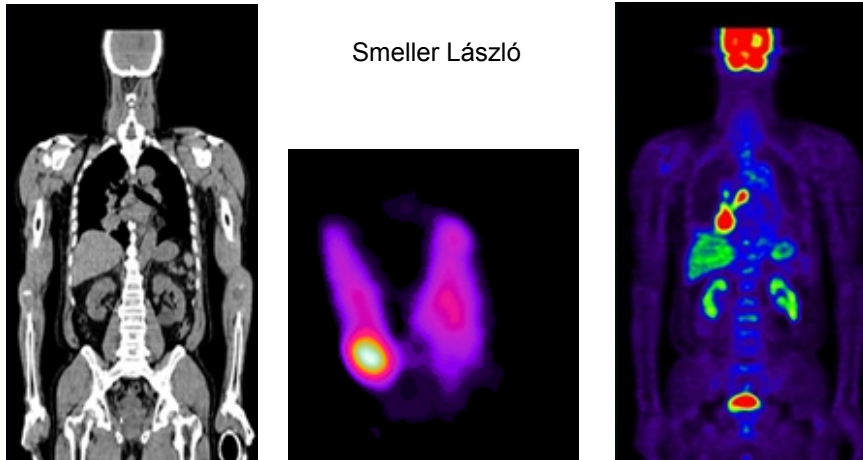






Az atommag: radioaktivitás, magsugárzások.

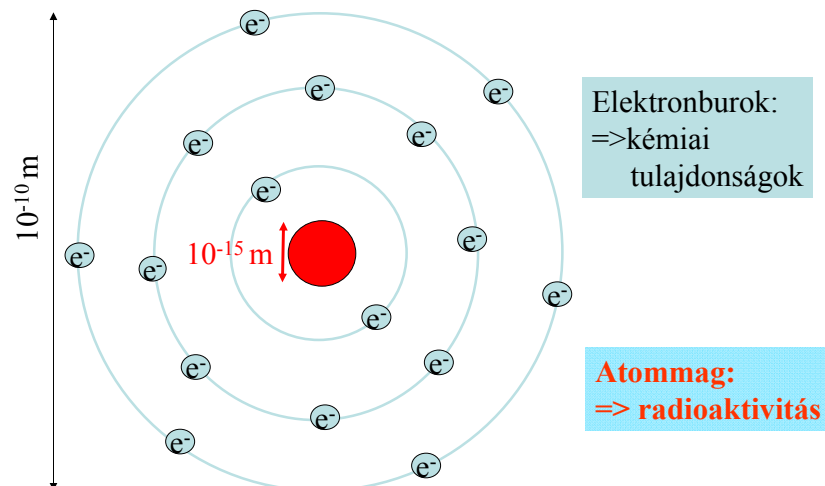
Az izotópos nyomjelzéses technikák alapjai



Méretek

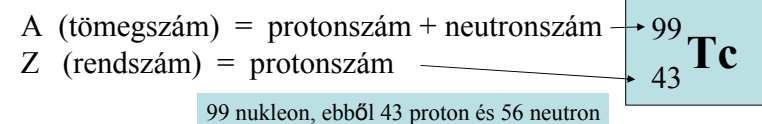
m		
10^0	méter	ember
10^{-3}	milliméter	szabad szemmel látható távolság
10^{-6}	mikrométer	sejt méret (pl. emberi vvt) 
10^{-9}	nanométer	fehérje 
10^{-10}	– Angström	atom átmérője, kémiai kötéstávolság H atom $\varnothing \approx 1$ Angström (Å) 
10^{-12}	pikométer	röntgensugárzás hullámhossza
10^{-15}	femtométer	atommag 

Az atommag



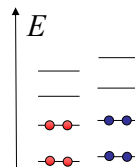
Az atommag felépítése

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



Az atommag stabilitása

- Magerő: rövid hatótáv (~fm)
nagyon erős
vonzó (töltésfüggetlen)
- Coulomb erő destabilizál!
(protonok között: taszító hatás)
- A nukleonok diszkrét energiaszinteken helyezkednek el.
- A mag energiája is diszkrét (kvantált)
- Energiaszintek tipikus távolsága MeV
- $eV = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$



