



Magsugárzások

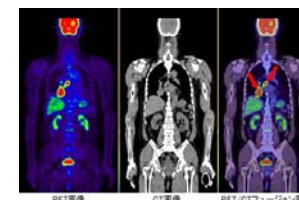
Dr Smeller László
egyetemi tanár

Semmelweis Egyetem
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

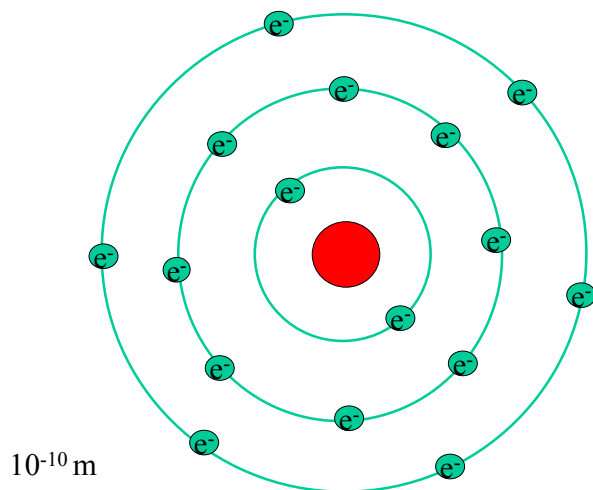
Miért érdekes?

Radioaktív izotópok ill. sugárzások

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



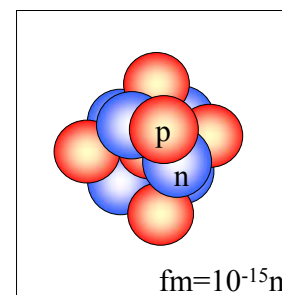
Az atom felépítése



Változások az elektronburokban:
=> kémiai folyamatok

Az atommag átalakulásai:
=> radioaktivitás

Az atommag felépítése



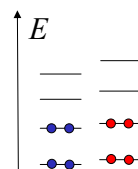
	töltés	tömeg
proton	+1 elemi töltés	1 atomi tömegegys.
neutron	0	1 atomi tömegegys.

A (tömegszám) = protonszám + neutronszám → 99
 Z (rendszám) = protonszám → 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)

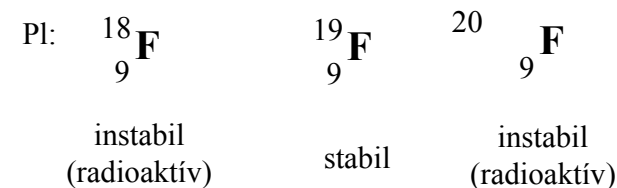


Izotóp

Azonos rendszámú de eltérő tömegszámú atommagok

=> azonos protonszám eltérő neutronszám

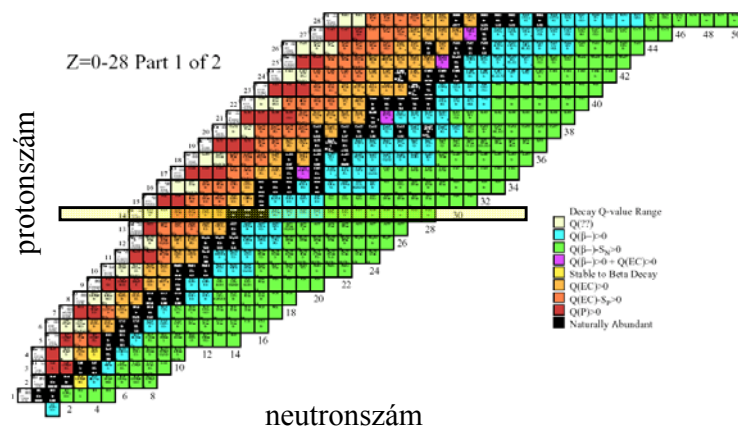
ugyanazon elem módosulatai, kémiai tulajdonságuk ua.



