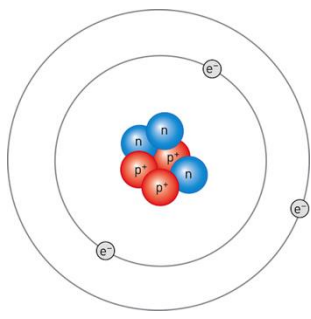


Magsugárzások

Haluszka Dóra, PhD

2025.12.03





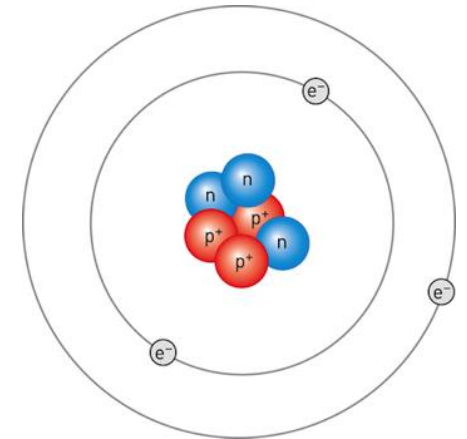
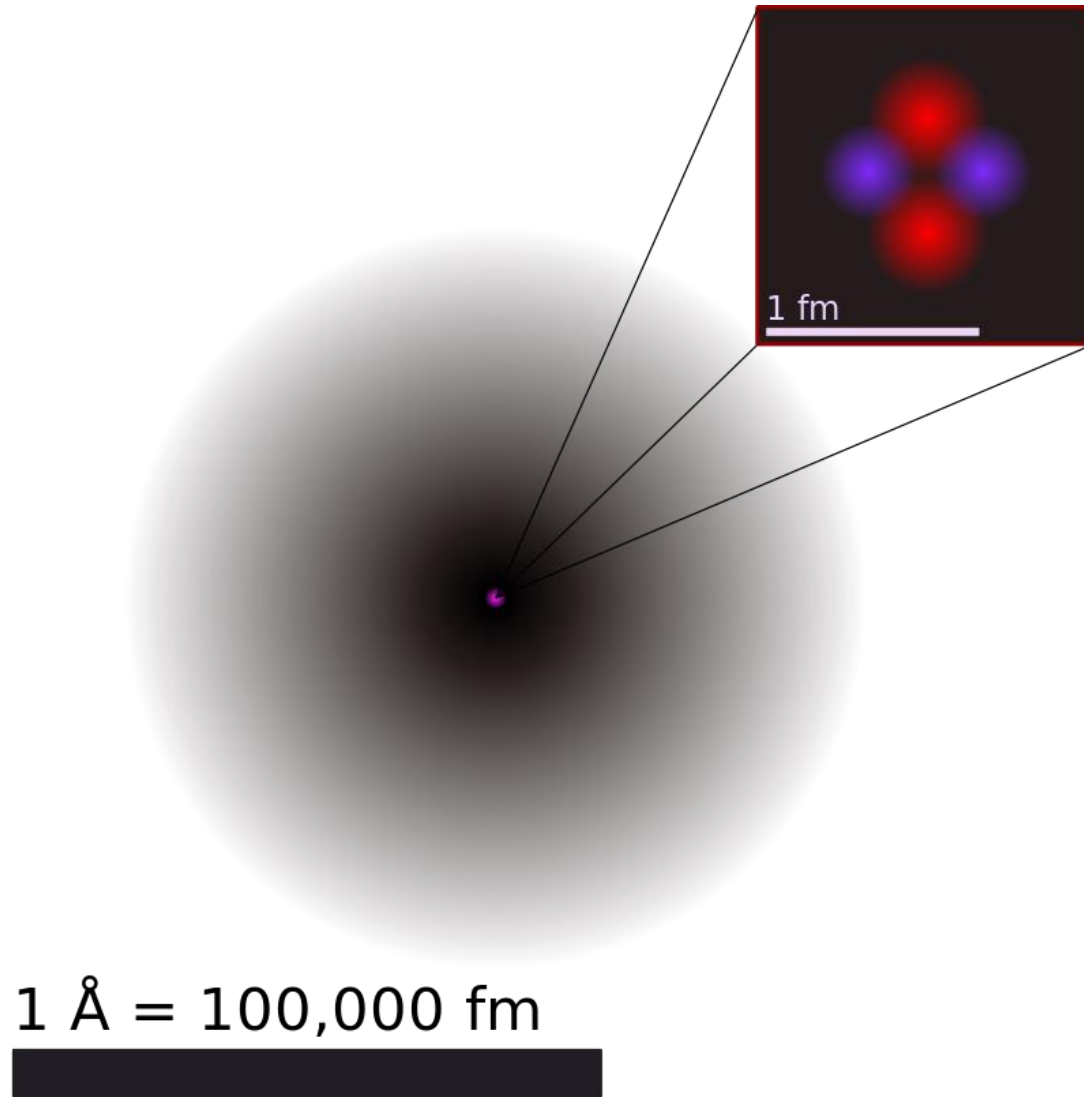
Az atomok alkotórészei

