



Magsugárzások

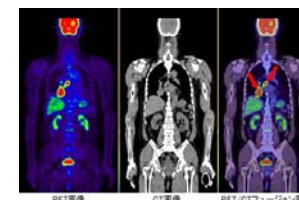
Dr Smeller László
egyetemi tanár

Semmelweis Egyetem
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

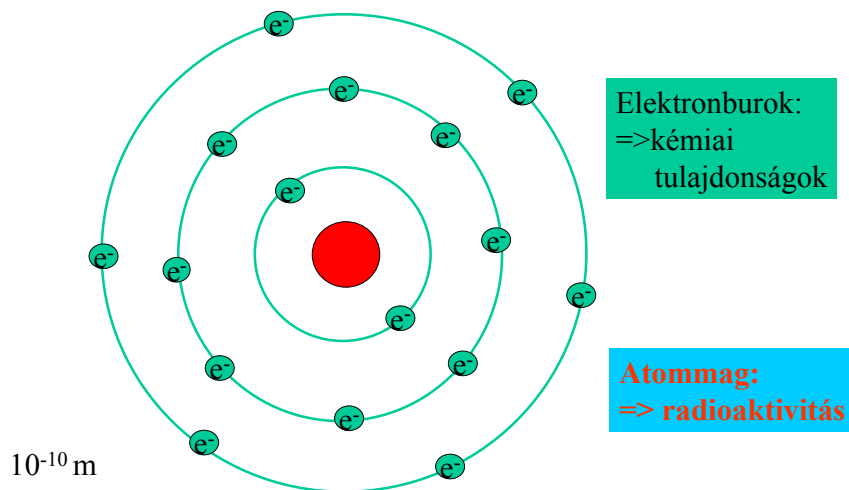
Miért érdekes?

Radioaktív izotópok ill. sugárzások

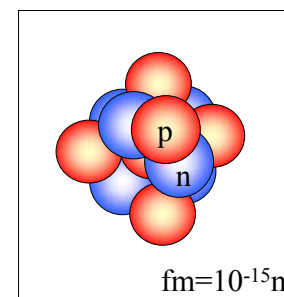
- orvosi felhasználása:
 - diagnosztika (izotópdiaosztika)
 - terápia (sugárterápia)
- gyógyszerészeti vonatkozása:
 - farmakokinetikai vizsgálatok



Az atom felépítése



Az atommag felépítése



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

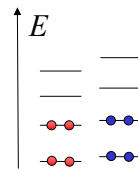
A (tömegszám) = protonszám + neutronszám $\rightarrow 99$
 Z (rendszám) = protonszám $\rightarrow 43$

99 nukleon, ebből 43 proton és 56 neutron

Tc

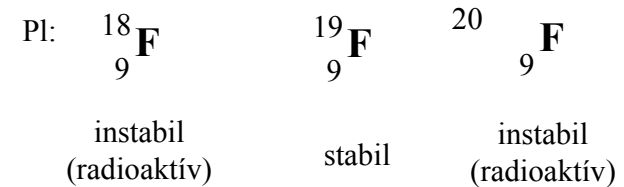
Az atommag stabilitása

- 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

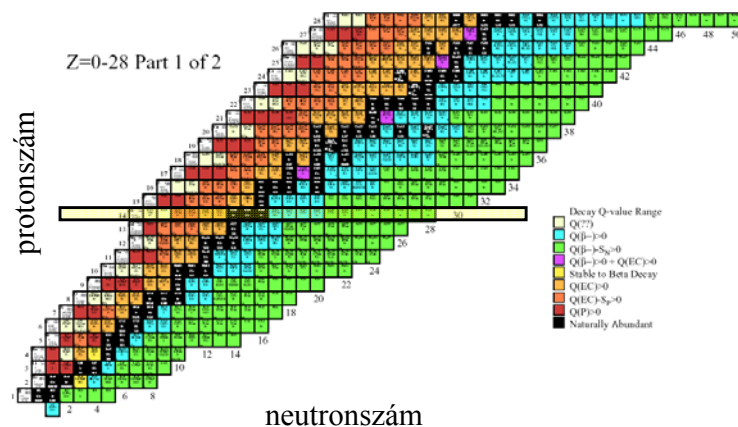
Azonos rendszámú de eltérő tömegszámú atommagok
=> azonos protonszám eltérő neutronszám
ugyanazon elem módosulatai, kémiai tulajdonságuk ua.



