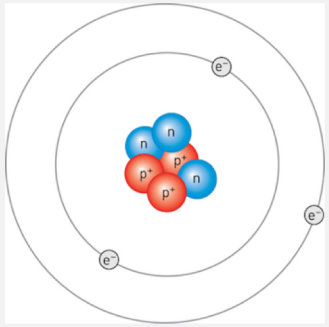
Biofizika I

13. Magsugárzások

Liliom Károly

2021. 12. 02.

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



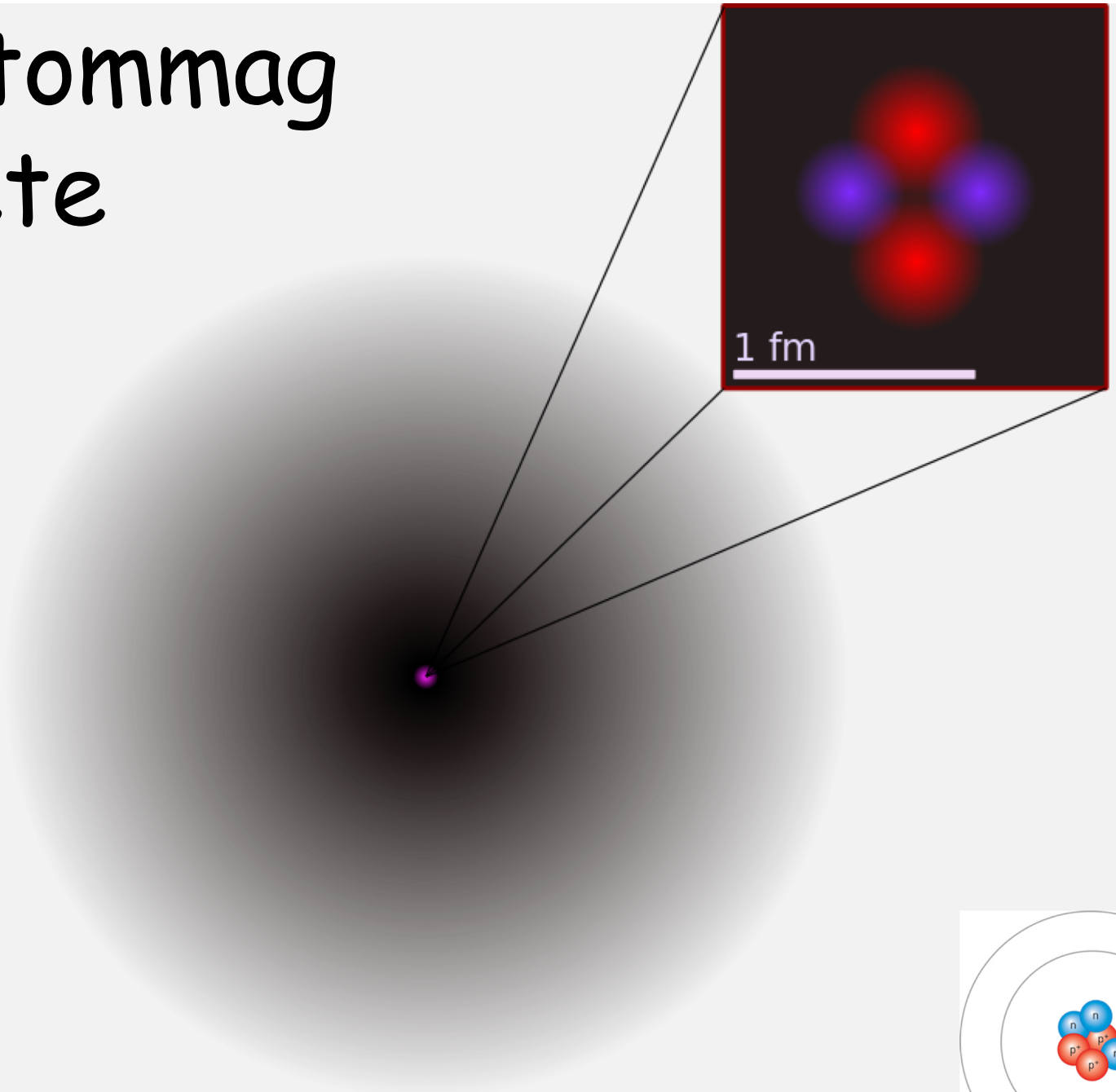
Az atomok alkotórészei

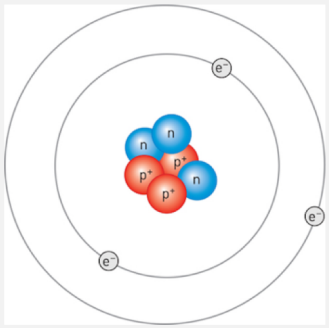
Particle	Symbol	Resting Energy (MeV)	Relative Charge*	Mass (kg)	Relative Mass (AMU)**
electron	e	0.51100	1-	9.11×10^{-31}	5.4858×10^{-4}
proton	p	938.272	1+	1.6726×10^{-27}	1.0072765
neutron	n	939.566	0	1.6749×10^{-27}	1.0086649

* elektronok töltése (elemi töltés): -1.602×10^{-19}C

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

Az atommag mérete



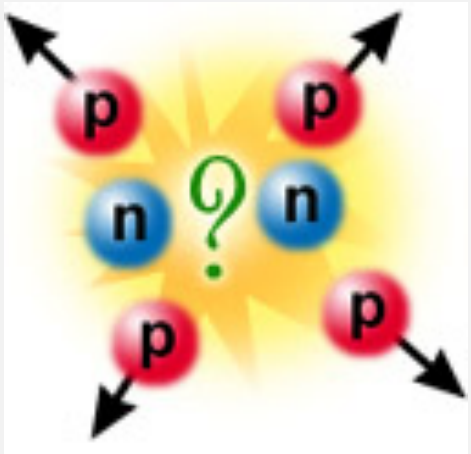


1 Å = 100,000 fm

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
$A = Z + N$

$$^{A}_{Z}X$$

az elem kémiai szimbóluma

rendszám = protonok száma

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

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:

$$\boxed{\Delta E = \Delta M c^2}$$

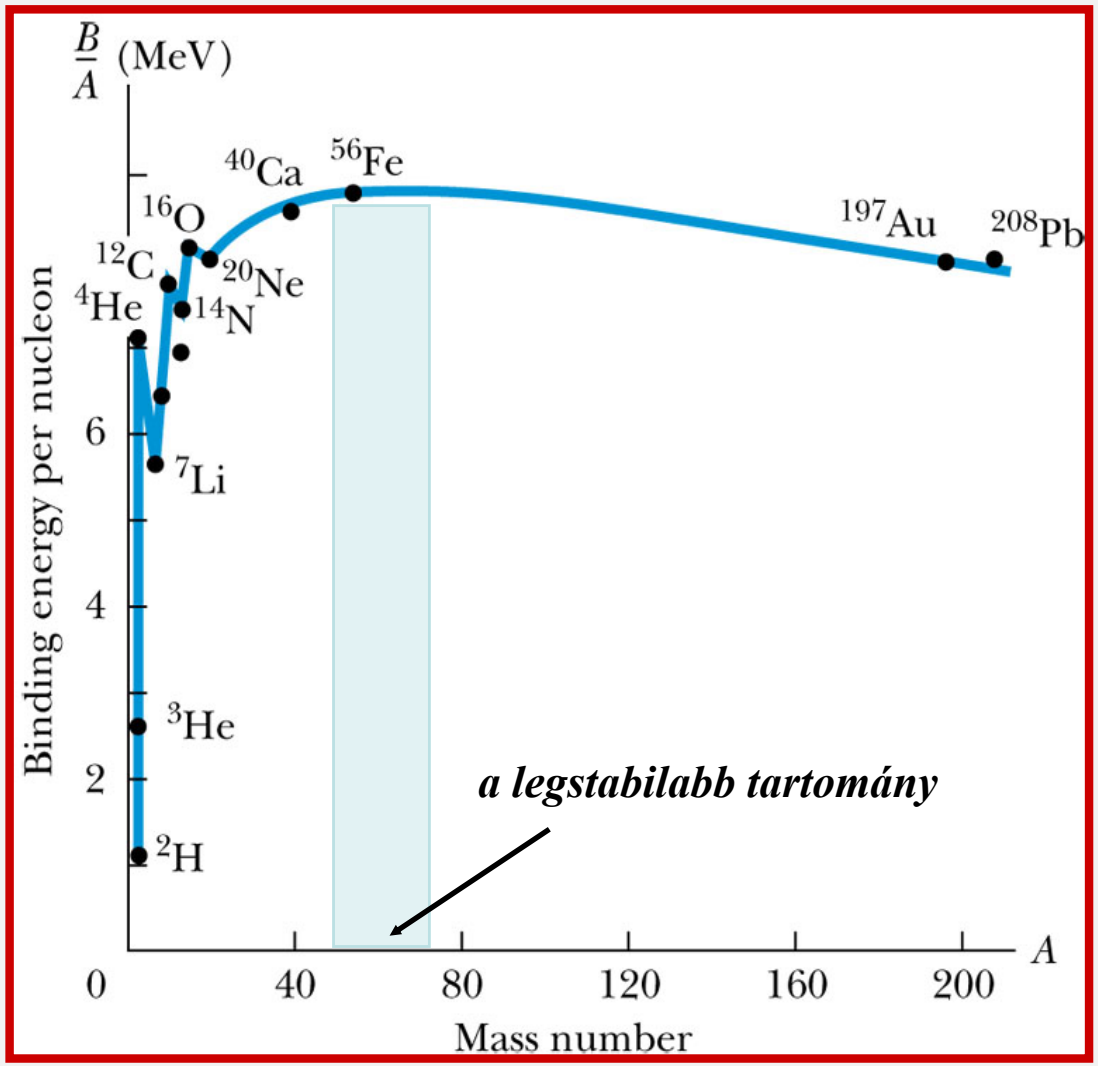
A tömegdefektus = a kötési energia tömegegységben kifejezve.