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

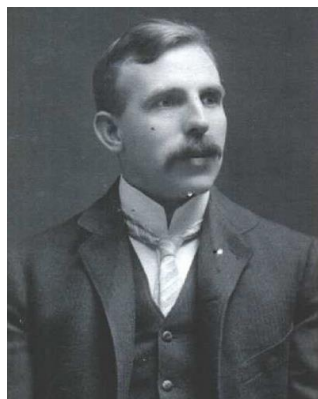


Atommag stabilitása

Protonok között erős az elektrosztatikus taszítás!

(mi tartja egyben a magot)

Kell, hogy legyen egy vonzóerő a magon belül!

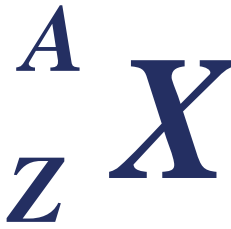


Rutherford, 1911 - magerő: rövid hatótávolságú vonzóerő, független a töltéstől és erősebb a Coulomb-erőknél. A neutron hipotézise (Chadwick 1932, Nobel-díj 1935)

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

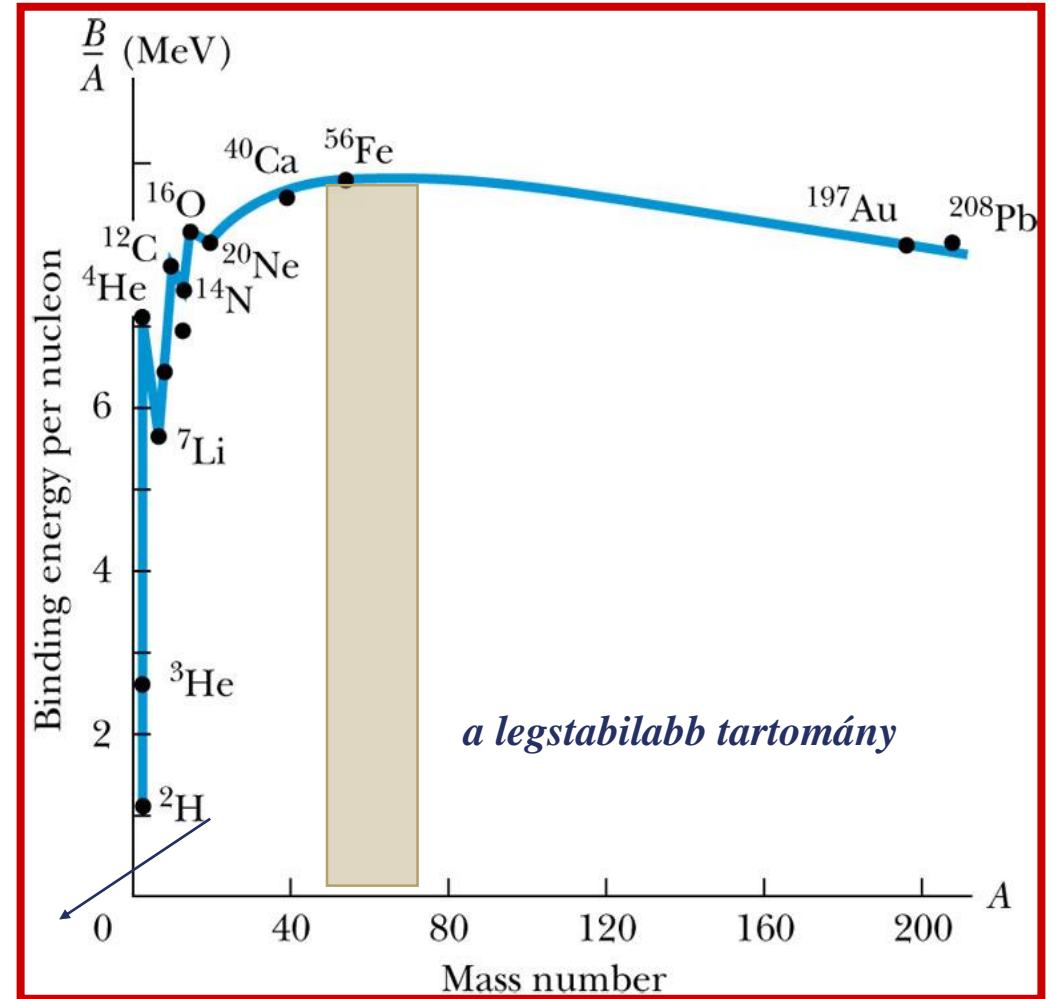
pl. ^{12}C esetében $\Delta E = 92.1 \text{ MeV}$

Az egy nukleonra eső kötési energia: $\Delta E/A = 92.1/12 = 7.7 \text{ MeV/nukleon}$

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



Ebből következően mind a nehéz magoknak ($A \sim 200$) két könnyebb részre való hasadása, mind pedig a könnyű ($A \sim 1-5$) atommagok egyesülése, fúziója, energetikailag egyaránt kedvezőbb helyzethez vezet, azaz ezek a folyamatok energia felszabadulással járnak.

Izotópok

Görög *isos topos = azonos hely*

Egy elem izotópjai:

- azonos protonszámúak
- különböző neutronszámúak
- különböző tömegszámúak

izotóp = azonos rendszám

Mendeleev's Periodic Table of Elements

Table of Common Polyatomic Ions

acetate	$C_2H_3O_2^-$	silicate	SiO_3^{2-}
chlorate	ClO_3^-	sulfate	SO_4^{2-}
hydroxide	OH^-	thiosulfate	$S_2O_3^{2-}$
nitrate	NO_3^-		
permanganate	MnO_4^-	arsenate	AsO_4^{3-}
		phosphate	PO_4^{3-}
carbonate	CO_3^{2-}	ammonium	NH_4^+
chromate	CrO_4^{2-}	hydronium	H_3O^+
dichromate	$Cr_2O_7^{2-}$		

