

## 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  
 $A = Z + N$

$A$   
 $Z$   
 $X$

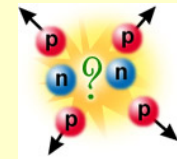
vegyjel

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)

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

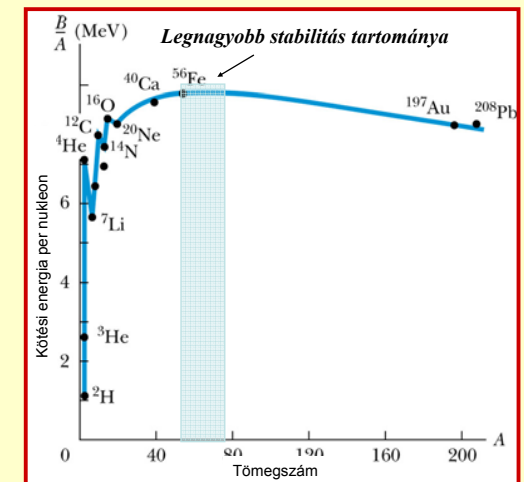
- az atommagot alkotó részecskék között hat, tekintet nélkül azok töltésére
- nagyobb, mint a Coulomb taszító erő
- hatótávolsága igen kicsi ( $\sim \text{fm}$ )

## 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*

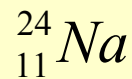
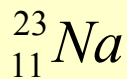
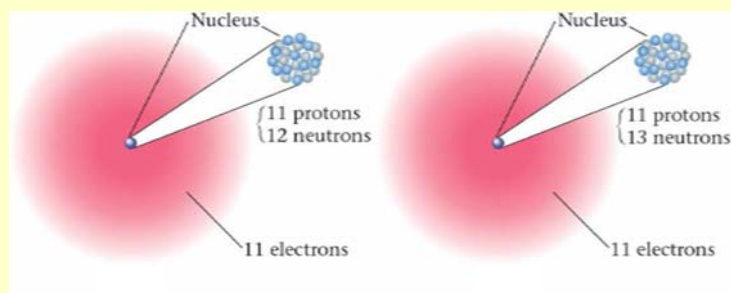
# Izotópok

görög *isos topos* = *azonos hely*

Egy elem izotópjaiban

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

## Például



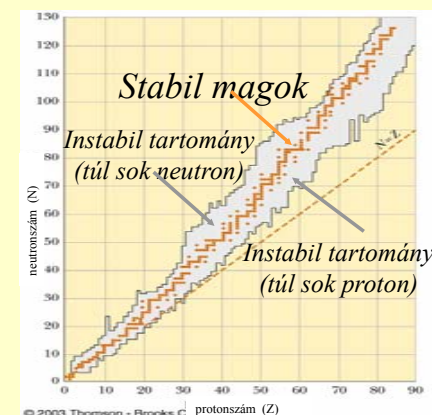
*Mi a stabilitás feltétele? 1:1 ?*

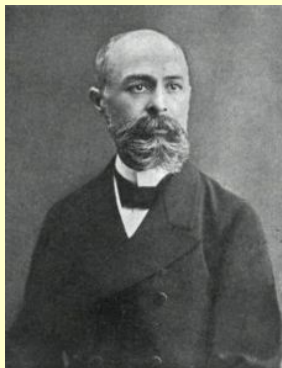
## Az atommag stabilitása

- 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)

## Radioaktív bomlás

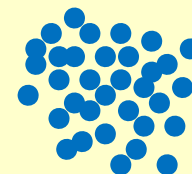
- A *radioaktivitás* : energia kibocsátása az atommagból részecskék vagy elektromágneses sugárzás formájában
- Háromféle sugárzás ismert:
  - Alfa ( $\alpha$ ) részecske
  - Béta ( $\beta$ ) részecske
  - Gamma ( $\gamma$ ) sugárzás

(Rutherford 1896, lásd később)

- 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*

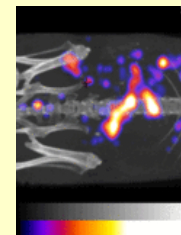
*mértékegysége: becquerel (Bq)  
1Bq = 1 bomlás/sec*

