

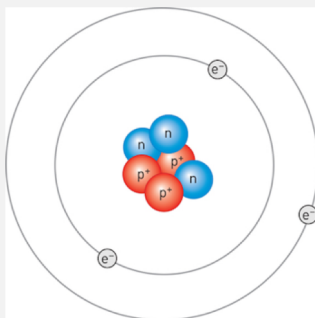
Biofizika I

13. Magsugárzások

Liliom Károly

2023. 11. 29.

*liliom.karoly@med.semmelweis-univ.hu
karoly.liliom.mta@gmail.com*



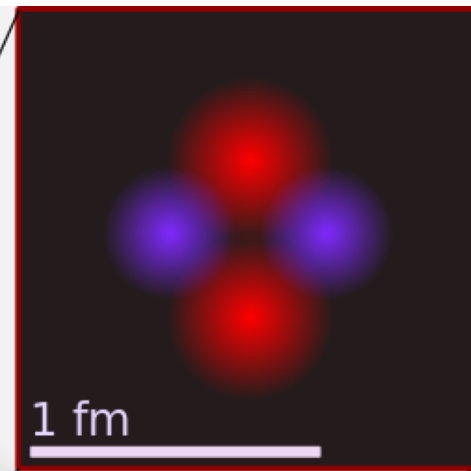
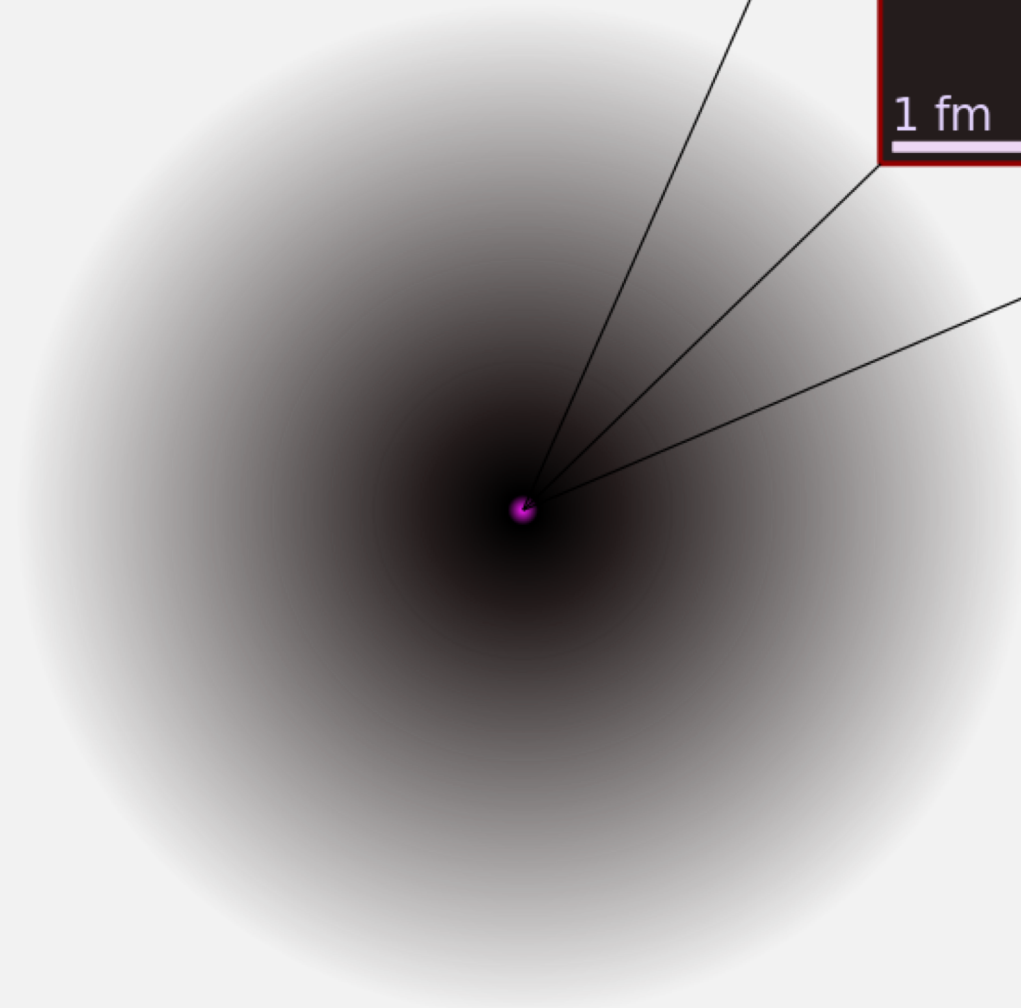
Az atomok alkotórészei

Particle	Symbol	Resting Energy (MeV)	Relative Charge*	Mass (kg)	Relative Mass (AMU)**
electron	e	0.51100	1-	9.11×10^{-31}	5.4858×10^{-4}
proton	p	938.272	1+	1.6726×10^{-27}	1.0072765
neutron	n	939.566	0	1.6749×10^{-27}	1.0086649

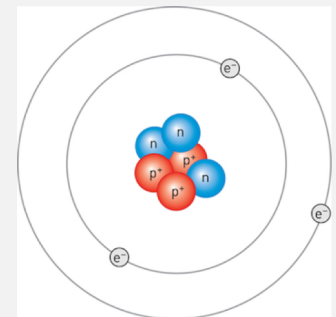
* elektronok töltése (elemi töltés): $-1.602 \times 10^{-19}\text{C}$

** Atomtömeg-egység: (^{12}C) atom 1/12-ed része

Az atommag mérete



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

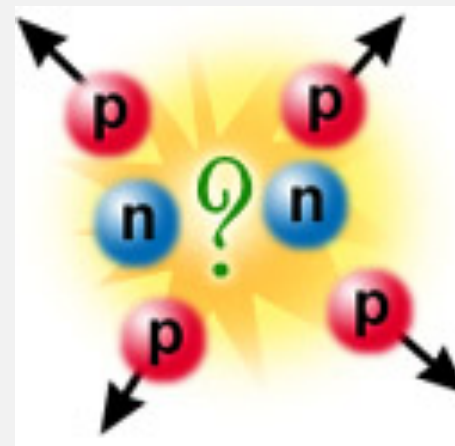


Atommag stabilitása

Protonok között erős az elektrosztatikus taszítás!

(mi tartja egyben a magot)

Kell, hogy legyen egy
vonzóerő a magon belül!



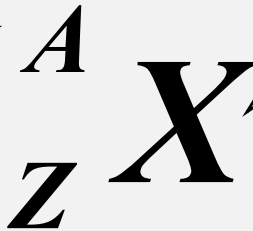
Rutherford, 1911 – magerő: rövid hatótávolságú vonzóerő, független a töltéstől és erősebb a Coulomb-erőknél.

A neutron hipotézise (Chadwick 1932, Nobel-díj 1935)

jelölések

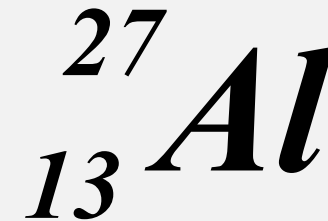
tömegszám

$$A = Z + N$$



*az elem kémiai
szimbóluma*

*rendszám =
protonok száma*



N = *neutronok száma*
nukleon = proton vagy neutron

A mag stabilitása

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

Tömegdefektus: az atommag tömege kisebb, mint az alkotó protonok és neutronok tömegeinek összege! A különbség Einstein tömeg-energia egyenértékűségi elvével magyarázható:

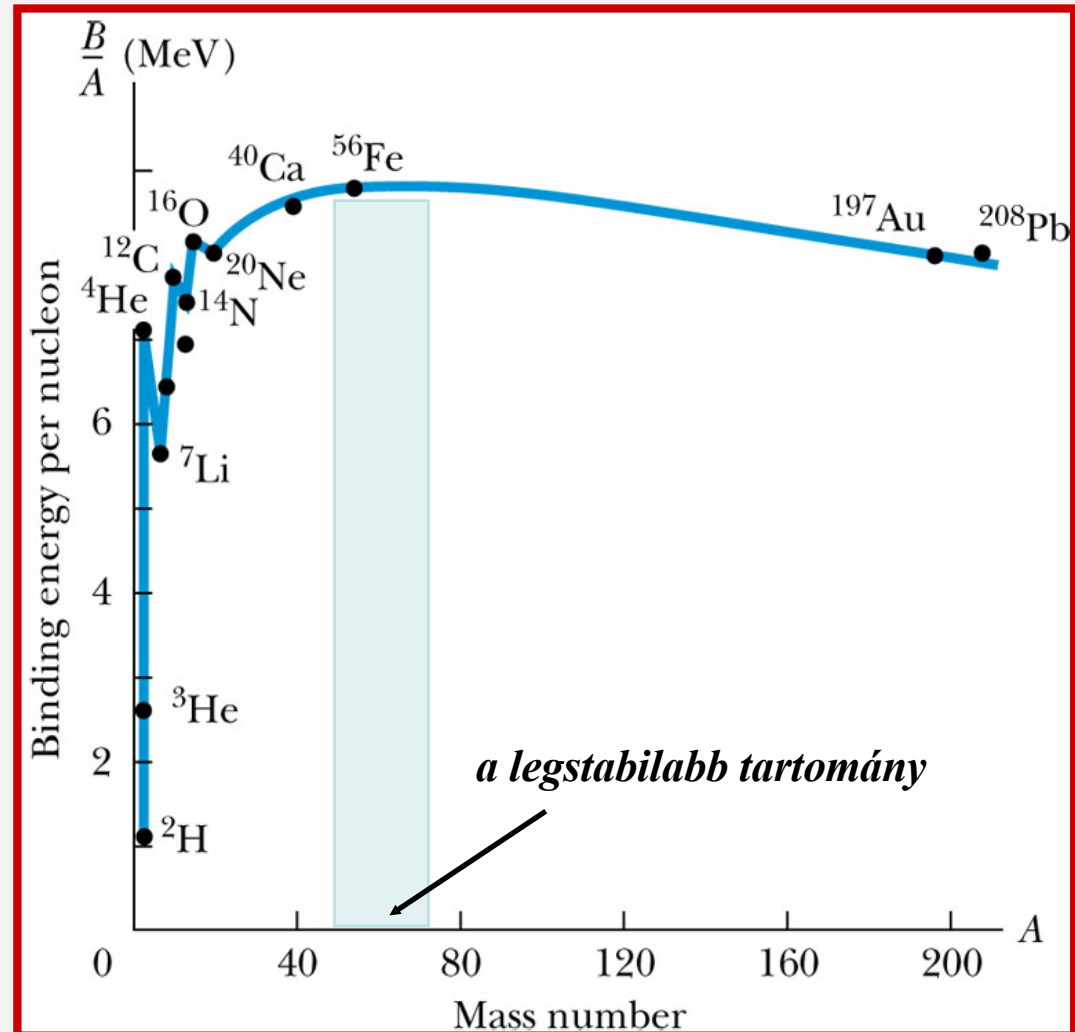
$$\Delta E = \Delta M c^2$$

A tömegdefektus = a kötési energia tömegegységben kifejezve.