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

1 IA		3 IIB 4 IVB 5 VB 6 VIB 7 VIIB 8 9 10 11 IB 12 IIB										13 IIIA 14 IVA 15 VA 16 VIA 17 VIIA					18 VIIIA																		
1	H 1.008											5	B 10.811	6	C 12.011	7	N 14.007	8	O 15.999	9	F 18.998	10	Ne 20.179												
2	Li 6.941	4	Be 9.0122											13	Al 26.982	14	Si 28.086	15	P 30.974	16	S 32.065	17	Cl 35.453	18	Ar 39.948										
3	Na 22.990	12	Mg 24.305	21	Sc 44.956	22	Ti 47.867	23	V 50.942	24	Cr 51.996	25	Mn 54.938	26	Fe 55.845	27	Co 58.933	28	Ni 58.693	29	Cu 63.546	30	Zn 65.39	31	Ga 69.723	32	Ge 72.64	33	As 74.922	34	Se 78.96	35	Br 79.904	36	Kr 83.80
4	K 39.098	20	Ca 40.078	39	Y 88.906	40	Zr 91.224	41	Nb 92.906	42	Mo 95.94	43	Tc (98)	44	Ru 101.07	45	Rh 102.91	46	Pd 106.42	47	Ag 107.87	48	Cd 112.41	49	In 114.82	50	Sn 118.71	51	Sb 121.76	52	Te 127.60	53	I 126.90	54	Xe 131.29
5	Rb 85.468	38	Sr 87.62	72	Hf 178.49	73	Ta 180.95	74	W 183.84	75	Re 186.21	76	Os 190.23	77	Ir 192.22	78	Pt 195.08	79	Au 196.97	80	Hg 200.59	81	Tl 204.38	82	Pb 207.2	83	Bi 208.98	84	Po (209)	85	At (210)	86	Rn (222)		
6	Cs 132.91	56	Ba 137.33	104	Rf (261)	105	Db (262)	106	Sg (266)	107	Bh (264)	108	Hs (277)	109	Mt (268)	110	Uun (281)	111	Uuu (272)	112	Uub (285)	113	Uut (284)	114	Uuq (289)	115	Uup (288)	116	Uuh (291)	117	Uus (294)	118	Uuo (294)		
7	Fr (223)	88	Ra (226)	57	La 138.91	58	Ce 140.12	59	Pr 140.91	60	Nd 144.24	61	Pm (145)	62	Sm 150.36	63	Eu 151.96	64	Gd 157.25	65	Tb 158.93	66	Dy 162.50	67	Ho 164.93	68	Er 167.26	69	Tm 168.93	70	Yb 173.04	71	Lu 174.97		
				89	Ac 227	90	Th 232.04	91	Pa 231.04	92	U 238.03	93	Np (237)	94	Pu (244)	95	Am (243)	96	Cm (247)	97	Bk (247)	98	Cf (251)	99	Es (252)	100	Fm (257)	101	Md (258)	102	No (259)	103	Lr (262)		