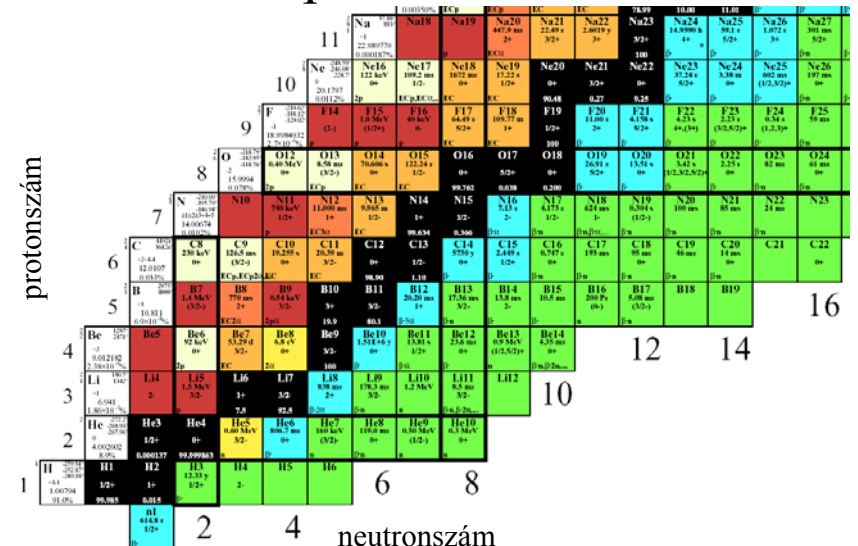
izotóp <-> radioaktív izotóp

Izotóptáblázat

Table of Isotopes (1998)



Izotóptáblázat részlet



Izotóptáblázat részlet

protonszám	6	C	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
		12.0107	12.00381	12.00381	12.00381	12.00381	12.00381	12.00381	12.00381
	5	B	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
		10.811	10.811	10.811	10.811	10.811	10.811	10.811	10.811
	4	Be	Be5	Be6	Be7	Be8	Be9	Be10	Be11
		9.012182	9.012182	9.012182	9.012182	9.012182	9.012182	9.012182	9.012182
neutronsám	3	Li	Li3	Li4	Li5	Li6	Li7	Li8	Li9
		7.016003	7.016003	7.016003	7.016003	7.016003	7.016003	7.016003	7.016003
	2	He	He3	He4	He5	He6	He7	He8	He9
		4.002603	4.002603	4.002603	4.002603	4.002603	4.002603	4.002603	4.002603
	1	H	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
		1.007825	1.007825	1.007825	1.007825	1.007825	1.007825	1.007825	1.007825

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

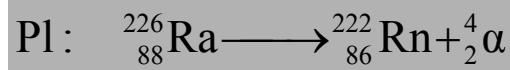
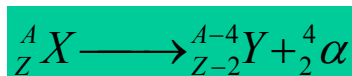
karakterisztikus
Röntgen-foton

Izomer magátalakulás

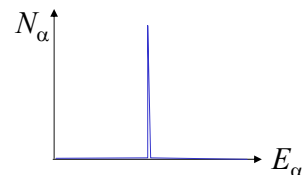
γ -sugárzás

α - bomlás

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

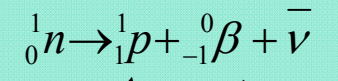
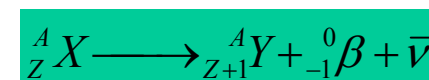
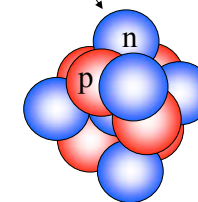


Vonalas energiaspektrum
 $E_\alpha \sim \text{MeV}$

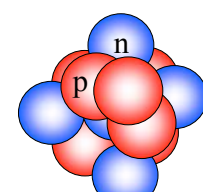


neutrontúlsúly

β^- - bomlás



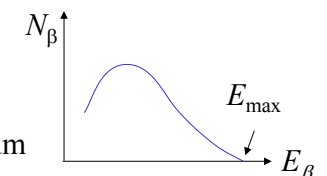
az atommagban marad kilép



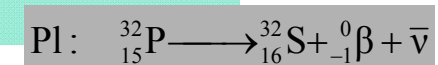
β^- -sugárzás

folytonos energiaspektrum

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



pl:	${}^{20}_9\text{F}$
	${}^{32}_{15}\text{P}$
	${}^{59}_{26}\text{Fe}$
	${}^{131}_{53}\text{I}$



protontúlsúly

β^+ - bomlás

pl: $^{11}_6\text{C}$
 $^{15}_8\text{O}$
 $^{18}_9\text{F}$
 $^{52}_{26}\text{Fe}$

