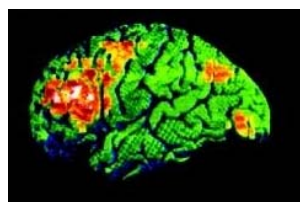
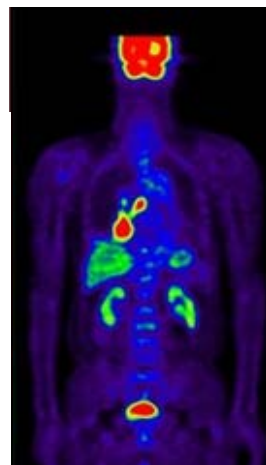
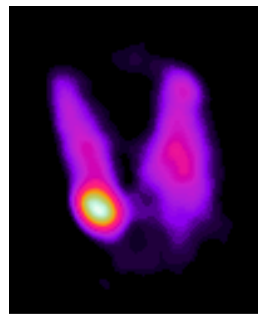
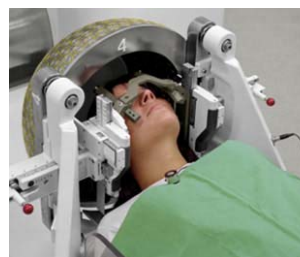


Az atommag: radioaktivitás, magsugárzások. Az izotópos nyomjelzéses technikák fizikai



alapjai

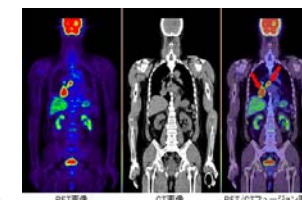
Smeller László



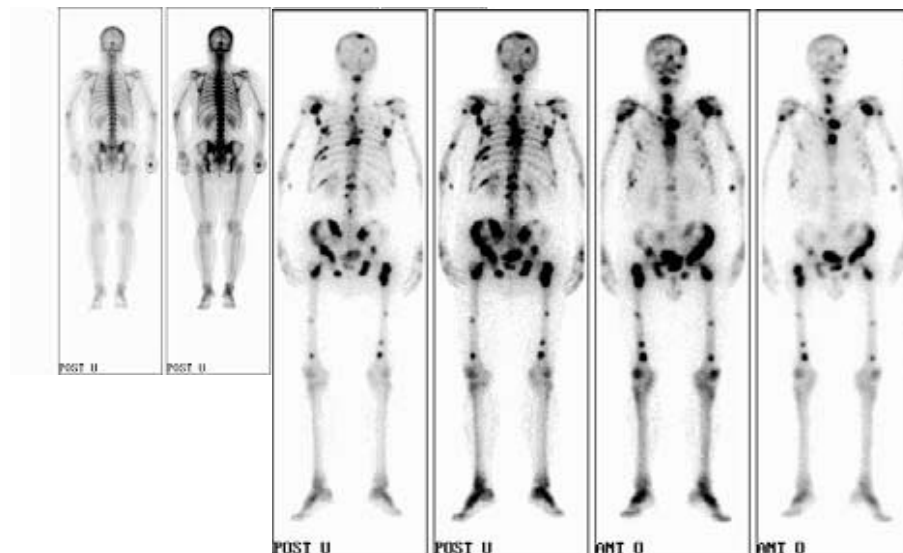
Miért érdekes?

Radioaktív izotópok ill. sugárzások

- orvosi felhasználása:
 - diagnosztika (izotópdiagnosztika)
 - terápia (sugárterápia)
 - farmakokinetikai vizsgálatok