Selected Oxidation States

Atomic Number

Symbol

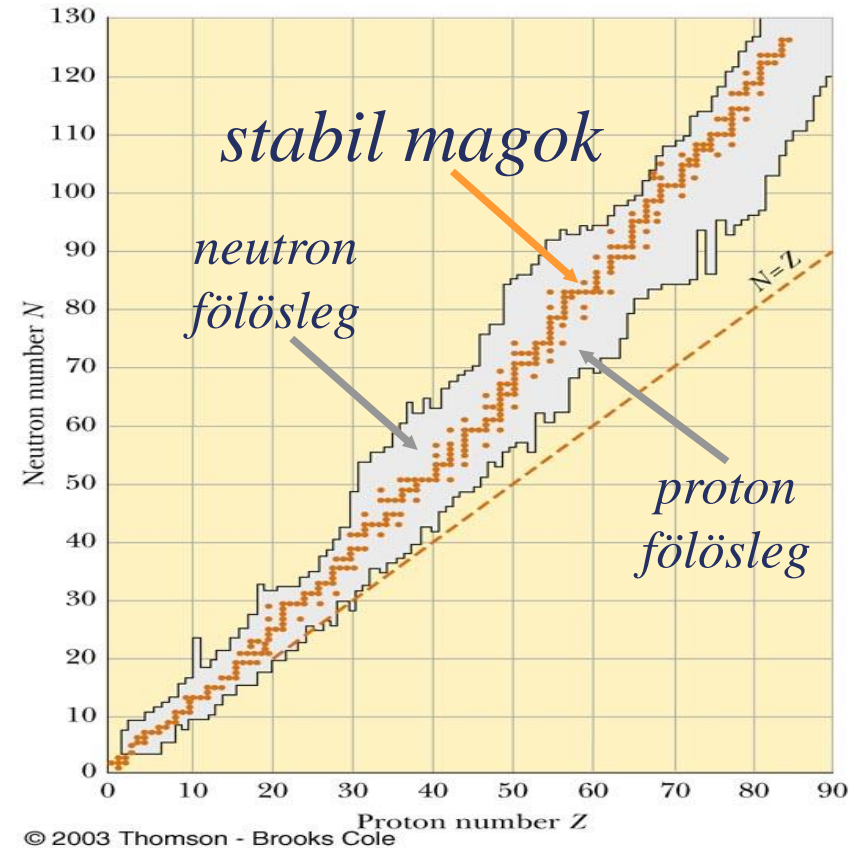
Electron Configuration

Atomic Mass

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).

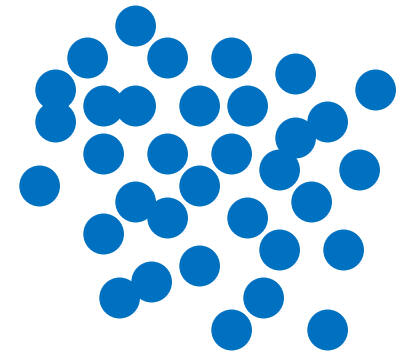
Radioaktív bomlás

- **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



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

A radioaktív bomlás jellemzői

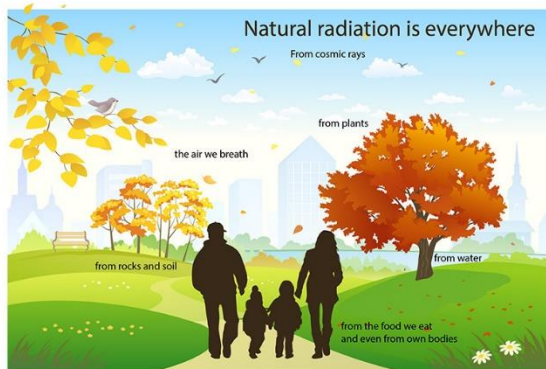
Aktivitás: $\Lambda = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right|$

*N: még el nem bomlott atommagok száma
t: idő*

Aktivitás = egységnyi idő alatt elbomlott magok száma

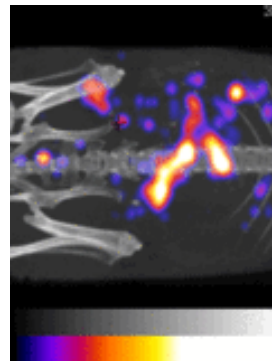
egysége: becquerel (Bq) 1Bq = 1 bomlás/s