Nukleonokra eső kötési energia

- Kis tömegszámoknál gyors növekedés
- Éles csúcsok páros-páros magoknál:

  $^{4}_{2}He$, $^{12}_{6}C$, and $^{16}_{8}O$
- Maximum kb A=56

nukleon = proton vagy neutron



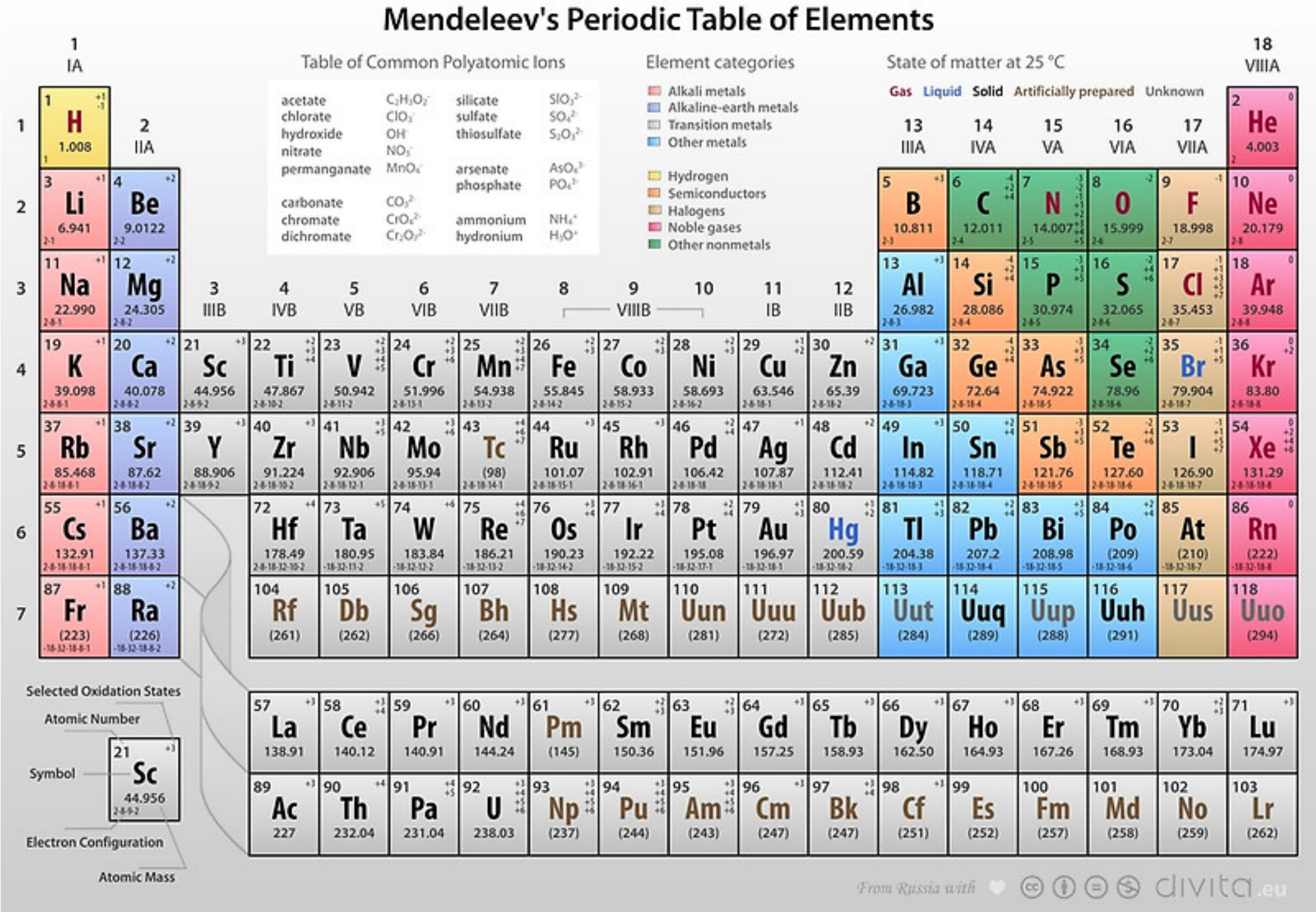
Izotópok

Görög ***isos topos = azonos hely***

Egy elem izotópjai:

- azonos protonszámúak
- különböző neutronszámúak
- különböző tömegszámúak

izotóp = azonos rendszám



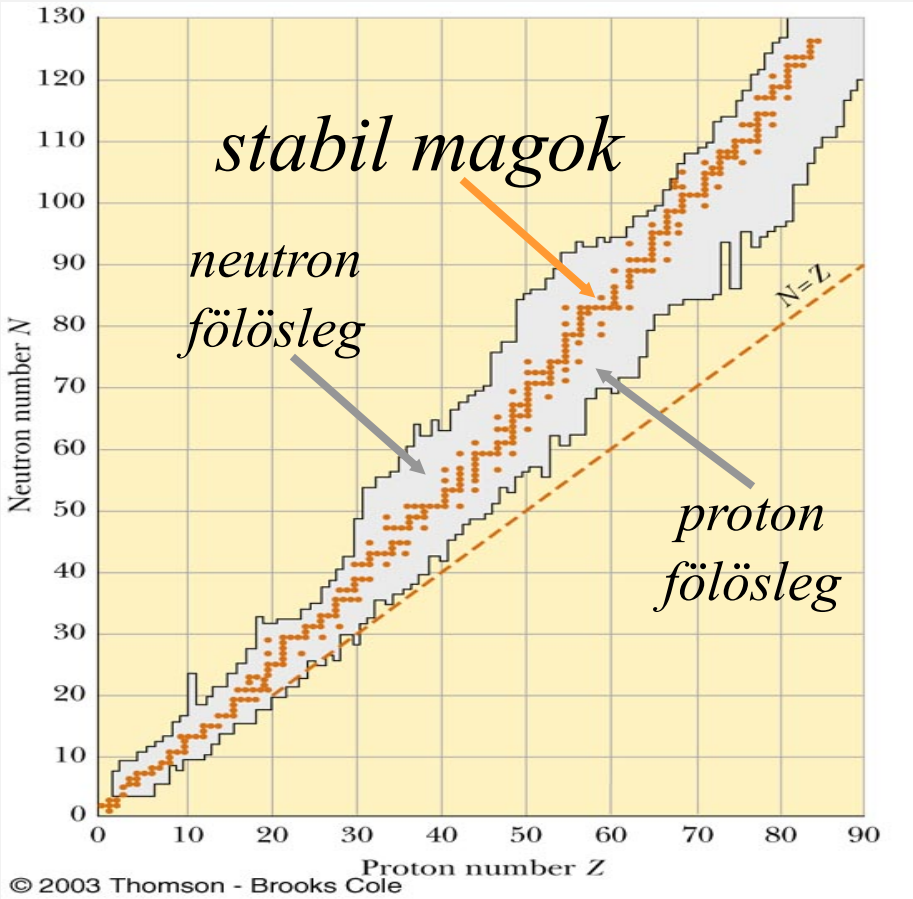
Atommag stabilitási diagramja

- 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?

Radioactive decay

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).

Rádioaktív bomlás

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

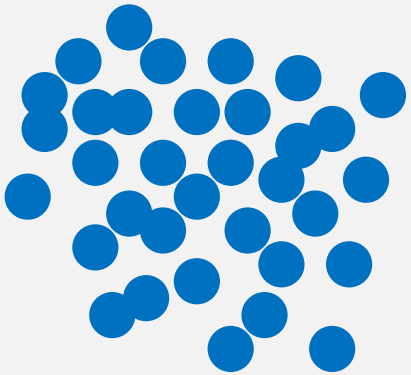
Alfa (α) részecske

Béta (β) részecske

Gamma (γ) sugarak

Rádioaktív bomlás jellemzői

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



A rádioaktív bomlás jellemzői

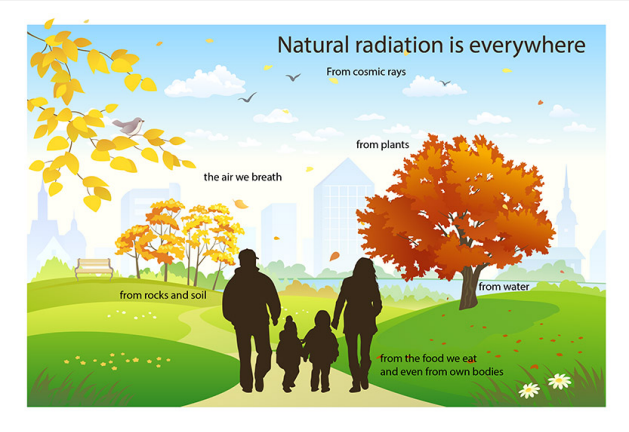
Aktivitás: $\Lambda = \left|\frac{\Delta N}{\Delta t}\right|$

N: még el nem bomlott magok száma
t: idő

Aktivitás = egységnyi idő alatt elbomlott magok száma

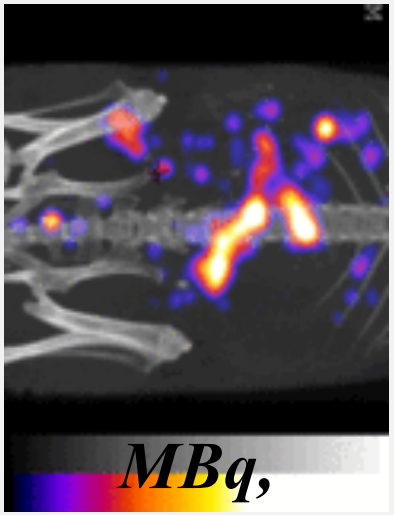
egysége: bequerel (Bq) 1Bq = 1 bomlás/s

háttérsugárzás



kBq,

diagnosztika

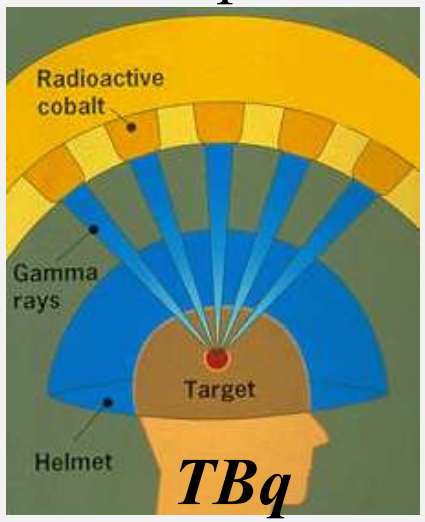


MBq,

laboratóriumi gyakorlat

GBq,

terápia



TBq

Bomlástörvények

Differenciális alak:

