

## Magsugárzások, Radioaktív izotópok

## Az atom alkotórészei

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

\* Az elektron töltése  $-1.602 \times 10^{-19}$  C

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

## Az atom alkotórészeinek jelölése

tömegszám  
 $A = Z + N$

$A$   
 $Z$   
 $X$

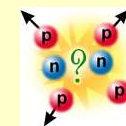
vegyjel

rendsám =  
protonok száma

$N$  = neutronok száma

## 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  $4.002602 \text{ amu}$ .

Ez  $0.030366 \text{ amu}$ -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)

$$\Delta E = \Delta Mc^2$$

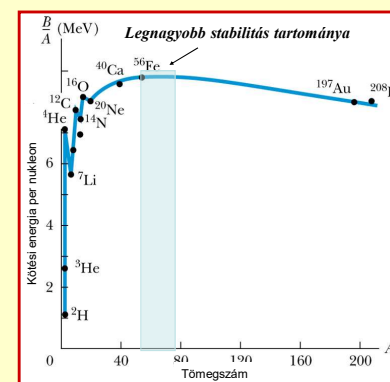
- az atommagot alkotó részecskék között hat, tekintet nélkül azok töltésére
- nagyobb, mint a Coulomb taszító erő
- hatótávolsága igen kicsi ( $\sim \text{fm}$ )

## 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*

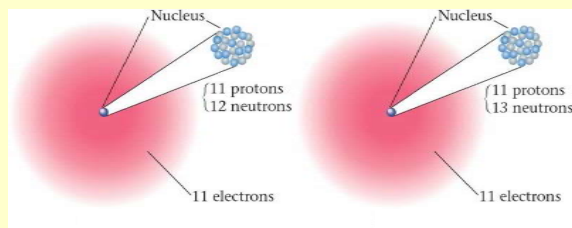
## Izotópok

görög *isos topos* = *azonos hely*

Egy elem izotópjaiban

- azonos a **protonszám**
- különböző a **neutronsám**
- különböző a **tömegszám**

## Például



$^{23}_{11}\text{Na}$

$^{24}_{11}\text{Na}$

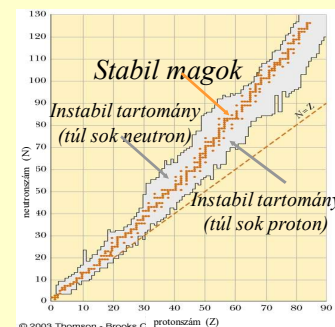
*Mi a stabilitás feltétele? 1:1 ?*

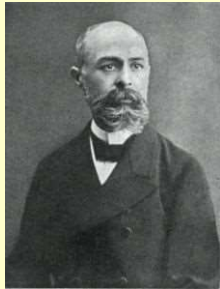
## Az atommag stabilitása

- 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)

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

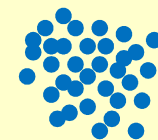
## Radioaktív bomlás

- A *radioaktivitás* : energia kibocsátása az atommagból részecskék vagy elektromágneses sugárzás formájában
- Háromféle sugárzás ismert:
  - Alfa ( $\alpha$ ) részecske
  - Béta ( $\beta$ ) részecske
  - Gamma ( $\gamma$ ) sugárzás

(Rutherford 1896, lásd később)

## 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

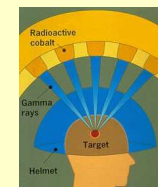
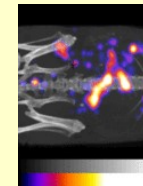
**Aktivitás :**  $\Lambda = \left| \frac{dN}{dt} \right|$  *N: a bomlásra kész magok száma*  
*t: idő*

*az időegység alatt elbomlott magok száma*

*mértékegysége: becquerel (Bq)*  
*1Bq = 1 bomlás/sec*

## Tipikus aktivitás értékek

<b>kBq,</b>	<b>MBq,</b>	<b>GBq,</b>	<b>TBq</b>
természetes háttér	<i>in vivo</i> diagnosztika	laboratóriumi gyakorlat	terápia