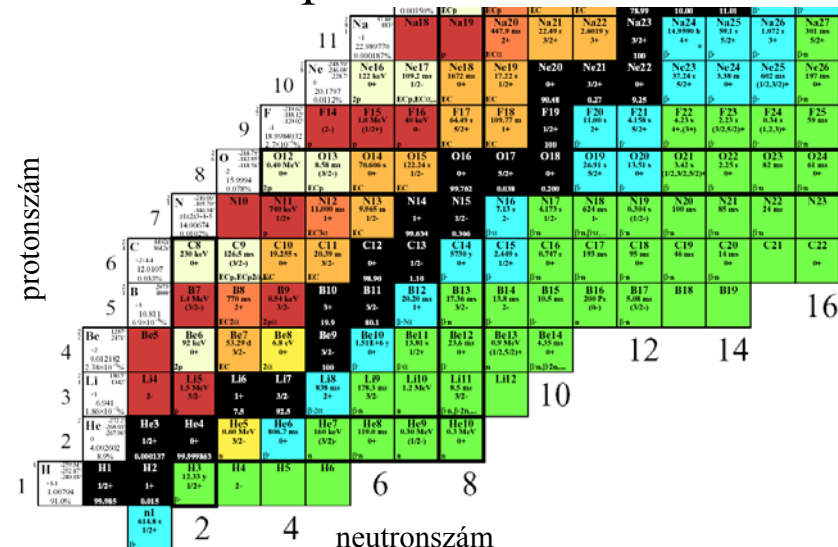
izotóp <-> radioaktív izotóp

Izotóptáblázat

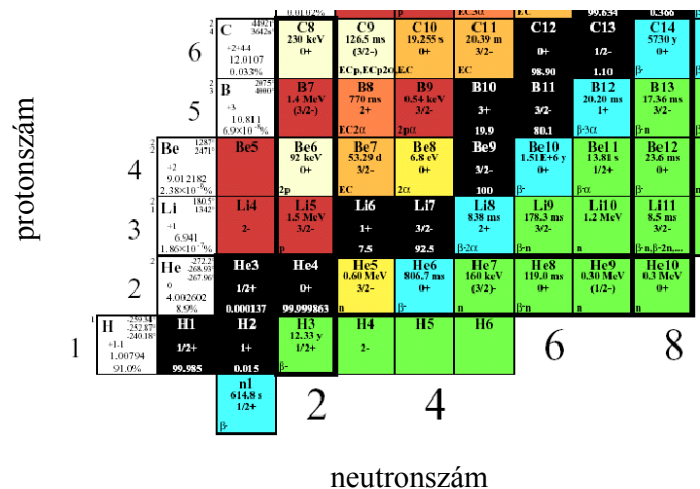
Table of Isotopes (1998)



Izotóptáblázat részlet

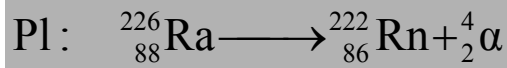
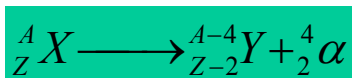


Izotóptáblázat részlet

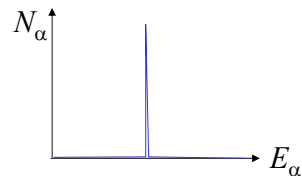


α - bomlás

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



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



Bomlások és részecskék

α - bomlás

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

$$\beta^- \text{-bomlás: } \beta^- \quad \beta^+$$

β^- részecske = elektron

β^+ részecske = pozitron

K-elektron befogás

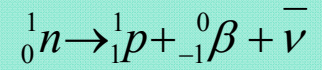
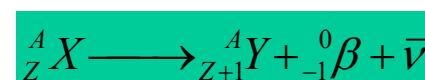
karakterisztikus
Röntgen-foton