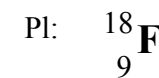
Izotóp

Azonos rendszámú de eltérő tömegszámú atomok

⇒ azonos protonszám eltérő neutronszám

Ugyanannak az elemnek a módosulatai,

⇒ kémiai tulajdonságaik azonosak.



instabil
(radioaktív)



stabil

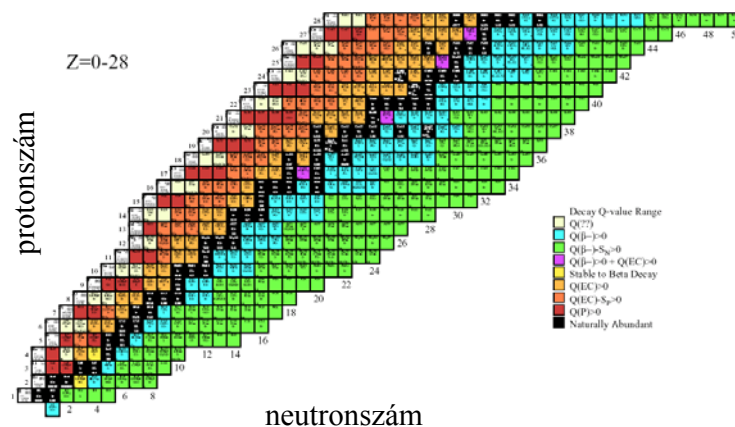


instabil
(radioaktív)

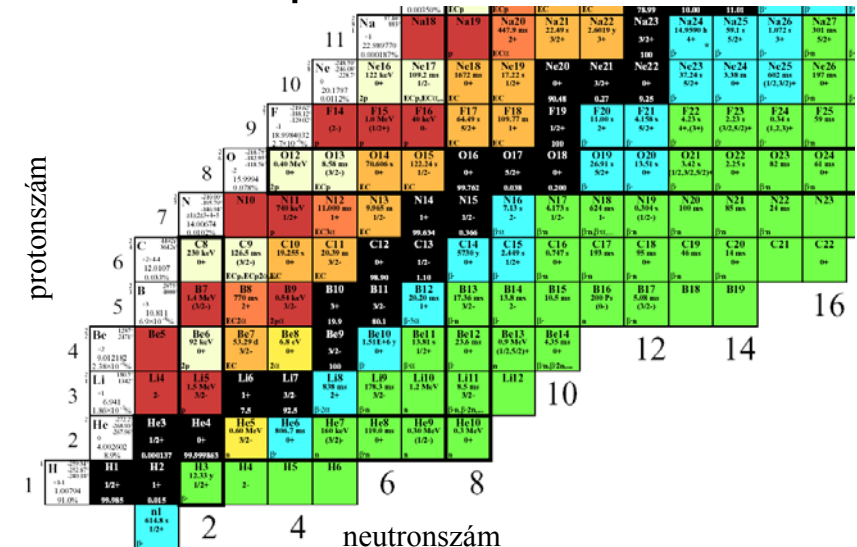
izotóp \leftrightarrow radioaktív izotóp