## Radioaktív bomlástörvény

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

$\lambda$  : bomlási állandó (1/s)

*egy izotópra jellemző fizikai állandó*

*Az aktivitás egyaránt függ:*

- a jelen lévő atommagok számától
- az izotóp fajtájától (*A*)

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

Az egyenlet megoldása

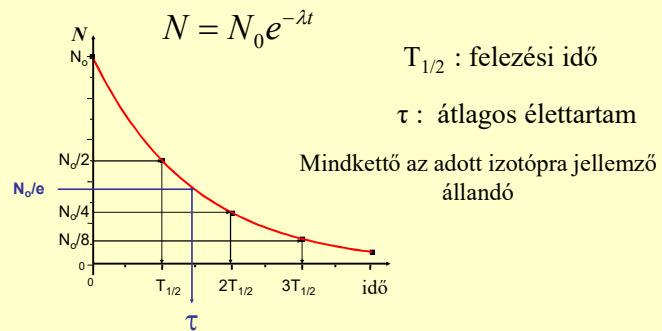
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

**Integrális alak**

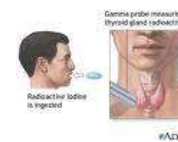
$N_0$  : a radioaktív magok száma  $t = 0$ ,

$N$  : a még megmaradt radioaktív magok száma  $t$  idő múlva

## Grafikus megjelenítés

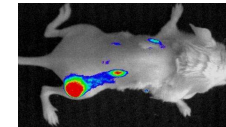
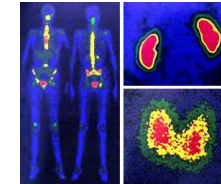


## Felezési idők az orvosi gyakorlatban



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

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



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

## A bomlási állandó definíciója

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

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

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

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

## Az aktivitás változása az időben

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

$$\Lambda = \lambda N$$

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

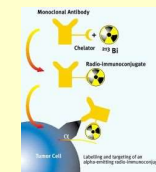
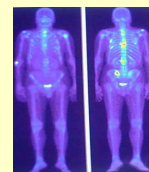
**Specifikus aktivitás:** a minta aktivitásának és tömegének hányadosa ( $\Lambda/m$ ), mértékegysége Bq / kg

## A radioaktív izotópok jellemzői

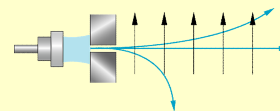
**Aktivitás** : egyaránt függ a jelen lévő atommagok számától és az izotóp fajtájától

**Felezési idő** : minden izotópra jellemző fizikai állandó

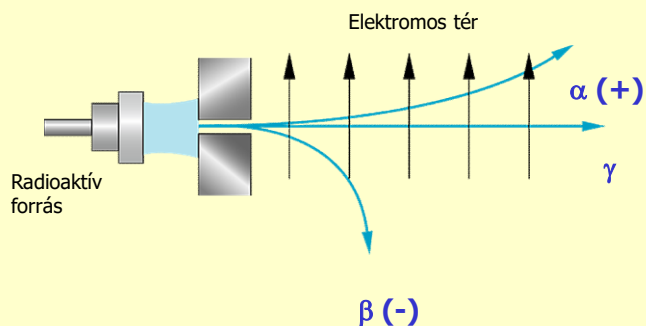
**A sugárzás fajtája**: a magra jellemző