$^A_Z X \longrightarrow ^A_{Z-1} Y + ^0_{+1}\beta + \nu$

$^1_1 p \longrightarrow ^1_0 n + ^0_{+1}\beta + \nu$

az atommagban marad kilép

Pl: $^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow ^{30}_{14}\text{Si} + ^0_{+1}\beta + \nu$

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 $m_n > m_p$

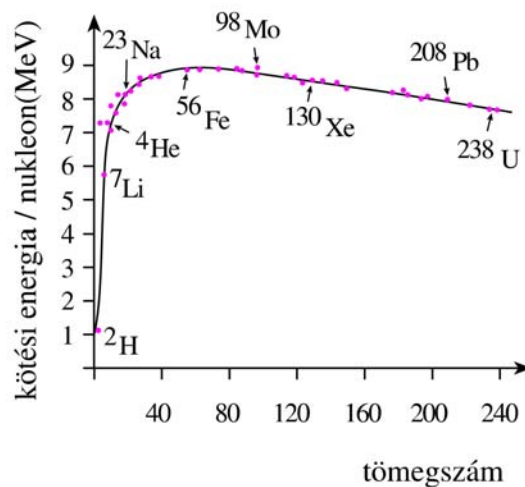
β^+ bomlás ?

Megoldás: Einstein féle tömeg-energia ekvivalencia

$$E = mc^2$$

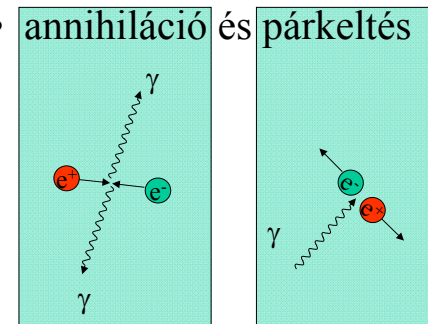
kötött nukleon: alacsonyabb energiaszint: kisebb tömeg!

Mennyire stabil az atommag? Kötési energia



Elektron és pozitron

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



Einstein:
 tömeg-energia
 ekvivalencia

$$E = mc^2$$

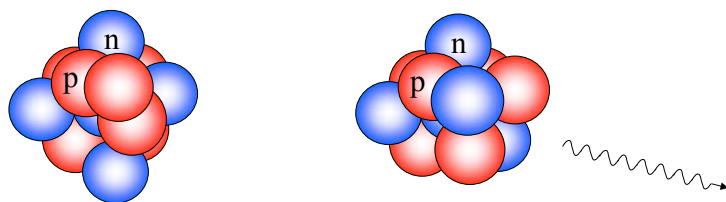
$$m_e c^2 = 511 \text{ keV} \approx 0,5 \text{ MeV}$$

... 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



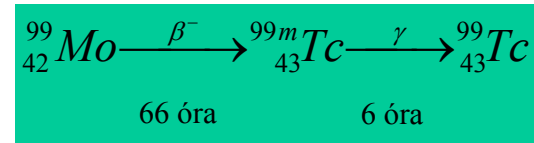
protonszám, neutronszám változatlan! Kísérőjelenség.