Izotóptáblázat

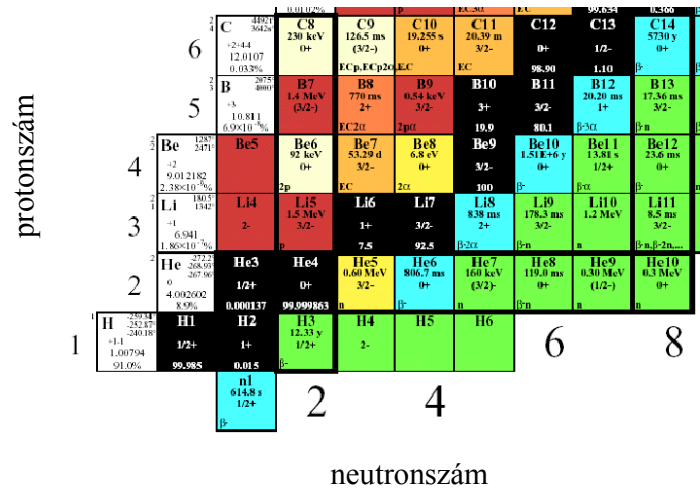
Table of Isotopes (1998)



Izotóptáblázat részlet



Izotóptáblázat részlet



Bomlások és részecskék

α - bomlás

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

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

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

K-elektron befogás

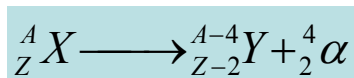
karakterisztikus
Röntgen-foton

Izomer magátalakulás

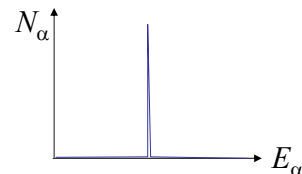
γ -sugárzás

α - bomlás

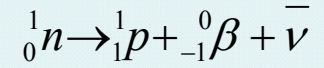
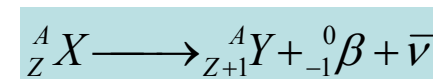
α - bomlás: ${}^4\text{He}$ atommag válik le a magról
nehéz atommagoknál fordul elő



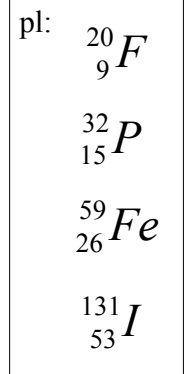
Vonalas energiaspektrum
 $E_\alpha \sim \text{MeV}$



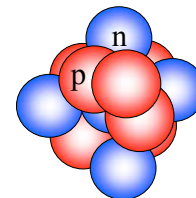
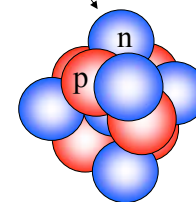
β^- - bomlás



az atommagban marad kilép

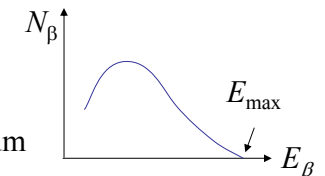


neutrontúlsúly



β^- -sugárzás

folytonos
energiaspektrum



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

protontúlsúly

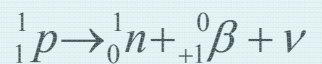
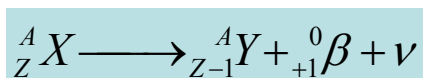
β^+ - bomlás

pl: ${}^{11}_6\text{C}$

${}^{15}_8\text{O}$

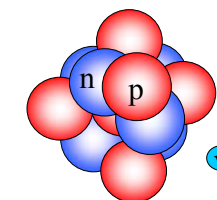
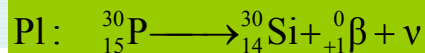
${}^{18}_9\text{F}$

${}^{52}_{26}\text{Fe}$



az atommagban
marad

kilép



β^+ -sugárzás

folytonos energiaspektrum
mesterséges előállítás

Hogy is van ez?

tömegek: $m_p = 1,672623 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$m_n = 1,674928 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

β^- OK

β^+ ?

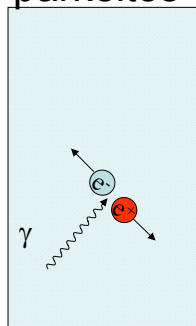
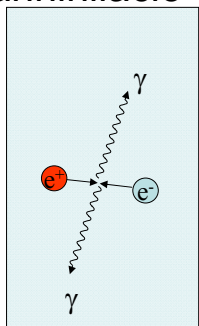
Megoldás: Einstein féle tömeg-energia ekvivalencia

$$E = mc^2$$

kötött nukleon: alacsonyabb energiaszint: kisebb tömeg!

