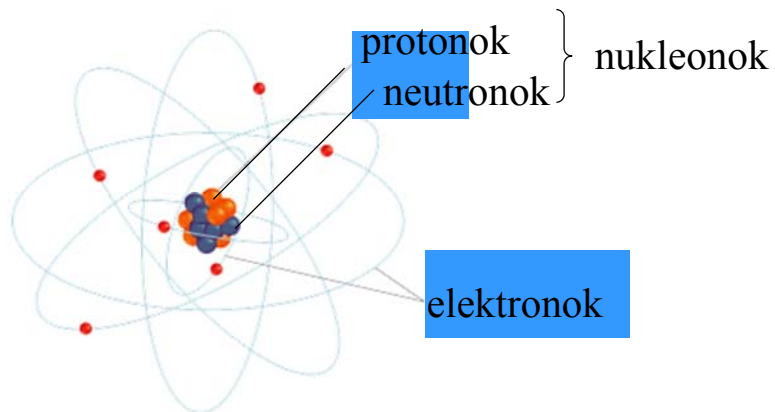


Magsugárzások, Radioaktív izotópok

*A radioaktivitás : energia kibocsátása
az atommagból részecskék vagy
elektromágneses sugárzás
formájában*

Az atom felépítése



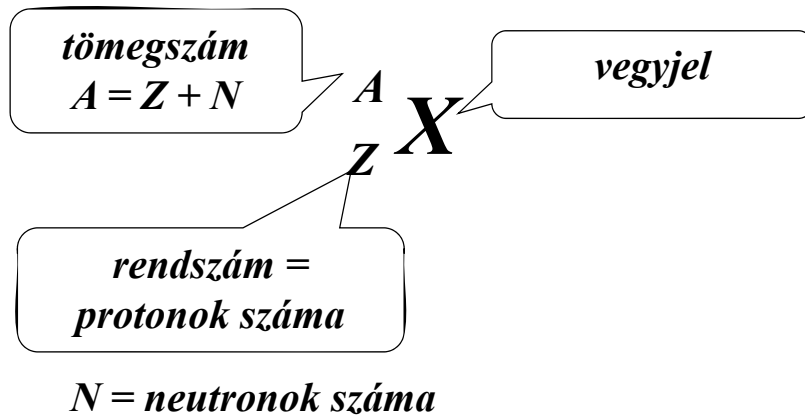
Az atom alkotórészei

részecske	jele	relatív töltés*	tömeg (kg)	relatív tömeg (AMU)**	nyugalmi energia (MeV)
elektron	e	1-	9.11×10^{-31}	5.4858×10^{-4}	0.51100
proton	p	1+	1.6726×10^{-27}	1.0072765	938.272
neutron	n	0	1.6749×10^{-27}	1.0086649	939.566

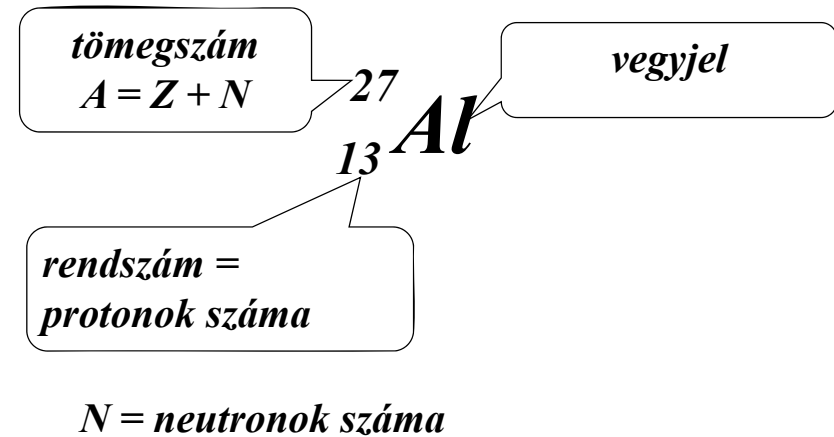
* Az elektron töltése -1.602×10^{-19} C

** „atomic mass unit” a ^{12}C atom tömegének 1/12-ed része

Az atom alkotórészeinek jelölése

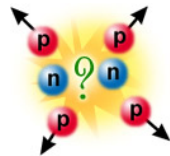


Az atom alkotórészeinek jelölése



Az atommag stabilitása

- Igen nagy *elektrosztatikus taszító erő* a protonok között



- Ennek hatására az atommagnak részeire kéne hasadnia

Az atommag stabilitása



1911 Rutherford : Kell egy másik erőnek is hatnia az atommagon belül

$$\Delta M = [Zm_p + (A-Z)m_n] - M(A,Z) \quad (?)$$

${}^4\text{He}$ tömegdefektusa

2 proton: $(2 \times 1.007276 \text{ amu}) = 2.014552 \text{ amu}$

2 neutron: $(2 \times 1.008665 \text{ amu}) = 2.017330 \text{ amu}$

összesen: $4.032882 \text{ amu} \neq 4.002602 \text{ amu}$

A He atom atomsúlya 4.002602 amu .