háttérsugárzás



kBq,

diagnosztika



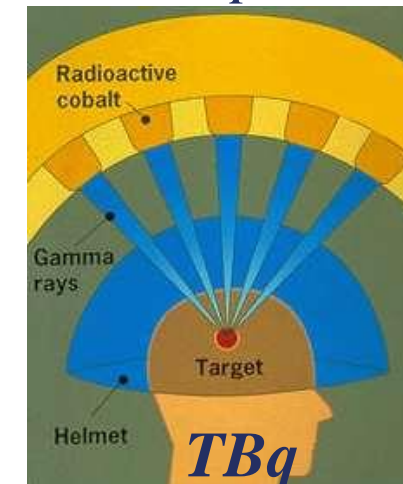
MBq,

*laboratóriumi
gyakorlat*



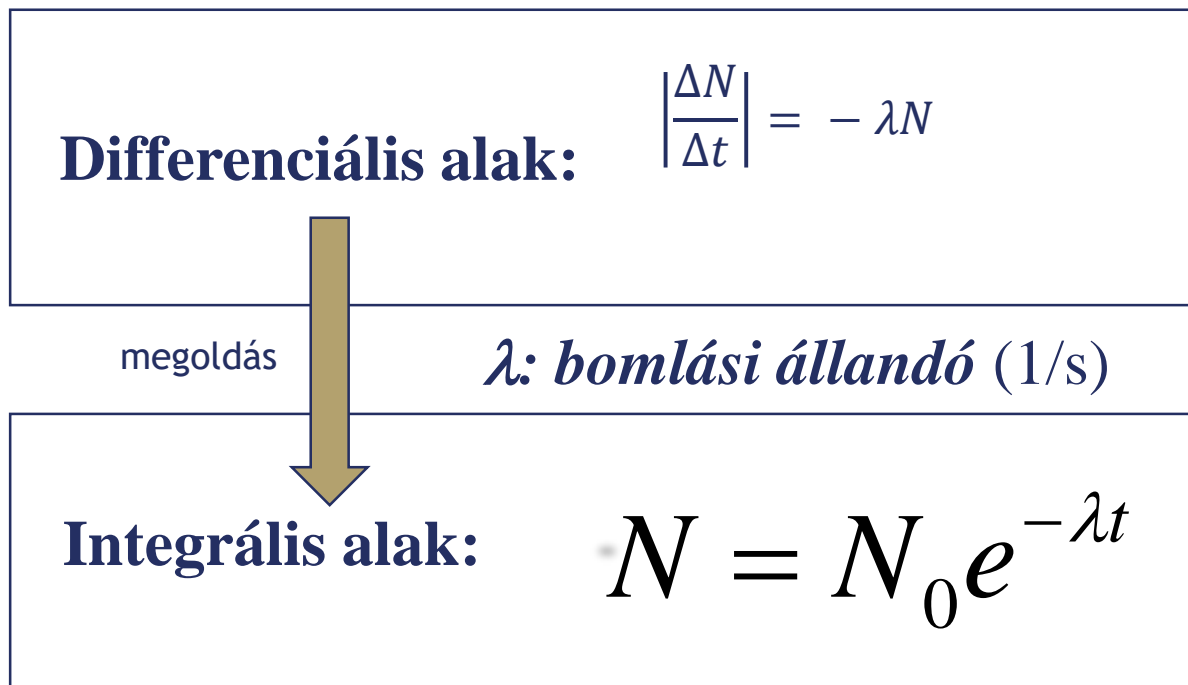
GBq,

terápia



TBq

Bomlástörvények

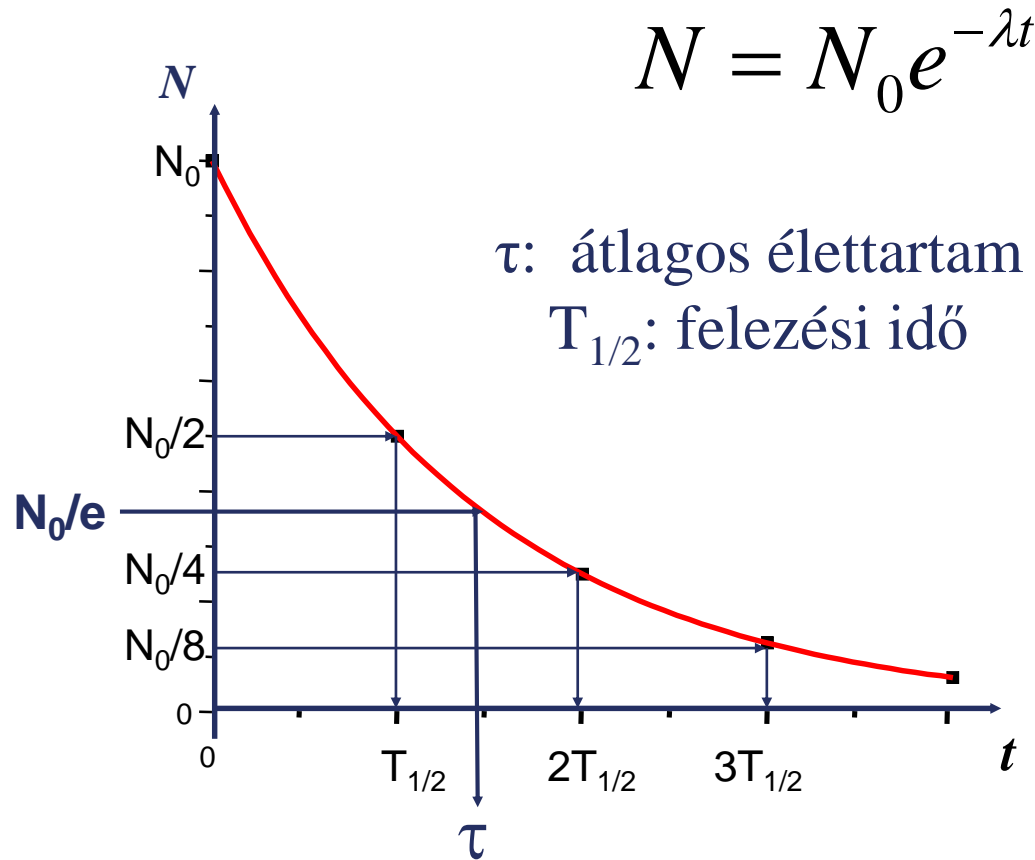


N_0 : bomlásra képes (radioaktív) magok száma $t=0$ -kor,
 N : nem elbomlott magok száma egy későbbi t időpontban

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