Nukleonokra eső kötési energia

- Kis tömegszámoknál gyors növekedés
- Éles csúcsok páros-páros magoknál:
 ${}^4_2\text{He}$, ${}^{12}_6\text{C}$, and ${}^{16}_8\text{O}$
- Maximum kb $A=56$

nukleon = proton vagy neutron



Izotópok

Görög *isos topos* = *azonos hely*

Egy elem izotópjai:

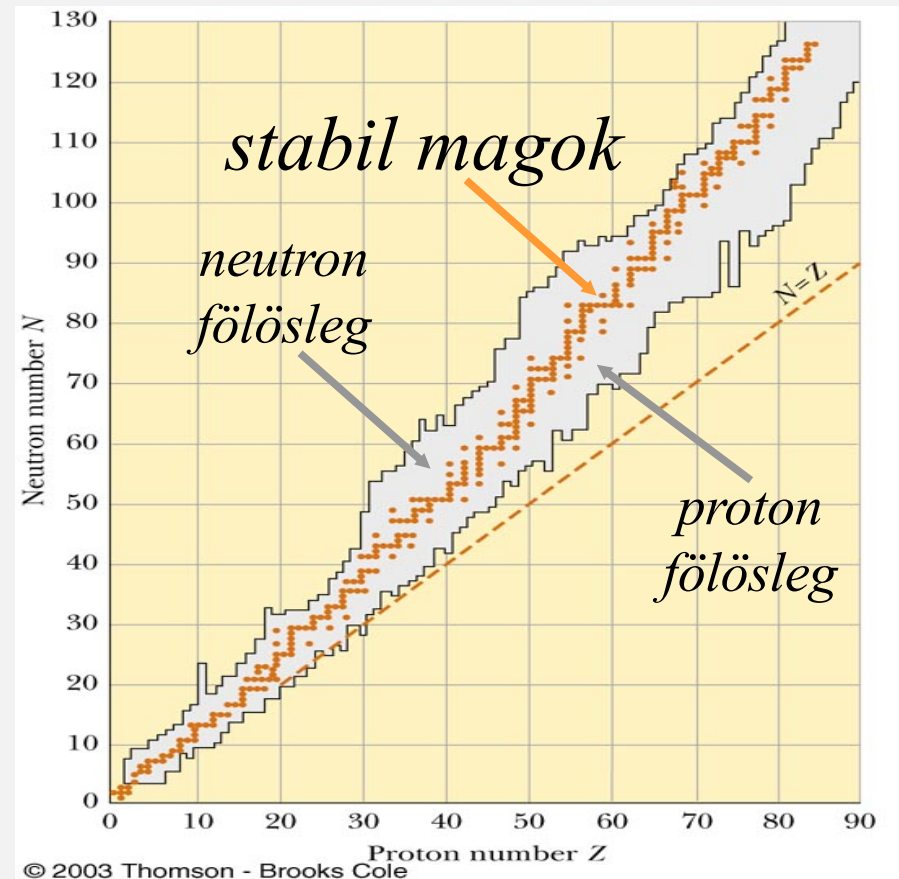
- azonos protonszámúak
- különböző neutronszámúak
- különböző tömegszámúak

Mendeleev's Periodic Table of Elements

From Russia with  divita.eu

Atommag stabilitási diagramja

- könnyű magok stabilak, ha
 $N = Z$
- nehéz magok stabilak, ha
 $N > Z$
a protonszám növelésével növekszik
a Coulomb-féle taszítóerő, így
több neutron kell a mag egyben
tartására
- Nincs stabil mag, ha $Z > 83$



Mi történik, ha a mag nem stabil?

Radioaktív bomlás



Antoine Becquerel
1903 fizikai Nobel-díj a
radioaktivitás felfedezéséért



Becquerel fotólemeze, ami a
fölé tett urániumsó sugárzása
miatt exponálódott. A lemez
és az urániumsó közé
helyezett fém máltai kereszt
jól kivehető (1896).

Radioaktív bomlás

- *Radioaktivitás*: az energia spontán kibocsájtása részecskék vagy elektromágneses sugárzás útján
- a nem stabil atommagok bomlása hozza létre
- háromféle sugárzás keletkezhet

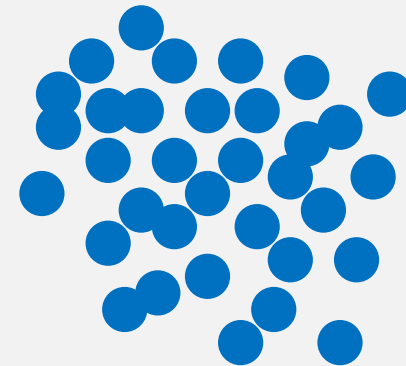
Alfa (α) részecske

Béta (β) részecske

Gamma (γ) sugarak

Radioaktív bomlás jellemzői

- statisztikai folyamat – az egyedi bomlások véletlenszerűen követik egymást
- a bomlásra képes magok száma csökken az idővel



A radioaktív bomlás jellemzői

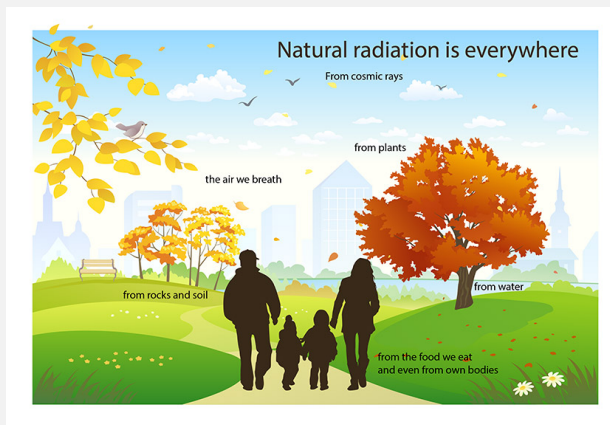
Aktivitás: $\Lambda = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right|$

N: még el nem bomlott magok száma
t: idő

Aktivitás = egységnyi idő alatt elbomlott magok száma

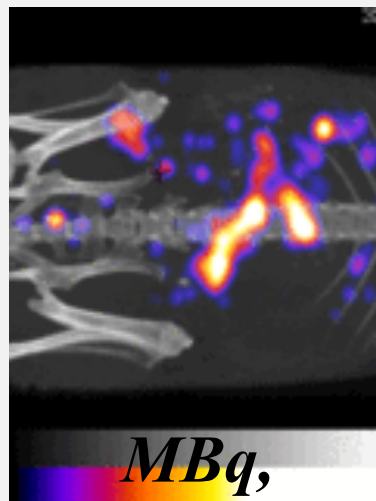
egysége: becquerel (Bq) 1Bq = 1 bomlás/s

háttérsugárzás



kBq,

diagnosztika



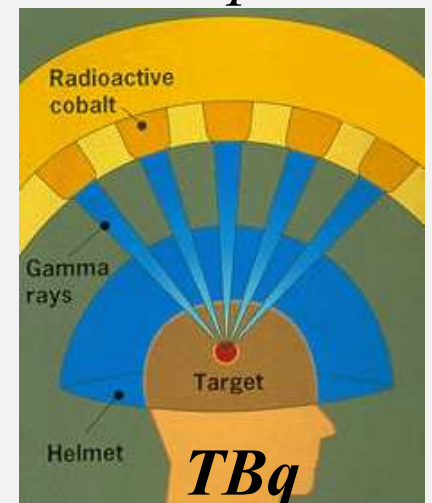
MBq,

*laboratóriumi
gyakorlat*



GBq,

terápia



TBq

Bomlástörvények

Differenciális alak: $\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$

megoldás

λ : *bomlási állandó* (1/s)