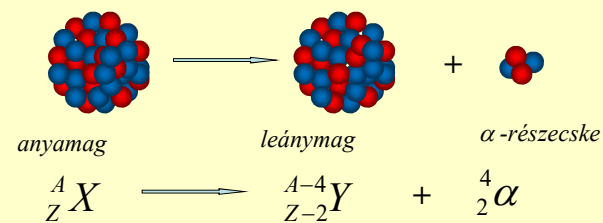
## Magsugárzások fajtái



## Magsugárzások eltérülése elektromos térben



## α-bomlás

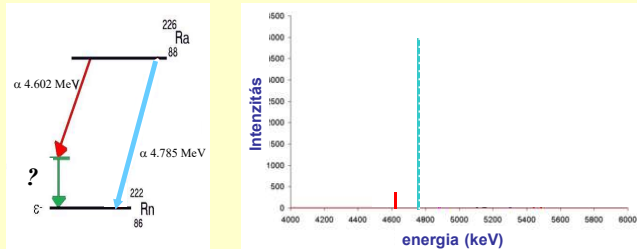


**α-részecske**: két neutront és két protont tartalmaz (ua. Helium atommag)

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



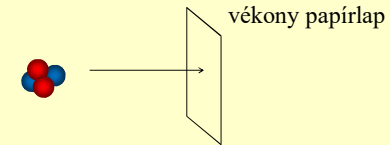
## Az $\alpha$ -sugárzás energia spektruma



Vonalas spektrum

Az energia jellemző a kibocsátó magra

## $\alpha$ -részecskék áthatolóképessége

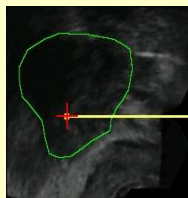


abszorbens	denzitás	áthatolóképesség
levegő	1.2 mg/cm <sup>3</sup>	3.7 cm
papír (20lb)	0.89 g/cm <sup>3</sup>	53 $\mu\text{m}$
víz (lágyszövet)	1.0 g/cm <sup>3</sup>	45 $\mu\text{m}$

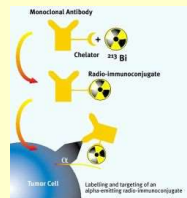
## Az $\alpha$ -sugárzás orvosi alkalmazásai

Diagnózis: soha

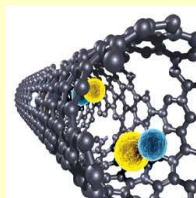
Célzott tumorterápia



beültetés tüvel



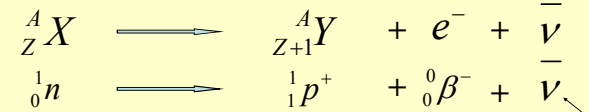
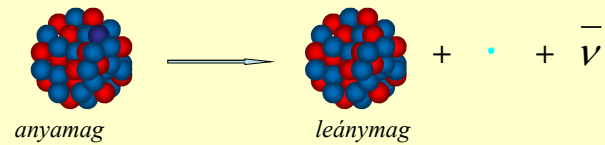
monoklonális antitest



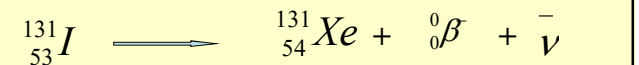
szén nanocső

## $\beta$ -bomlás

1. Neutron túlsúly:  $\beta^-$  bomlás



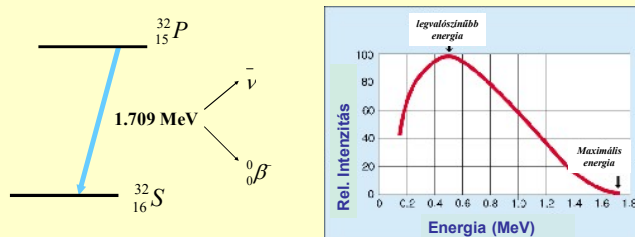
például



anti-neutrínó



## A $\beta^-$ -sugárzás energia spektruma

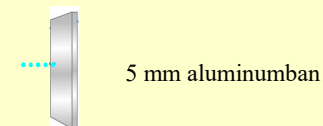


A  $\beta^-$  részecskék energiaeloszlása  $^{32}\text{P}$   $\beta^-$ -bomlása során.

