a figyelmet!