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

megoldás

λ: bomlási állandó (1/s)

Integrális alak:

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

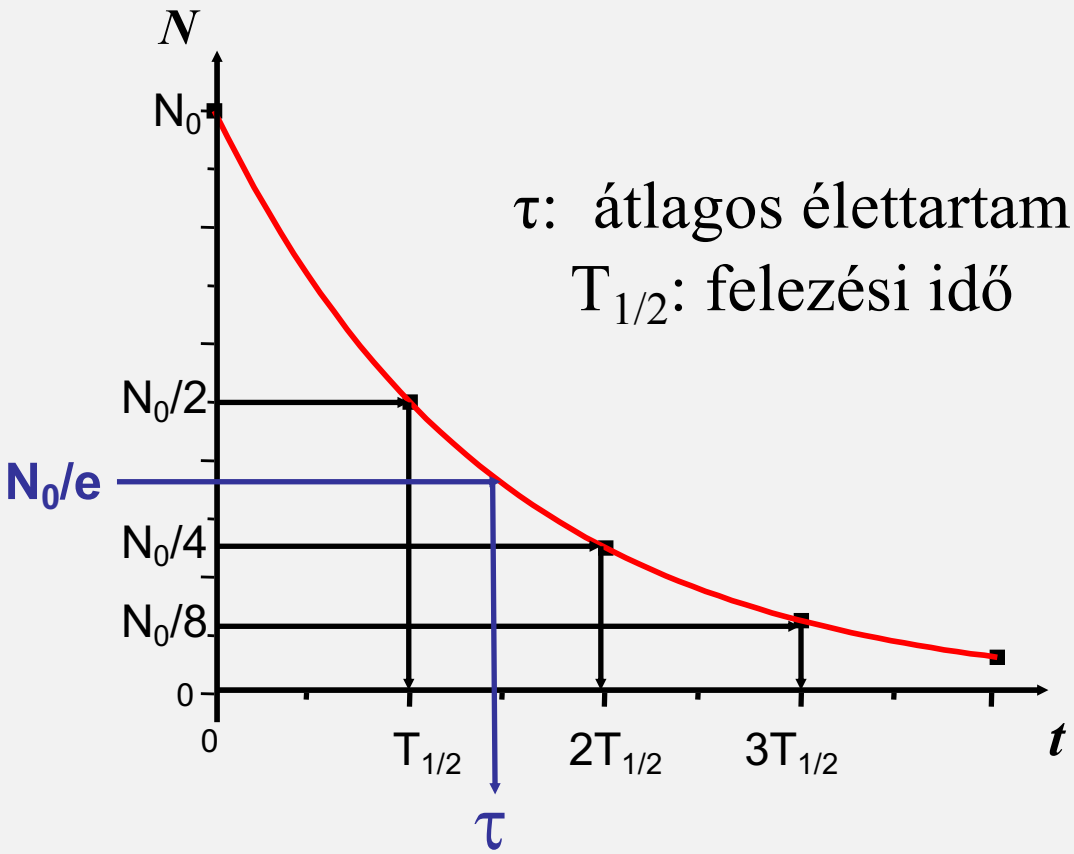
N_0: bomlásra képes (rádioaktív) magok száma t=0-kor,
N: nem elbomlott magok száma egy későbbi *t időpontban*

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

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



τ: átlagos élettartam

$T_{1/2}$: felezési idő

$$t = \tau$$

$$\downarrow$$

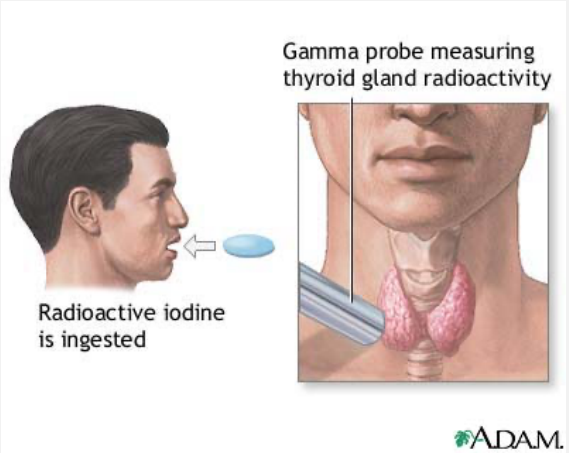
$$N_0 / e = N_0 e^{-\lambda \tau}$$

$$\downarrow$$

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

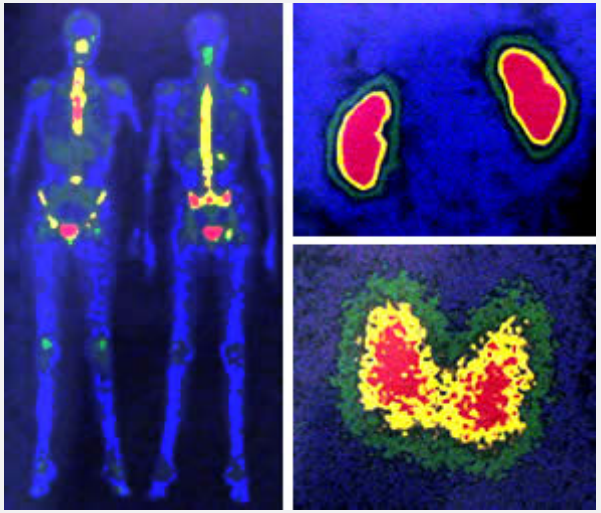
$$t = T_{1/2} \longrightarrow N_0 / 2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \longrightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

Felezési idők a gyógyászatban



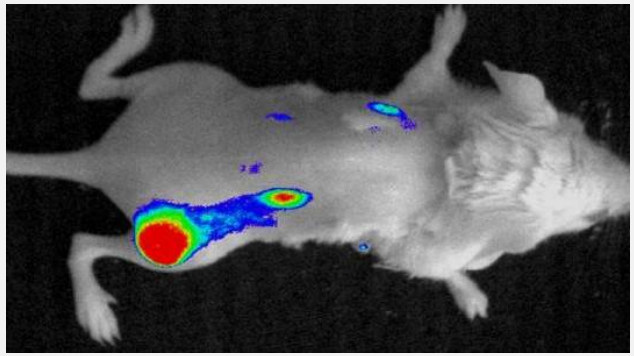
Jód - 131 (^{131}I) ***- $T_{1/2}$ = 8 nap***