Izomer magátalakulás

γ -sugárzás

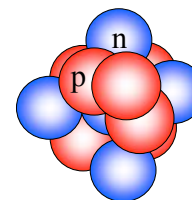
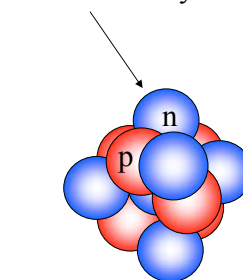
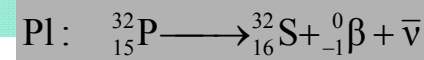
neutrontűlsúly

β^- - bomlás



az atommagban
marad

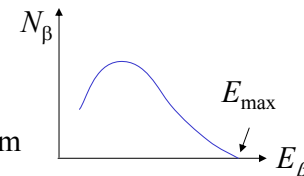
kilép



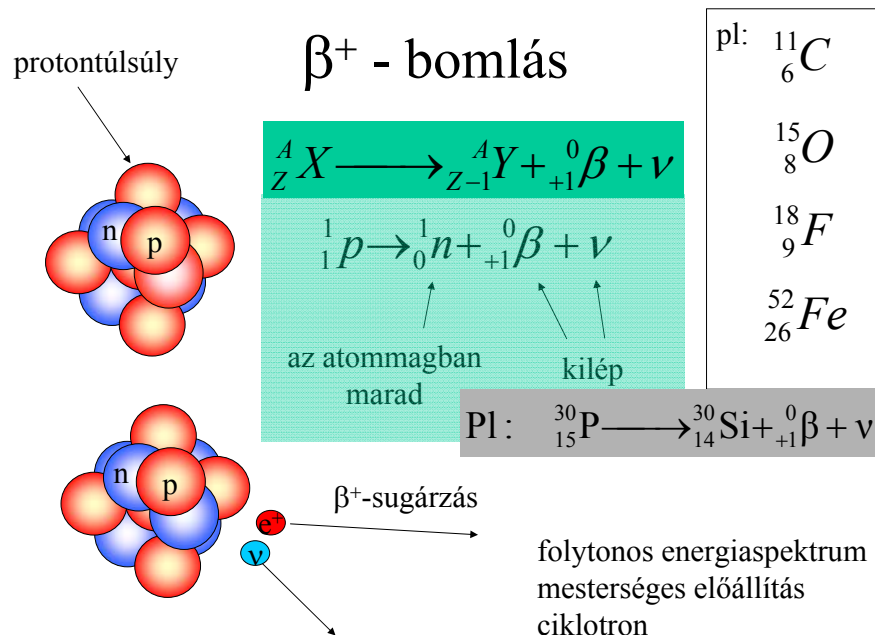
jelölések: $\beta^- = {}^0_{-1}\beta = e^-$

β^- -sugárzás

folytonos
energiaspe



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



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 $m_n > m_p$

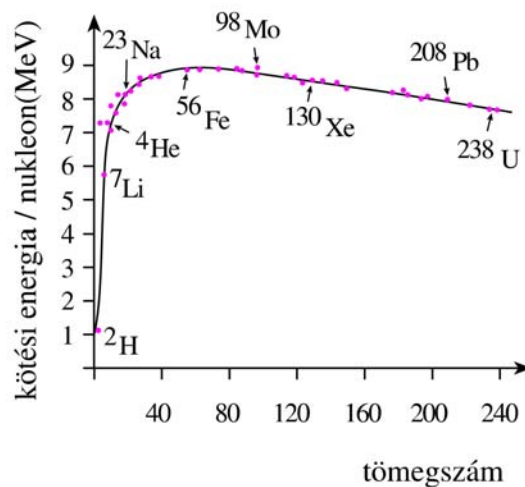
β^+ bomlás ?

