

Magsugárzások

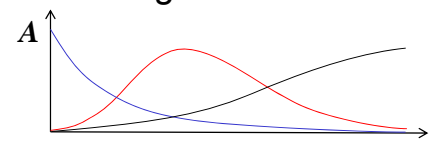
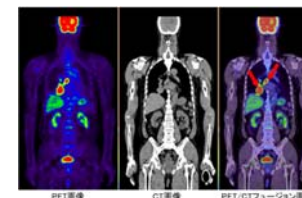
Dr Smeller László

Semmelweis Egyetem
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

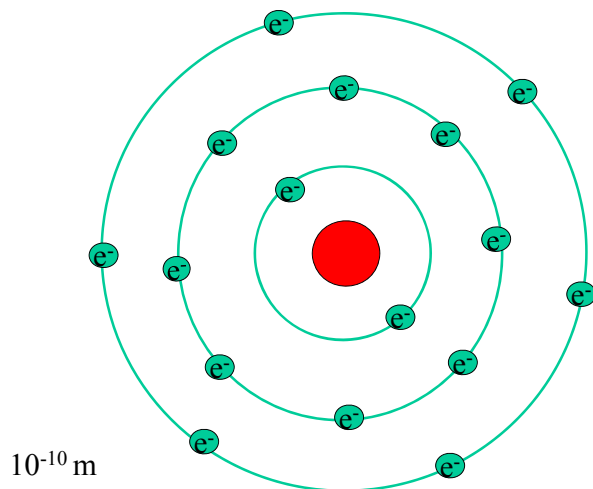
Miért érdekes?

Radioaktív izotópok ill. sugárzások

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



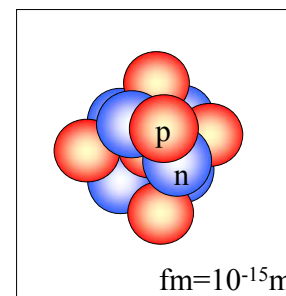
Az atom felépítése



Változások az elektronburokban:
=> kémiai folyamatok

Az atommag átalakulásai:
=> radioaktivitás

Az atommag felépítése



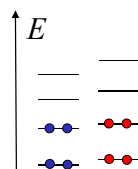
	töltés	tömeg
proton	+1 elemi töltés	1 atomi tömegegys.
neutron	0	1 atomi tömegegys.

A (tömegszám) = protonszám + neutronszám $\rightarrow 99$
 Z (rendszám) = protonszám $\rightarrow 43$ **Tc**

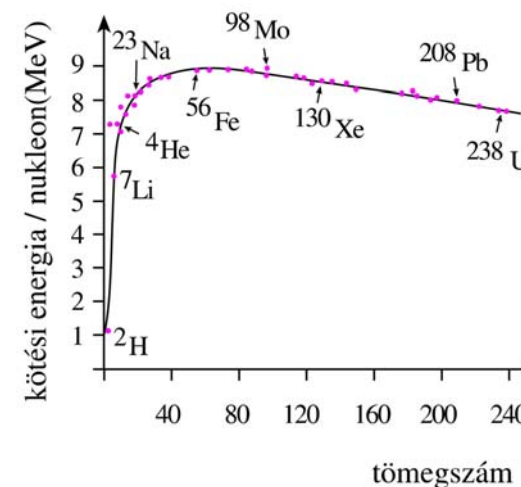
99 nukleon, ebből 43 proton és 56 neutron

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)



Mennyire stabil az atommag? Kötési energia



Energiahiány=tömeghiány: így lehet megmérni a kötési energiát

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

$$E=mc^2$$

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

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

$$209,6884 \text{ au.}$$

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

$$\text{Hiány: } 1,7118 \text{ au.} =$$

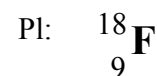
$$= 1,7118 \times 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