## 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 ( $A$ )

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

Az egyenlet megoldása

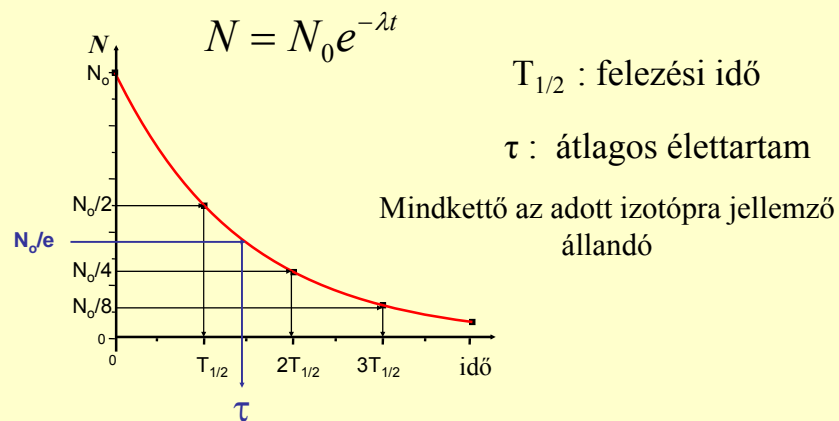
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

**Integrális alak**

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

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

## Grafikus megjelenítés

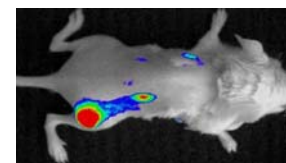
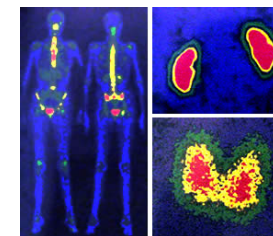


## Felezési idők az orvosi gyakorlatban



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

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

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

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

$\Lambda = \lambda N$

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

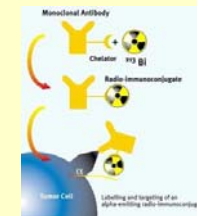
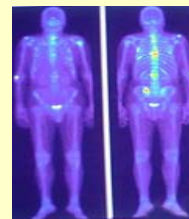
**Specifikus aktivitás:** a minta aktivitásának és tömegének hányadosa ( $\Lambda/m$ ), mértékegysége Bq / kg

## A radioaktív izotópok jellemzői

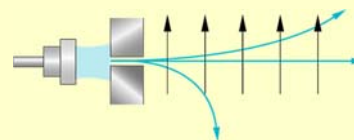
**Aktivitás** : egyaránt függ a jelen lévő atommagok számától és az izotóp fajtájától

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

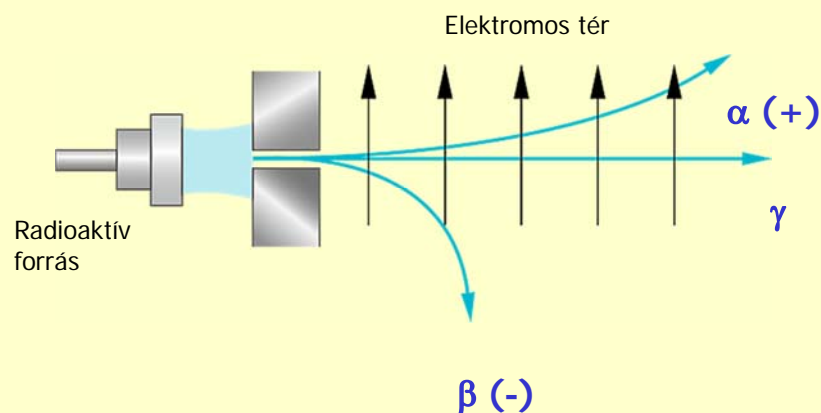
**A sugárzás fajtája**: a magra jellemző