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. =

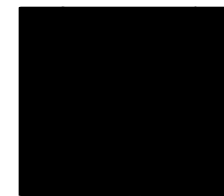
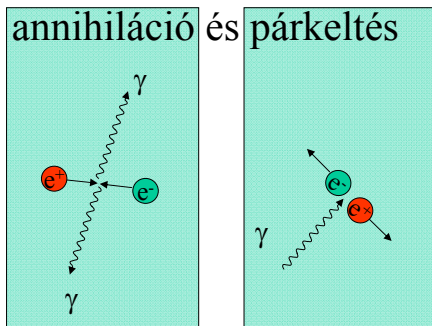
= $1,7118 \times 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

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

= 1,60 GeV = 208 x 7,69 MeV

Elektron és pozitron

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



Einstein:
tömeg-energia
ekvivalencia

$$E=mc^2$$

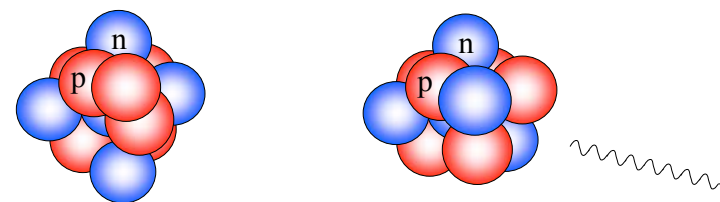
$$m_e c^2 = 511 \text{ keV} \approx 0,5 \text{ MeV}$$

... 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.

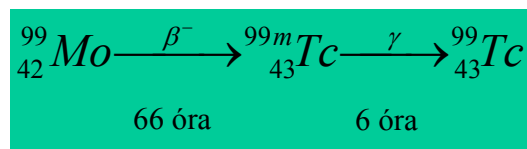
Izomer magátalakulás

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

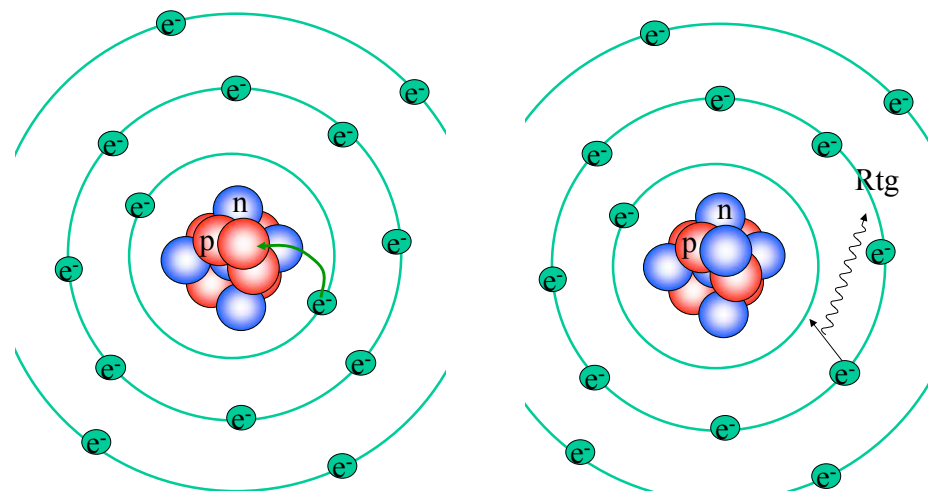
Tisztán γ -sugárzó izotóp állítható elő!