Ez 0.030366 amu -val kevesebb, mint az alkotórészek tömegének összege.

Ezt a különbséget tömegdefektusnak (tömeghiánynak) nevezzük.

Az atommag stabilitása

A taszítóerő mellett egy másik, rövid hatótávolságú vonzó erő, „*magerő*” is hat az atommagban. (Rutherford, 1911)

$$\Delta E = \Delta M c^2$$

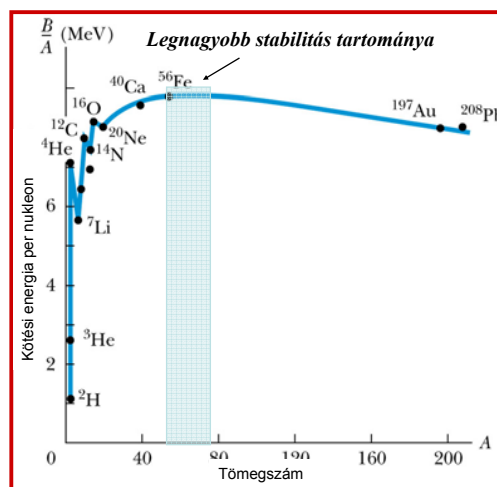
- az atommagot alkotó részecskék között hat, tekintet nélkül azok töltésére
- nagyobb, mint a Coulomb taszító erő
- hatótávolsága igen kicsi ($\sim \text{fm}$)

Az egy nukleonra eső kötési energia

Meredeken emelkedik

Éles csúcsok a páros-páros számoknál, ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$ és ${}^{16}\text{O}$

Maximum $A=56$ körül



Az atommag stabilitása

A proton : neutron arány

rendkívül fontos a mag stabilitása szempontjából

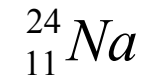
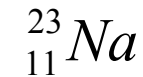
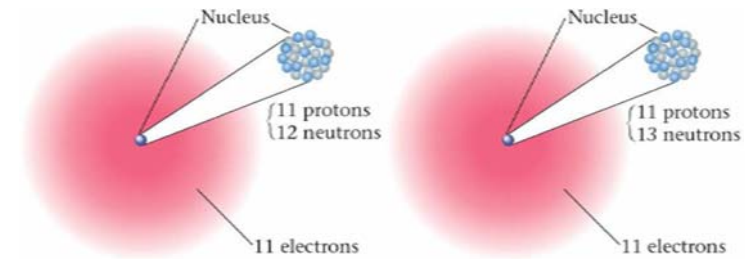
Izotópok

görög *isos topos* = *azonos hely*

Egy elem izotópjaiban

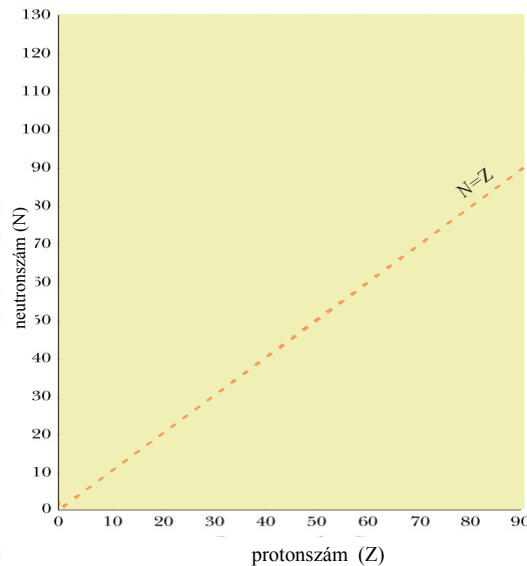
- **azonos a protonszám**
- **különböző a neutronszám**
- **különböző a tömegszám**

Például



Mi a stabilitás feltétele? 1:1 ?