Izomer magátalakulás

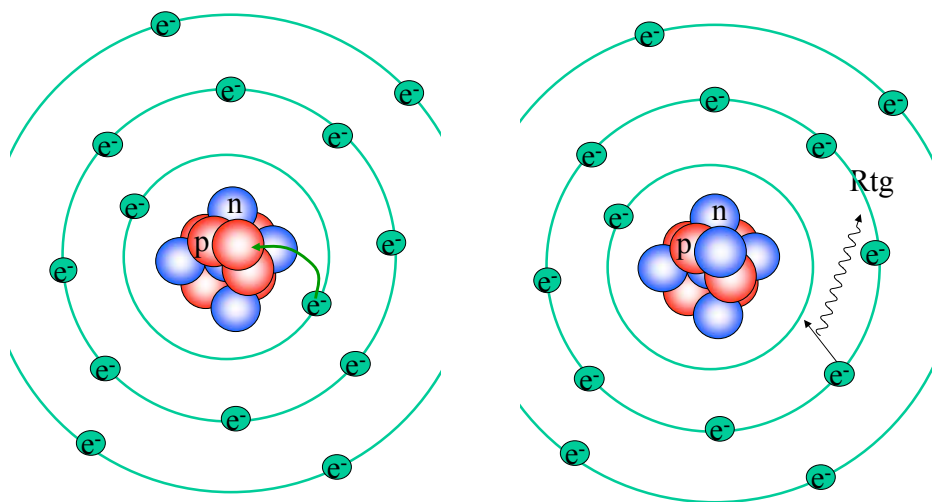
Ha a bomlás utáni mag elég hosszú ideig stabil,
a γ -sugárzás később keletkezik.
A két folyamat szeparálható.

Tisztán γ -sugárzó izotóp állítható elő!
=> Izotópdiaosztika

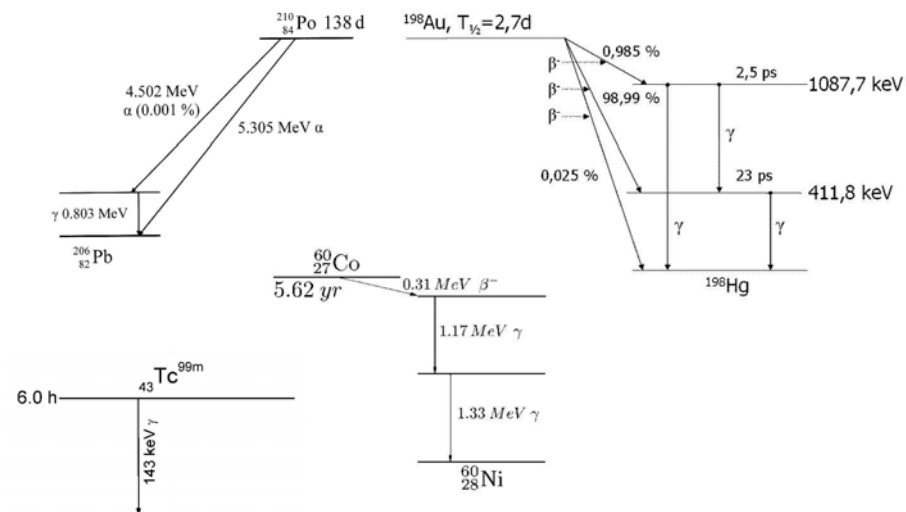
Pl: ^{99m}Tc



K-befogás



Példák bomlási sémákra



Bomlás, hasadás, fúzió

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

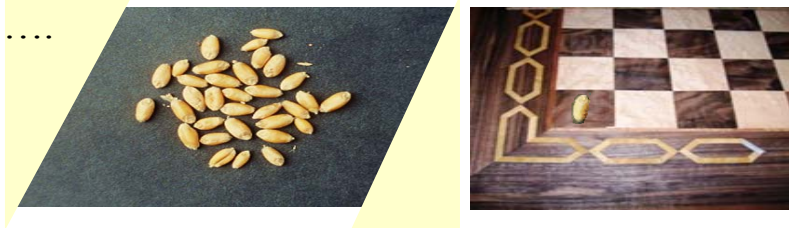
megoldása:

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

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

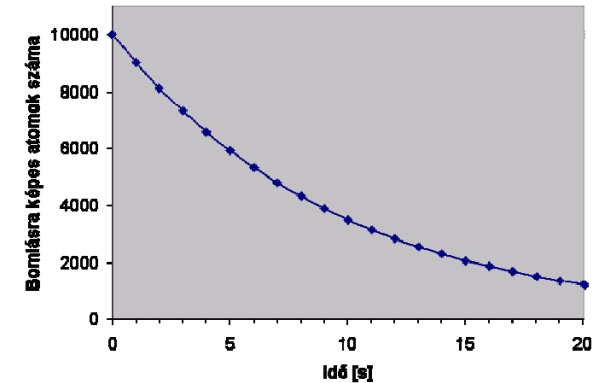
Példa

- 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)