pajzsmirigy kezelés



Technécium-99m (^{99m}Tc) ***– $T_{1/2}$ = 6 óra***

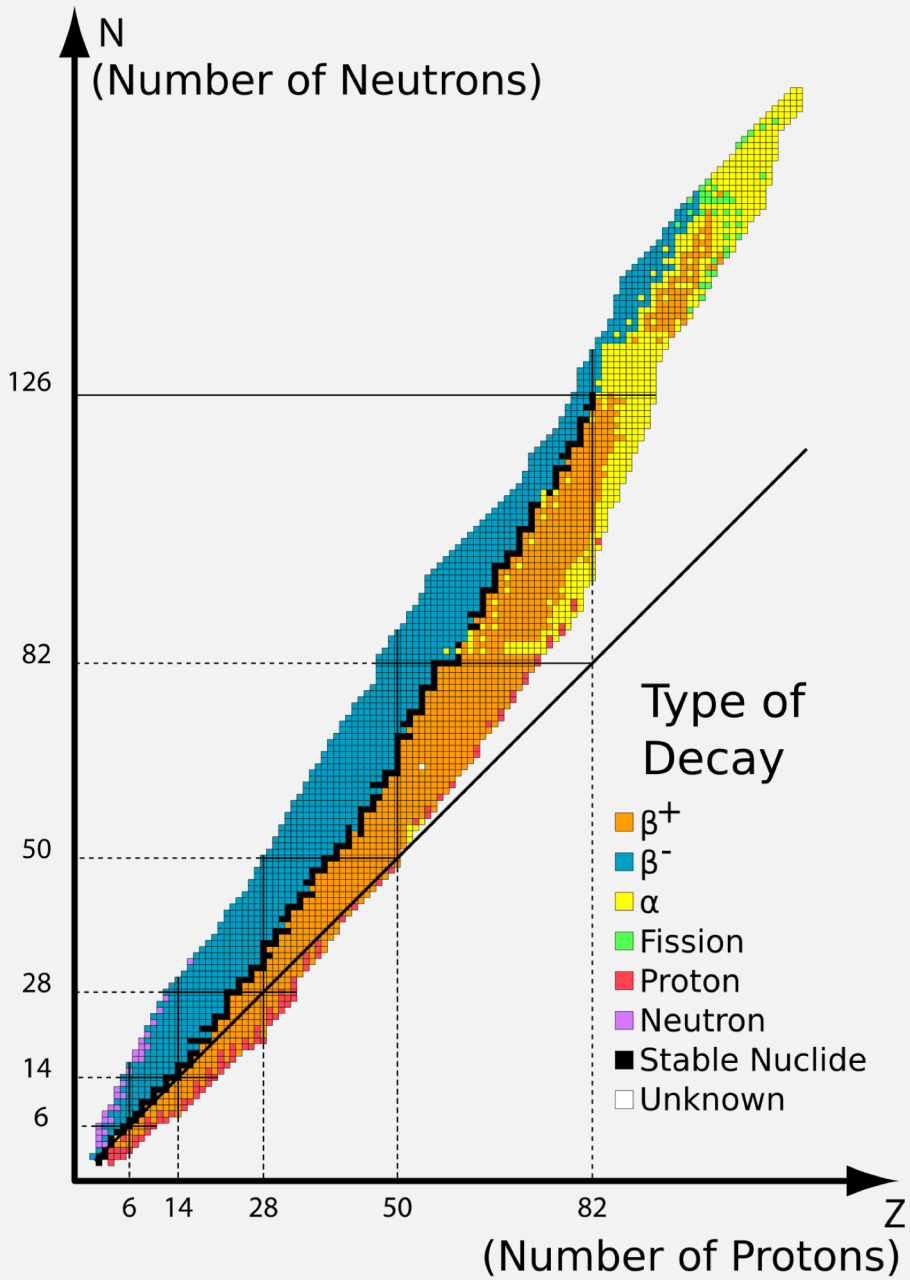
Izotóp diagnosztika

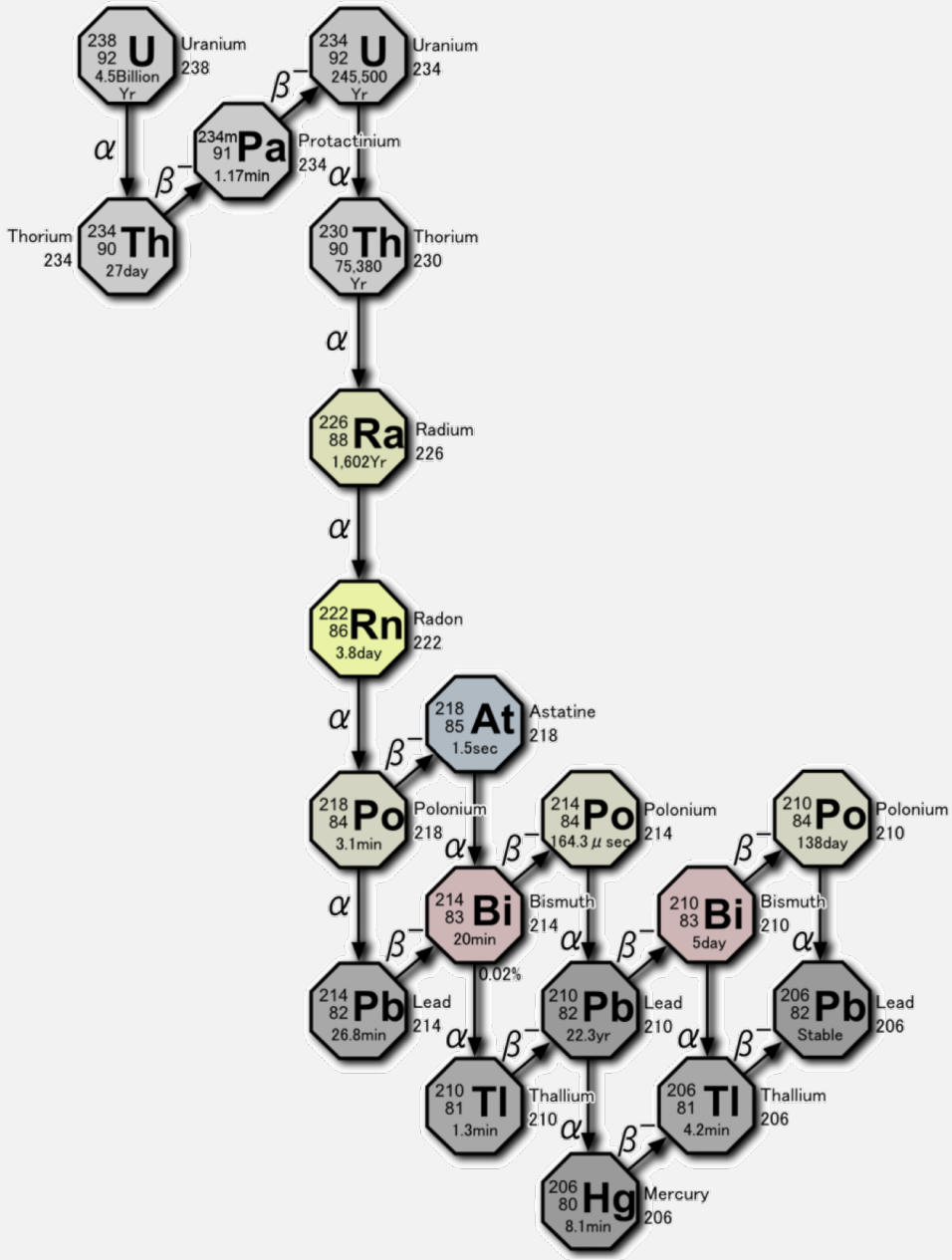


Arany-198 (^{198}Au) ***- $T_{1/2}$ = 2,7 nap***

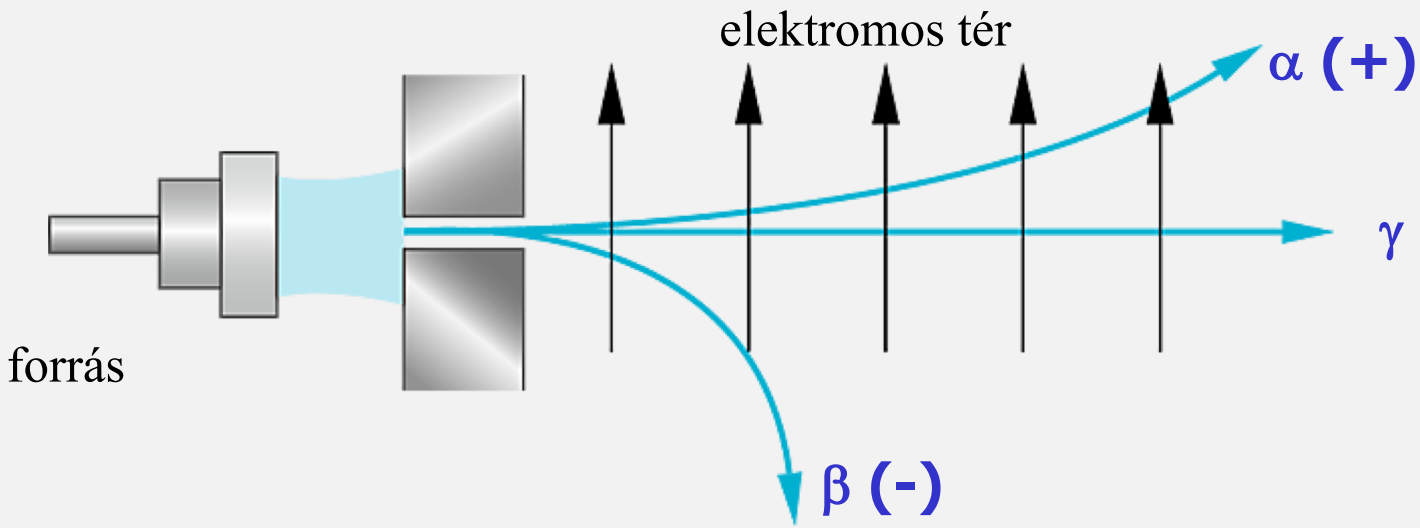
Tumorterápia

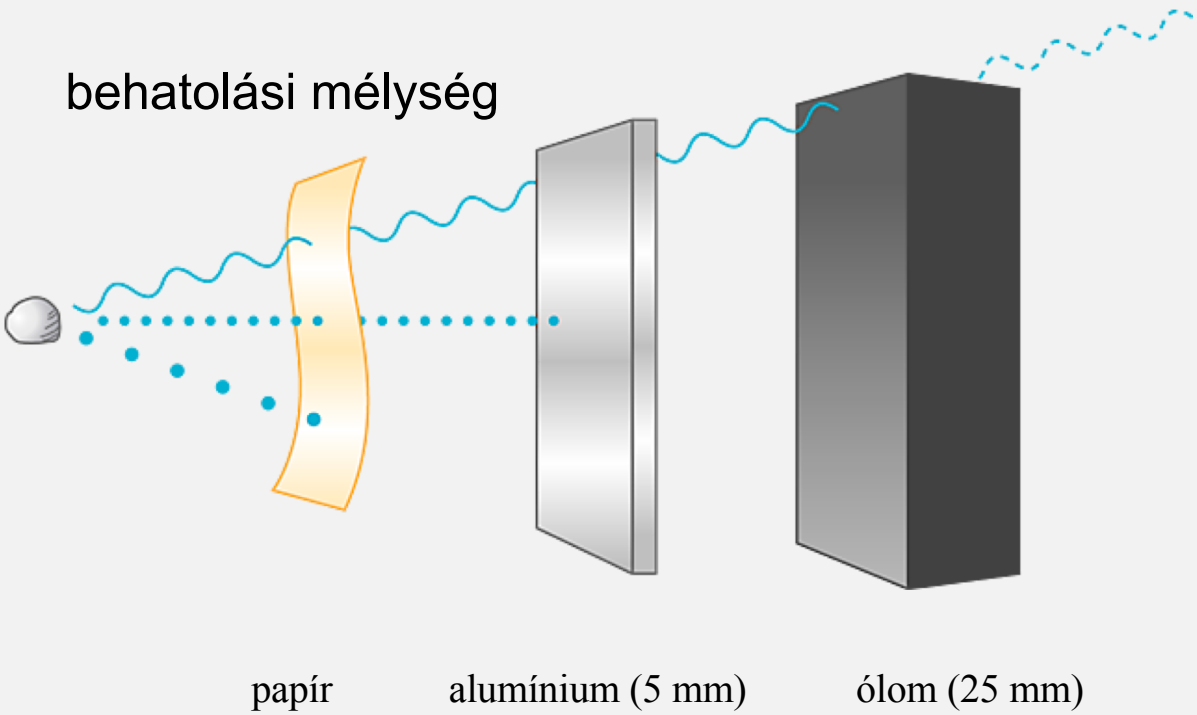
Rádioaktív bomlás típusai

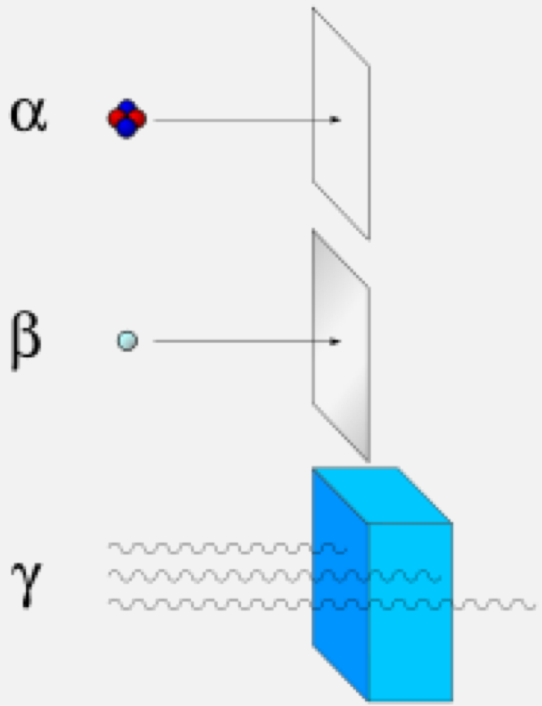




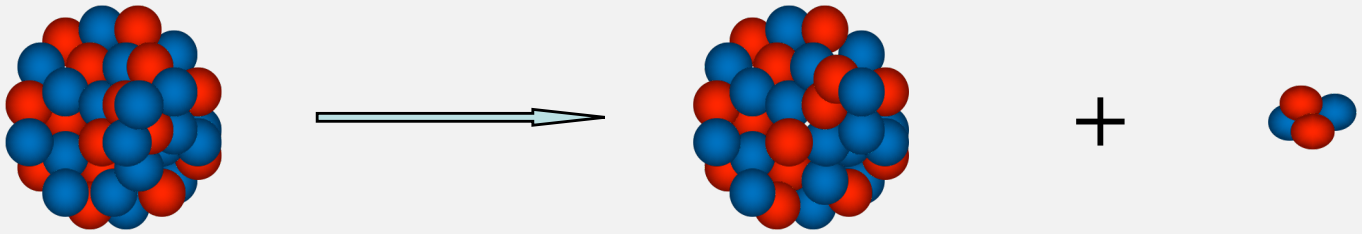
Rádioaktív bomlás típusai







α bomlás



anyamag *leánymag* *α részecske*

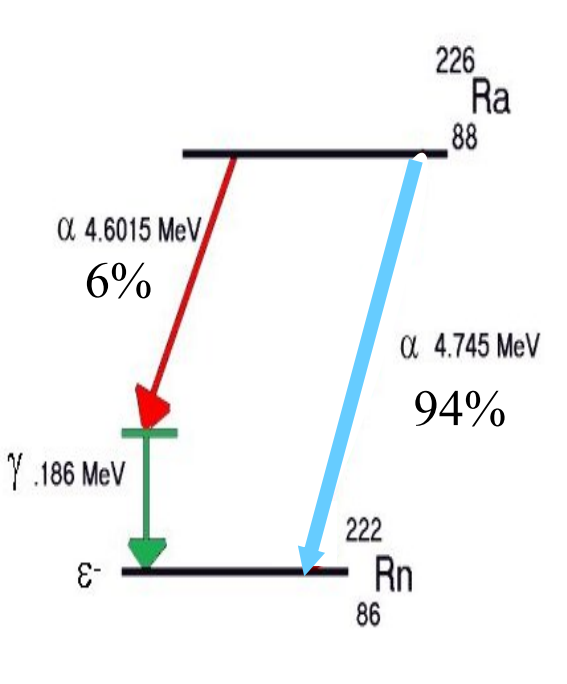