Az atommag stabilitása

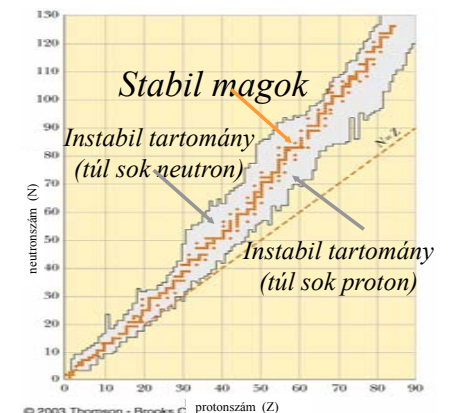


Az atommag stabilitása

- Könnyű magok stabilak, ha $N=Z$
- Nehéz magok stabilak, ha $N > Z$

A protonszám növekedésével nő a Coulomb erő, és egyre több neutronra van szükség a stabilitás megtartásához

- Nincs olyan stabil mag, ahol $Z > 83$





Antoine Becquerel
1903 Fizikai Nobel-Díj a
radioaktivitás felfedezéséért



Becquerel fotolemezén az uránium só által létrehozott kép. Az uránium és a fotolemez közé helyezett máltai kereszt képe kirajzolódik. (1896)

Radioaktív bomlás

- A *radioaktivitás* : energia kibocsátása az atommagból részecskék vagy elektromágneses sugárzás formájában
- Háromféle sugárzás ismert:
 - Alfa (α) részecske
 - Béta (β) részecske
 - Gamma (γ) sugárzás

(Rutherford 1896, lásd később)

- Az atommagok, mint minden a természetben *energiaminimumra* törekszik
- Az instabil magok radioaktív bomlás révén közelítik a stabil állapotot

A radioaktív bomlás jellemzői

- *statisztikus folyamat* — Nagy számú magból az egyes magok bomlása random történik
- a bomlásra kész radioaktív magok száma csökken az idővel



a radioaktív magok számának csökkenése

Aktivitás : $\Lambda = \left| \frac{dN}{dt} \right|$ N : a bomlásra kész magok száma
 t : idő

az időegység alatt elbomlott magok száma

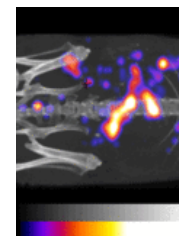
mértékegysége: becquerel (Bq)
 $1\text{Bq} = 1 \text{ bomlás/sec}$

Tipikus aktivitás értékek

kBq,
természetes
háttér



MBq,
in vivo
diagnosztika



GBq,
laboratóriumi
gyakorlat



TBq
terápia



Radioaktív bomlástörvény

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

λ : bomlási állandó (1/s)

egy izotópra jellemző fizikai állandó

Az aktivitás egyaránt függ:

- a jelen lévő atommagok számától
- az izotóp fajtájától (λ)

$$\left| \frac{dN}{dt} \right| = -\lambda N$$

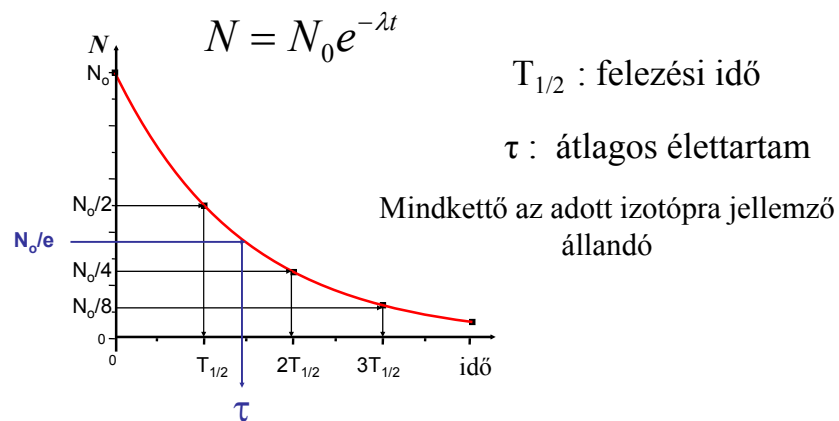
Az egyenlet megoldása

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{Integrális alak}$$

N_0 : a radioaktív magok száma $t = 0$,

N : a még megmaradt radioaktív magok száma t idő múlva

Grafikus megjelenítés

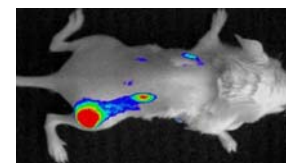
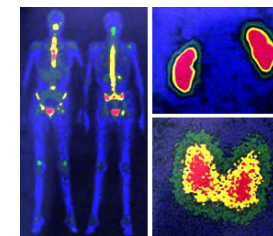