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

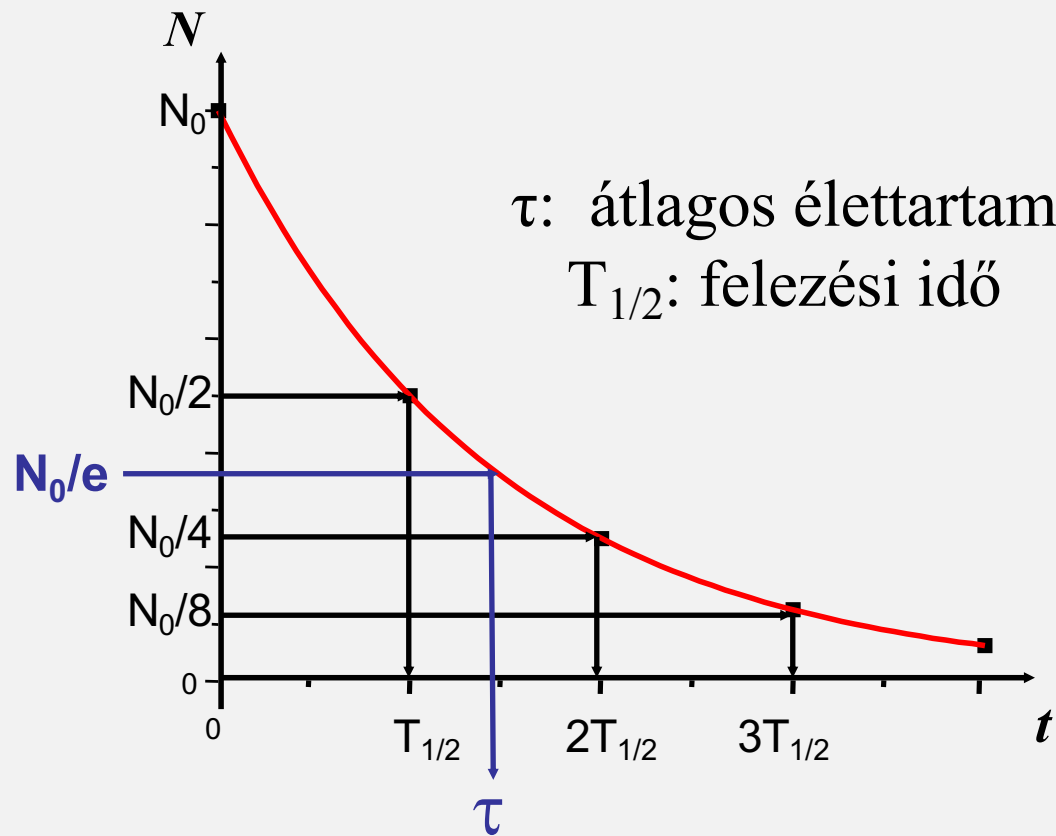
N_0 : bomlásra képes (rádioaktív) magok száma $t=0$ -kor,
 N : nem elbomlott magok száma egy későbbi t időpontban

Az aktivitás az izotóp típusától és a kezdetben jelen lévő bomlásra képes atommagok számától is függ.

Specifikus aktivitás: egységnyi tömegű izotóp aktivitása (Bq/kg)

Grafikus reprezentáció

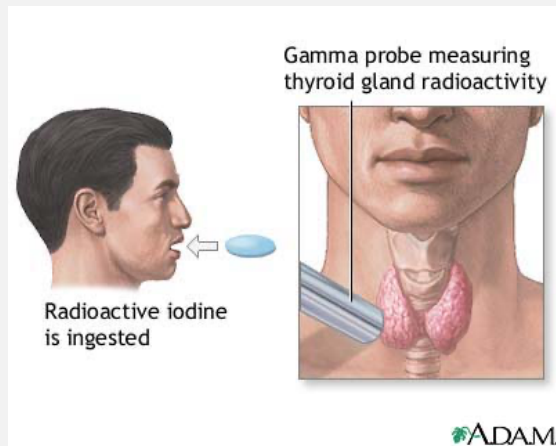
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$



$$\begin{aligned}
 t &= \tau \\
 \downarrow \\
 N_0 / e &= N_0 e^{-\lambda \tau} \\
 \downarrow \\
 \lambda &= \frac{1}{\tau}
 \end{aligned}$$

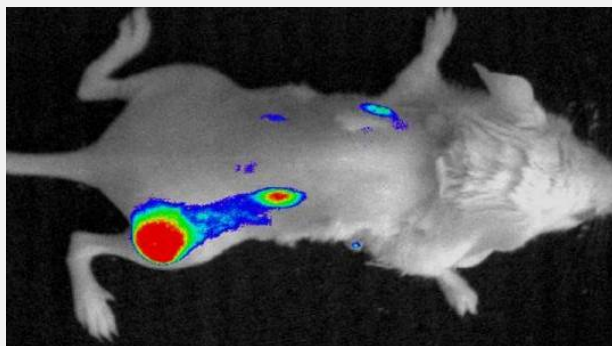
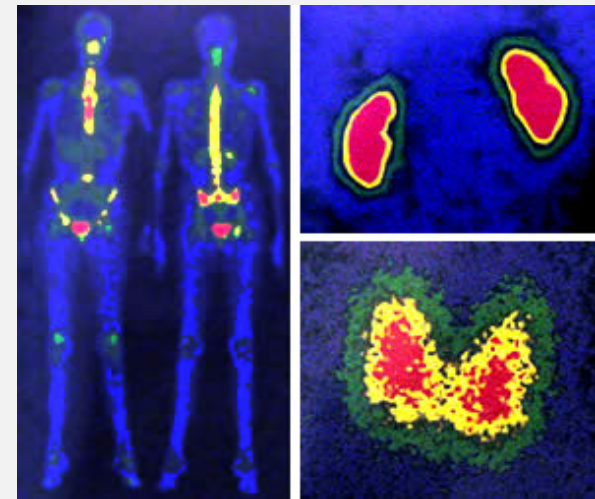
$$t = T_{1/2} \longrightarrow N_0 / 2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \longrightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

Felezési idők a gyógyászatban



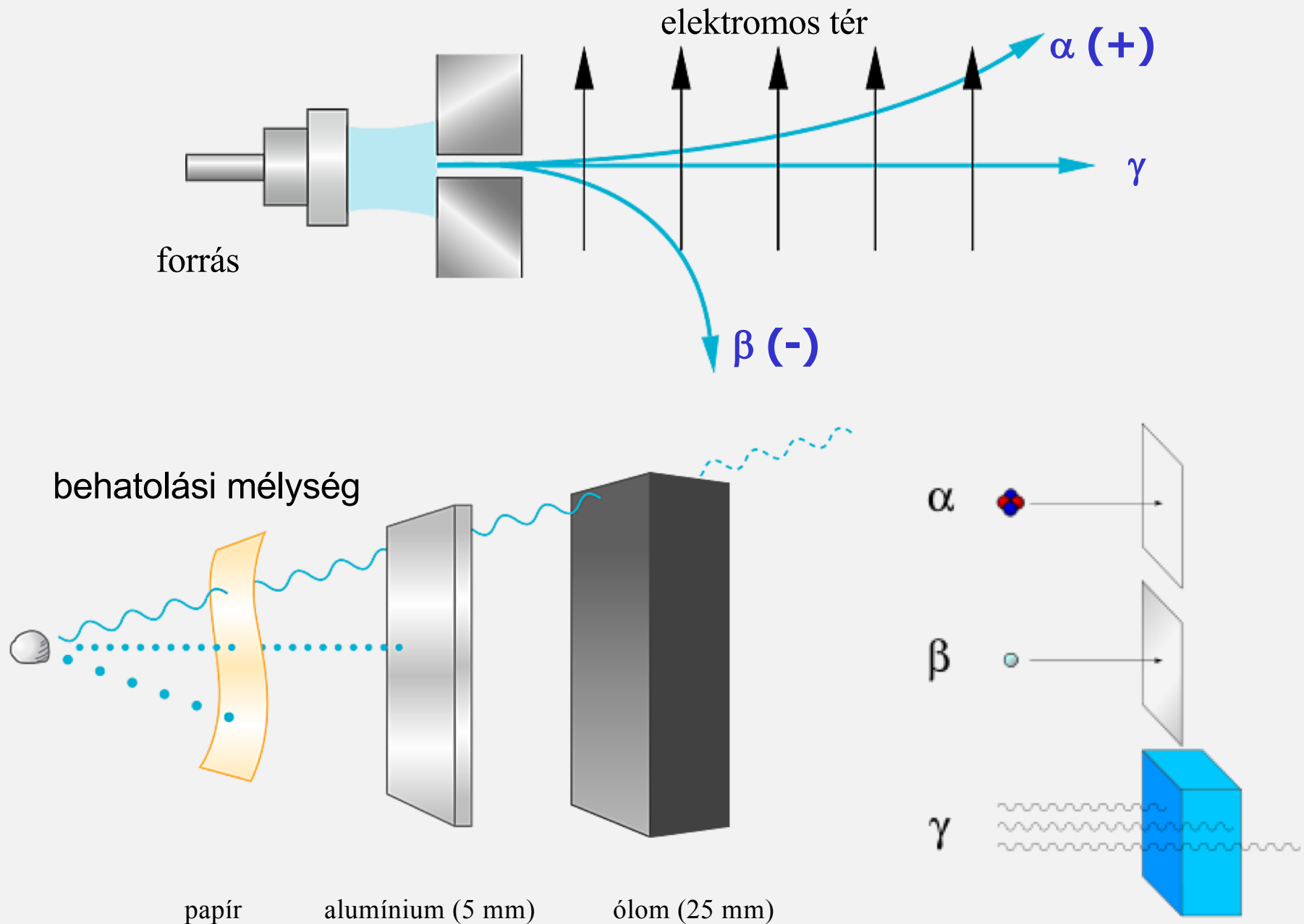
Jód - 131 (^{131}I) - $T_{1/2} = 8$ nap
pajzsmirigy kezelés

Technécium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) - $T_{1/2} = 6$ óra
Izotóp diagnosztika