$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha $$

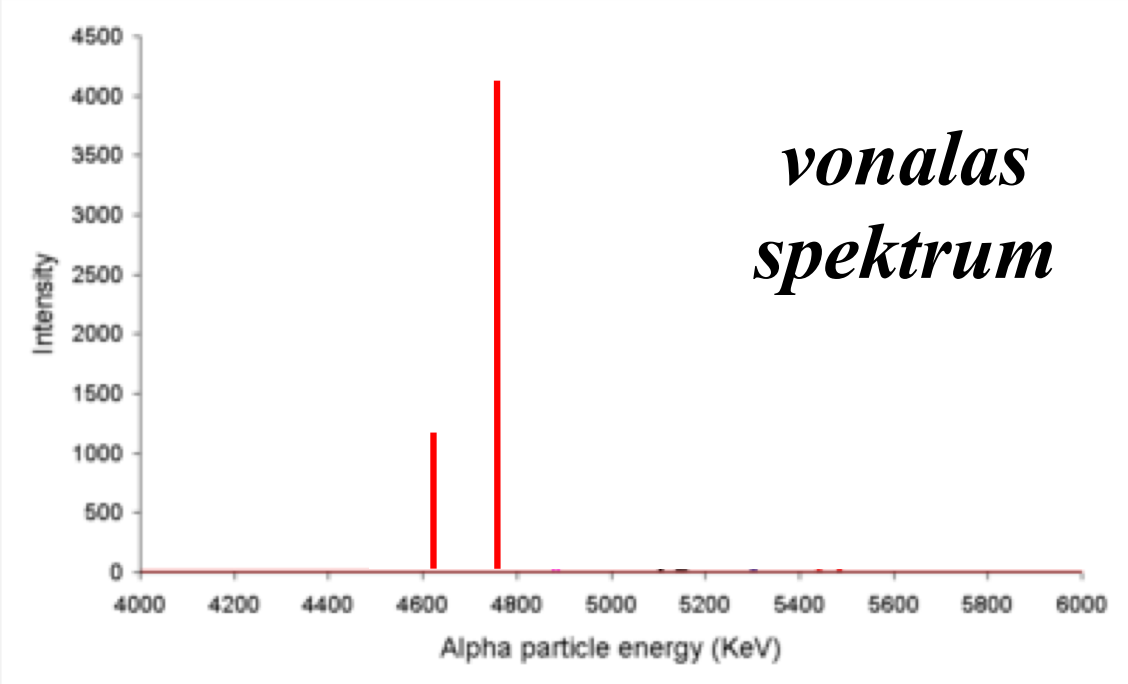
α részecske: a hélium atommagja, 2 proton és 2 neutron alkotja

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

$$ {}^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}\alpha $$

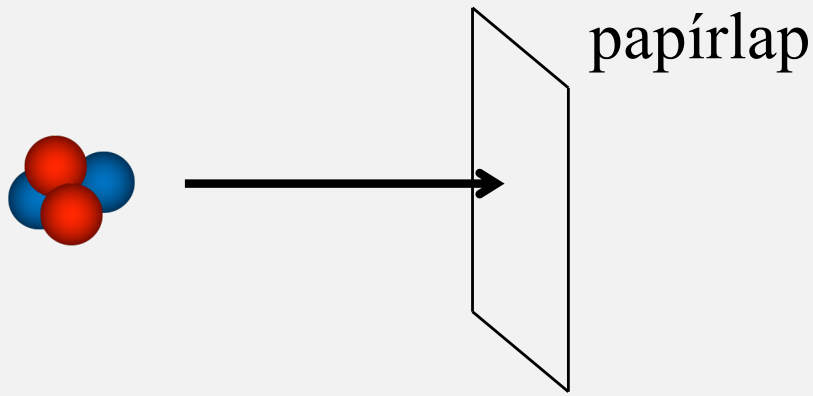
α sugárzás energia-spektruma





Az energiaszintek jellemzőek a magra

α részecskék behatolási mélysége

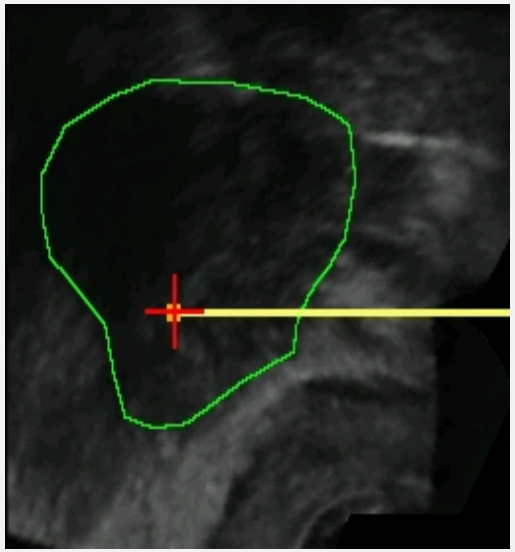


absorber	density	alpha range
air (STP)	1.2 mg/cm^3	3.7 cm
paper (20lb)	0.89 g/cm^3	53 μm
water (soft tissue)	1.0 g/cm^3	45 μm