Felezési idők az orvosi gyakorlatban



jód-131 (^{131}I) - $T_{1/2} = 8$ nap
pajzsmirigy terápia

Technecium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) - $T_{1/2} = 6$ óra
izotópdiaгностика



arany-198 (^{198}Au) - $T_{1/2} = 2.7$ nap
Tumor terápia

A bomlási állandó definíciója

$N = N_0 e^{-\lambda t}$

Ha $t = T_{1/2} \implies N_0 / 2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

Ha $t = \tau \implies N_0 / e = N_0 e^{-\lambda \tau}$

$$\lambda = \frac{1}{\tau}$$

Az aktivitás változása az időben

$N = N_0 e^{-\lambda t}$

$\Lambda = \lambda N$

$$\Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t}$$

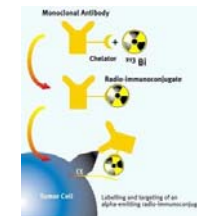
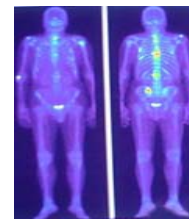
Specifikus aktivitás: a minta aktivitásának és tömegének hányadosa (Λ/m), mértékegysége Bq / kg

A radioaktív izotópok jellemzői

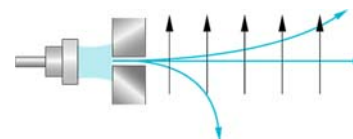
Aktivitás : egyaránt függ a jelen lévő atommagok számától és az izotóp fajtájától

Felezési idő : minden izotópra jellemző fizikai állandó

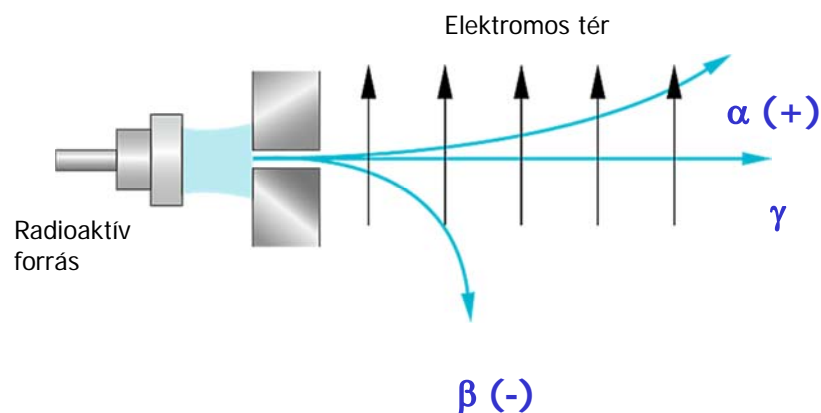
A sugárzás fajtája: a magra jellemző



Magsugárzások fajtái



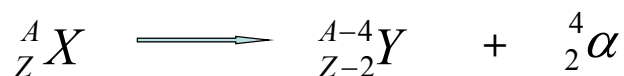
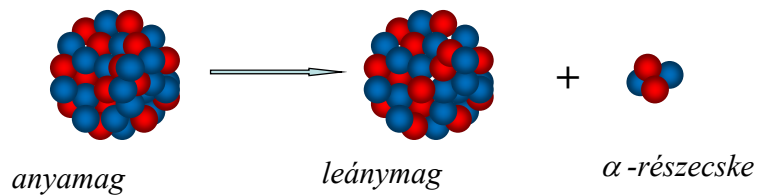
Magsugárzások eltérülése elektromos térben



A radioaktív bomlás során a megmaradási törvényeknek érvényesülniük kell

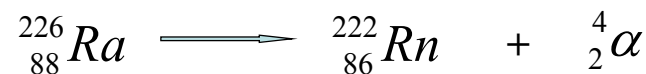
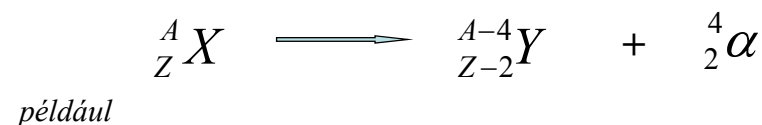
1. Tömeg / energia ~
2. Elektromos töltés ~
1. Momentum ~
2. Nukleonszám ~