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

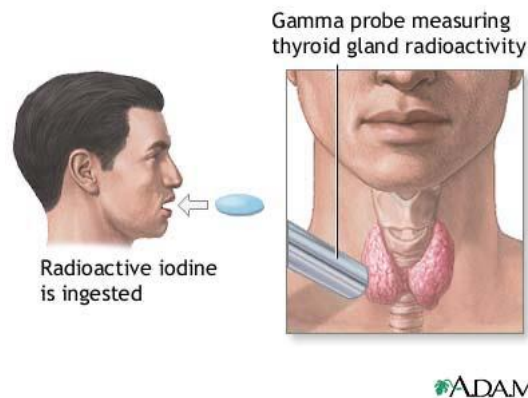
Grafikus reprezentáció



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

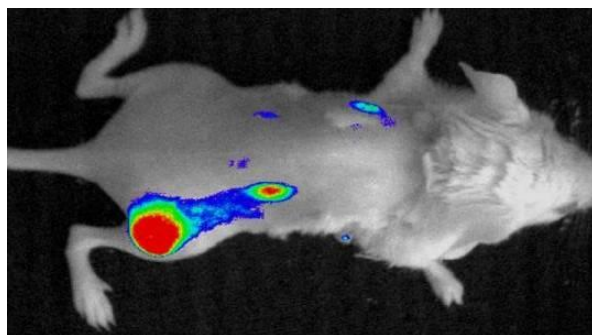
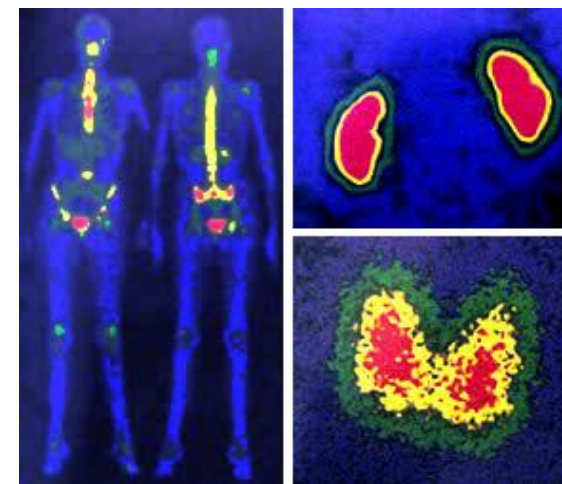
$$t = T_{1/2} \longrightarrow N_0 / 2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \longrightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