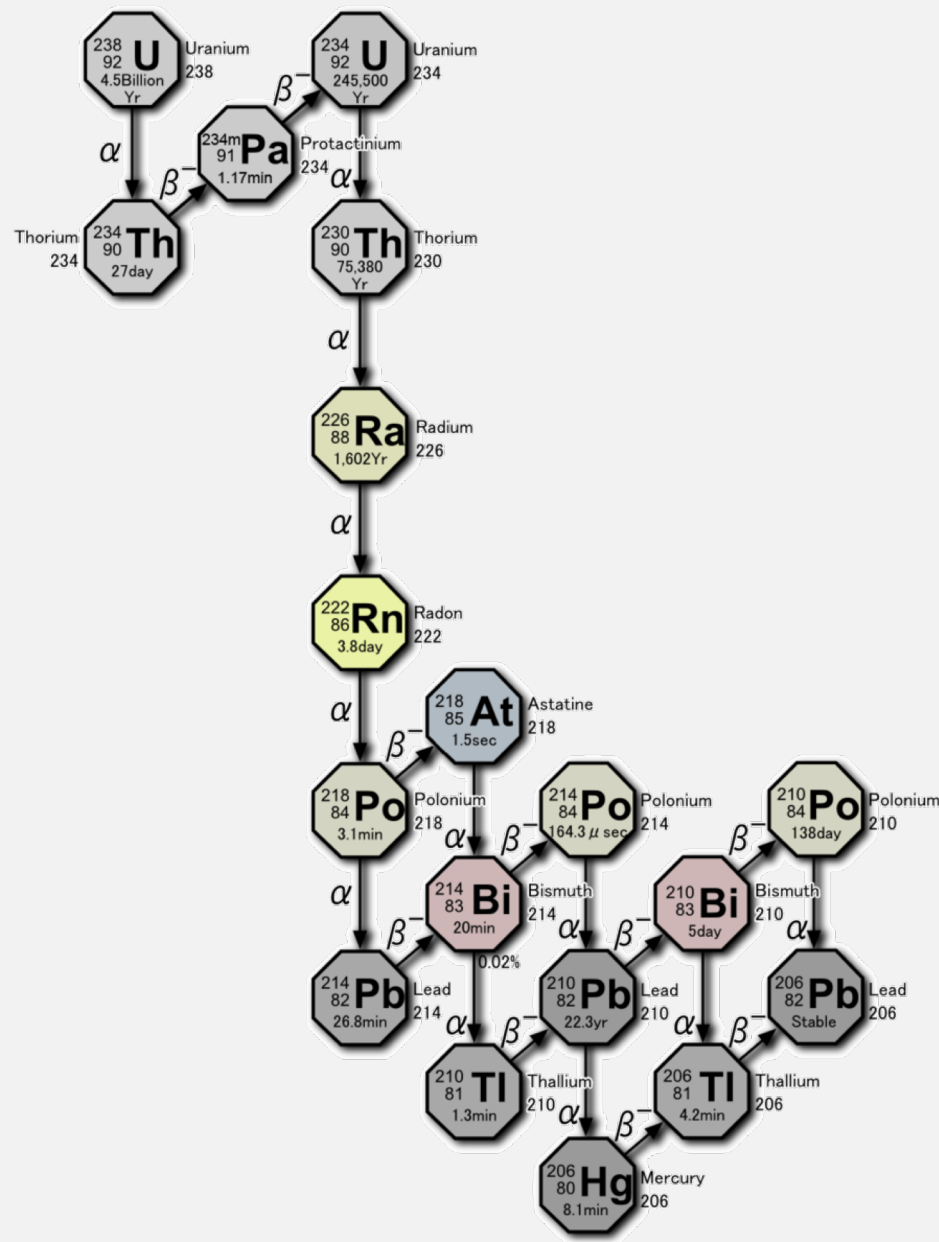
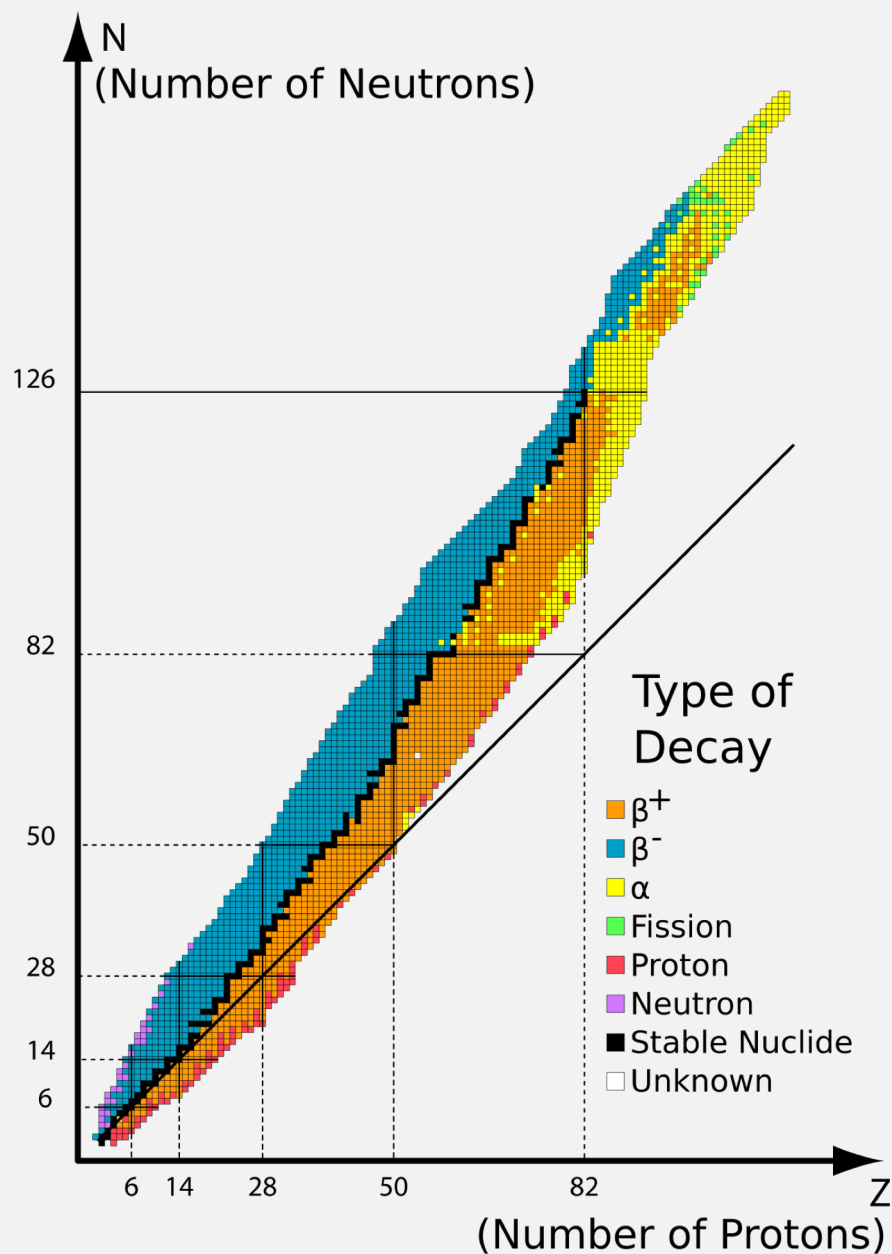


Arany-198 (^{198}Au) - $T_{1/2} = 2,7$ nap
Tumorterápia

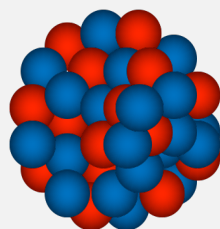
Radioaktív bomlás típusai



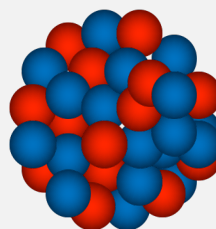
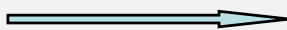
Radioaktív bomlás típusai



α bomlás



anyamag

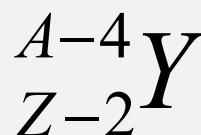
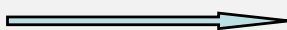
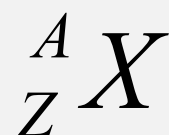


leánymag

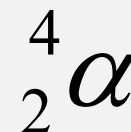
+



α részecske

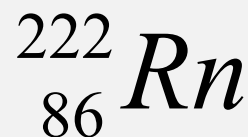
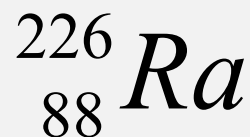