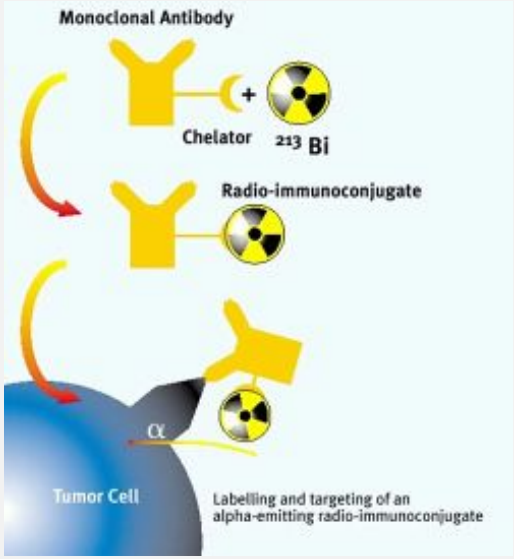
α sugárzás a gyógyászatban

Diagnózis: –

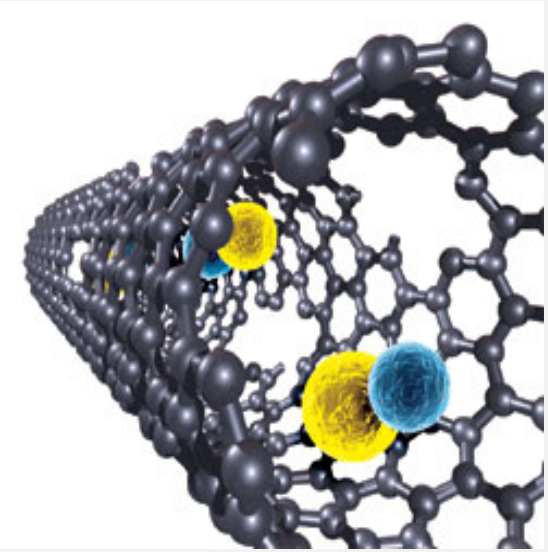
Célzott rákterápia α sugárzással



beültetés tűvel



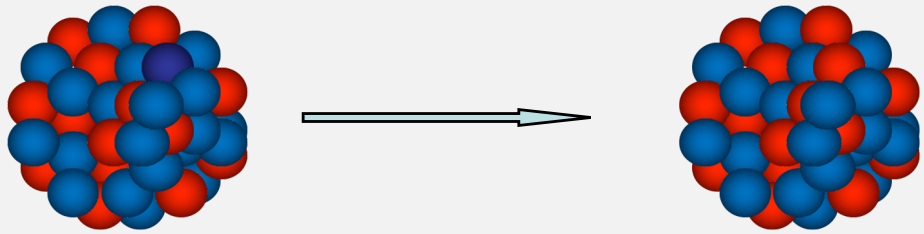
monoklonális antitest



karbon nano-cső

β bomlás

1. Neutron-felesleg: β^- bomlás



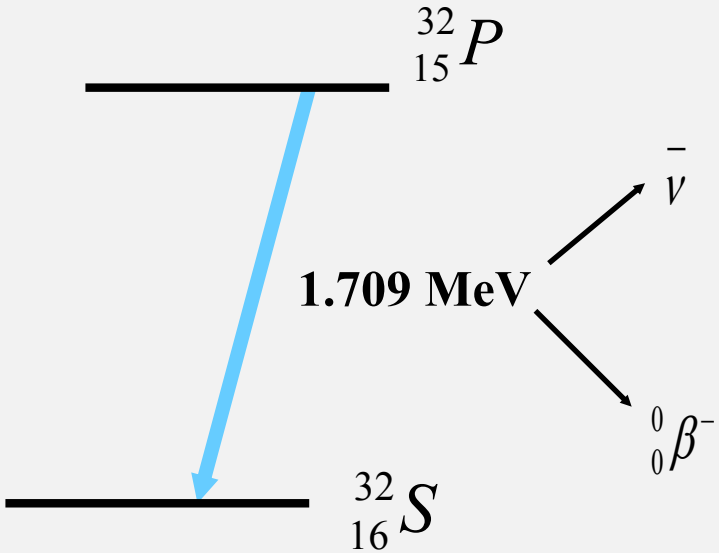
anyamag *leánymag* *elektron* *anti-neutrínó*

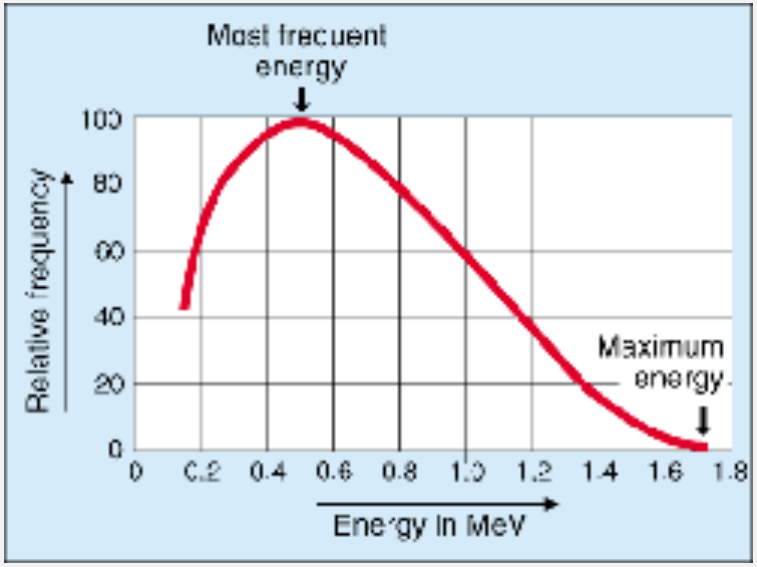
$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu} $$

$$ {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}p^+ + {}^{0}_{0}\beta^- + \bar{\nu} $$

$$ {}^{131}_{53}I \longrightarrow {}^{131}_{54}Xe + {}^{0}_{0}\beta^- + \bar{\nu} $$

β sugárzás energia-spektruma

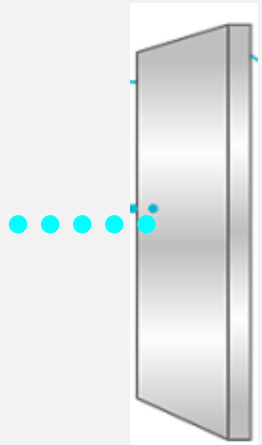




folytonos spektrum

DE, a β részecske energiájának van maximuma!

β^- részecskék behatolási mélysége



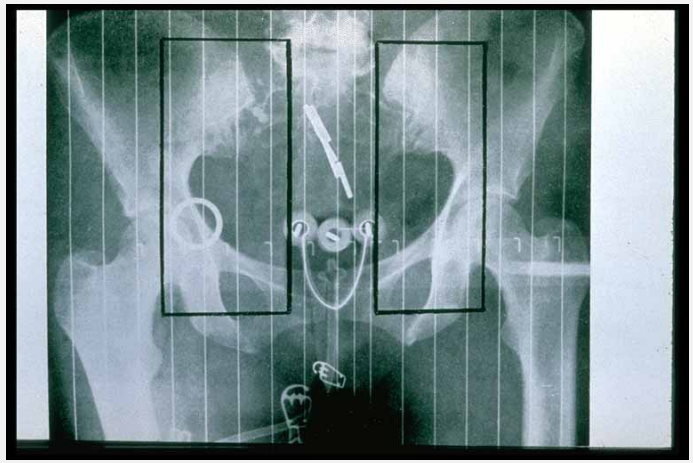
5 mm alumínium

absorber	***density***	***maximum beta range***	
		(2.3 MeV)	***(1.1 MeV)***
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: hypertiroidizmus, pajzsmirigy, prosztata és egyéb tumorok

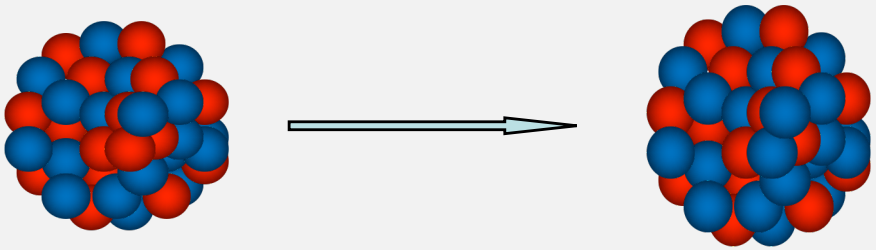


Brachytherapy: implants into the tumours

Endovascular irradiation

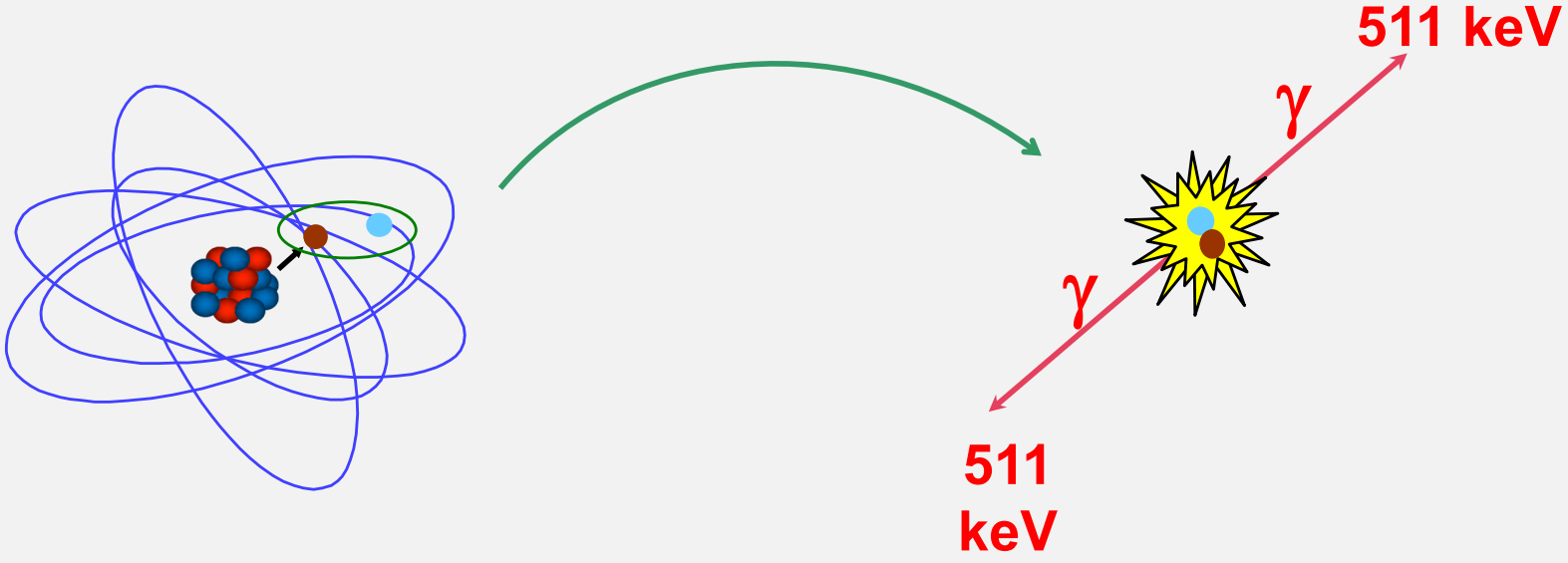
β bomlás

2. Proton-felesleg: β^+ bomlás



anyamag		*leánymag*		*pozitron*		*neutrínó*
${}^{A}_{Z}X$	$\longrightarrow$	${}^{A}_{Z-1}Y$	$+$	e^+	$+$	ν
${}^{1}_{1}p^+$	$\longrightarrow$	${}^{1}_{0}n$	$+$	${}^{0}_{0}\beta^+$	$+$	ν
${}^{11}_{6}C$	$\longrightarrow$	${}^{11}_{5}B$	$+$	e^+	$+$	ν