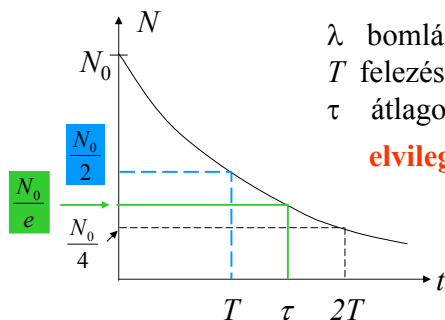
Példa

- 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

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



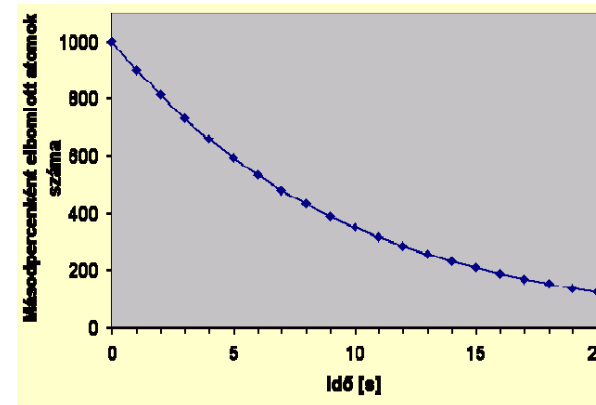
λ bomlásállandó (bomlási valószínűség)
 T felezési idő
 τ átlagos élettartam

elvileg soha nem bomlik el az összes !

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

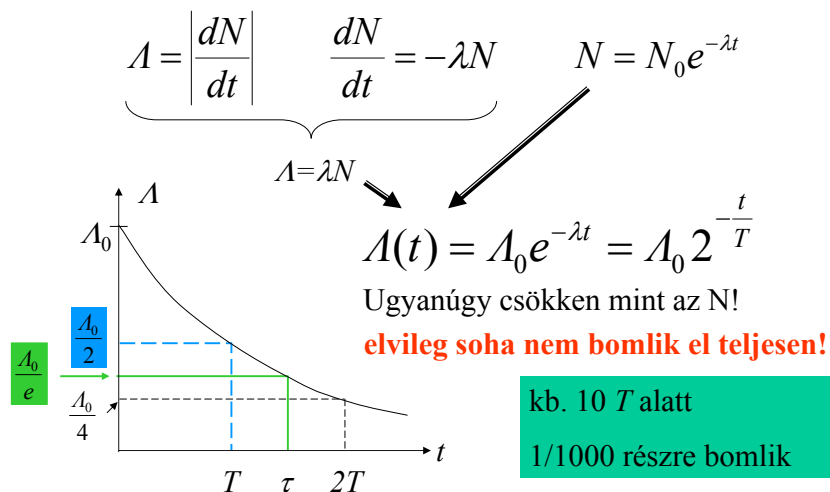
Példa

- 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:

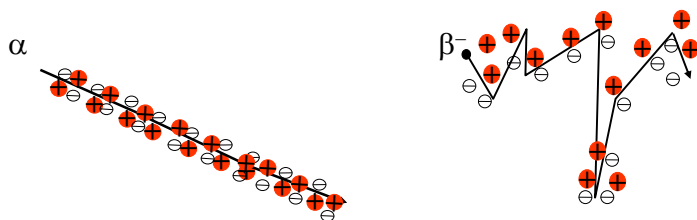
Minél nagyobb a részecskeenergia, annál nagyobb a hatótáv.
(egy adott sugárzáson belül)

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

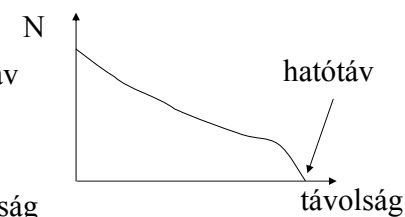
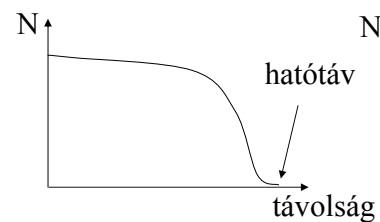
β^- -részecske

