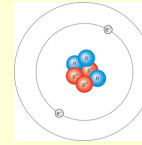


## Magsugárzások, Radioaktív izotópok



## 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  
 $A = Z + N$

vegyjel

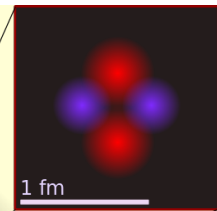
$A$   
 $Z$   
 $X$

rendszám =  
protonok száma

$N$  = neutronok száma

$^{27}_{13}\text{Al}$

## Az atommag mérete

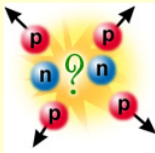


$^4_2\text{He}$

$1 \text{ \AA} = 100,000 \text{ fm}$

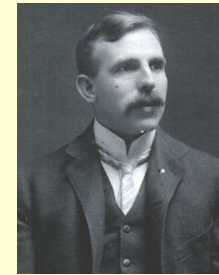
## Az atommag stabilitása

- 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)

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

- 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

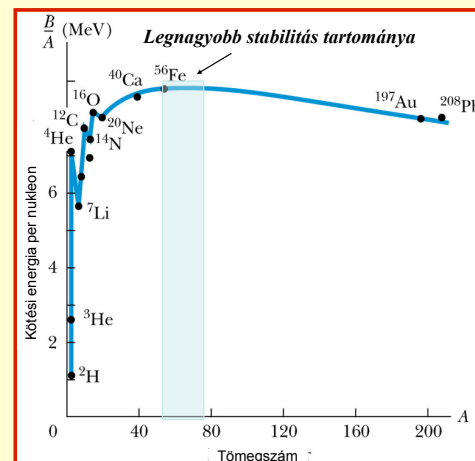
Meredeken emelkedik

Éles csúcsok a páros-páros számoknál,

${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{12}_6\text{C}$  és  ${}^{16}_8\text{O}$

Maximum  $A=56$  körül

nukleon = proton vagy neutron



## Az atommag stabilitása

*A proton / neutron arány*

*rendkívül fontos a mag stabilitása szempontjából*

## Izotópok

görög *isos topos* = *azonos hely*

Egy elem izotópjában

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

Izotóp = azonos hely = azonos rendszám

Mendeleev's Periodic Table of Elements

Table of Common Polyatomic Ions

acetate	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	sulfate	$\text{SO}_4^{2-}$
chlorate	$\text{ClO}_3^-$	thiosulfate	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$
hydroxide	$\text{OH}^-$	nitrate	$\text{NO}_3^-$
permanganate	$\text{MnO}_4^-$	arsenate	$\text{AsO}_4^{3-}$
carbonate	$\text{CO}_3^{2-}$	phosphate	$\text{PO}_4^{3-}$
chromate	$\text{CrO}_4^{2-}$	ammonium	$\text{NH}_4^+$
dichromate	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	hydronium	$\text{H}_3\text{O}^+$

Element categories

- Alkali metals
- Alkaline-earth metals
- Transition metals
- Other metals
- Hydrogen
- Semiconductors
- Halogens
- Noble gases
- Other nonmetals

State of matter at 25 °C

Gas	Liquid	Solid	Artificially prepared	Unknown
13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA

Selected Oxidation States

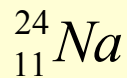
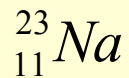
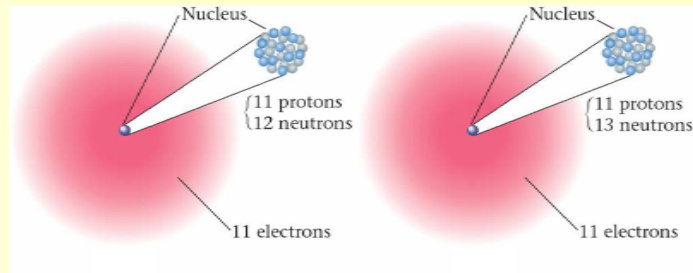
Atomic Number