α -bomlás

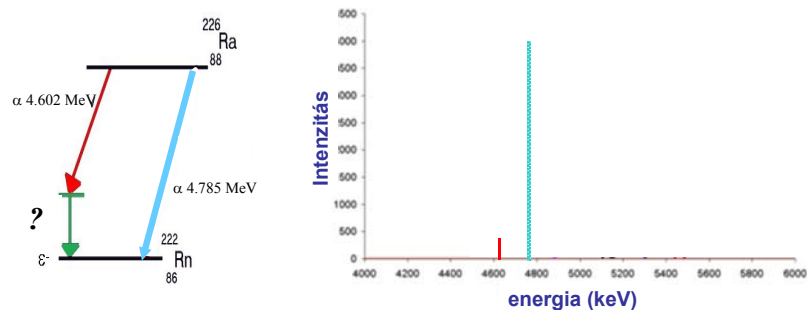


α -részecske: két neutront és két protont tartalmaz (ua. Helium atommag)

Nehéz magok ($A > 150$) bomlanak **α -részecske** kibocsátásával



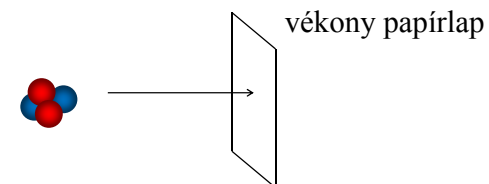
Az α -sugárzás energia spektruma



Vonalas spektrum

Az energia jellemző a kibocsátó magra

α -részecskék áthatolóképessége



abszorbens	denzitás	áthatolóképesség
levegő	1.2 mg/cm ³	3.7 cm
papír (20lb)	0.89 g/cm ³	53 μ m
víz (lágyszövet)	1.0 g/cm ³	45 μ m

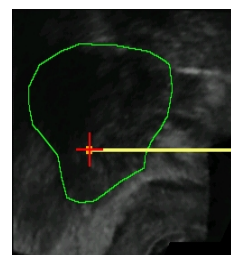


Alfa sugárzók kezelése különös figyelmet kíván. Tilos belélegezni, lenyelni, injektálni!

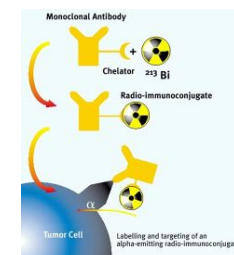
Az α -sugárzás orvosi alkalmazásai

Diagnózis: soha

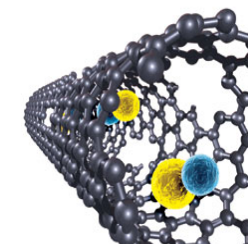
Célzott tumorterápia



beültetés tüvel



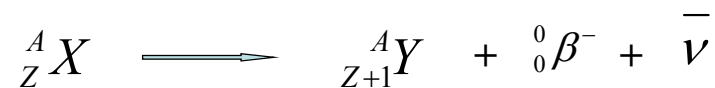
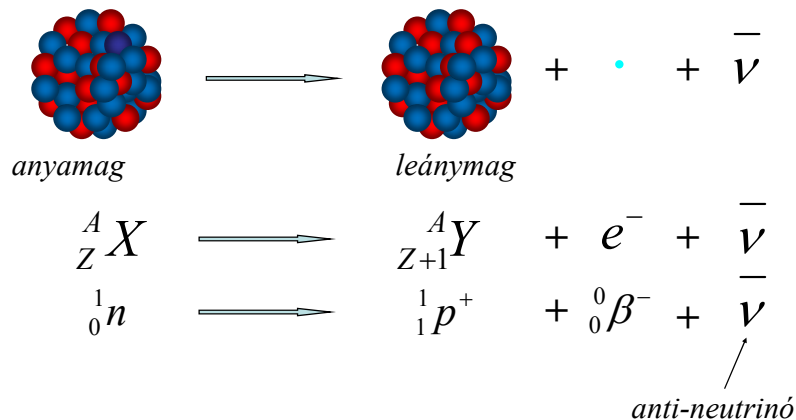
monoklonális antites



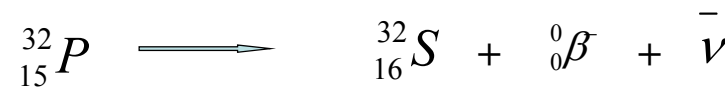
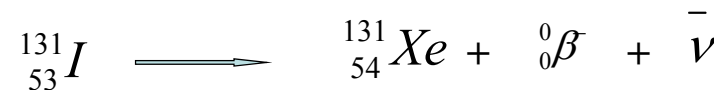
szén nanocső