### Folytonos spektrum

Maximális mozgási energiával

## A $\beta^-$ részecskék áthatolóképessége

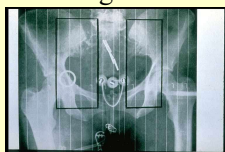


abszorbens	denzitás	áthatolóképesség (2.3 MeV) (1.1 MeV)	
levegő	1.2 mg/cm <sup>3</sup>	8.8 m	3.8 m
víz (lágy szövet)	1.0 g/cm <sup>3</sup>	11 mm	4.6 mm
aluminum	2.7 g/cm <sup>3</sup>	4.2 mm	2.0 mm
ólom	11.3 g/cm <sup>3</sup>	1.0 mm	0.4 mm

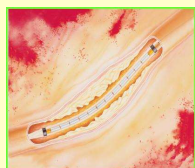
## A $\beta^-$ sugárzás orvosi alkalmazásai

Diagnosztika: soha

Célzott terápia: hipertireózis, pajzsmirigy és más szövetek daganatai



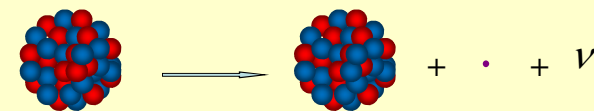
implantátum a daganatban



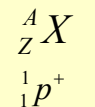
endovaszkuláris sugárzás

## $\beta^-$ bomlás

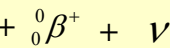
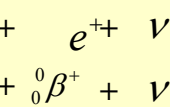
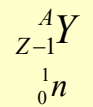
### 2. Proton túlsúly: $\beta^+$ -bomlás



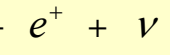
anyamag



leánymag



például



neutrínó

## Szétsugárzás vagy annihiláció

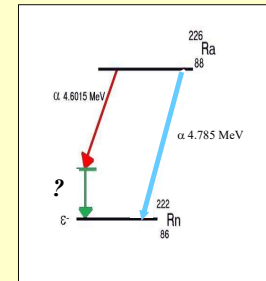
- részecske-antirészecske pár találkozása



1. Impulzus megmaradás: a két foton ellentétes irányba halad

2. Energia:  $m_e c^2 + m_p c^2 = 2 hf$   
tömeg – energia ekvivalencia

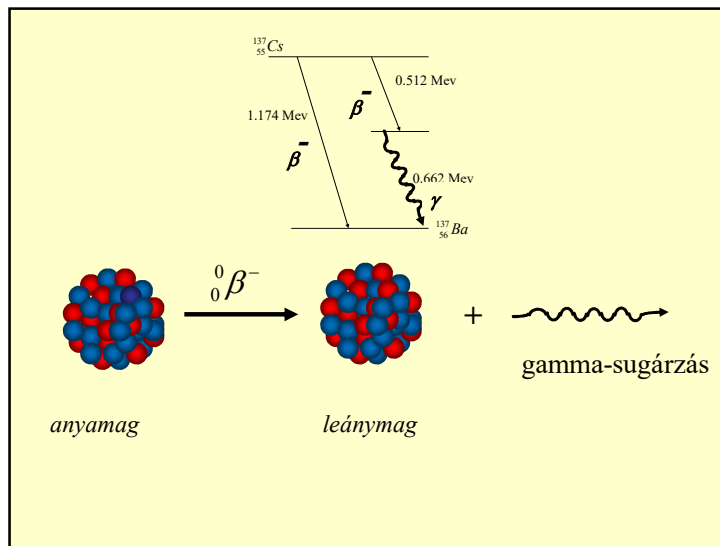
## $\gamma$ -bomlás



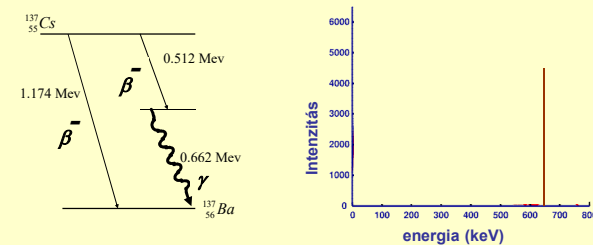
Az  $\alpha$ - vagy  $\beta$ - bomlás után az új mag még gerjesztett állapotban van.