Symbol

Electron Configuration

Atomic Mass

## Például



*Mi a stabilitás feltétele? 1:1 ?*

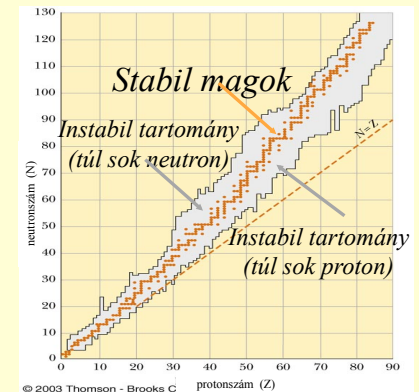
## Az atommag stabilitása

- 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

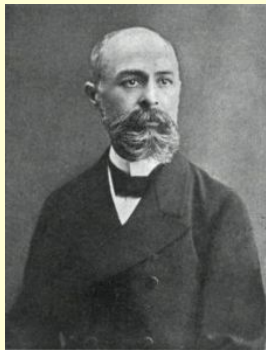
- Nincs olyan stabil mag, ahol  $Z > 83$



## 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)

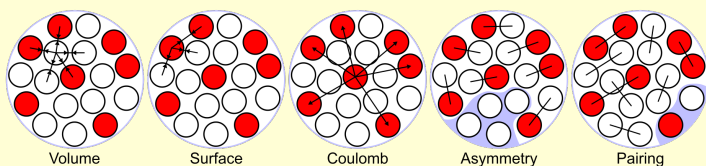


**Antoine Becquerel**  
1903 Fizikai Nobel-Díj a radioaktivitás felfedezéséért



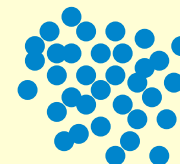
Becquerel fotolemezén az uránium só által létrehozott kép. Az uránium és a fotolemez közé helyezett máltai kereszt képe kirajzolódik. (1896)

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



## 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*

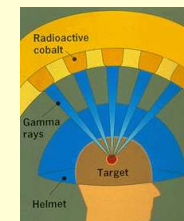
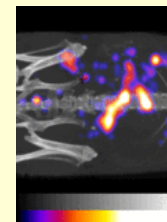
## Tipikus aktivitás értékek

**kBq,**  
természetes  
háttér

**MBq,**  
*in vivo*  
diagnosztika

**GBq,**  
laboratóriumi  
gyakorlat

**TBq**  
*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 ( $\lambda$ )

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

Differenciális alak

Az egyenlet megoldása

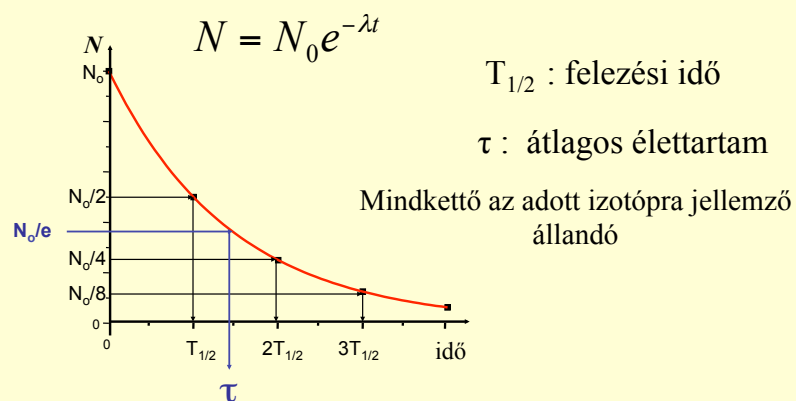
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Integrális alak