Kis kitérő: elektron - pozitron

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



Einstein:

tömeg-energia
ekvivalencia

$$E = mc^2$$

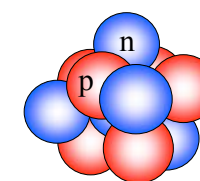
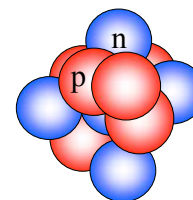
$$m_e c^2 = 511 \text{ keV} \approx 0,5 \text{ MeV}$$

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.

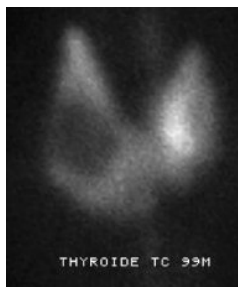
Izomer magátalakulás

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

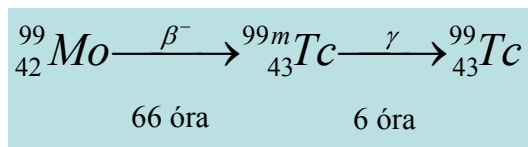
A két folyamat szeparálható.

Tisztán γ -sugárzó izotóp állítható elő!

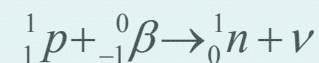
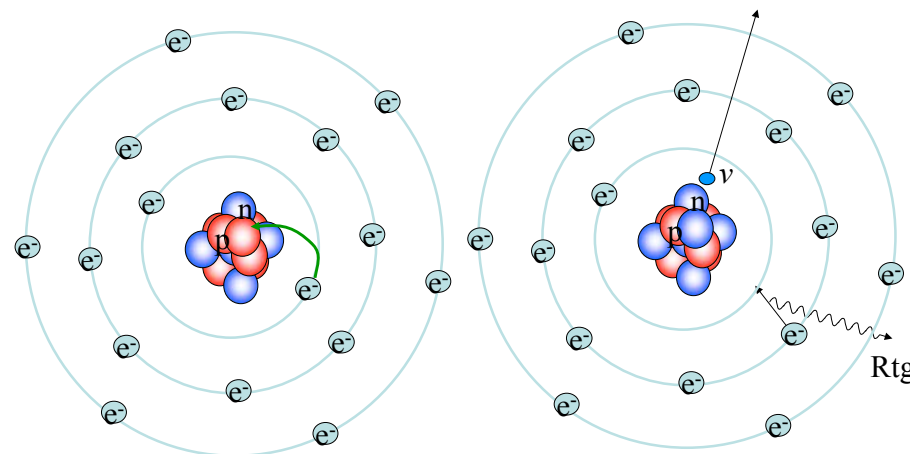
=> Izotópdiaгностика