+

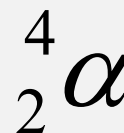


α részecske: a hélium atommagja, 2 proton és 2 neutron alkotja

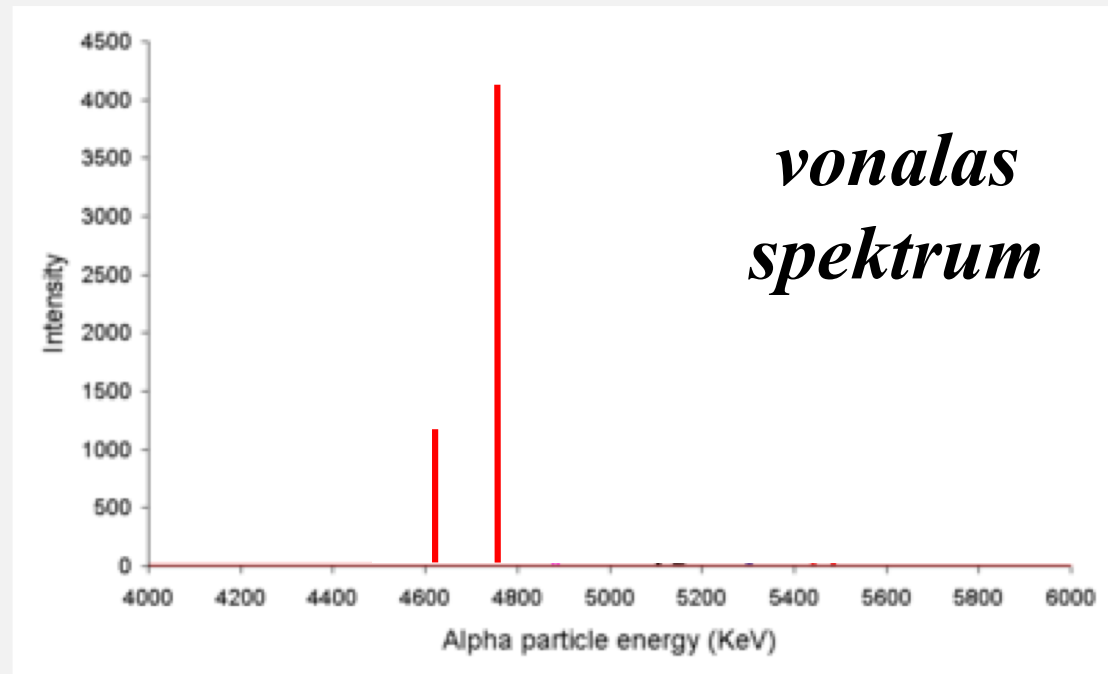
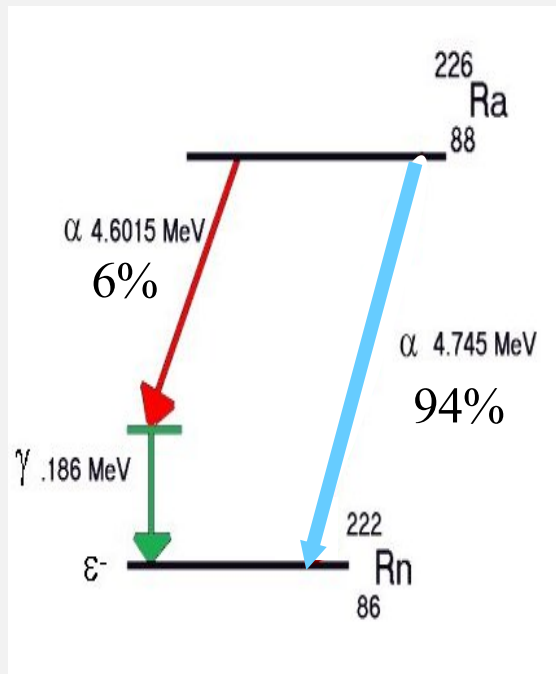
Nehéz magok ($A > 150$) tipikusan α részecske kibocsájtásával bomlanak



+

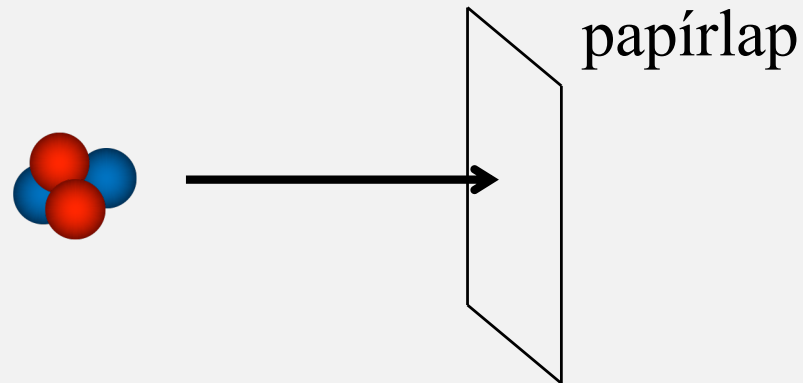


α sugárzás energia-spektruma



Az energiaszintek jellemzőek a magra

α részecskék behatolási mélysége

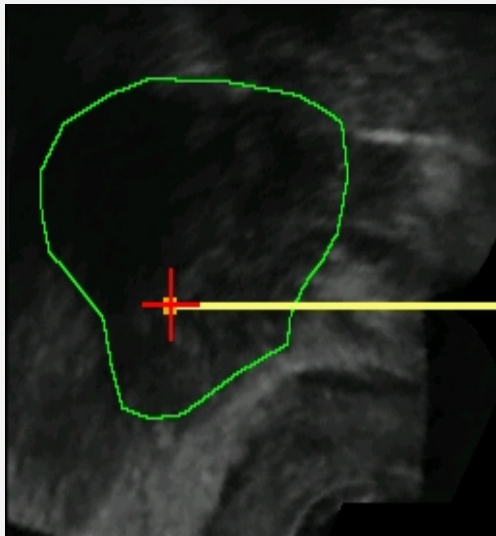


absorber	density	alpha range
air (STP)	1.2 mg/cm ³	3.7 cm
paper (20lb)	0.89 g/cm ³	53 μ m
water (soft tissue)	1.0 g/cm ³	45 μ m

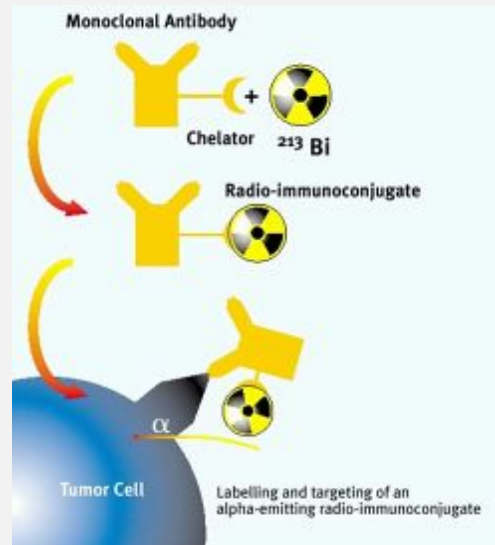
α sugárzás a gyógyászatban

Diagnózis: –

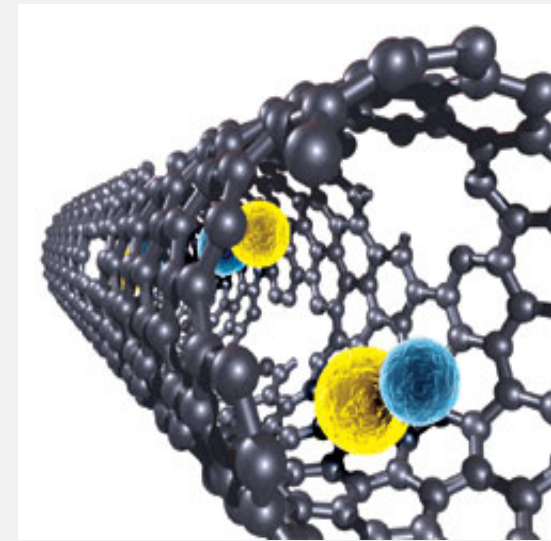
Célzott rákterápia α sugárzással



beültetés tűvel



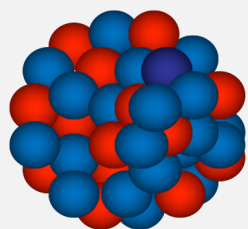
monoklonális antitest



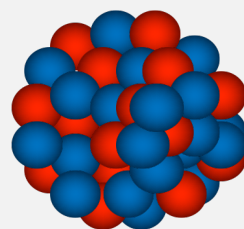
karbon nano-cső

β bomlás

1. Neutron-felesleg: β^- bomlás



anyamag



leánymag

+

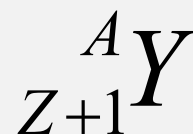
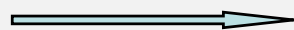
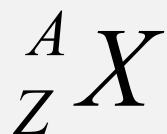


elektron

+

$\bar{\nu}$

anti-neutrínó

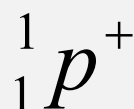
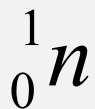


+

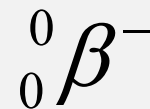


+

$\bar{\nu}$

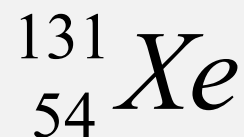
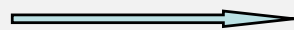
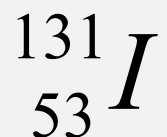


+

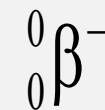


+

$\bar{\nu}$



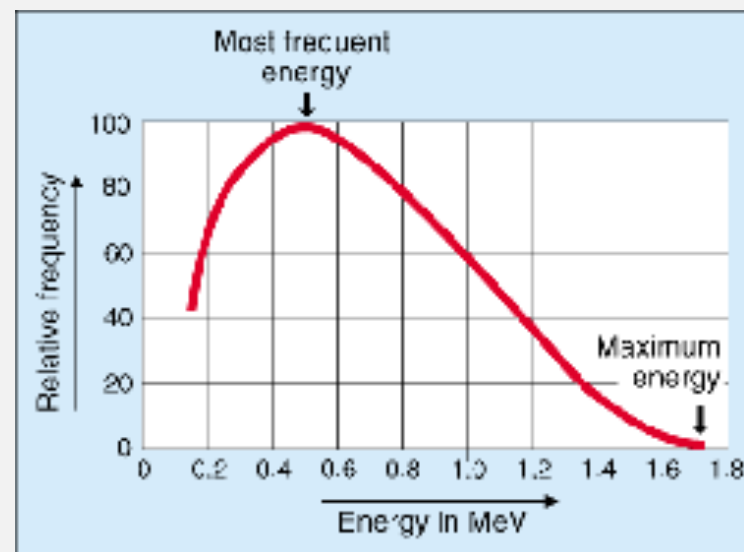
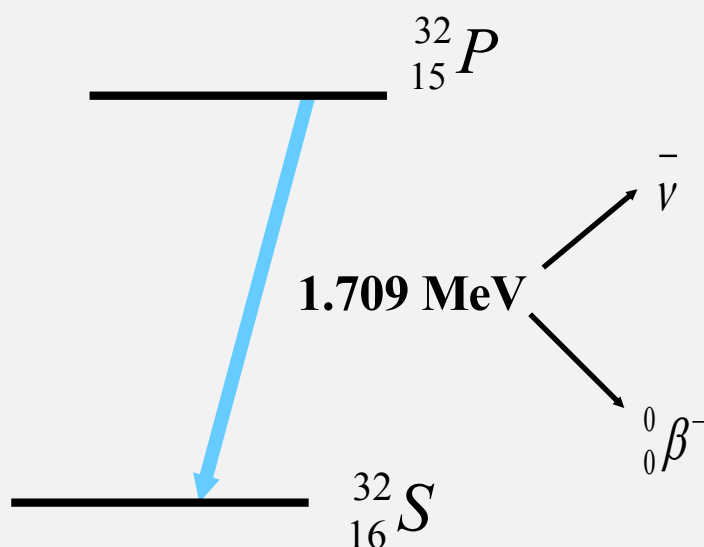
+