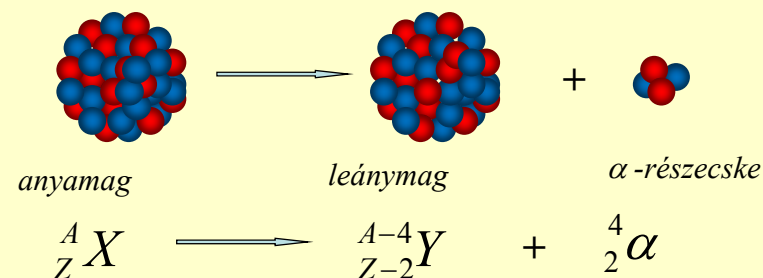
## Magsugárzások fajtái



## Magsugárzások eltérülése elektromos térben



## α-bomlás

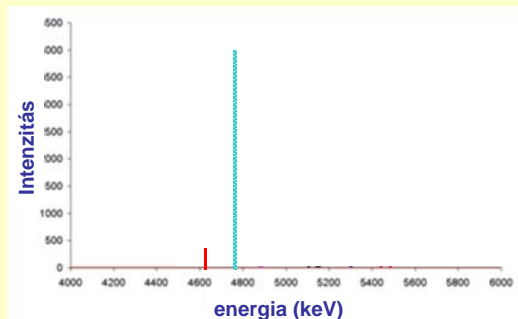
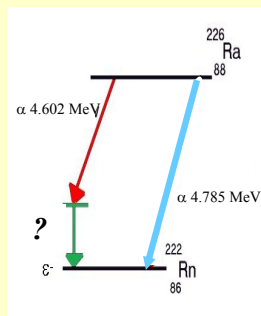


**α-részecske**: két neutront és két protont tartalmaz (ua. Helium atommag)

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



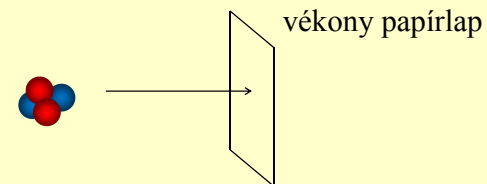
## Az $\alpha$ -sugárzás energia spektruma



*Vonalas spektrum*

*Az energia jellemző a kibocsátó magra*

## $\alpha$ -részecskék áthatolóképessége

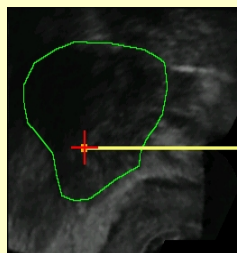


abszorbens	denzitás	áthatolóképesség
levegő	1.2 mg/cm <sup>3</sup>	3.7 cm
papír (20lb)	0.89 g/cm <sup>3</sup>	53 $\mu\text{m}$
víz (lágy szövet)	1.0 g/cm <sup>3</sup>	45 $\mu\text{m}$

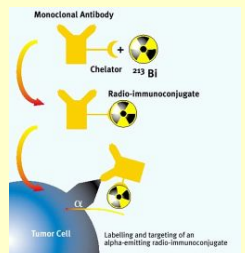
## Az $\alpha$ -sugárzás orvosi alkalmazásai

Diagnózis: soha

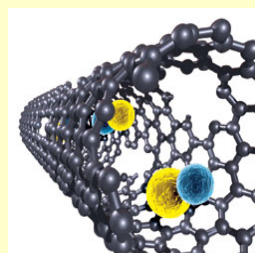
Célzott tumorterápia



beültetés tűvel



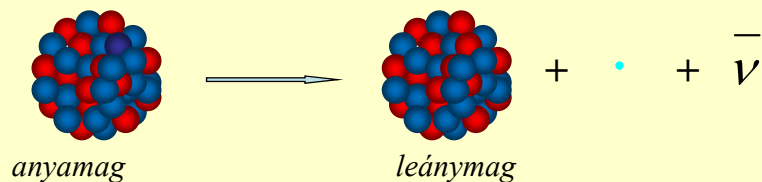
monoklonális antites



szén nanocső

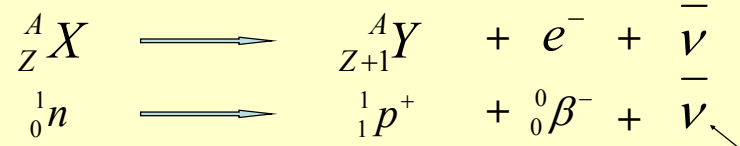
## $\beta$ -bomlás

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

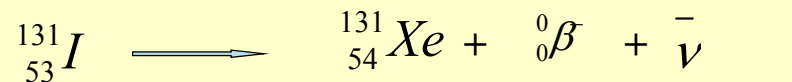


anyag

leánymag

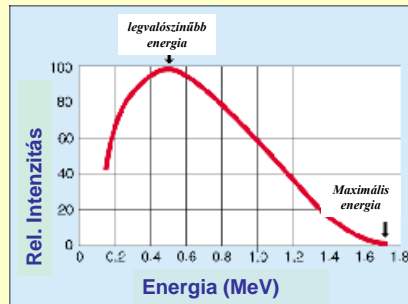
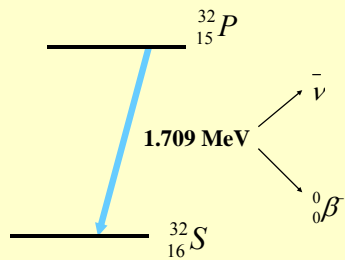


például





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



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

**Folytonos spektrum**  
Maximális mozgási energiával

## A $\beta^-$ részecskék áthatolóképessége



5 mm alumínumban

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
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