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

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

## Grafikus megjelenítés

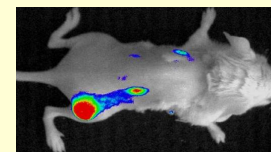
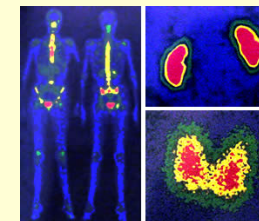


## Felezési idők az orvosi gyakorlatban



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

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



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

## A bomlási állandó definíciója

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

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

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

$$\Lambda = \lambda N$$

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

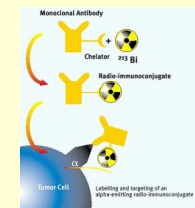
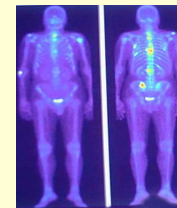
**Specifikus aktivitás:** a minta aktivitásának és tömegének hányadosa ( $\Lambda/m$ ), mértékegysége Bq / kg

## A radioaktív izotópok jellemzői

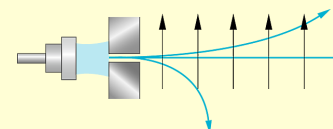
**Aktivitás:** egyaránt függ a jelen lévő atommagok számától és az izotóp fajtájától