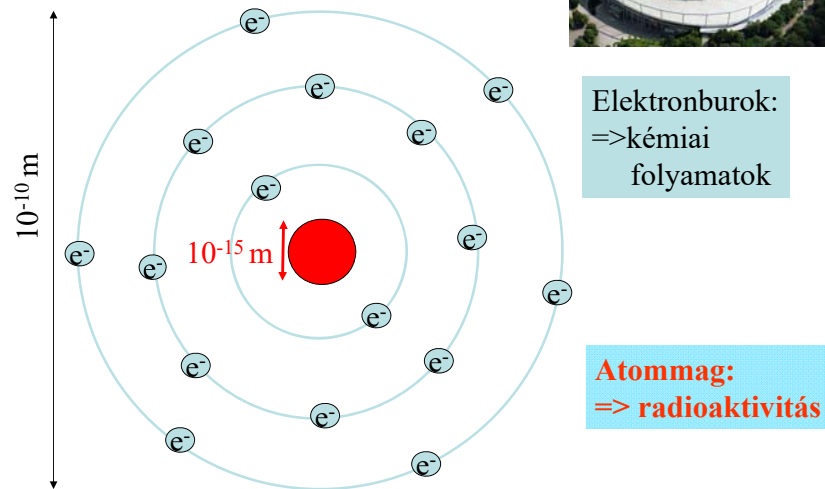
Példa: csontszcintigráfia



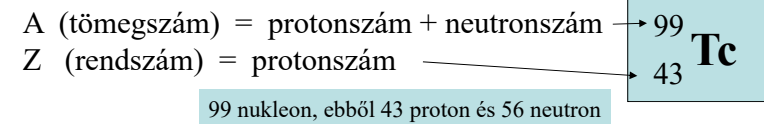
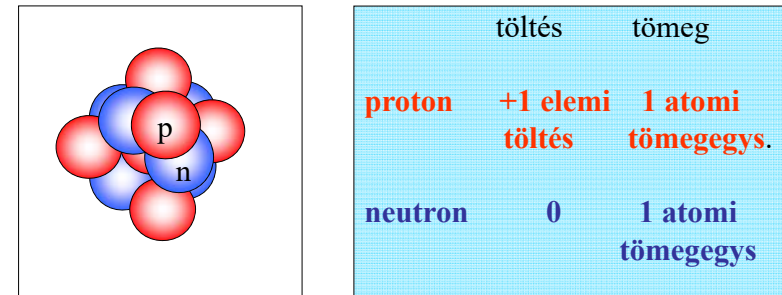
Méretek

m		
10^0	méter	ember
10^{-3}	milliméter	szabad szemmel látható távolság
10^{-6}	mikrométer	sejt méret (pl. emberi vvt) $\varnothing 7\mu\text{m}$
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

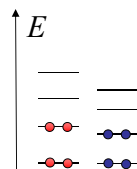


Az atommag felépítése



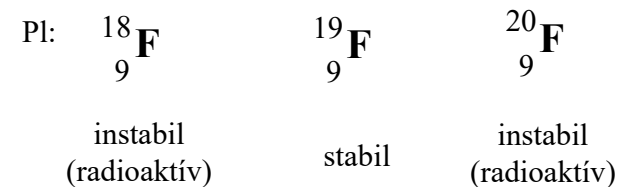
Az atommag stabilitása

- Coulomb erő destabilizál!
(protonok között: taszító hatás)
- Magerő: rövid hatótáv (~fm)
nagyon erős
vonzó (töltésfüggetlen)
- 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

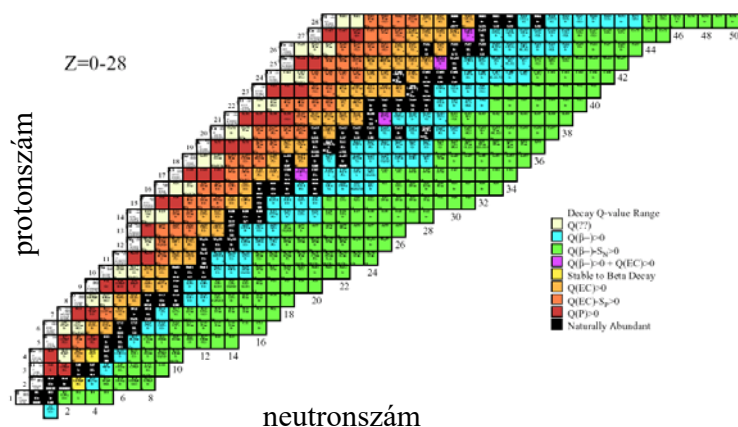
Azonos rendszámú de eltérő tömegszámú atomok
 \Rightarrow azonos protonszám eltérő neutronszám
 Ugyanannak az elemnek a módosulatai,
 \Rightarrow kémiai tulajdonságaik azonosak.