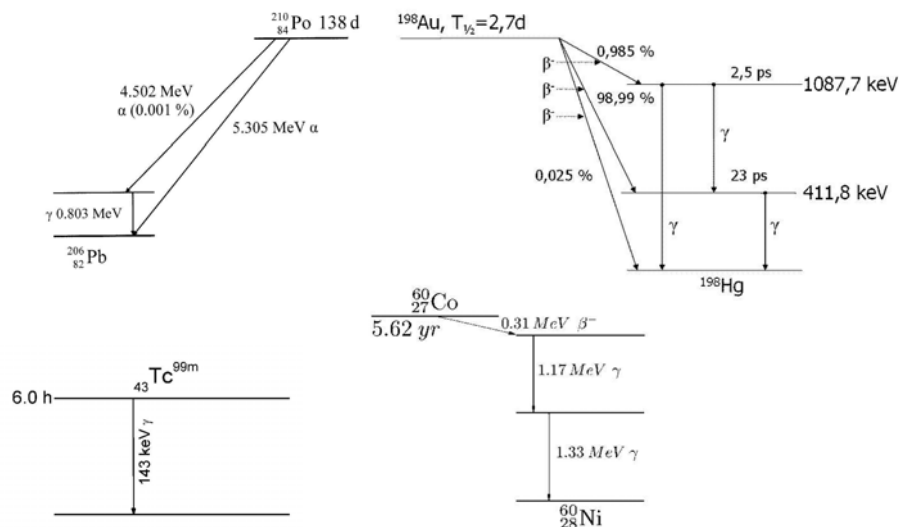
Pl: ^{99m}Tc



K-befogás (inverz β -bomlás)



Példák bomlási sémákra



Bomlás, hasadás, fúzió

- Bomlás: kis részecske távozik (α , β , γ ...)
- Hasadás: kb. két azonos részre hasad (nehéz magoknál)
- Fúzió: könnyű magok egyesülése



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 keletk. pl: ^3H ^{14}C

Radiogenikus izotópok: A primordiális izotópok bomlástermékei. pl.: ^{226}Ra , ^{228}Ra ^{222}Rn

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

Hogyan állíthatunk elő izotópokat?

Mesterséges izotópok:

β^- bomlók: atomreaktorban.
(neutronbombázással)

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

tisztán γ sugárzók: izotópgenerátor

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

N a bomlásra képes (=elbomlatlan) atomok száma

λ : bomlási állandó, bomlási valószínűség [1/s]

$1/\lambda = \tau$ idő! átlagos élettartam

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

differentiálegyenlet

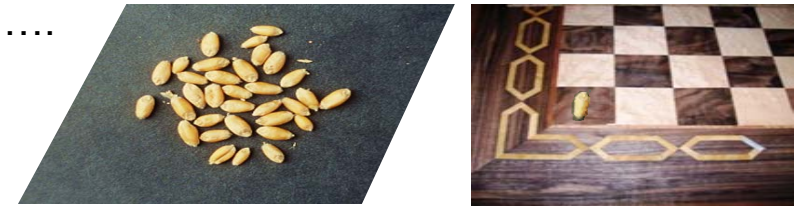
megoldása:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{exponenciális lecsengés!}$$

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

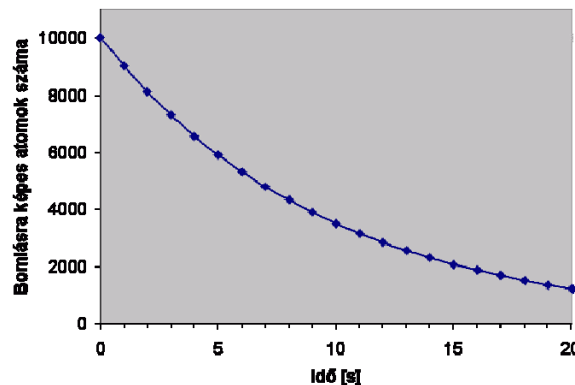
Példa

- 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)
-



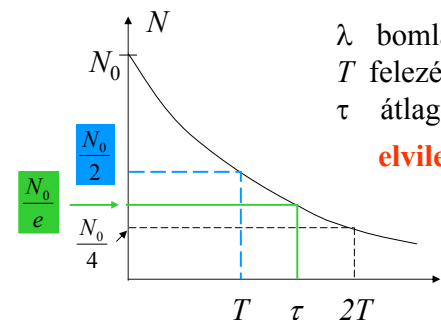
Példa

- 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

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



λ bomlásállandó (bomlási valószínűség)