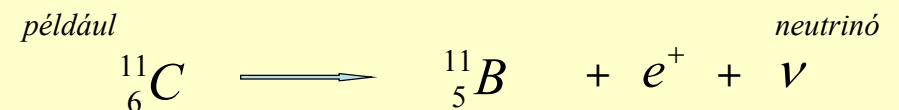
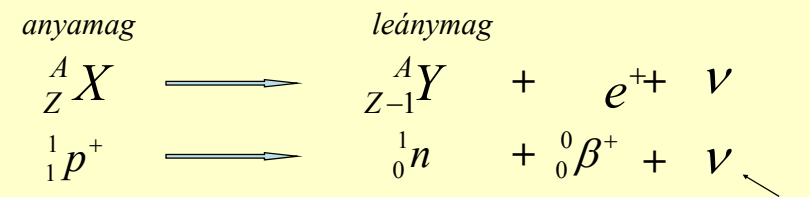
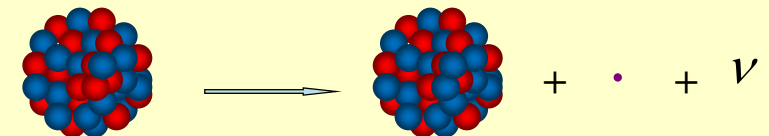
implantátum a daganatban



endovaszkuláris sugárzás

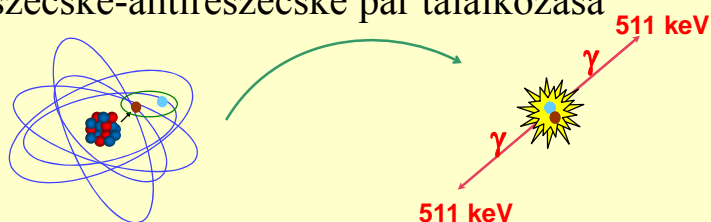
## $\beta^-$ bomlás

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



# Szétsugárzás vagy annihiláció

- részecske-antirészecske pár találkozása



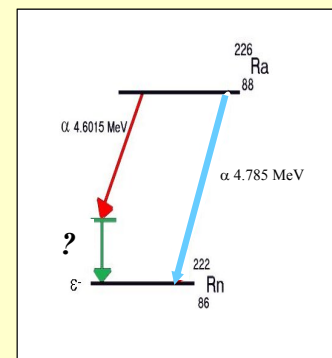
1. Impulzus megmaradás: a két foton ellentétes irányba halad

2. Energia:

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

tömeg – energia ekvivalencia

## γ-bomlás

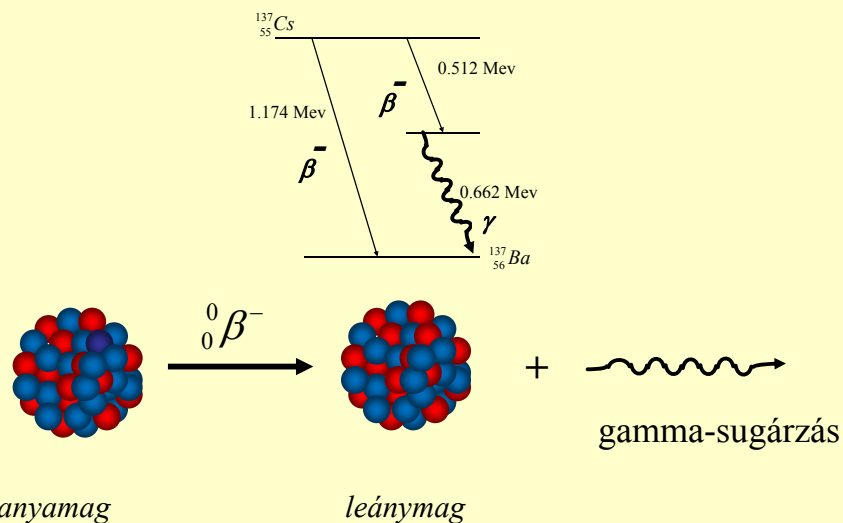


Az  $\alpha$ - vagy  $\beta$ - bomlás után az új mag még gerjesztett állapotban van.