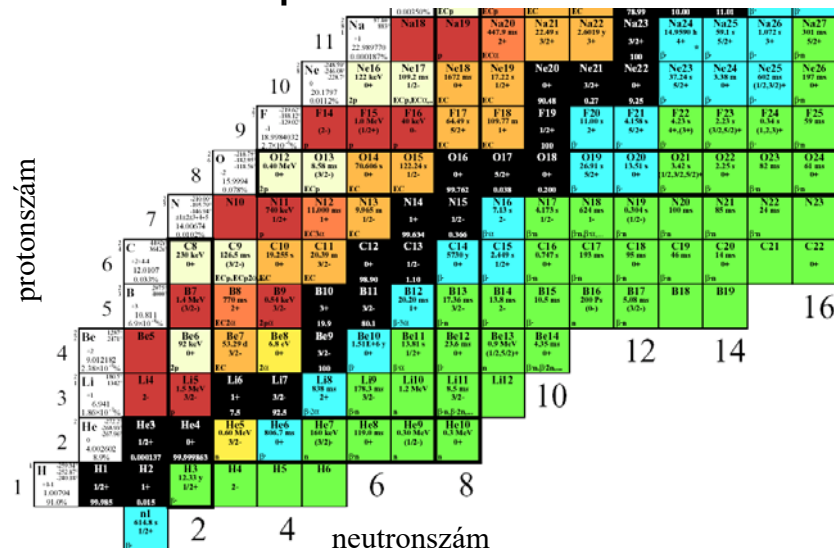
izotóp \leftrightarrow radioaktív izotóp

Izotóptáblázat

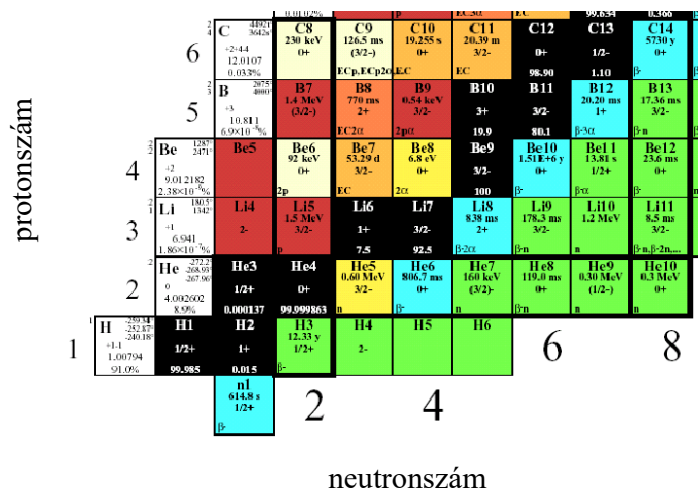
Table of Isotopes (1998)



Izotóptáblázat részlet



Izotóptáblázat részlet



Bomlások és részecskék

α - bomlás

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

β - bomlás: β⁻
β⁺

β⁻ részecske = elektron
β⁺ részecske = pozitron

K-elektron befogás

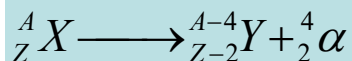
karakterisztikus
Röntgen-foton

Izomer magátalakulás

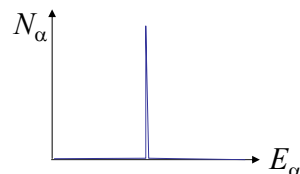
γ-sugárzás

α - bomlás

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

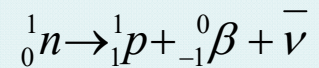
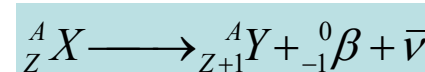
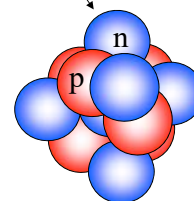


Vonalas energiaspektrum
 $E_\alpha \sim \text{MeV}$



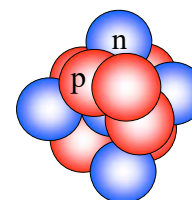
β^- - bomlás

neutrontúlsúly



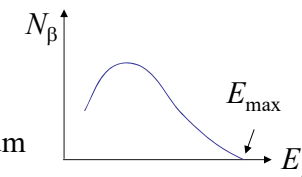
az atommagban
marad

kilép



β^- -sugárzás

folytonos
energiaspektrum



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

pl: ${}^{20}_9 \text{F}$

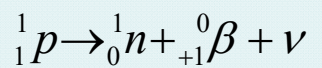
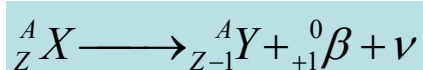
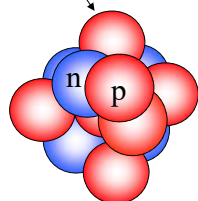
${}^{32}_{15} \text{P}$