+

$\bar{\nu}$

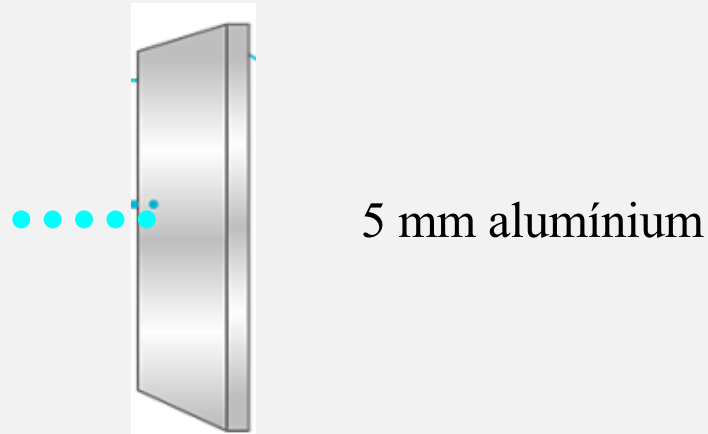
β sugárzás energia-spektruma



folytonos spektrum

DE, a β részecske energiájának van maximuma!

β^- részecskék behatolási mélysége

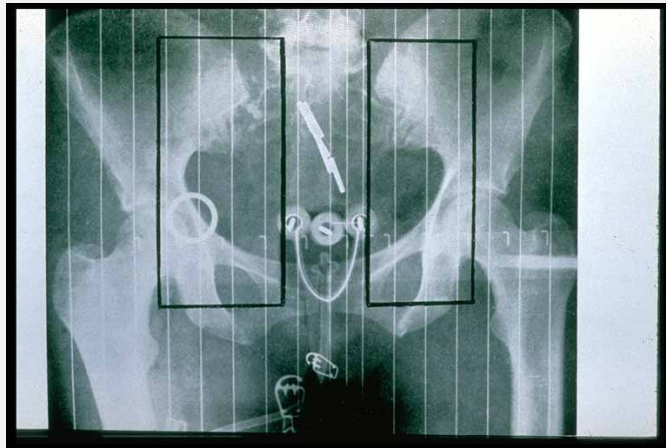


<i>absorber</i>	<i>density</i>	<i>maximum beta range</i>	
		<i>(2.3 MeV)</i>	<i>(1.1 MeV)</i>
air	1.2 mg/cm ³	8.8 m	3.8 m
water (soft tissue)	1.0 g/cm ³	11 mm	4.6 mm
aluminum	2.7 g/cm ³	4.2 mm	2.0 mm
lead	11.3 g/cm ³	1.0 mm	0.4 mm

β^- sugárzás a gyógyászatban

Diagnózis: –

Célzott terápiák: hipertiroidizmus,
pajzsmirigy, prosztata és egyéb tumorok



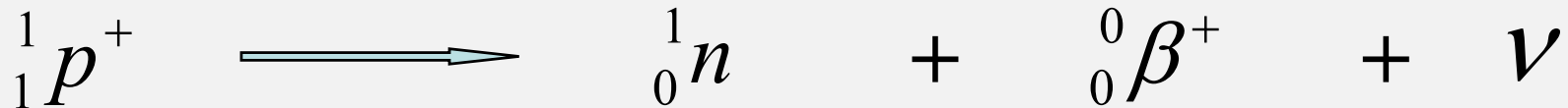
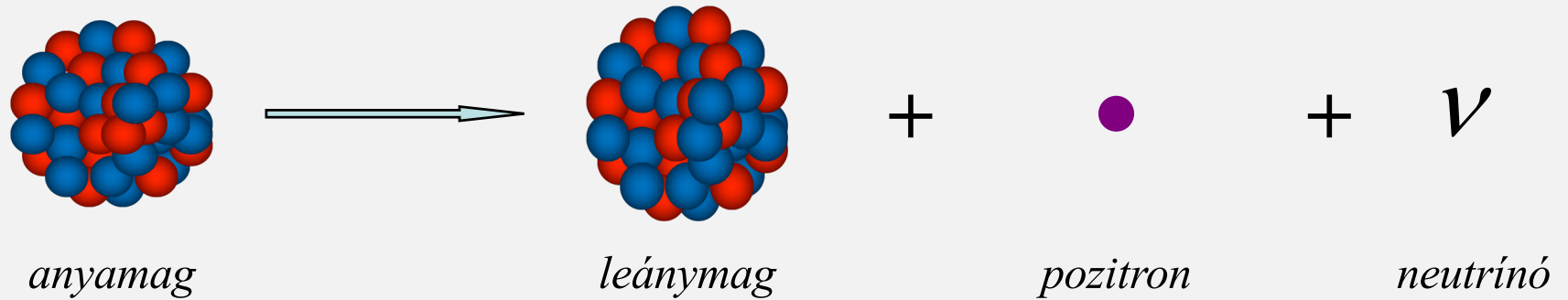
Brachytherapy:
implants into the
tumor