A gerjesztett mag energialeadásal kerül alapállapotba. Az energiát

**elektromágneses sugárzás** -  
gamma-sugárzás formájában adja le.



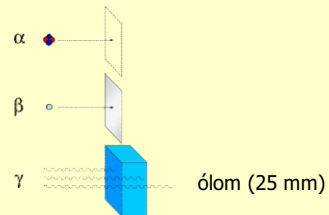
## A $\gamma$ -sugárzás energia spektruma



**vonalas spektrum**

**Az energia jellemző a kibocsátó magra**

## A $\gamma$ -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 $\gamma$ -kibocsátás ideje

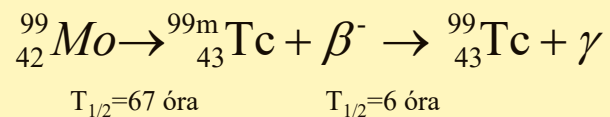
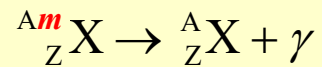
A gerjesztett mag élettartama:

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

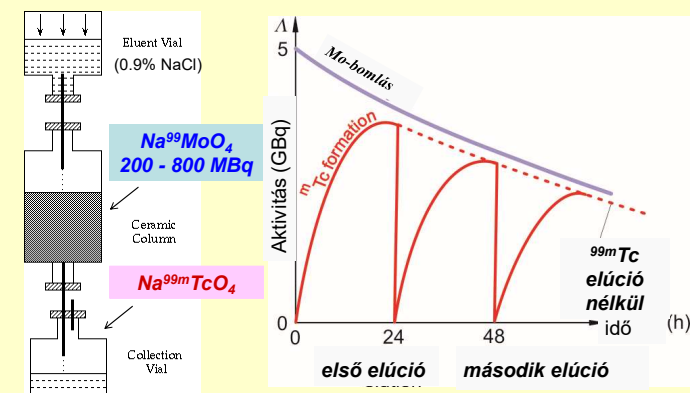
2. Izomer magátalakulás:  $\geq 10^{-10} \text{ s}$

## Izomer átalakulás

Némely gerjesztett magok felezési ideje néhány órától 600 évig is eltarthat

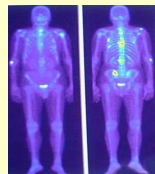


## Technécium-99m generátor



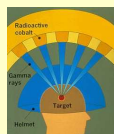
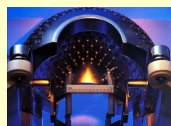
## Orvosi alkalmazások

Diagnosztika: ideális izotópdiagnosztikai célokra



$^{99m}\text{Tc}$  Technéciummal jelzett foszfát-vegyület eloszlása a csontokban

Terápia: gamma-kés



<i>Izotóp</i>	<i>radiofarmakon</i>	<i>szerv</i>	<i>funkció</i>
$^{99m}\text{Tc}$	<i>nátrium pertechnekát</i>	<i>agy</i>	<i>vérkeringés</i>
$^{99m}\text{Tc}$	<i>albuminhoz kötve</i>	<i>tüdő</i>	<i>vérkeringés</i>
$^{99m}\text{Tc}$	<i>kolloid szuszpenzió</i>	<i>máj</i>	<i>májfunkció</i>
$^{99m}\text{Tc}$	<i>foszfát komplex</i>	<i>csont</i>	<i>csontanyagcsere</i>
$^{123}\text{I}$	<i>jodid</i>	<i>pajzsmirigy</i>	<i>metabolizmus</i>
$^{123}\text{I}$	<i>hippurán</i>	<i>vese</i>	<i>vesefunkció</i>
$^{133}\text{X}$	<i>X gáz</i>	<i>tüdő</i>	<i>légzés</i>

### Ellenőrző kérdések

Atommag felépítése

Az atommag stabilitása

Tömegdefektus – magerő

A bomlástörvény differenciális és integrális alakja

Bomlási állandó

Magsugárzások típusai – természetük, spektrumuk,

áthatolókéességük

Technécium- $^{99m}$  generátor

Kapcsolódó fejezetek:

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

I. 1.5	1.5.1
	1.5.2
	1.5.4
II.3.2	3.2.1
	3.2.2
	3.2.3
	3.2.4