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

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

Izotóp

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



instabil
(radioaktív)



stabil

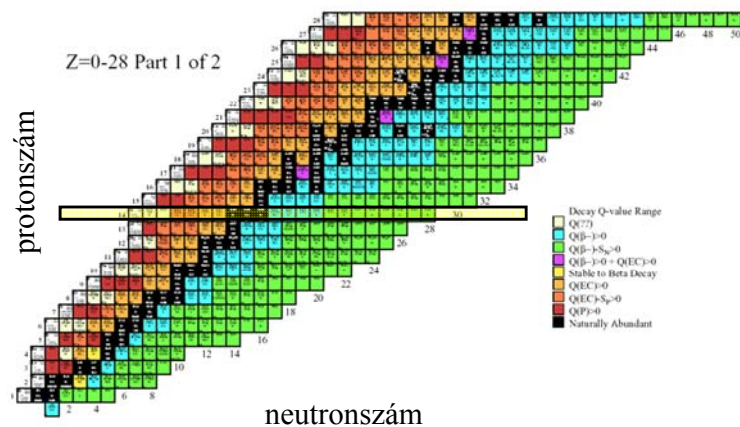


instabil
(radioaktív)

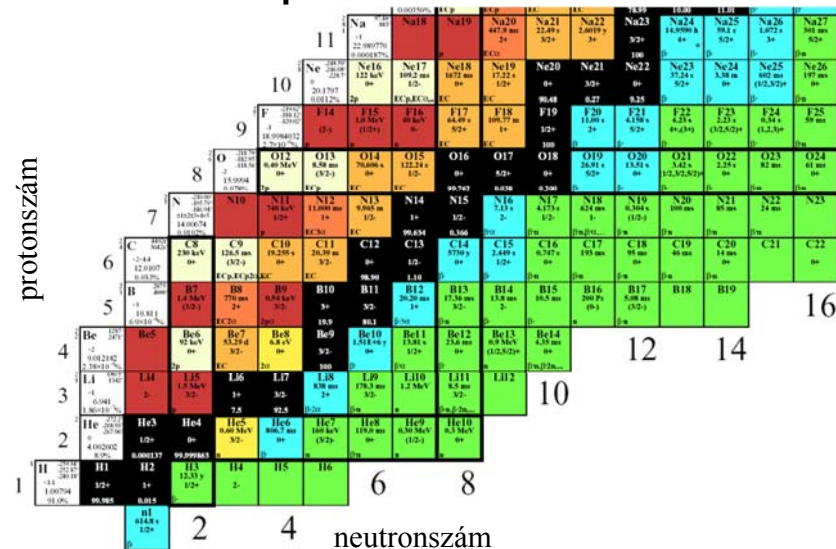
izotóp <-> radioaktív izotóp

Izotóptáblázat

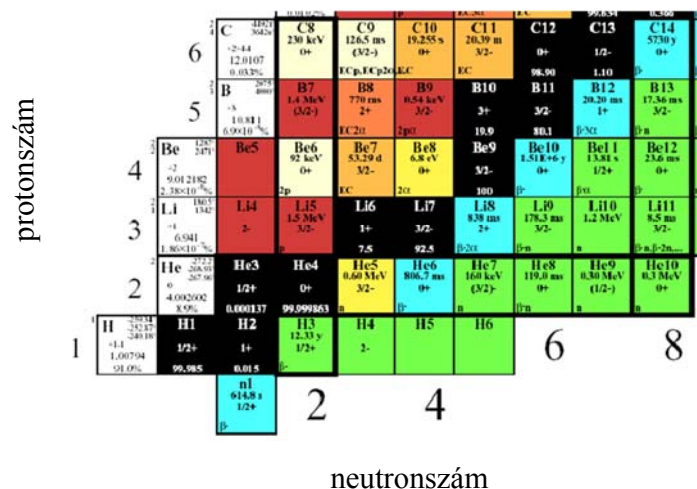
Table of Isotopes (1998)



Izotóptáblázat részlet



Izotóptáblázat részlet



Bomlások és részecskék

α - bomlás

α - részecske = ${}^4_2\text{He}$ atommag

β - bomlás: β⁻
β⁺

β⁻ részecske = elektron
β⁺ részecske = pozitron

K-elektron befogás

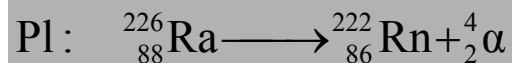
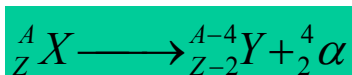
karakterisztikus
Röntgen-foton

Izomer magátalakulás

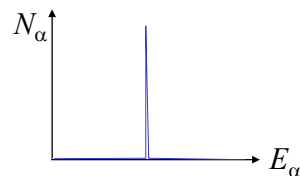
γ-sugárzás

α - bomlás

α - bomlás: ${}^4\text{He}$ atommag válik le a magról
nehéz atommagoknál fordul elő
izotópdiagnosztikai jelentősége nincs