Annihiláció - részecske-antirészecske párok megsemmisítik egymást

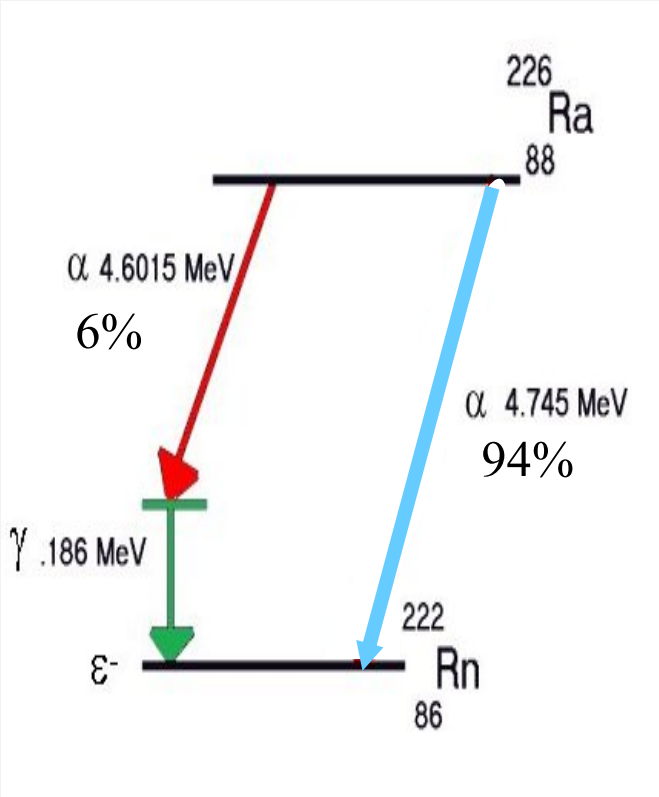


1. Lendület megmaradás törvénye: két egymással átellenesen kirepülő foton születik

2. Energiamegmaradás törvénye:

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

γ bomlás – nukleonok izomerizációja



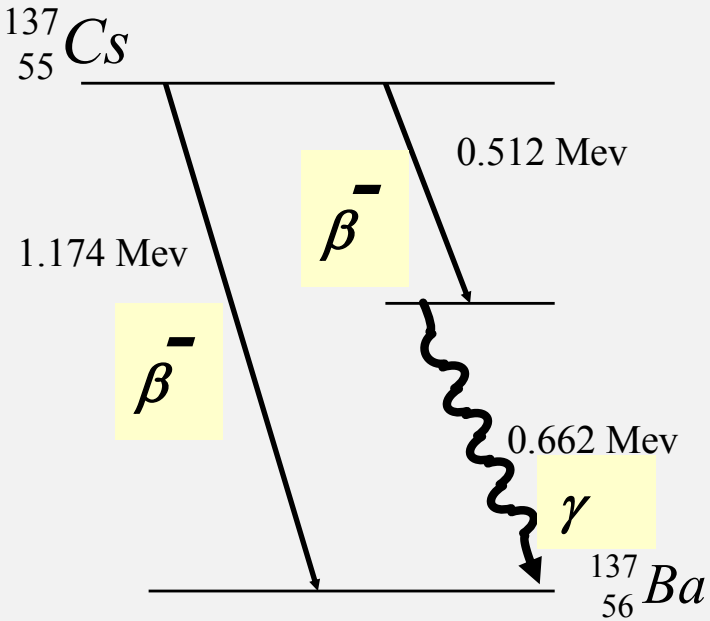
A leánymag néha gerjesztett állapotban van α vagy β bomlást követően.

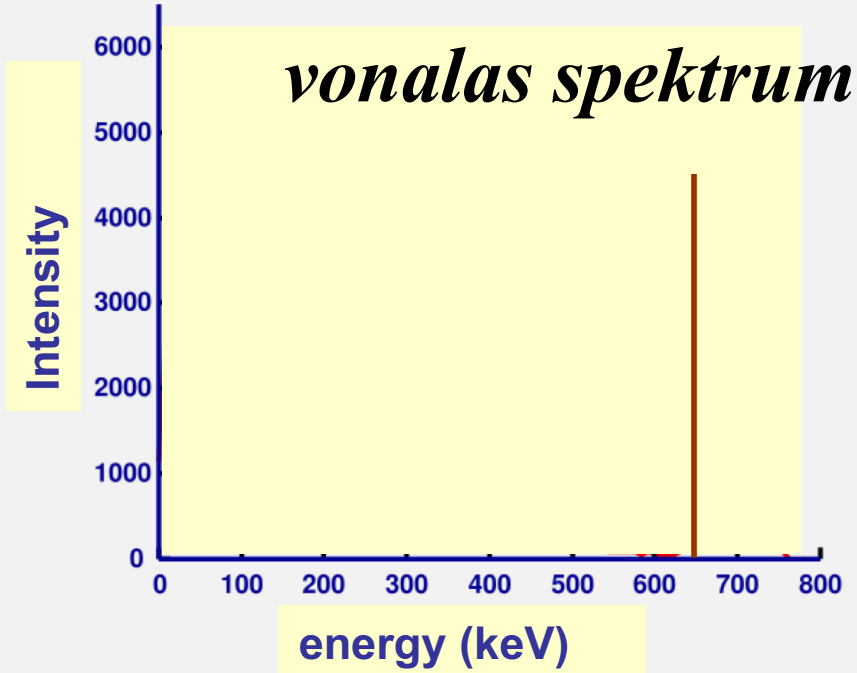
A gerjesztett mag gamma-sugárzással szabadul meg fölös energiájától.

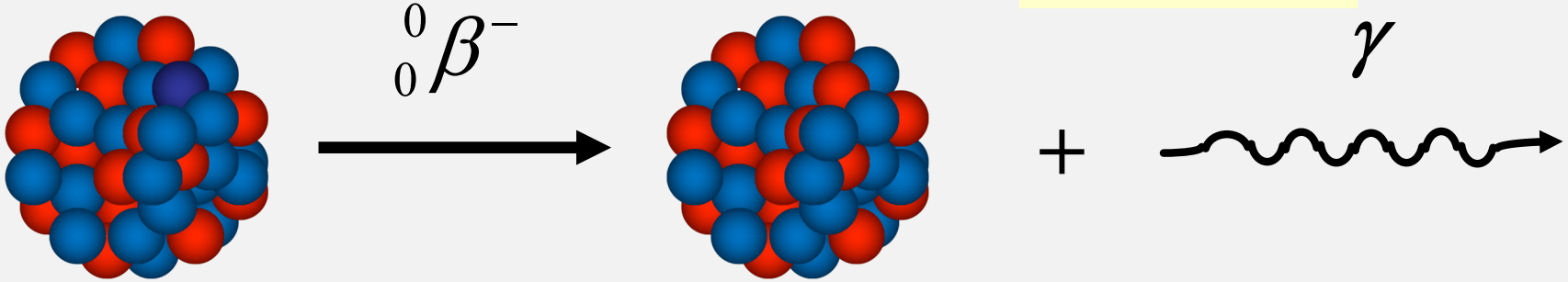
A fél-életidő néhány órától néhány száz évig változhat.

$$ {}^{A\boldsymbol{m}}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma $$

γ sugárzás energia-spektruma



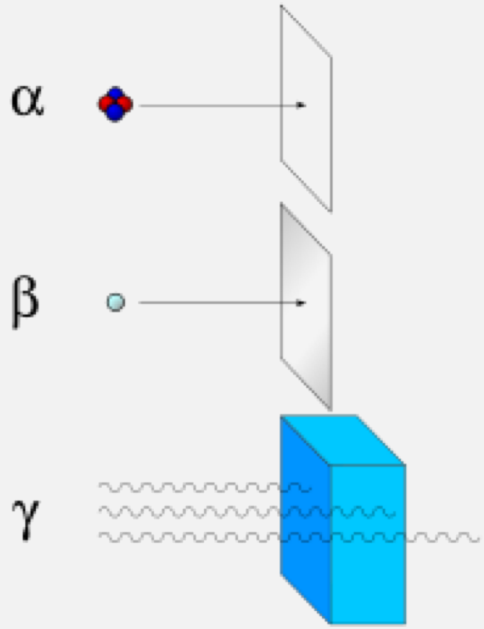




anyamag *leánymag* *gamma sugárzás*

A gamma-energia energia jellemző a magra.