${}^{59}_{26} \text{Fe}$

${}^{131}_{53} \text{I}$

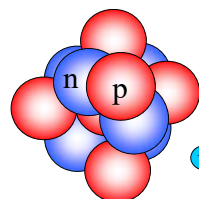
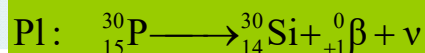
β^+ - bomlás

protontúlsúly



az atommagban
marad

kilép



β^+ -sugárzás

folytonos energiaspektrum
mesterséges előállítás

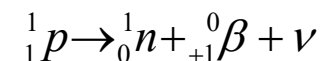
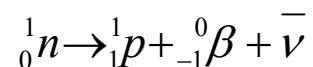
pl: ${}^{11}_6 \text{C}$

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

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

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

Hogy is van ez?



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

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

Nyugalmi tömegek!

Megoldás: Einstein féle tömeg-energia ekvivalencia

$$E = mc^2$$

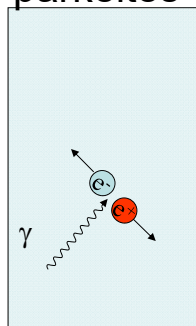
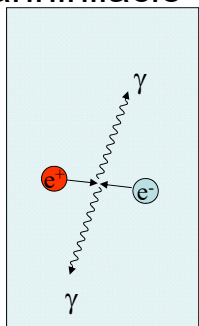
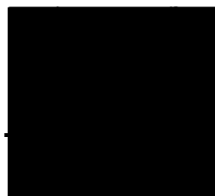
kötött nukleon:

alacsonyabb energiaszint: kisebb tömeg!



Kis kitérő: elektron - pozitron

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



Einstein:
tömeg-energia
ekvivalencia

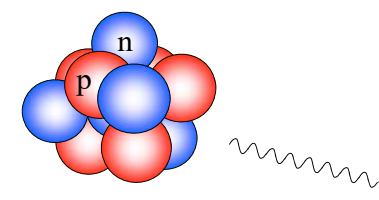
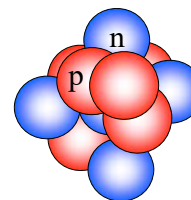
$$E=mc^2$$

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

Prompt γ -sugárzás

A bomlás után a nukleonok elhelyezkedése
energetikailag kedvezőtlen lehet

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



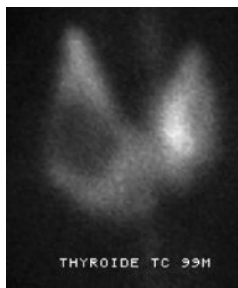
protonszám, neutronszám változatlan! Kísérőjelenség.

Izomer magátalakulás

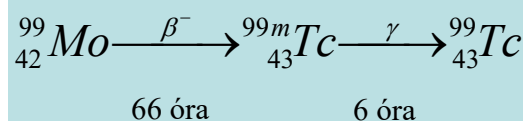
Ha a bomlás utáni mag elég hosszú ideig stabil,
a γ -sugárzás később keletkezik.
A két folyamat szeparálható.

Tisztán γ -sugárzó izotóp állítható elő!

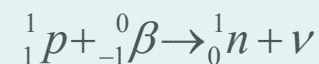
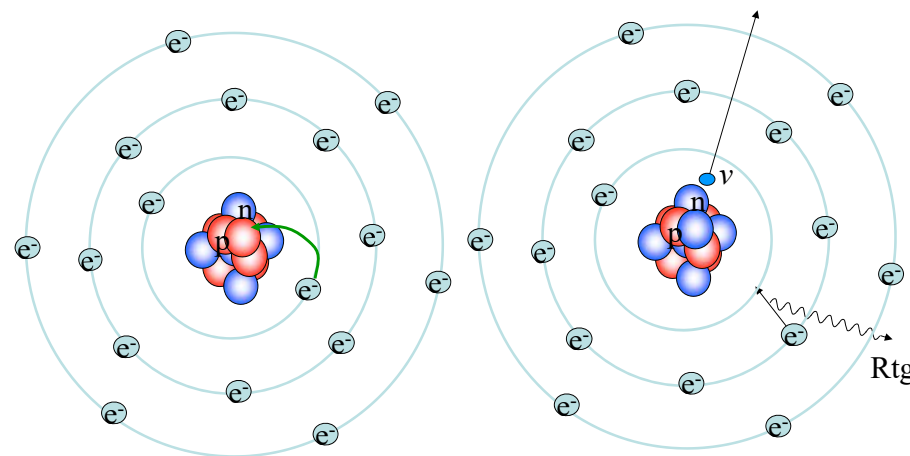
=> **Izotópdiaгностика**