β -bomlás

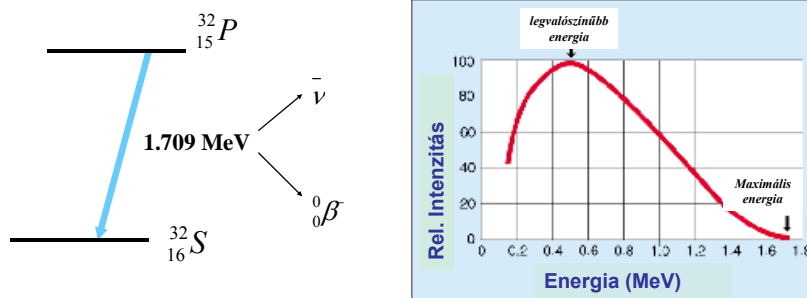
1. Neutron túlsúly: β^- bomlás



példa



A β^- -sugárzás energia spektruma



A β^- -részecskék energiaeloszlása ^{32}P β^- -bomlása során.

Folytonos spektrum
Maximális mozgási energiával

A β^- részecskék áthatolóképessége



5 mm aluminumban

abszorbens	denzitás	áthatolóképesség (2.3 MeV) (1.1 MeV)	
levegő	1.2 mg/cm ³	8.8 m	3.8 m
víz (lágy szövet)	1.0 g/cm ³	11 mm	4.6 mm
aluminum	2.7 g/cm ³	4.2 mm	2.0 mm
ólom	11.3 g/cm ³	1.0 mm	0.4 mm

A β^- sugárzás orvosi alkalmazásai

Diagnosztika: soha

Célzott terápia: hipertireózis, pajzsmirigy és más szövetek daganatai



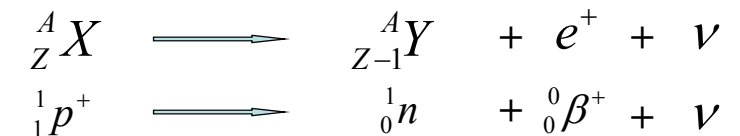
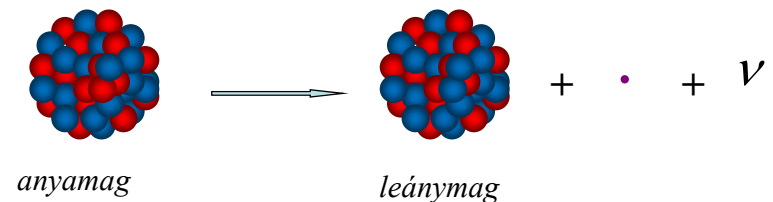
implantátum a daganatban



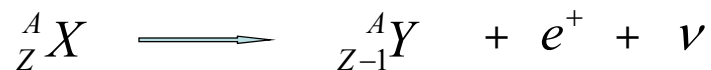
endovaszkuláris sugárzás

β^- bomlás

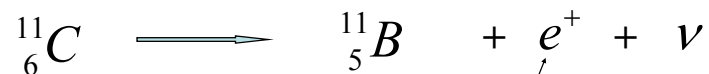
2. Proton túlsúly: β^+ -bomlás



e^+ : pozitron – az elektron antirészecskéje / ν : neutrínó



példa

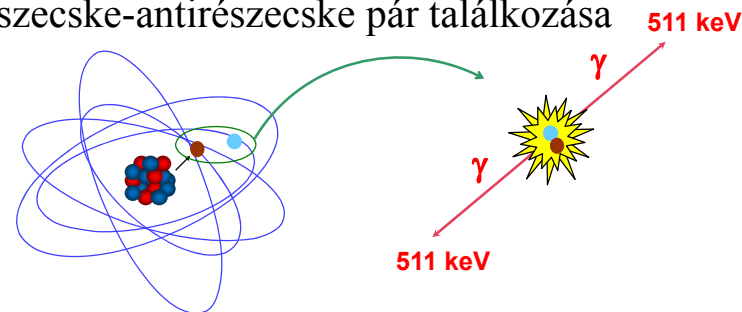


Mi lesz a pozitron sorsa?