γ sugárzás behatolási mélysége

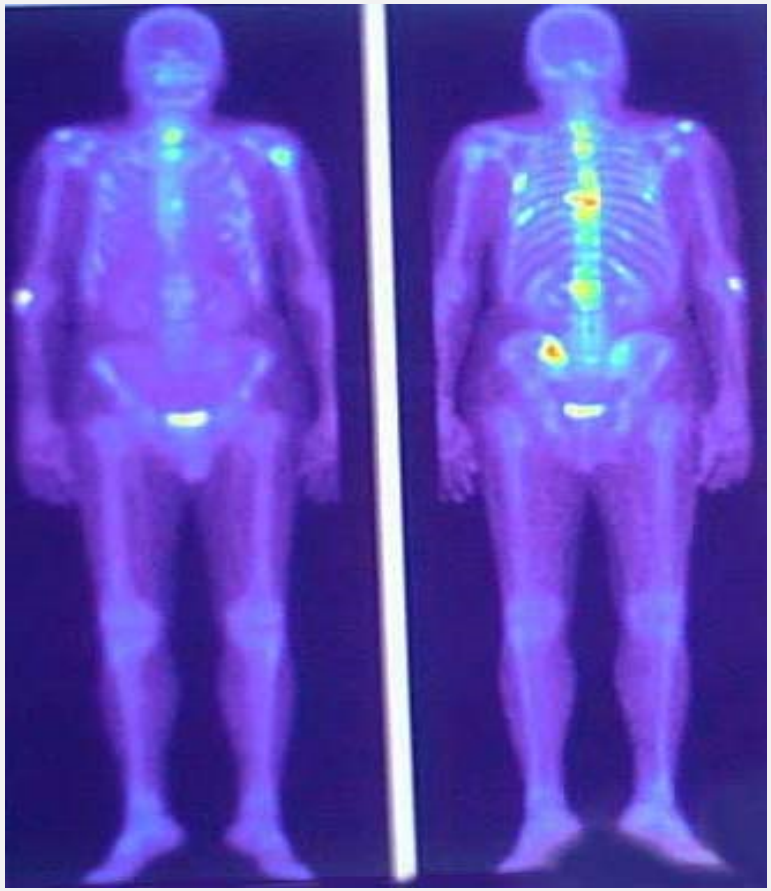


A gamma sugárzás behatolási mélysége sokkal nagyobb, mint az α vagy β részecskéké, de nagymértékben függ a gamma foton energiájától.

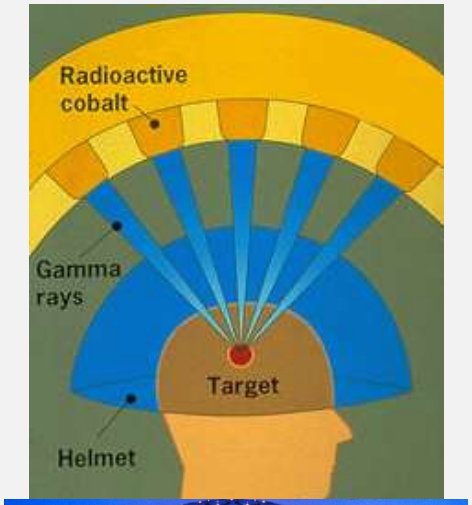
Gamma fotonok akár néhány száz métert is megtehetnek levegőben és könnyedén átszelik az emberi testet.

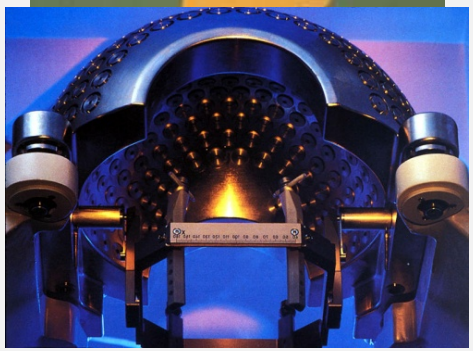
γ sugárzás a gyógyászatban

Diagnosztika: gamma kamera, SPECT (PET)



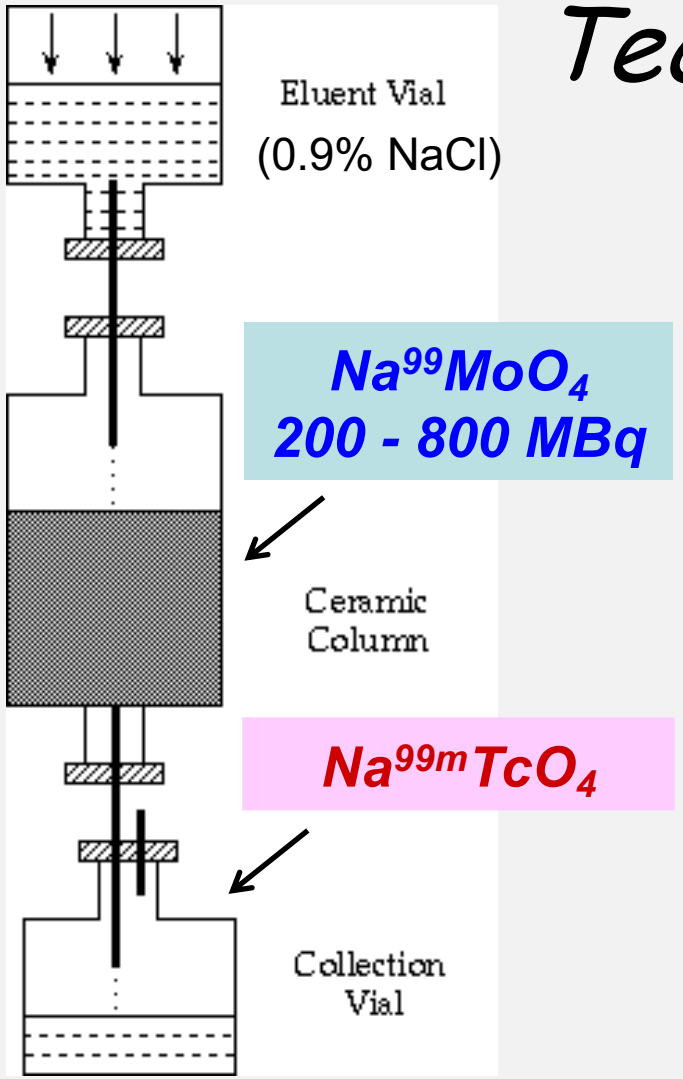
Csontfelvétel ^{99m}Tc-jelölt foszfátvegyülettel

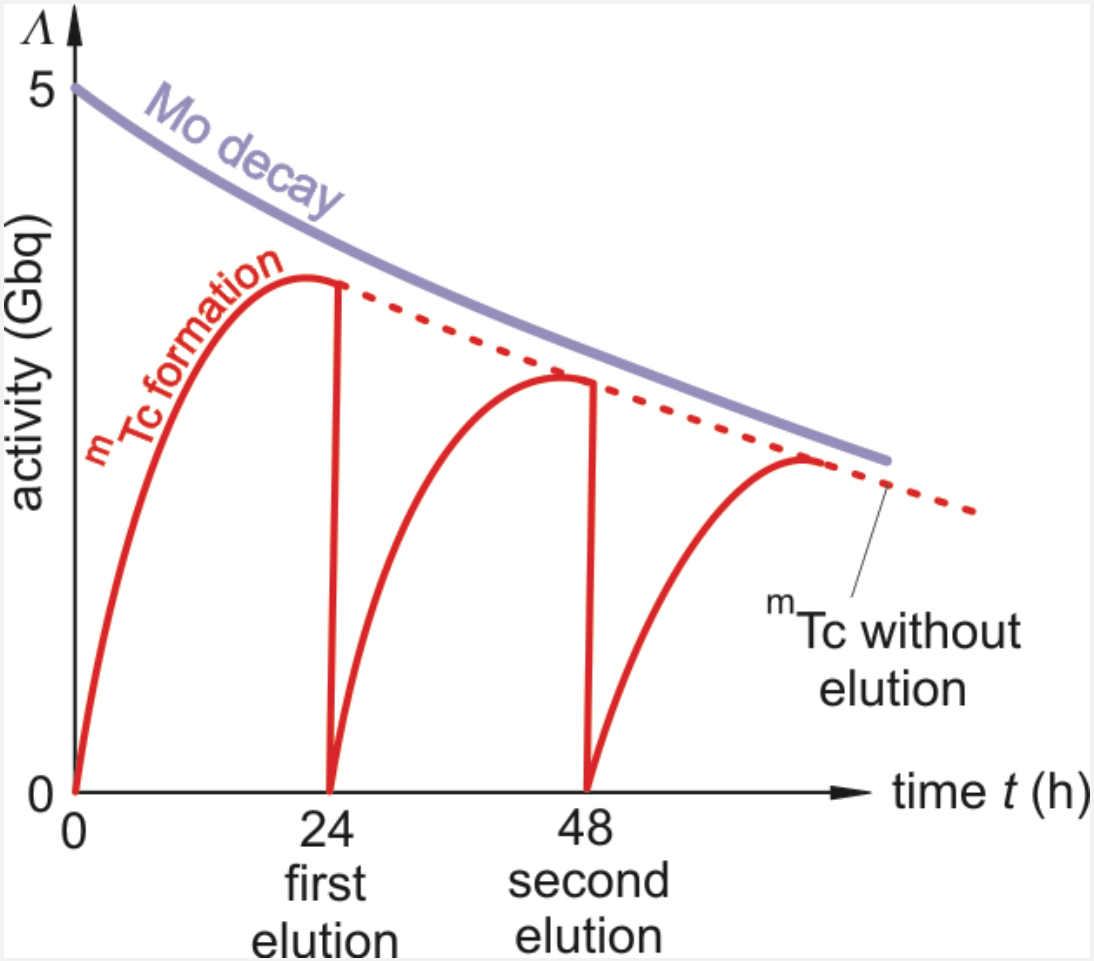




terápia: gamma-kés

Technécium-99m generátor





$$^{99}_{42}Mo \rightarrow {}^{99m}_{43}\mathrm{Tc} + \beta^{-} \rightarrow {}^{99}_{43}\mathrm{Tc} + \gamma$$

$T_{1/2}$=67 óra $\qquad$ $T_{1/2}$=6 óra

Izotóp	*radiofarmakon*	*szerv*	*funkció*
$^{99}Tc^{m}$	*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*

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

Technécium-99m 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