=> Izotópdiaгностика

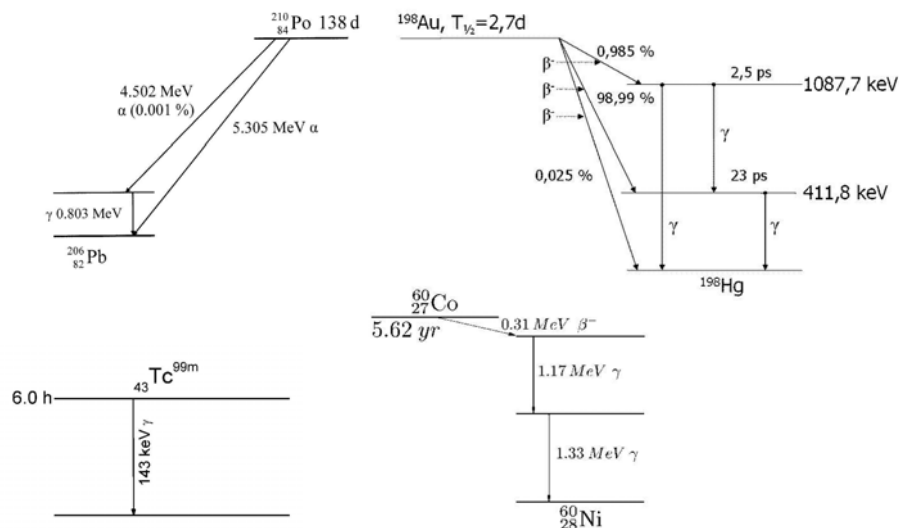
Pl: ^{99m}Tc



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

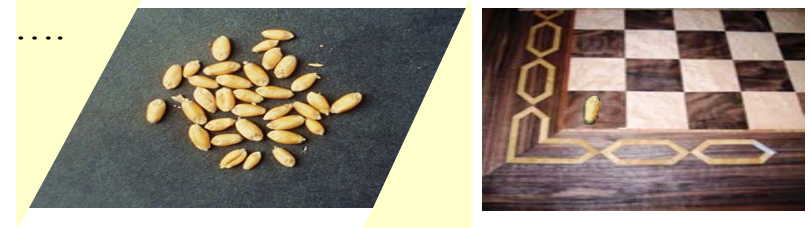
differentiálegyenlet

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

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

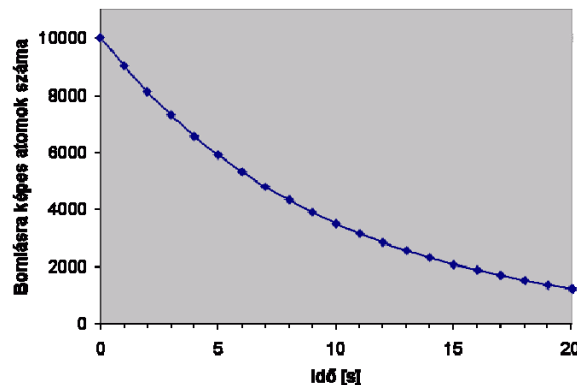
Példa

- Példa: $N_0=10000$ $\lambda=0,1$ 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)