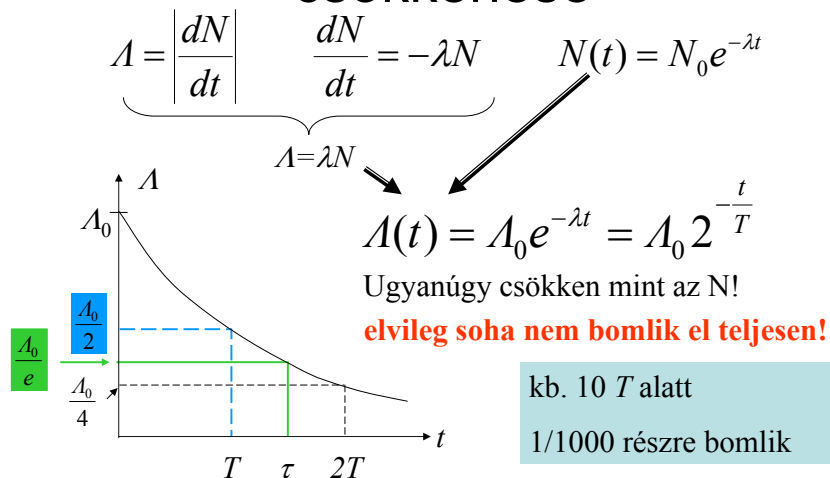
T felezési idő

τ átlagos élettartam

elvileg soha nem bomlik el az összes !

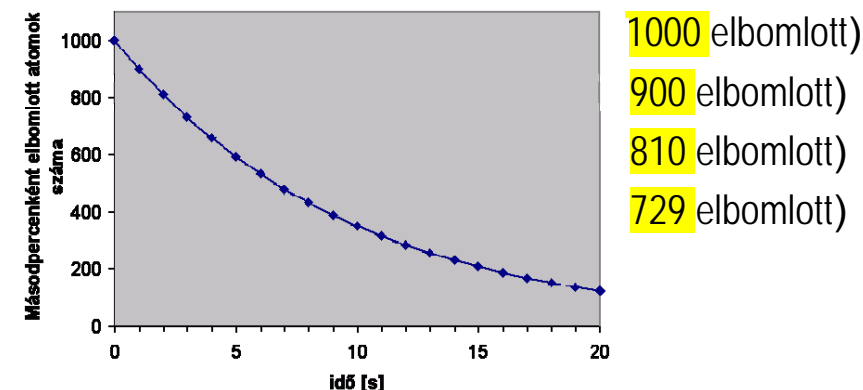
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T}$$

Az aktivitás időbeli csökkenése



Példa

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



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

A radioaktív sugárzás tipikus részecskeenergiája
(a magátalakuláskor felszabaduló energia)

a **MeV** nagyságrendben van.

$\text{eV} = \text{elemi töltés} \times 1 \text{ Volt} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 0,16 \text{ aJ}$

Tipikus energia-nagyságrendek a mikrovilágban

Külső elektronok
gerjesztése,
kilökése

eV (aJ)

fény



belső elektronpályák
közti átmenet

keV (fJ)

röntgensugár



atommag-
átalakulás

MeV (pJ)

radioaktív
sugárzás
pl. γ



Sugárzások és anyag köölcsönhatása.

A sugárzások elnyelődése

α
 β^+
 β^-

} elektromos töltéssel rendelkező részecskék

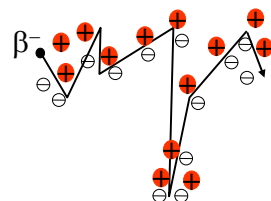
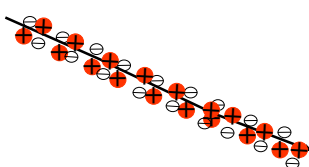
γ
 Rtg

} töltetlen részecskék (elektromágneses sugárzás)