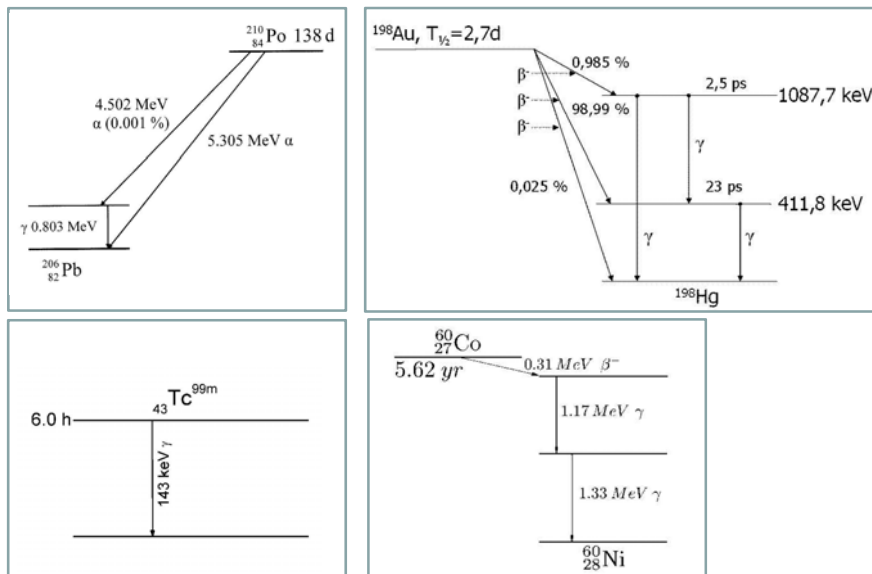
Pl: ^{99m}Tc



K-befogás (inverz β -bomlás)

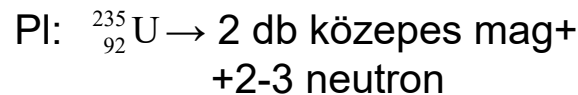


Példák bomlási sémákra



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

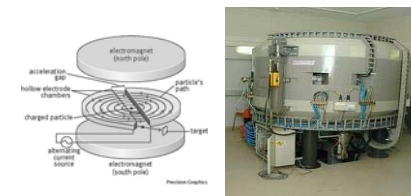
Hogyan állíthatunk elő izotópokat?

Mesterséges izotópok:

β^- bomlók: atomreaktorban.
(neutronbombázással)

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

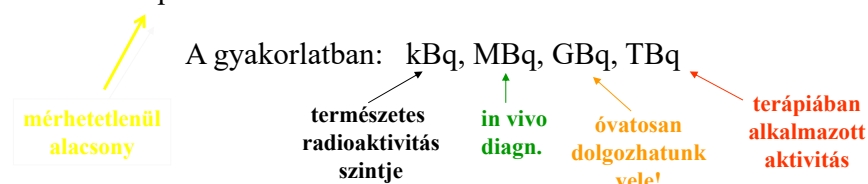
$$\Lambda = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| \quad \left(= \left| \frac{dN}{dt} \right| \right)$$

N = a bomlásra képes atomok száma
 t = idő

Aktivitás = az egységnyi idő alatt elbomlott atomok száma

mértékegysége: becquerel Bq
1 Bq = 1 bomlás/sec

Régi mértékegys: curie Ci
1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq = 37 GBq



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:

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

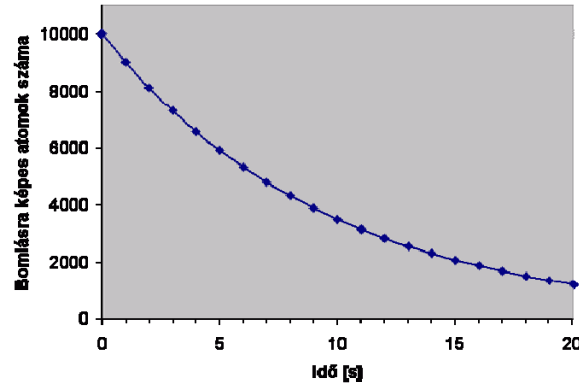
N_0 az elbomlatlan atomok száma kezdetben ($t=0$)