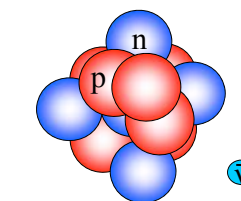
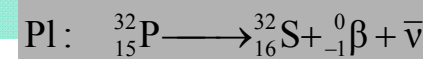
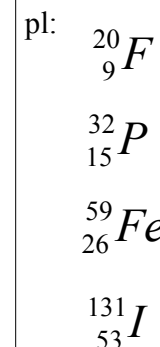
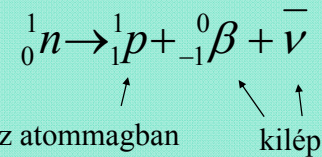
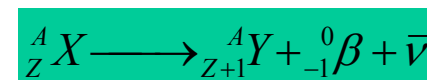


Vonalas energiaspektrum
 $E_\alpha \sim \text{MeV}$



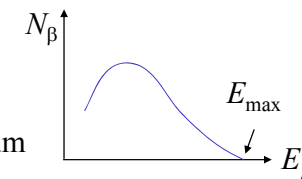
neutrontúlsúly

β^- - bomlás



β^- -sugárzás

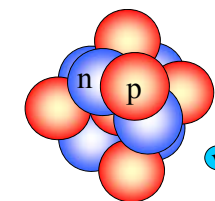
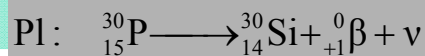
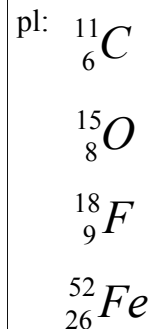
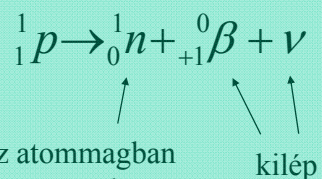
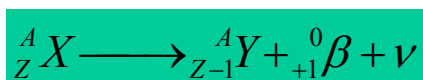
folytonos energiaspektrum



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

protontúlsúly

β^+ - bomlás



β^+ -sugárzás

folytonos energiaspektrum
mesterséges előállítás
ciklotron (köv. héten)

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 ?

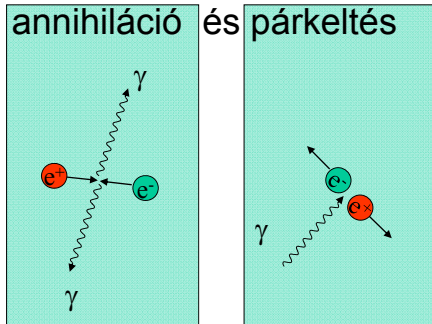
Megoldás: Einstein féle tömeg-energia ekvivalencia

$$E = mc^2$$

kötött nukleon: alacsonyabb energiaszint: kisebb tömeg!

Elektron és pozitron

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



Einstein:
tömeg-energia
ekvivalencia

$$E=mc^2$$

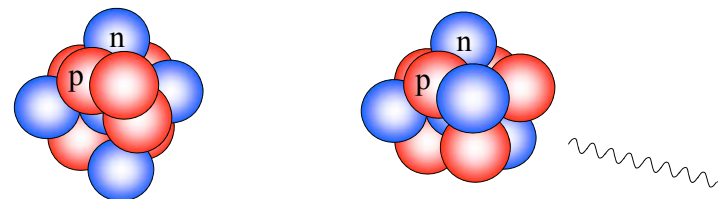
$$m_e c^2 = 511 \text{ keV} \approx 0,5 \text{ MeV}$$

... 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
A γ -sugárzás spektruma vonalas

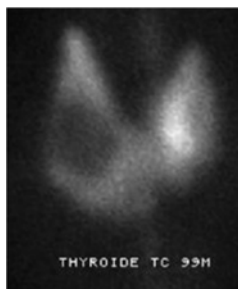


protonsám, neutronsám változatlan! Kisérőjelenség.