A gerjesztett mag energiadással kerül alapállapotba. Az energiát

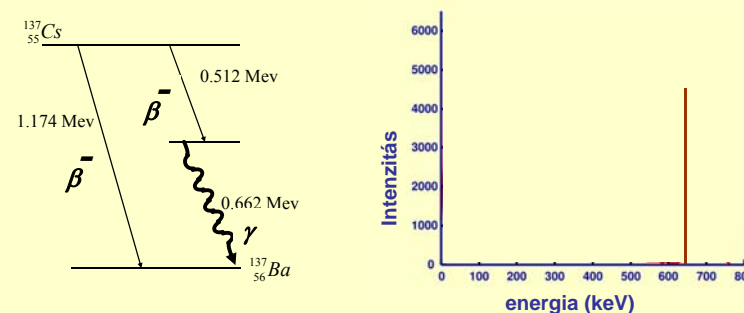
**elektromágneses sugárzás** -

gamma-sugárzás formájában adja le.



gamma-sugárzás

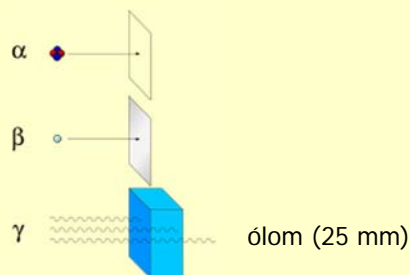
## A γ-sugárzás energia spektruma



**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

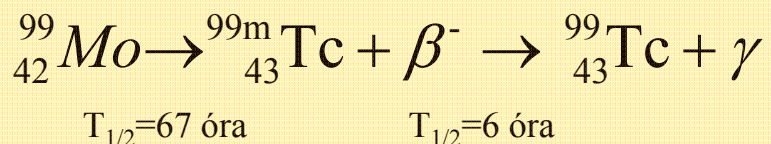
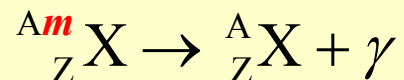
A gerjesztett mag élettartama:

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

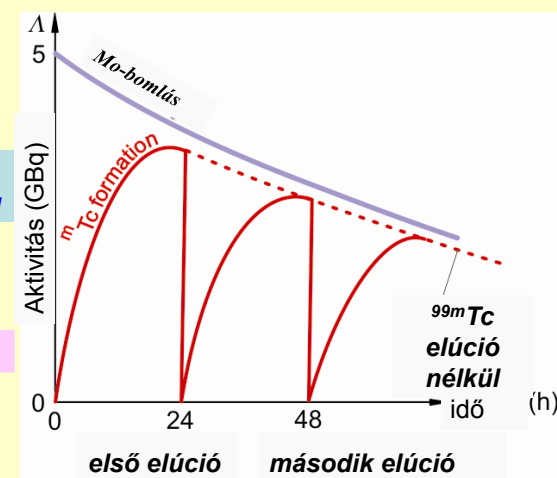
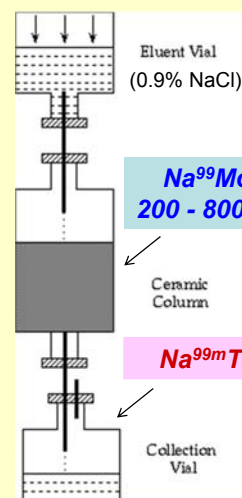
2. Izomer magátalakulás:  $\geq 10^{-10} \text{ s}$

## Izomer átalakulás

Némely gerjesztett magok felezési ideje néhány órától 600 évig is eltarthat

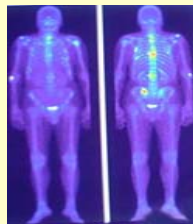


## Technécium- $^{99m}$ generátor



# Orvosi alkalmazások

Diagnosztika: ideális izotópdiagnosztikai célokra



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

Terápia: gamma-kés



<u>Izotóp</u>	<u>radiofarmakon</u>	<u>szerv</u>	<u>funkció</u>
$^{99m}\text{Tc}$	<i>nátrium pertechnikát</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>

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