Példa

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

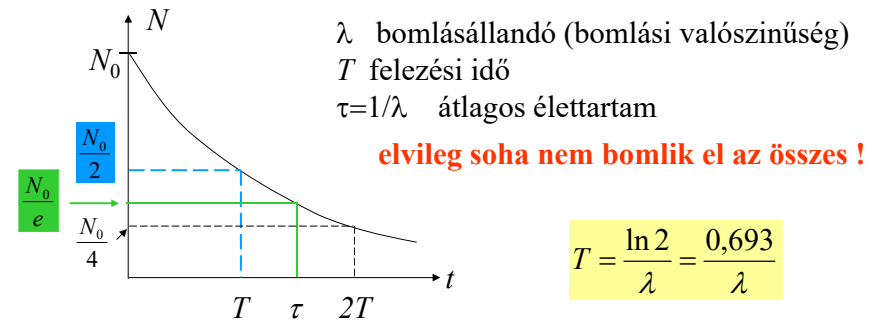
Példa

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



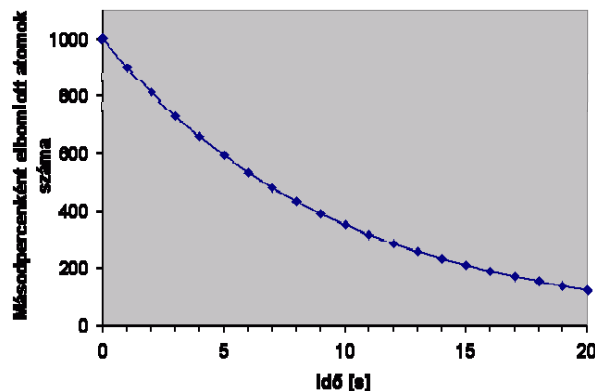
Felezési idő, bomlástörvény

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



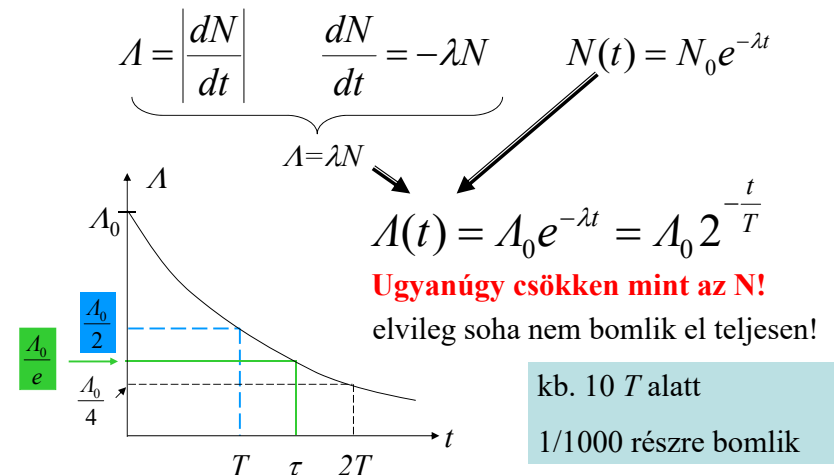
Az aktivitás csökkenése.

- 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

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

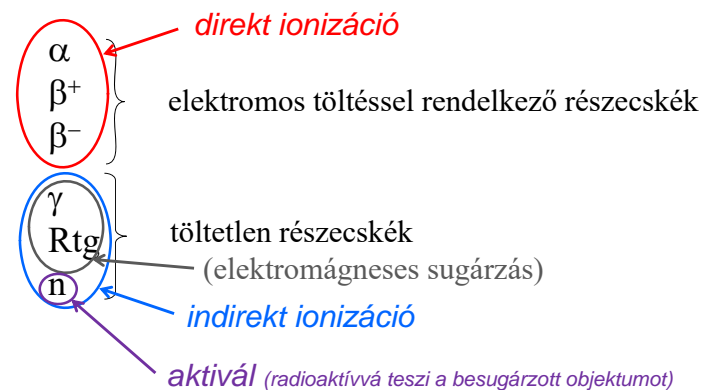
MeV (pJ)