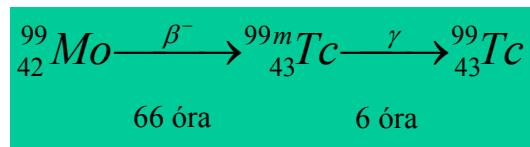
Izomer magátalakulás

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

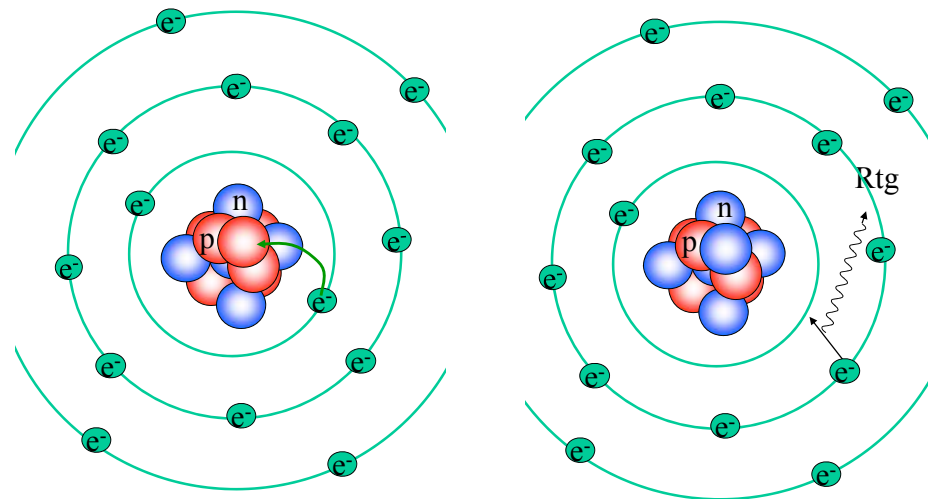
Tisztán γ -sugárzó izotóp állítható elő!
=> Izotópdiaosztika



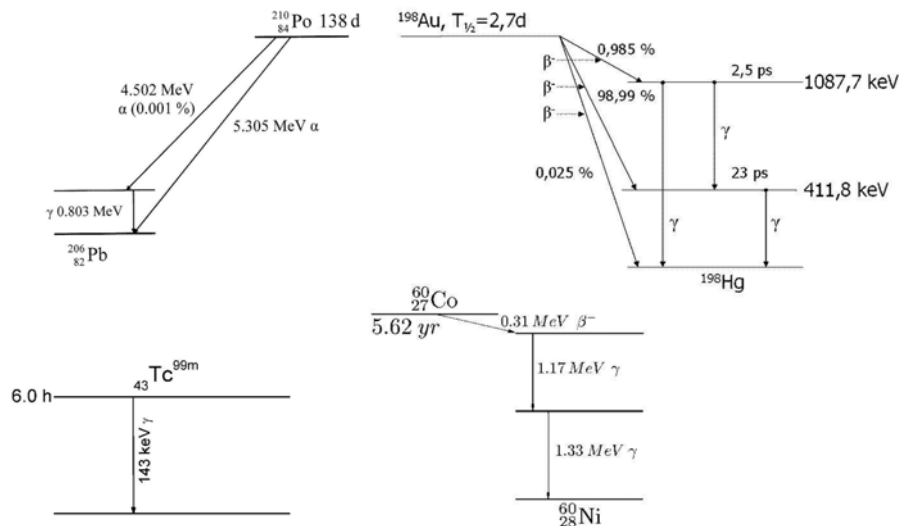
Pl: ^{99m}Tc



K-befogás



Példák bomlási sémákra



Magátalakulások: bomlás, hasadás, fúzió

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



Kitérő... Hogyan jöttek létre az izotópok?

Primordiális izotópok:

A Föld keletkezése előtt keletkeztek (Ősrobbanás, Szupernova robbanás...)

Hosszú felezési idejűek. Pl.: ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K , ^{235}U ,

Posztprimordiális izotópok:

Kozmogenikus izotópok: A kozmikus sugárzás hatására keletkeznek, pl: ^3H ^{14}C

Radiogenikus izotópok: A primordiális izotópok bomlástermékei. pl.: ^{226}Ra and ^{228}Rn

Nukleogenikus izotópok: magreakcióban keletkeztek (pl. spontán hasadás, v. spontán hasadáskor emittált neutron befogásával) ^{21}Ne

Mesterséges izotópok:

Hasadási termékek: különfélék

β^- bomlók: atomreaktorban (neutron bombázással).