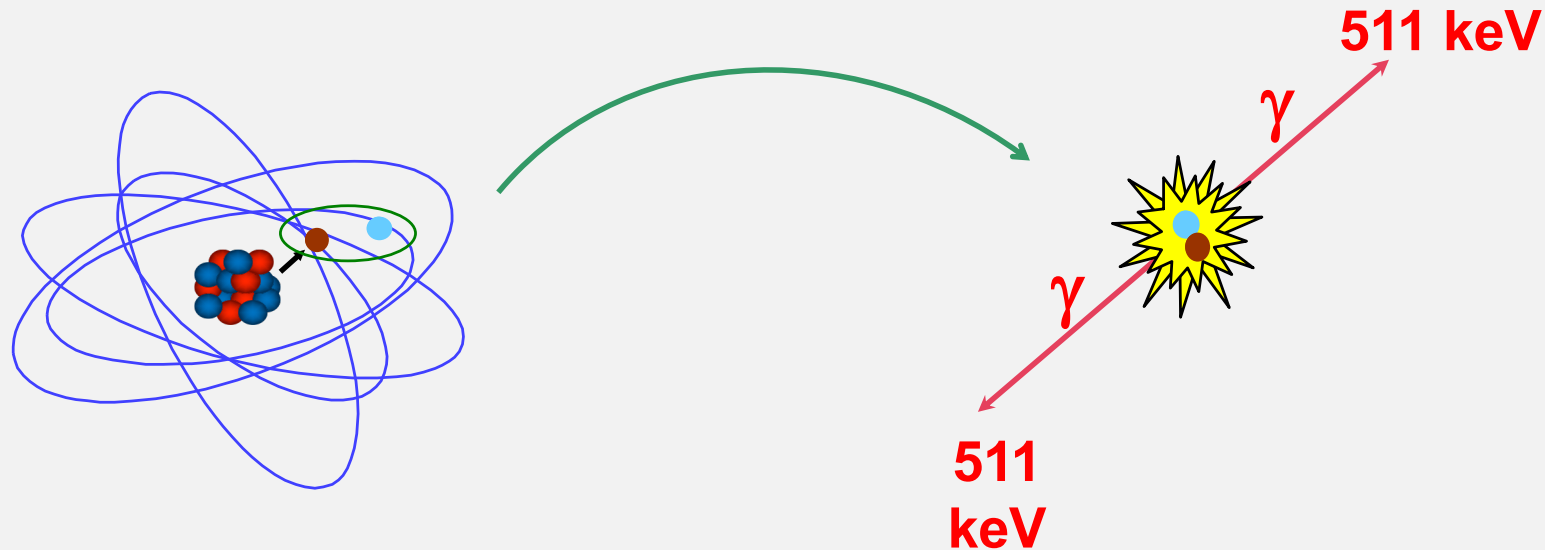
Endovascular
irradiation

β bomlás

2. Proton-felesleg: β^+ bomlás



Annihiláció - részecske-antirészecske párok megsemmisítik egymást

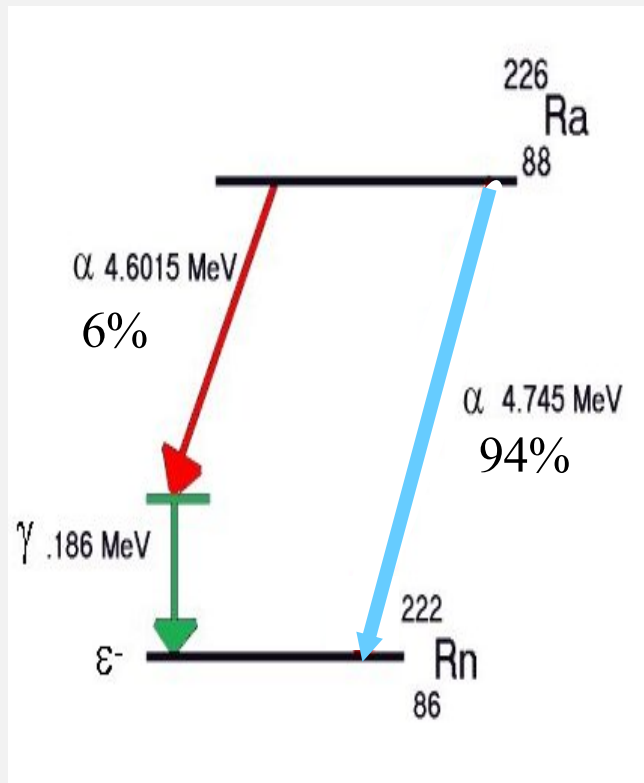


1. Lendület megmaradás törvénye: két egymással átellenesen kirepülő foton születik

2. Energiamegmaradás törvénye:

$$m_e c^2 + m_p c^2 = 2 h f$$

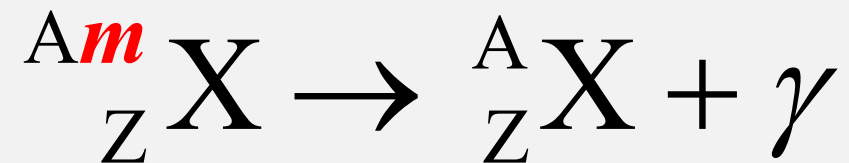
γ bomlás – nukleonok izomerizációja



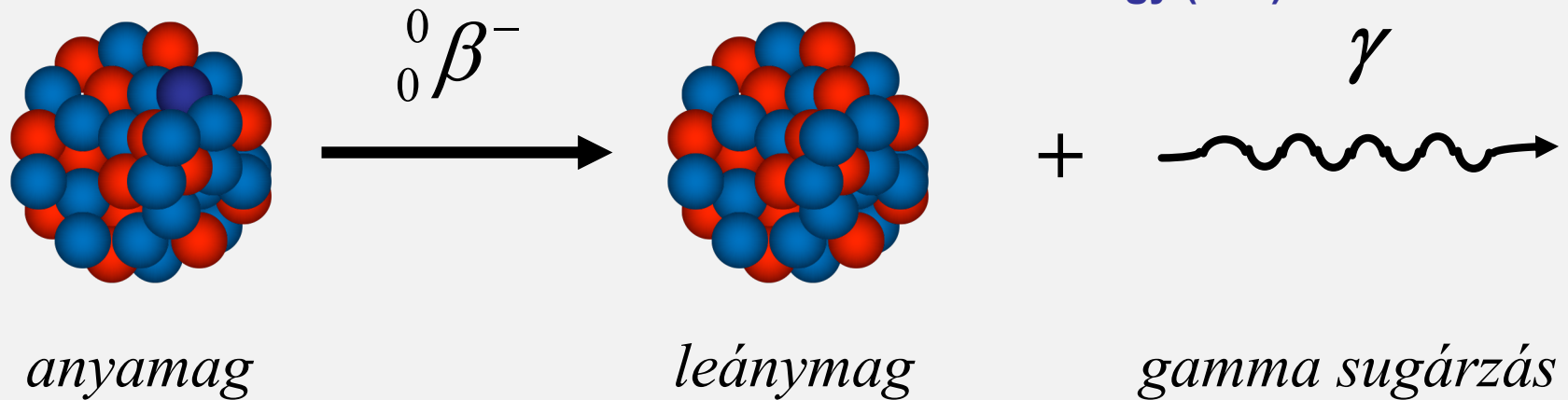
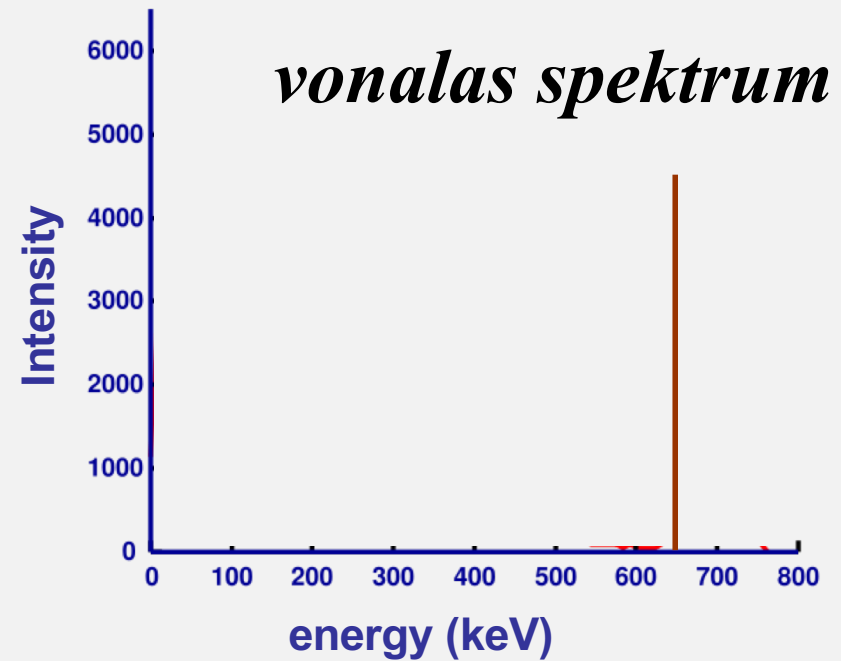
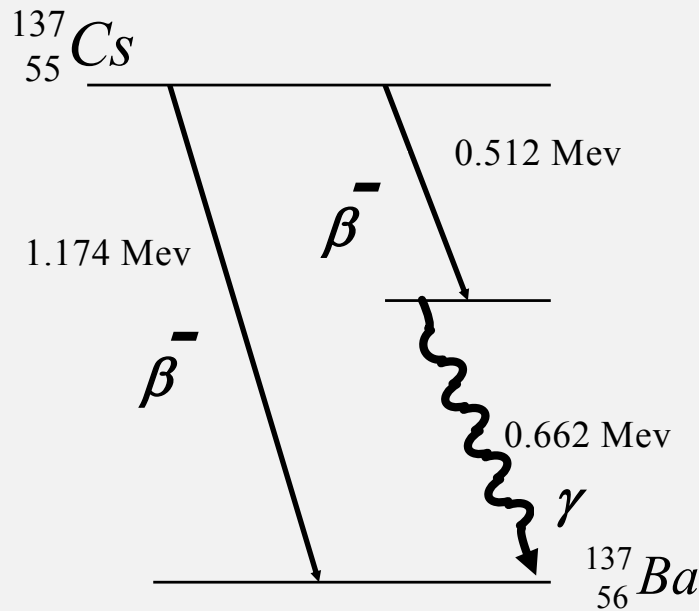
A leánymag néha gerjesztett állapotban van α vagy β bomlást követően.

A gerjesztett mag gamma-sugárzással szabadul meg fölös energiájától.

A fél-életidő néhány órától néhány száz évig változhat.

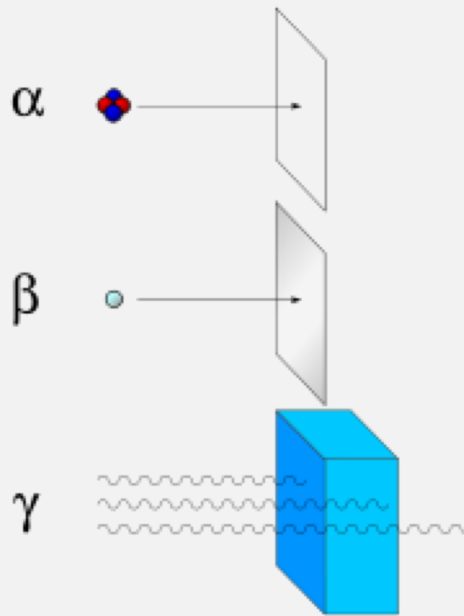


γ sugárzás energia-spektruma



A gamma-energia jellemző a magra.

γ sugárzás behatolási mélysége

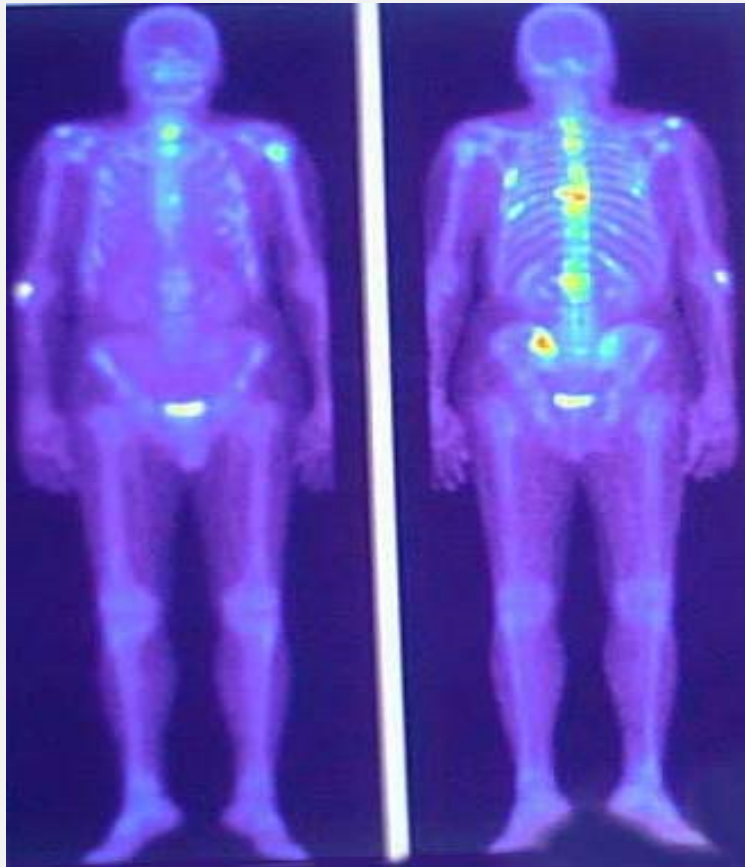


A gamma sugárzás behatolási mélysége sokkal nagyobb, mint az α vagy β részecskéké, és nagymértékben függ a gamma foton energiájától.