Töltött részecskék elnyelődése

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

α



Hatótávolság

α -részecske

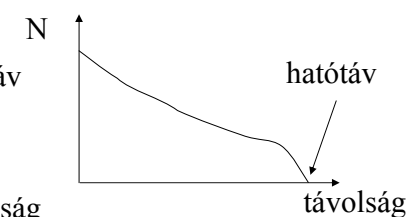
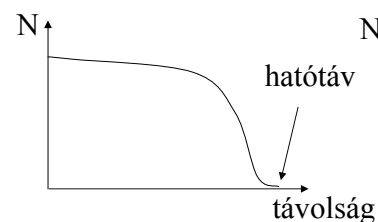
β^- -részecske

levegőben **néhány cm**

levegőben **m** nagyságrendű

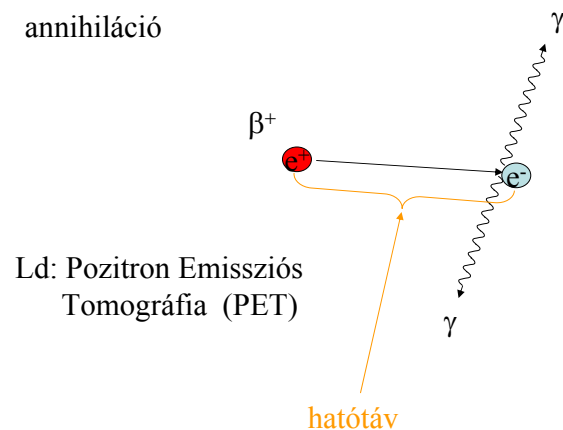
szövetben **0,01-0,1 mm**

szövetben **cm**

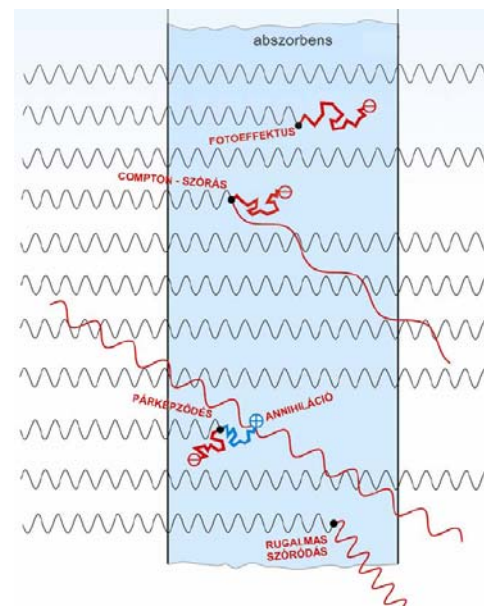


β^+ -sugárzás

annihiláció



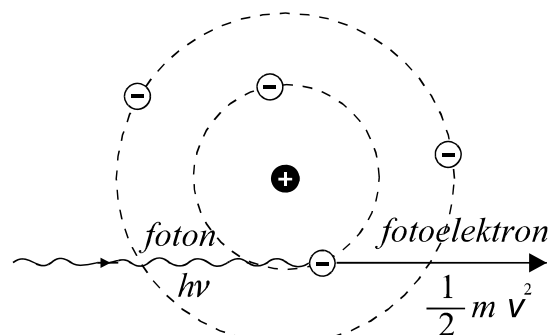
A γ - (és Rtg) sugárzás elnyelődése



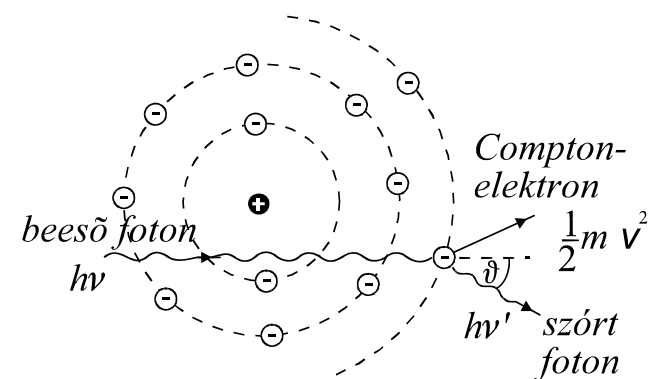
Véletlenszerűen fellépő
effektusok által meg végbe:

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

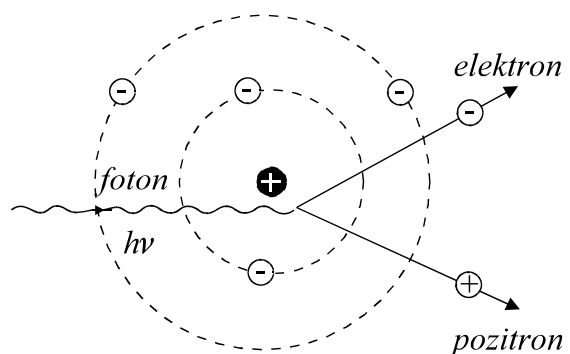
Fotoeffektus



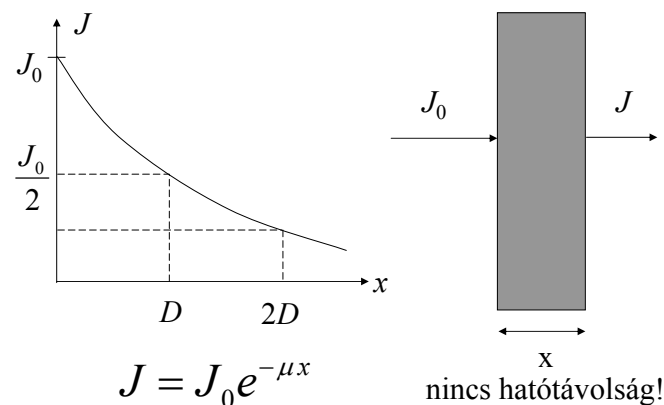
Compton effektus



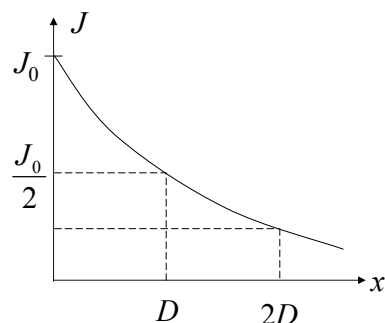
Párképződés



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)
 $= \mu(\text{anyag}, \rho, E_{\text{foton}}) \sim \rho$

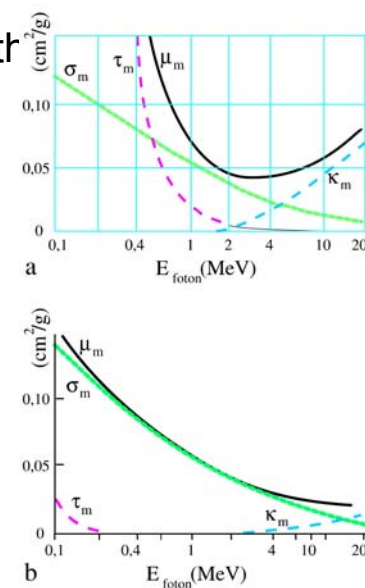
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{tömeggyengítési együttható}$$

tömeggyengítési együttr

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

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

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

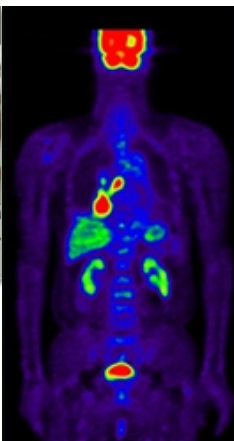


Alkalmazások

(sugárzások és sugárforrások)

Izotópdiagnosztika

részletesen 2 hét múlva



tűzjelző



Sugárterápia



Alkalmazások

(sugárzások gyengülése)



Rtg sugárzás elnyelődése

izotóptárolás (ólomvédelem)



izotópos fecskendő sugárvédő tokban



Alkalmazások

(sugárzások gyengülése)



ólomüveg

ólomköpeny



pajzsmirigyvédő ólomgallér



Köszönöm a figyelmet!