Az electron és a pozitron antirészecskék :
részecskék amelyeknek a töltés kivételével minden tulajdonsága azonos

Szétsugárzás vagy annihiláció

- részecske-antirészecske pár találkozása



Az emittált pozitron kölcsönhatása egy elektronnal

A pozitron – elektron pár annihilációja két foton keletkezéséhez vezet. A fotonok energiája egyenként 511 keV, 180 fokot bezáró irányba haladnak

1. Impulzus megmaradás

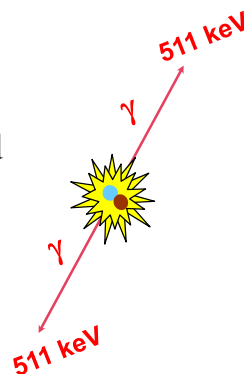


A két foton ellentétes irányba halad

2. Energia:

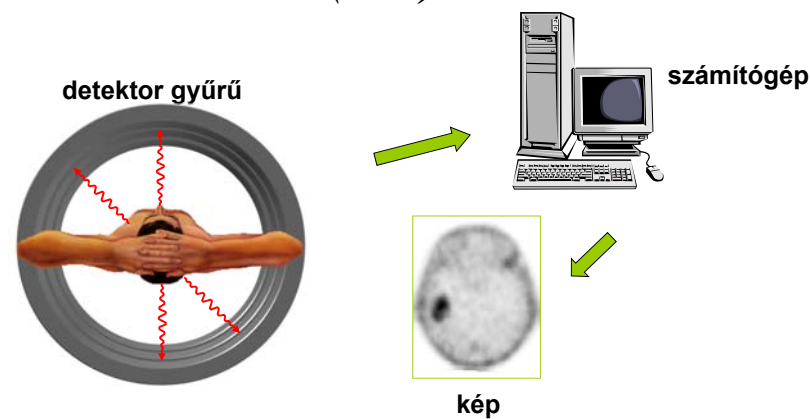
$$m_e c^2 + m_p c^2 = 2 hf$$

tömeg – energia ekvivalencia

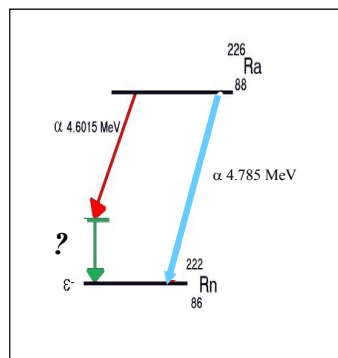


A β^+ sugárzás orvosi alkalmazásai

pozitron emissziós tomográfia (PET)



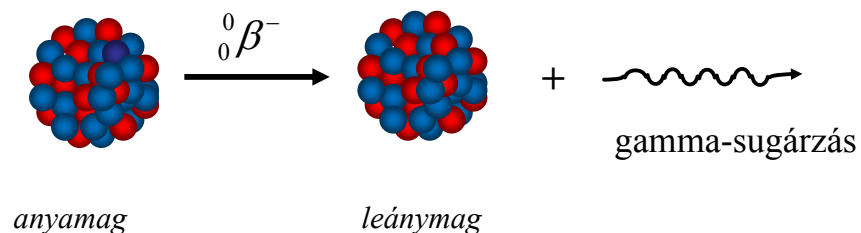
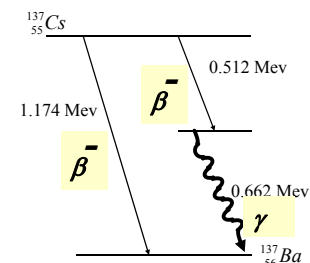
γ -bomlás



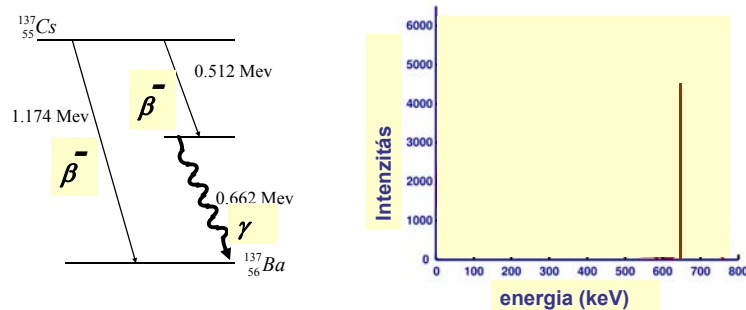
Az α - vagy β - bomlás után az új mag még gerjesztett állapotban van.

A gerjesztett mag energialeadásal kerül alapállapotba. Az energiát

elektromágneses sugárzás -
gamma-sugárzás formájában adja le.



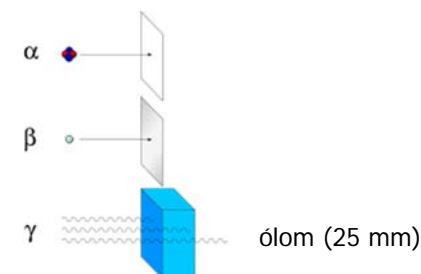
A γ -sugárzás energia spektruma



vonalas spektrum

Az energia jellemző a kibocsátó magra

A γ -részecskék áthatolóképessége



Áthatolóképessége nagyobb, mint a töltött részecskéké, de nagymértékben függ a foton energiájától.