radioaktív
sugárzás
pl. γ



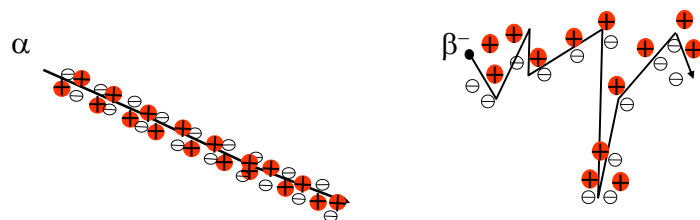
Sugárzások és anyag kölsönhatása.

A sugárzások elnyelődése



Töltött részecskék elnyelődése

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



Hatótávolság

α -részecske

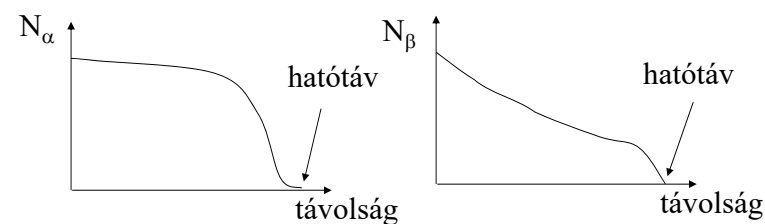
β^- -részecske

levegőben **néhány cm**

levegőben **m** nagyságrendű

szövetben **0,01-0,1 mm**

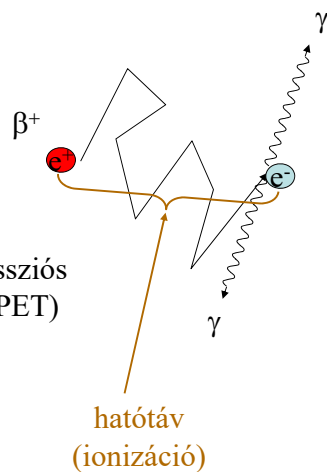
szövetben **cm**



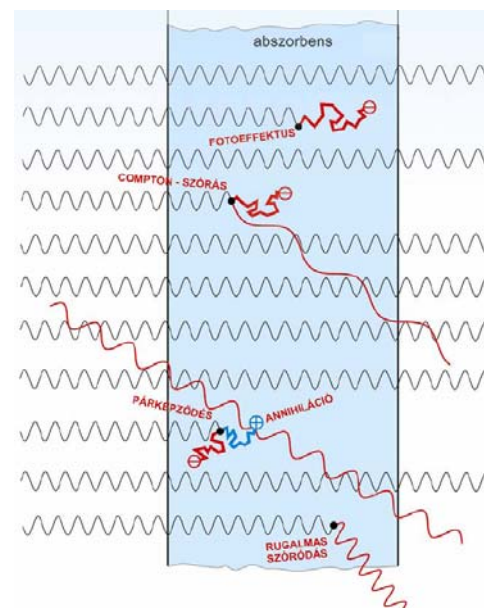
β^+ -sugárzás

annihiláció

Ld: Pozitron Emissziós
Tomográfia (PET)



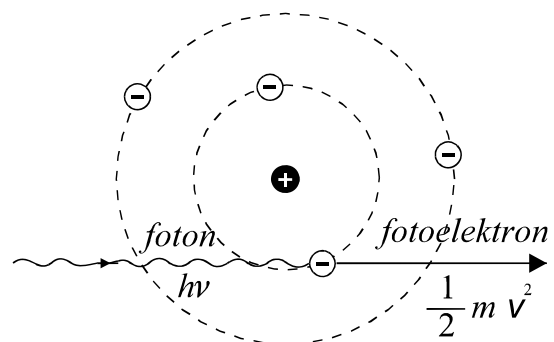
A γ - (és Rtg) sugárzás elnyelődése



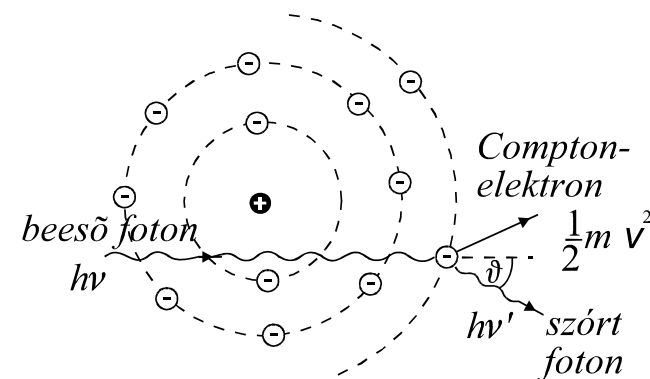
Véletlenszerűen fellépő
effektusok által meggy végbe:

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

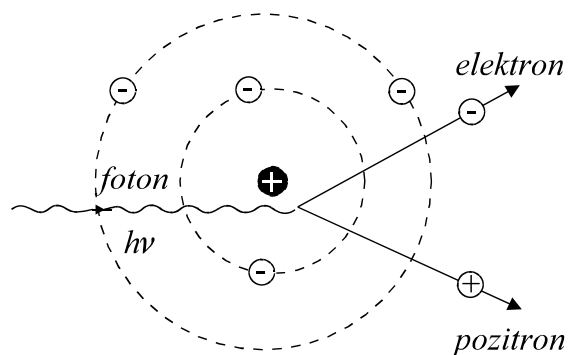
Fotoeffektus



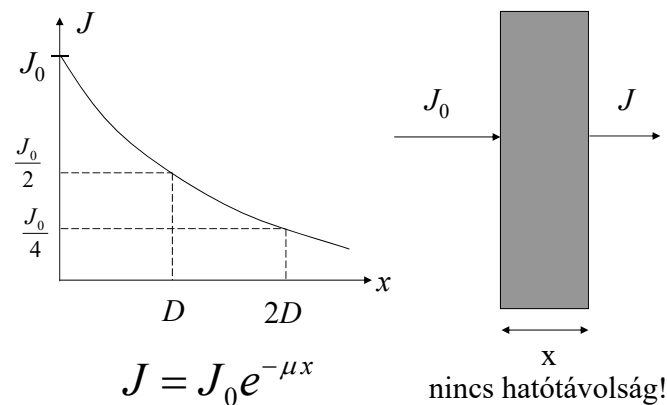
Compton effektus



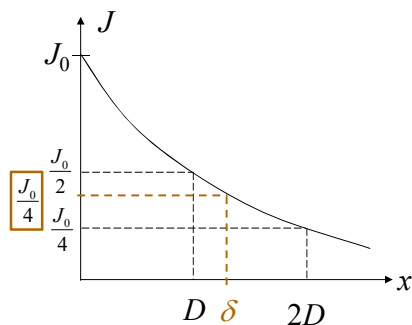
Pároképződés



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

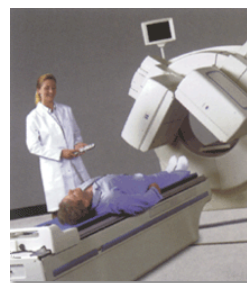
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{tömeggyengítési együttható}$$

Alkalmazások

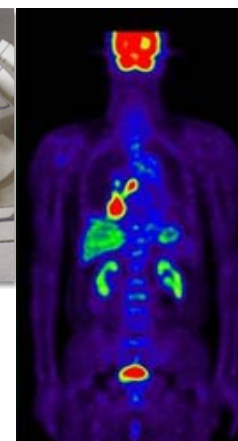
(sugárzások és sugárforrások)

Izotópdiagnosztika

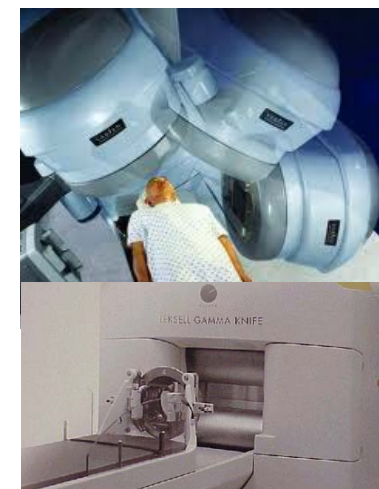
részletesen 2 hét múlva



tűzjelző



Sugárterápia



Alkalmazások

(sugárzások gyengülése)



Rtg sugárzás elnyelődése

izotóptárolás (ólomvédelem)



izotópos fecskendő sugárvédő tokban

Alkalmazások

(sugárzások gyengülése)



ólomüveg



pajzsmirigyvédő ólomgallér



ólomköpeny