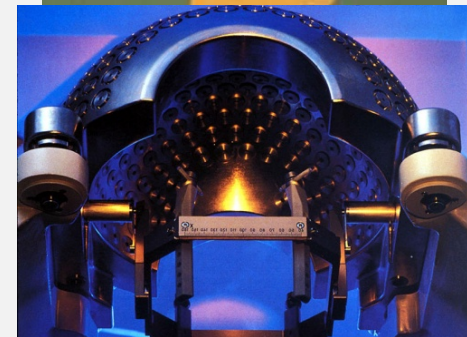
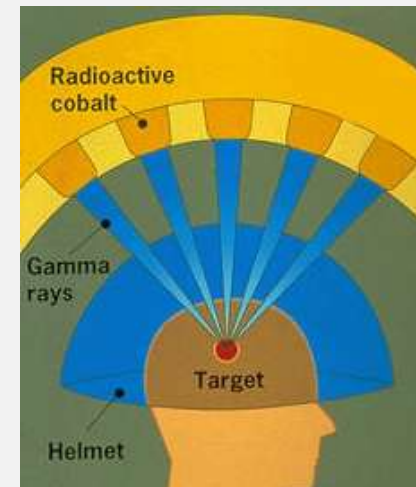
Gamma fotonok akár néhány száz métert is megtehetnek levegőben és könnyedén átszelik az emberi testet.

γ sugárzás a gyógyászatban

Diagnosztika: gamma kamera, SPECT (PET)

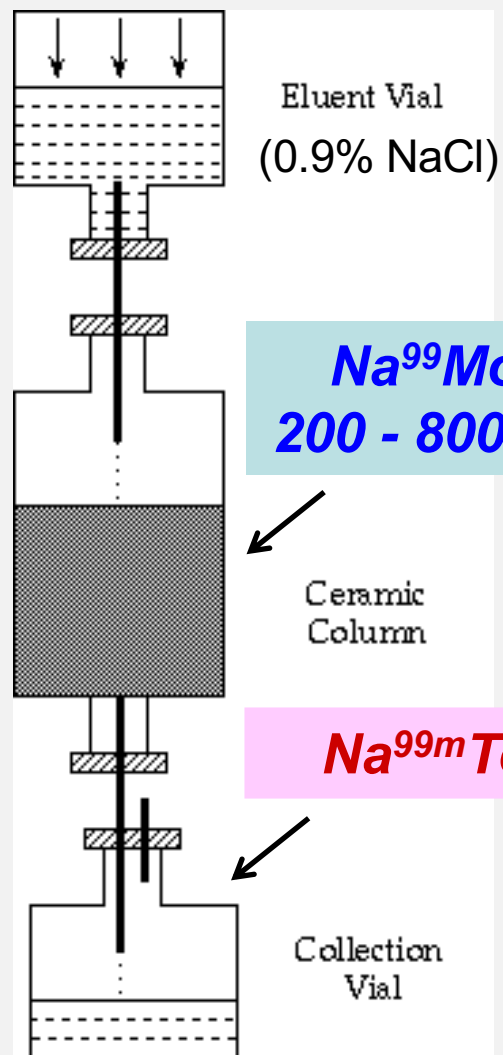


Csontfelvétel ^{99m}Tc -jelölt foszfátvegyülettel



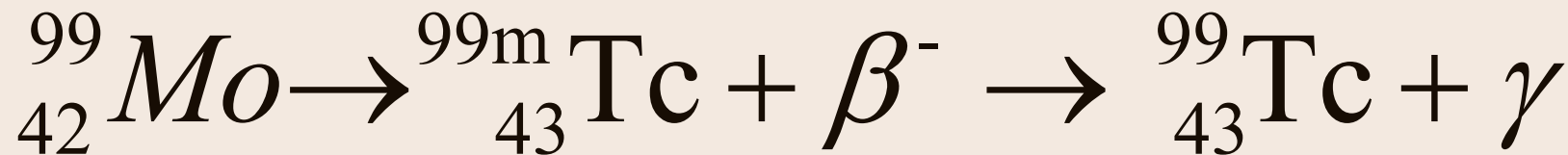
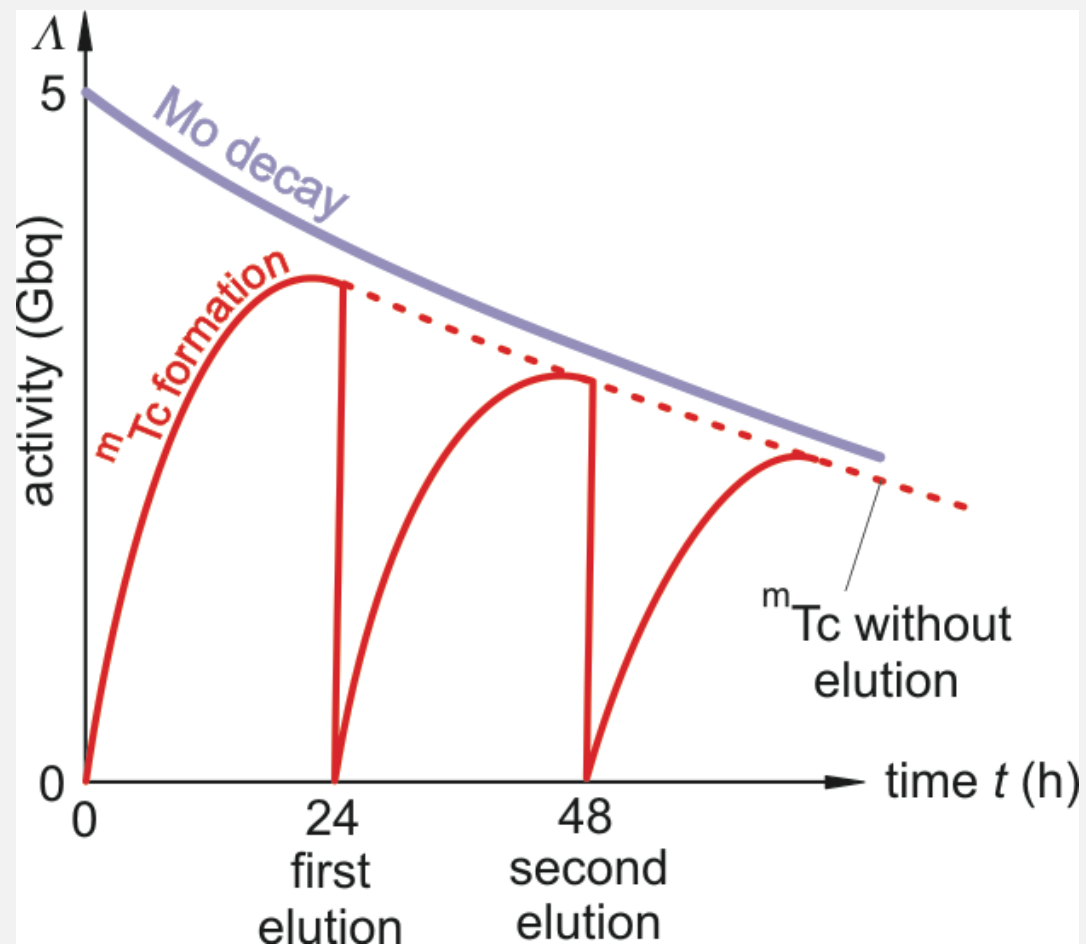
terápia: gamma-kés

Technécium-99m generátor



$\text{Na}^{99}\text{MoO}_4$
200 - 800 MBq

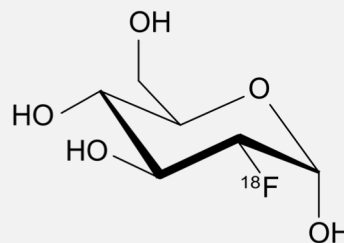
$\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$



$T_{1/2}=67$ óra

$T_{1/2}=6$ óra

<i><u>Izotóp</u></i>	<i><u>radiofarmakon</u></i>	<i><u>szerv</u></i>	<i><u>funkció</u></i>
$^{99}\text{Tc}^m$	<i>nátrium pertechnetát</i>	<i>agy</i>	<i>vérkeringés</i>
$^{99}\text{Tc}^m$	<i>albuminhoz kötve</i>	<i>tüdő</i>	<i>vérkeringés</i>
$^{99}\text{Tc}^m$	<i>kolloid szuszpenzió</i>	<i>máj</i>	<i>májfunkció</i>
$^{99}\text{Tc}^m$	<i>pirofoszfát komplex</i>	<i>csont</i>	<i>csontanyagcsere</i>
^{123}I	<i>jodid</i>	<i>pajzsmirigy</i>	<i>metabolizmus</i>
^{123}I	<i>hippurán</i>	<i>vese</i>	<i>vesefunkció</i>
^{133}X	<i>X gáz</i>	<i>tüdő</i>	<i>légzés</i>
^{18}F	<i>fluorodeoxiglükóz</i>		<i>metabolizmus</i>



Ellenőrző kérdések

Atommag felépítése

Az atommag stabilitása – magerő – tömegdefektus

A bomlástörvény differenciális és integrális alakja

Bomlási állandó, felezési idő, átlagos élettartam

Magsugárzások típusai, spektrumuk, áthatolóképességük

$^{99\text{m}}$ Technécium generátor

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