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

**A sugárzás fajtája:** a magra jellemző

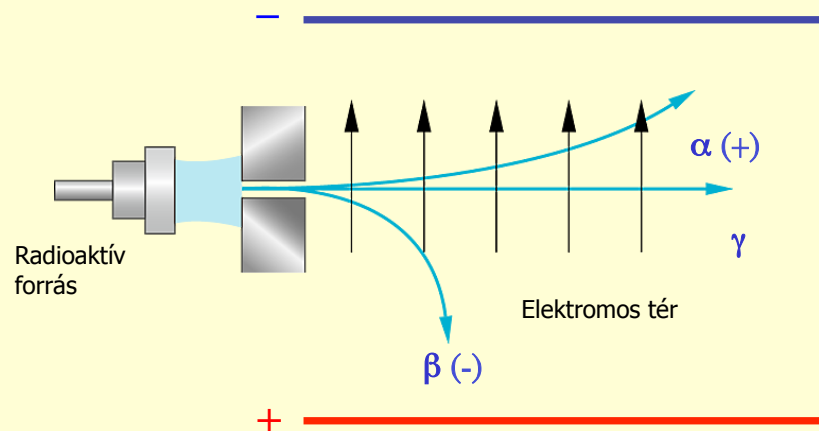


## Magsugárzások fajtái

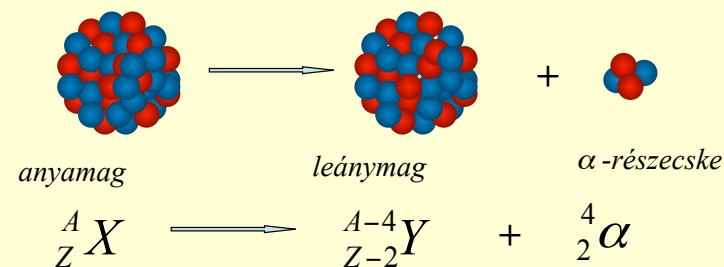




## Magsugárzások eltérülése elektromos térben

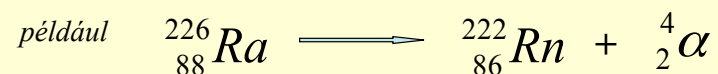


## α-bojlás

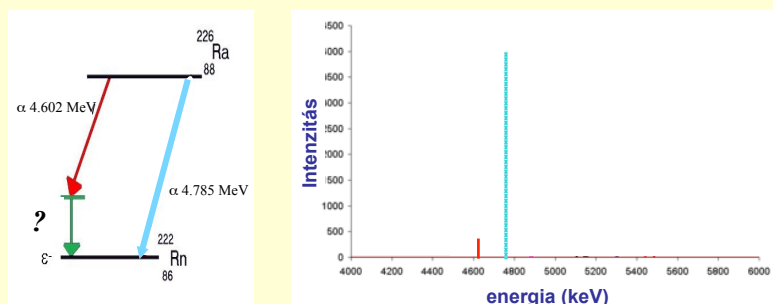


**α-részecske:** két neutront és két protont tartalmaz (ua. Helium atommag)

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



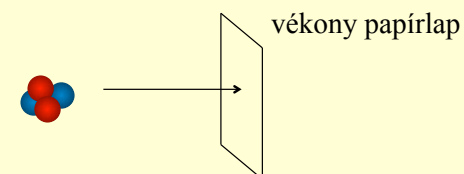
## Az α-sugárzás energia spektruma



Vonalas spektrum

**Az energia jellemző a kibocsátó magra**

## α-részecskék áthatolóképessége



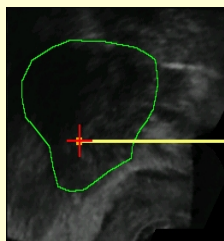
abszorbens	denzitás	áthatolóképesség
levegő	1.2 mg/cm <sup>3</sup>	3.7 cm
papír (20lb)	0.89 g/cm <sup>3</sup>	53 μm
víz (lágyszövet)	1.0 g/cm <sup>3</sup>	45 μm



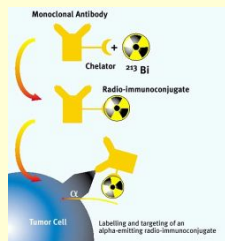
## Az $\alpha$ -sugárzás orvosi alkalmazásai

Diagnózis: soha

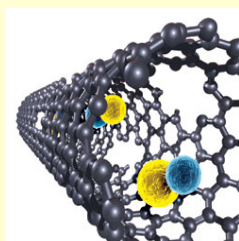
Célzott tumorterápia



beültetés tűvel



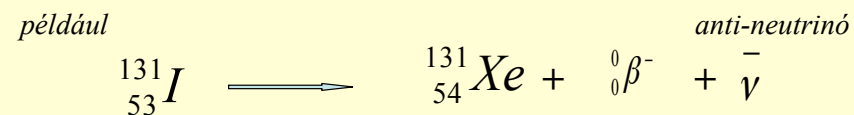
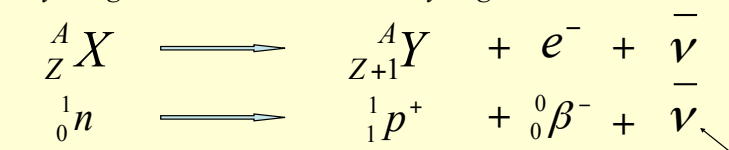
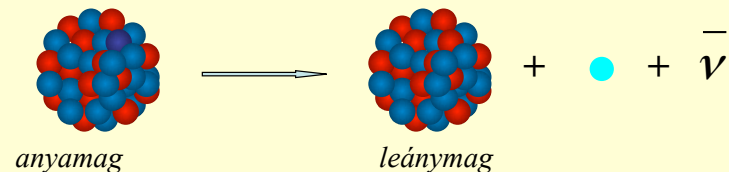
monoklonális antites