levegőben **néhány cm**

levegőben **m** nagyságrendű

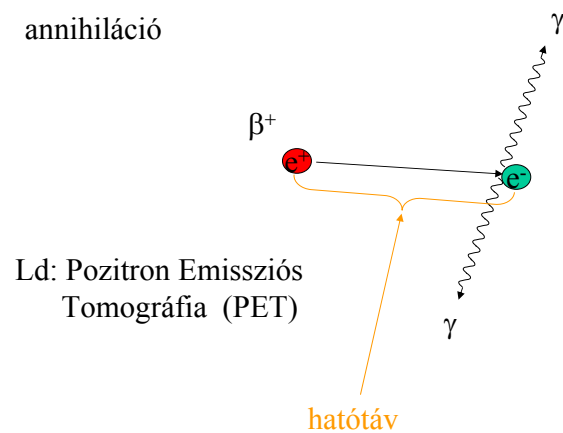
szövetben **0,01-0,1 mm**

szövetben **cm**

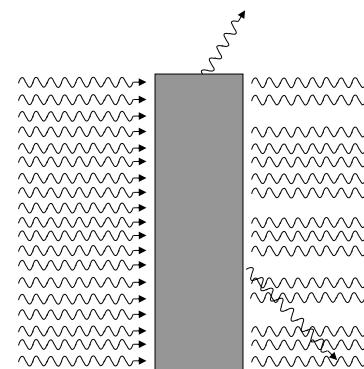


β^+ -sugárzás

annihiláció

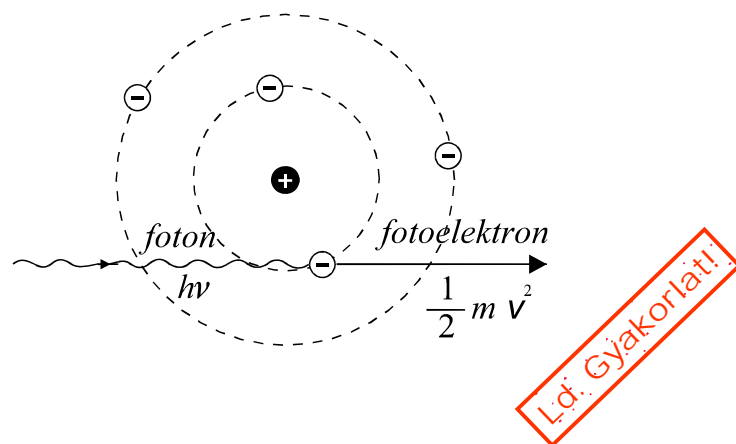


A γ -sugárzás elnyelődése

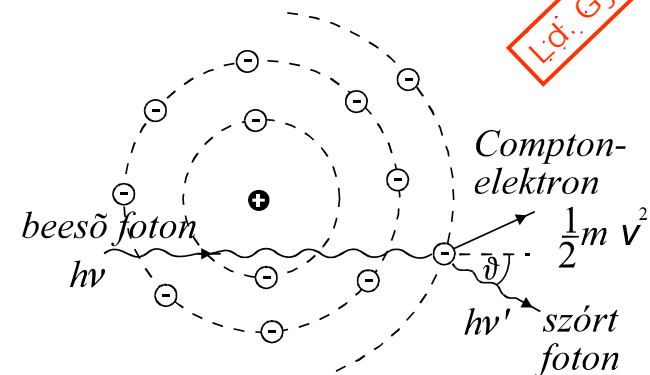


Ld: Gyakorlat!

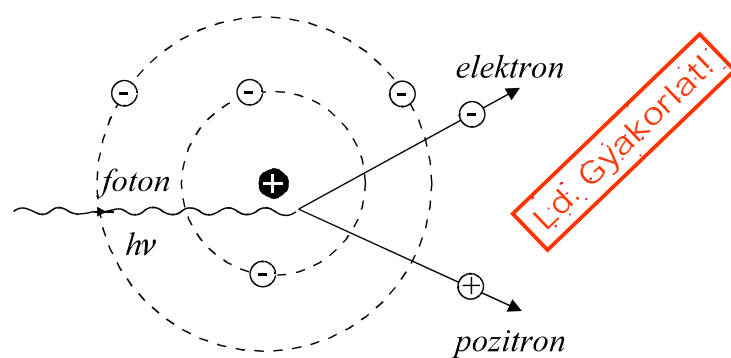
Fotoeffektus



Compton effektus



Pároképződés



γ - és röntgensugárzás gyengülése