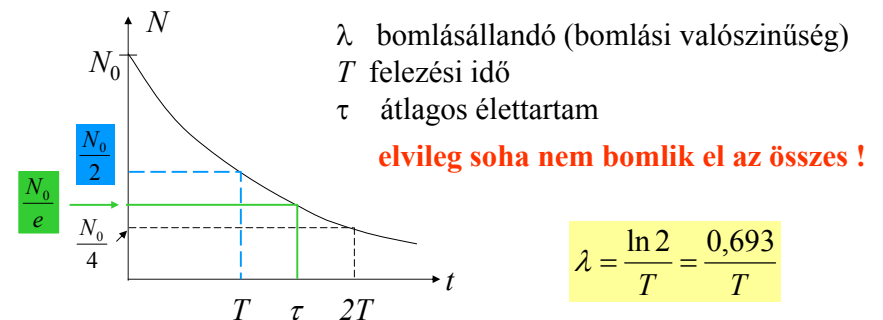
Példa

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



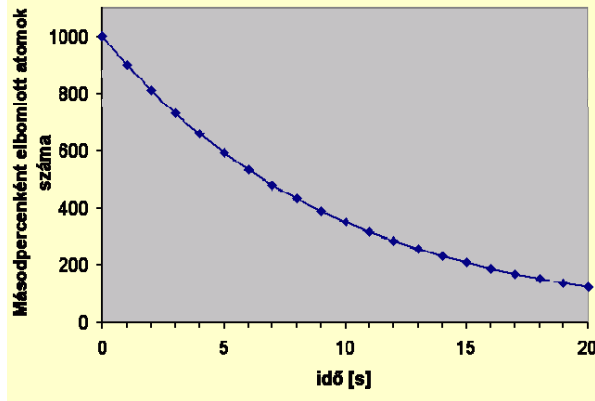
Felezési idő, bomlástörvény

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



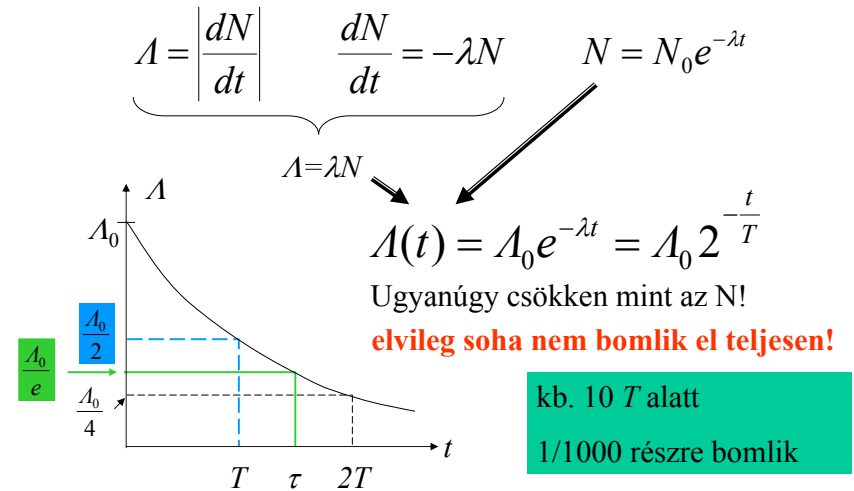
Példa

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



1000 elbomlott)
900 elbomlott)
810 elbomlott)
729 elbomlott)

Az aktivitás időbeli csökkenése



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.

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

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

Általában:

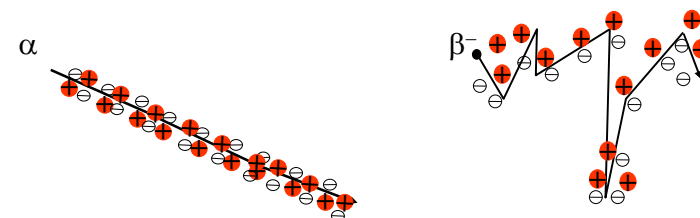
Minél nagyobb a részecskeenergia, annál nagyobb a hatótáv.
(egy adott sugárzáson belül)

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**

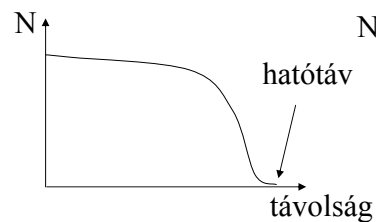


Hatótávolság

α -részecske

levegőben **néhány cm**

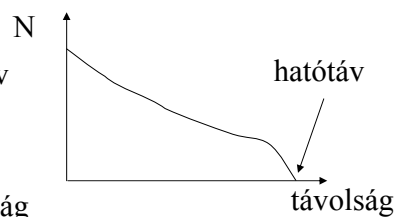
szövetben **0,01-0,1 mm**



β^- -részecske

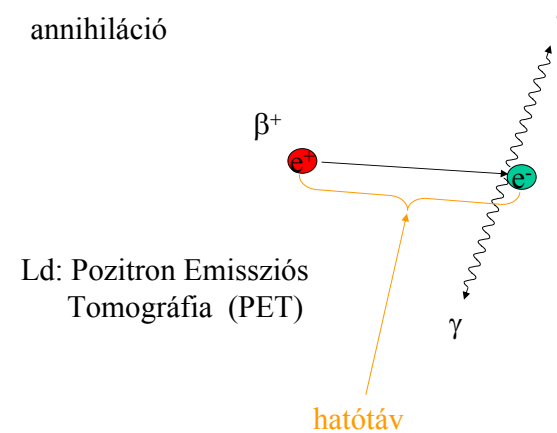
levegőben **m** nagyságrendű

szövetben **cm**



β^+ -sugárzás

annihiláció



Ld: Pozitron Emissziós
Tomográfia (PET)