β^+ bomlók: gyorsítóban (pl. ciklotron) néhány 10 MeV-es protont vagy alfa részecskét lőnek be a magba

A radioaktív izotópokat jellemző mennyiségek

Aktivitás (a sugárforrást jellemzi)

Felezési idő (a bomlás sebességét jellemzi)*

Részecske típusa és
energiája (a sugárzást jellemzi)*

*függ az izotóp típusától

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
dolgozhatunk
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 ($t=0$)

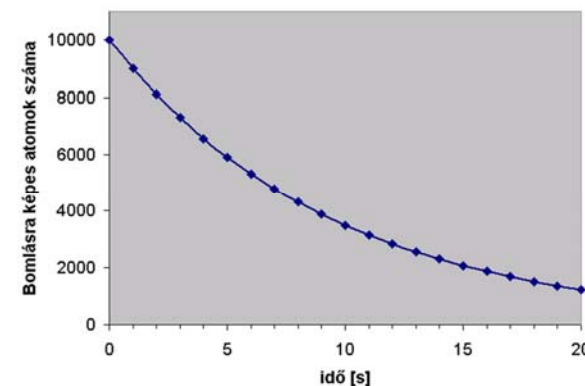
Példa

- Példa: $N_0 = 10000$ $\lambda = 0,1 \text{ } 1/s$
- 1 sec múlva: 9000 (10000x0,1=1000 elbomlott)
- 2 sec múlva: 8100 (9000x0,1=900 elbomlott)
- 3 sec múlva: 7290 (8100x0,1=810 elbomlott)
- 4 sec múlva: 6561 (7290x0,1=729 elbomlott)



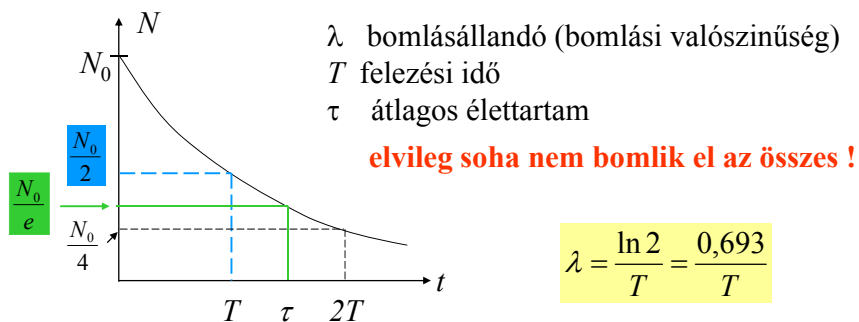
Példa

- Példa: $N_0 = 10000$ $\lambda = 0,1 \text{ } 1/s$
- 1 sec 9000
- 2 sec 8100
- 3 sec 7290
- 4 sec 6561
-