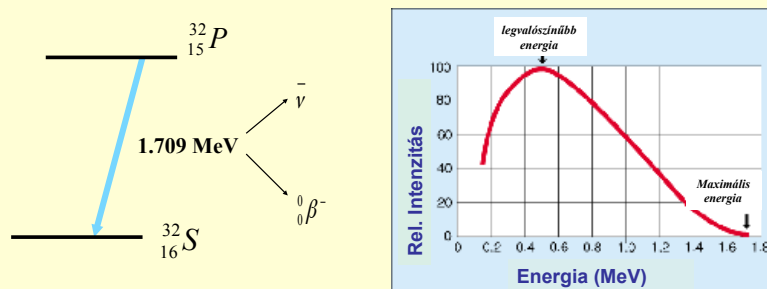
szén nanocső

## $\beta$ -bomlás

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



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



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

**Folytonos spektrum**  
Maximális mozgási energiával

## A $\beta^-$ részecskék áthatolóképessége



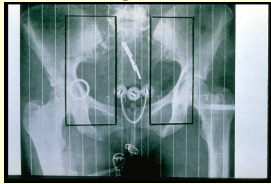
5 mm alumínumban

abszorbens	denzitás	áthatolóképesség (2.3 MeV)	áthatolóképesség (1.1 MeV)
levegő	1.2 mg/cm <sup>3</sup>	8.8 m	3.8 m
víz (lágyszövet)	1.0 g/cm <sup>3</sup>	11 mm	4.6 mm
alumínium	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



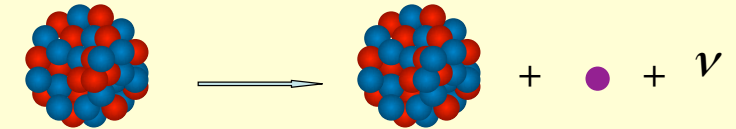
implantátum a daganatban



endovaskuláris sugárzás

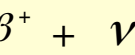
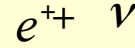
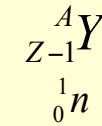
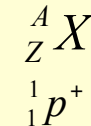
## $\beta$ -bomlás

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

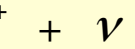
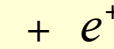
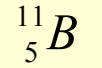


anyamag

leánymag



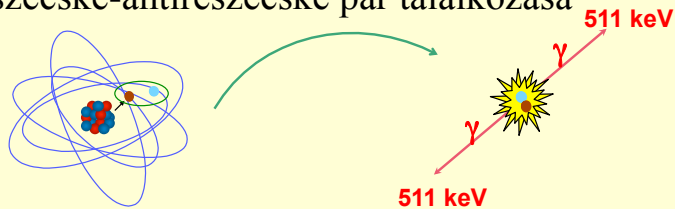
például



neutrínó

## Szétsugárzás vagy annihiláció

- részecske-antirészecske pár találkozása



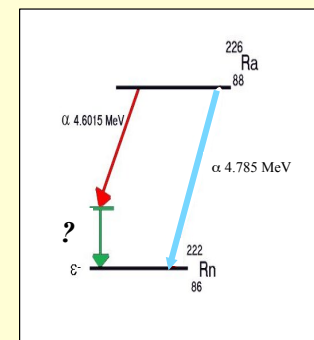
1. Impulzus megmaradás: a két foton ellentétes irányba halad

2. Energia:

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

tömeg – energia ekvivalencia

## $\gamma$ -bomlás

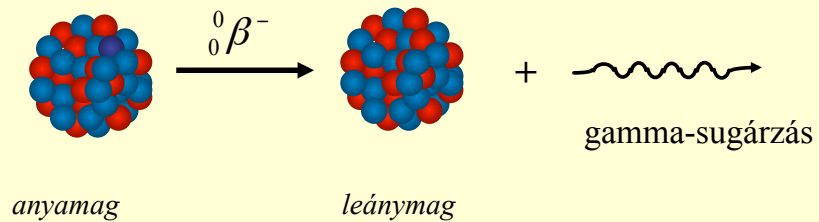
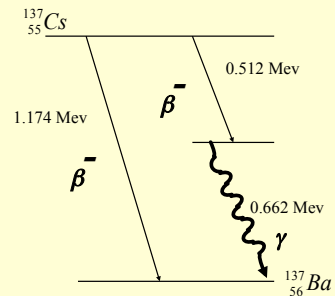


Az  $\alpha$ - vagy  $\beta$ - bomlás után az új mag még gerjesztett állapotban van.