Tipikus áthatolás:

1 – néhány 100 méter levegőben
néhány 10 centimeter szövetekben

A γ -kibocsátás ideje

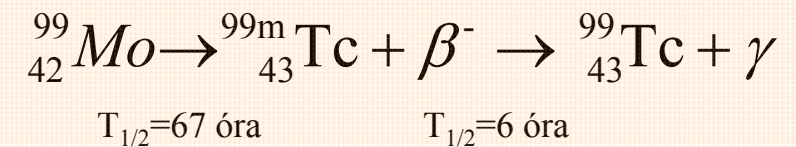
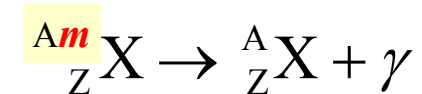
A gerjesztett mag élettartama:

1. Prompt γ -sugárzás: $\sim 10^{-13} - 10^{-18} \text{ s}$

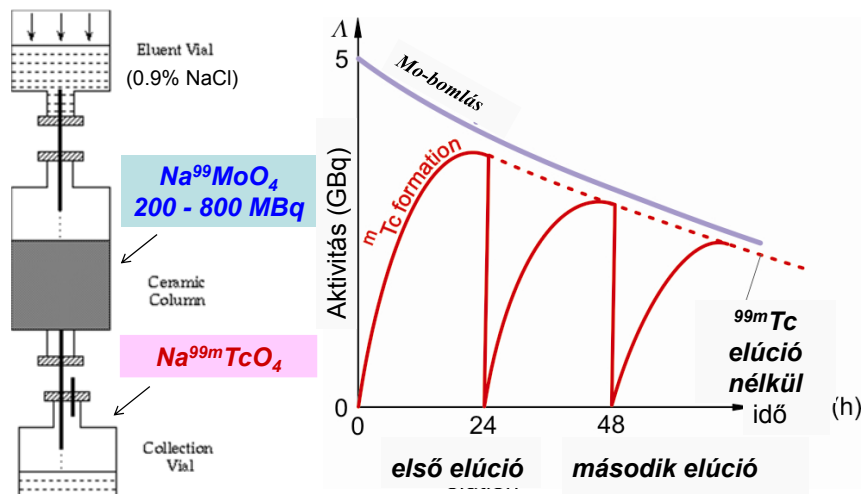
2. Izomer magátalakulás: $\geq 10^{-10} \text{ s}$

Izomer átalakulás

Némely gerjesztett magok felezési ideje néhány órától
600 évig is eltarthat

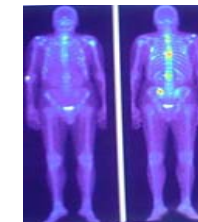


Technécium- 99m generátor



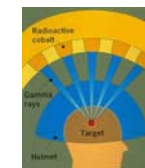
Orvosi alkalmazások

Diagnosztika: ideális izotópdiaosztikai célokra



99m Technéciummal jelzett
foszfát-vegyület eloszlása a
csontokban

Terápia: gamma-kés



<i><u>Izotóp</u></i>	<i><u>radiofarmakon</u></i>	<i><u>szerv</u></i>	<i><u>funkció</u></i>	Kapcsolódó fejezetek:	
<i>$^{99}\text{Tc}^m$</i>	<i>nátrium pertechnikát</i>	<i>agy</i>	<i>vérkeringés</i>	<i>Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika</i>	
<i>$^{99}\text{Tc}^m$</i>	<i>albuminhoz kötve</i>	<i>tüdő</i>	<i>vérkeringés</i>		
<i>$^{99}\text{Tc}^m$</i>	<i>kolloid szuszpenzió</i>	<i>máj</i>	<i>májfunkció</i>	I. 1.5	
<i>$^{99}\text{Tc}^m$</i>	<i>foszfát komplex</i>	<i>csont</i>	<i>csontanyagcsere</i>		1.5.1
					1.5.2
					1.5.4
<i>^{123}I</i>	<i>jodid</i>	<i>pajzsmirigy</i>	<i>metabolizmus</i>	II.3.2	
<i>^{123}I</i>	<i>hippurán</i>	<i>vese</i>	<i>vesefunkció</i>		3.2.1
					3.2.2
					3.2.3
<i>^{133}X</i>	<i>X gáz</i>	<i>tüdő</i>	<i>légzés</i>		3.2.4