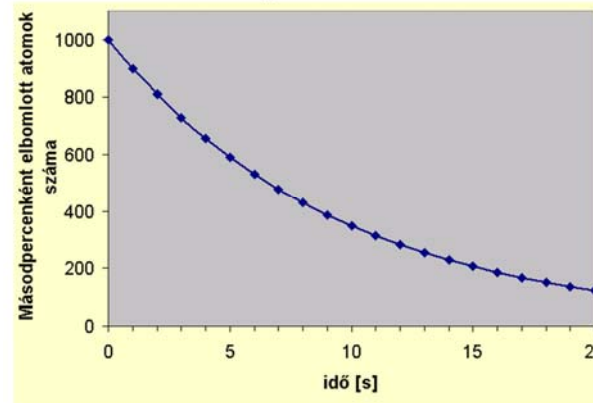
Felezési idő, bomlástörvény

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



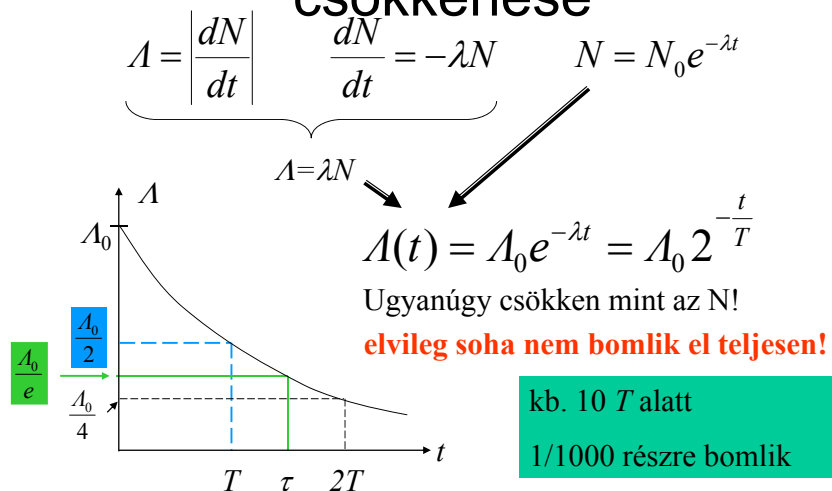
Példa

• Példa: $N_0 = 10000$ $\lambda = 0,1 \text{ 1/s}$



1=1000 elbomlott)
 ,1=900 elbomlott)
 ,1=810 elbomlott)
 ,1=729 elbomlott)

Az aktivitás időbeli csökkenése



A felezési idő az izotóp típusától függ

^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ év
^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ év
^{40}K	$1,3 \cdot 10^9$ év
^{14}C	5736 év
^{137}Cs	30 év
^3H	12,3 év

^{60}Co	5,3 év
^{59}Fe	1,5 hó
^{56}Cr	1 hó (28 nap)
^{131}I	8 nap
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 óra
^{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:

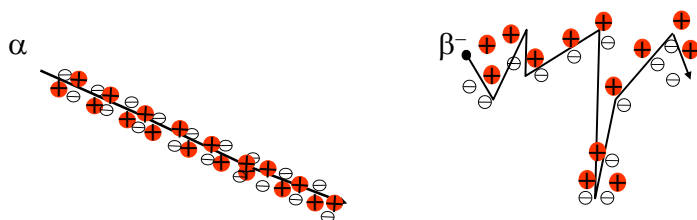
Minél nagyobb a részecskeenergia, annál nagyobb a hatótáv.
(egy adott sugárzáson belül)

Sugárzások elnyelődése

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

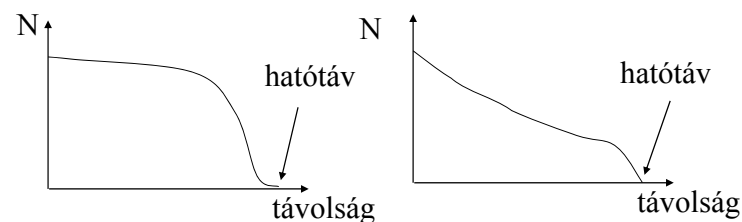
Töltött részecskék elnyelődése

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



Hatótávolság

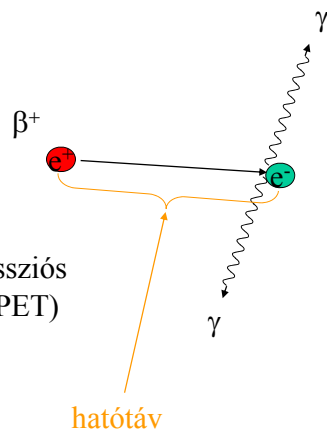
α -részecske	β^- -részecske
levegőben néhány cm	levegőben m nagyságrendű
szövetben 0,01-0,1 mm	szövetben cm



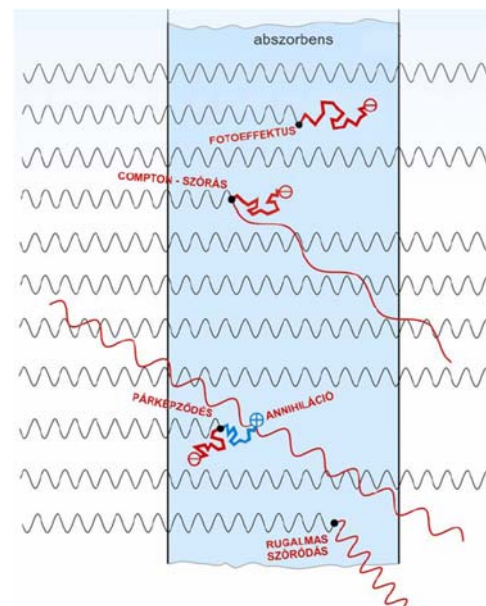
β^+ -sugárzás

annihiláció

Ld: Pozitron Emissziós
Tomográfia (PET)