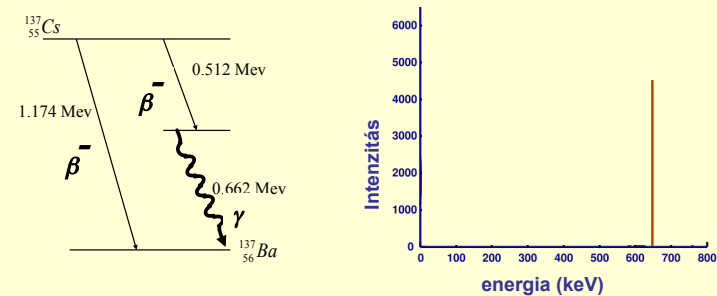
A gerjesztett mag energialeadással kerül alapállapotba. Az energiát

**elektromágneses sugárzás** -

gamma-sugárzás formájában adja le.



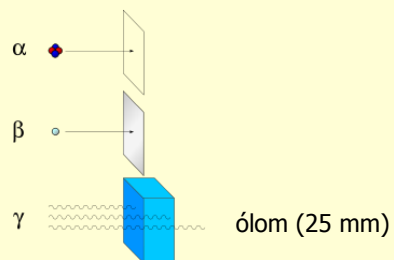
## A $\gamma$ -sugárzás energia spektruma



*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:

néhány 100 méter levegőben  
 néhány 10 centimeter szövetekben

## A $\gamma$ -kibocsátás ideje

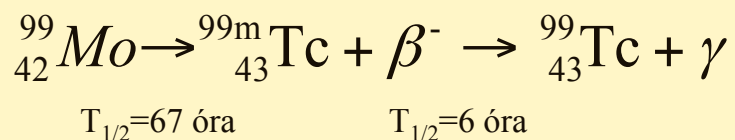
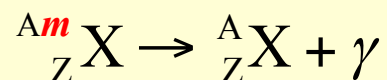
A gerjesztett mag élettartama:

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

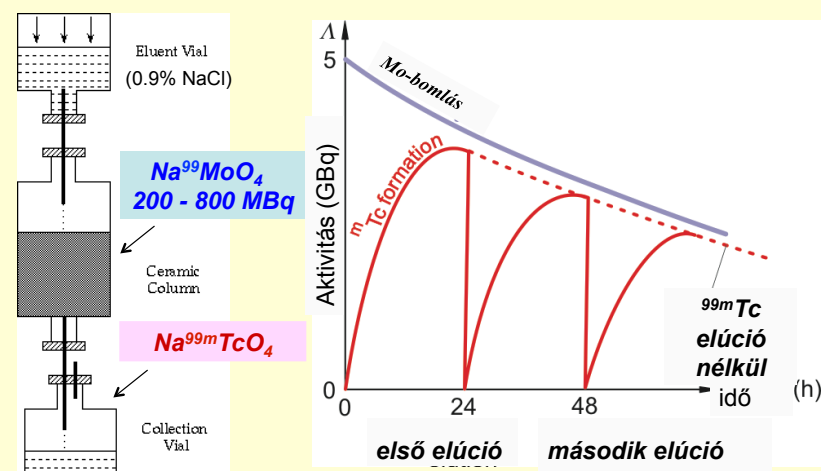
2. Izomer magátalakulás:  $\geq 10^{-10} \text{ s}$

## Izomer átalakulás

Némely gerjesztett magok felezési ideje néhány órától 600 évig is eltarthat

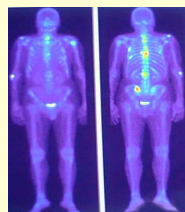


## Technécium-99m generátor



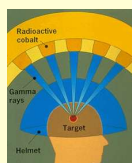
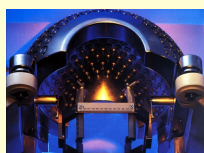
## Orvosi alkalmazások

Diagnosztika: ideális izotópdiagnosztikai célokra



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

Terápia: gamma-kés



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

## A hét kérdése

Hogyan befolyásolja a proton – neutron arány az atommagok stabilitását?

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