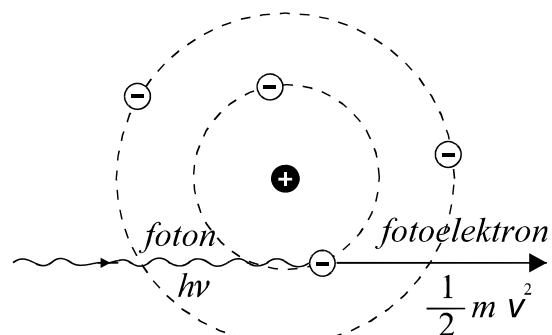
A γ - (és Rtg) sugárzás elnyelődése



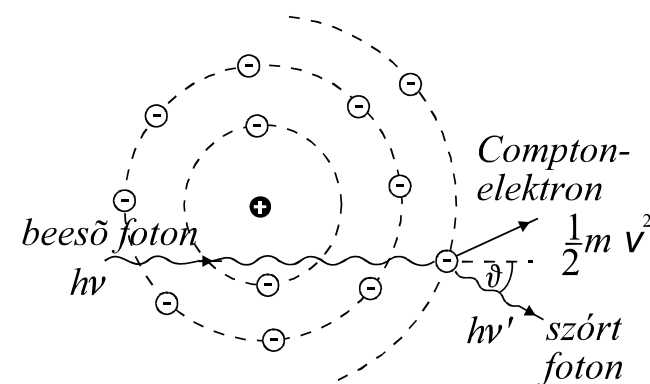
Véletlenszerűen fellépő
effektusok által meg végbe:

Fotoeffektus,
Compton-effektus,
párképződés,
(rugalmas szóródás)

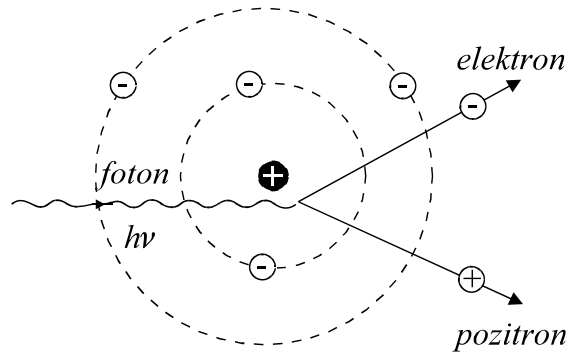
Fotoeffektus



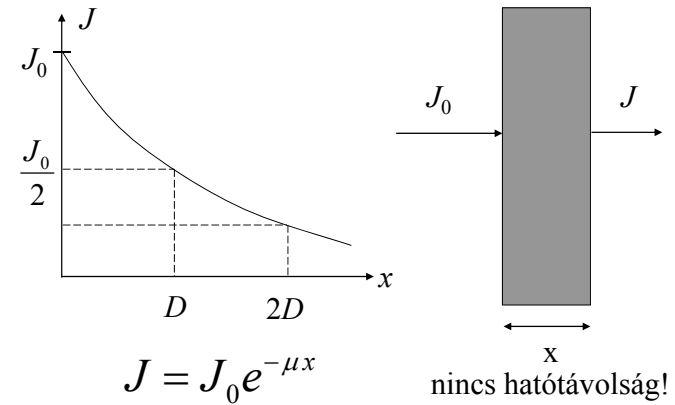
Compton effektus



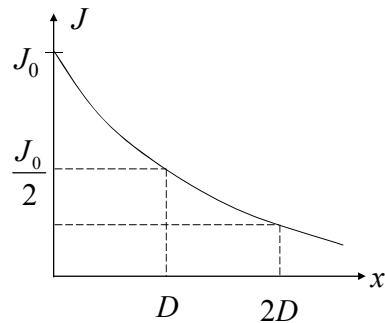
Pároképződés



γ - és röntgensugárzás gyengülése



néhány „ökölszabály”: $x_{1/10}=3,33 D$ $x_{1/1000}=10 D$



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

μ : (lineáris) gyengítési együttható
mértékegysége: $1/m$, $1/cm$

$\delta = \frac{1}{\mu}$ „behatolási mélység”
az intenzitás e-ed
részére csökken (kb. 37%)

μ (anyagi minőség, absz. centrumok száma, sugárzás energiája)
 $= \mu(\text{anyag}, \rho, E_{\text{foton}}) \sim \rho$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{tömeggyengítési együttható}$$

tömeggyengítési együttr

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

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

$$\tau_m = c \lambda^3 Z^3$$