Felezési idők a gyógyászatban



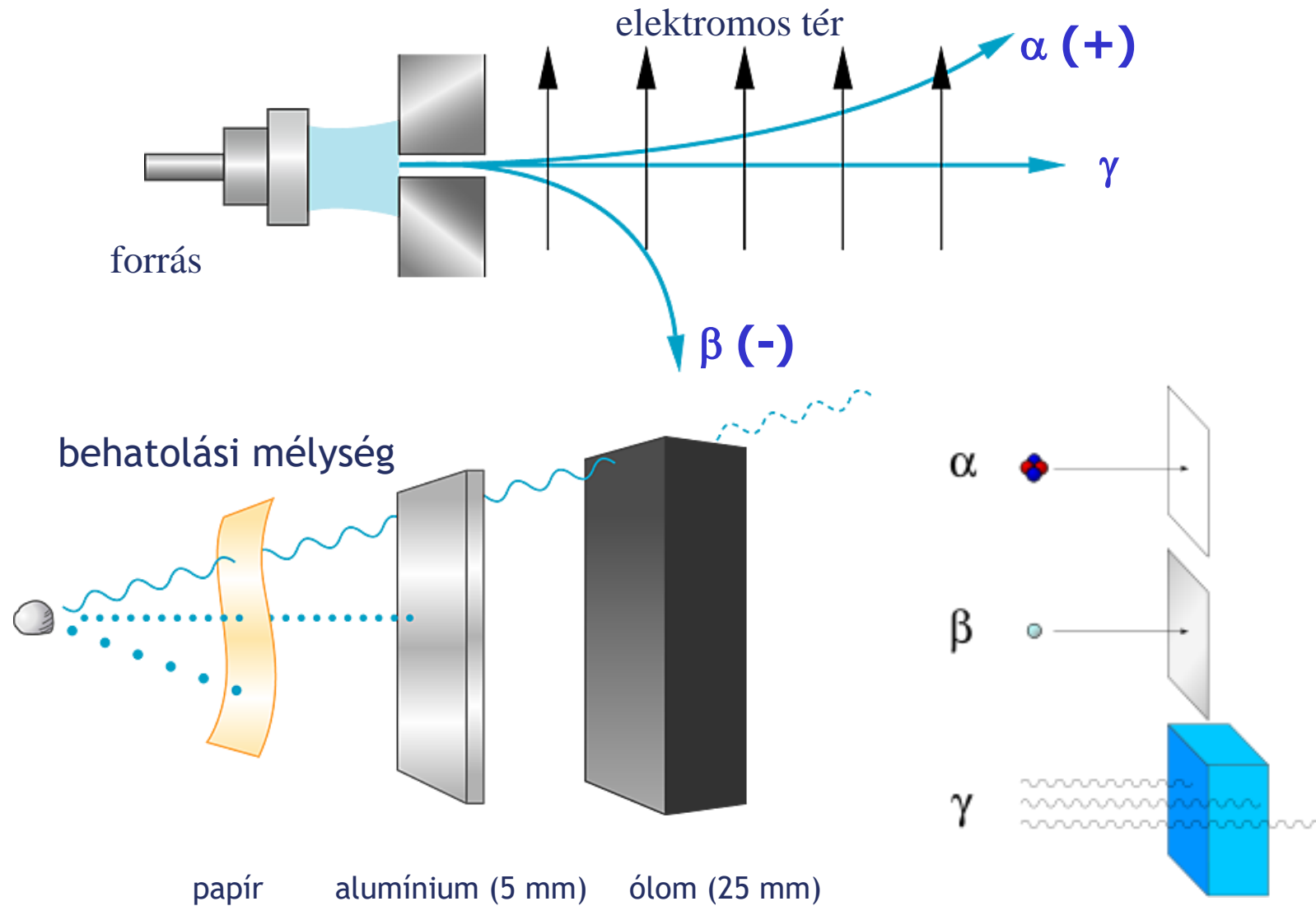
*Jód - 131 (^{131}I) - $T_{1/2} = 8$ nap
pajzsmirigy kezelés*

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

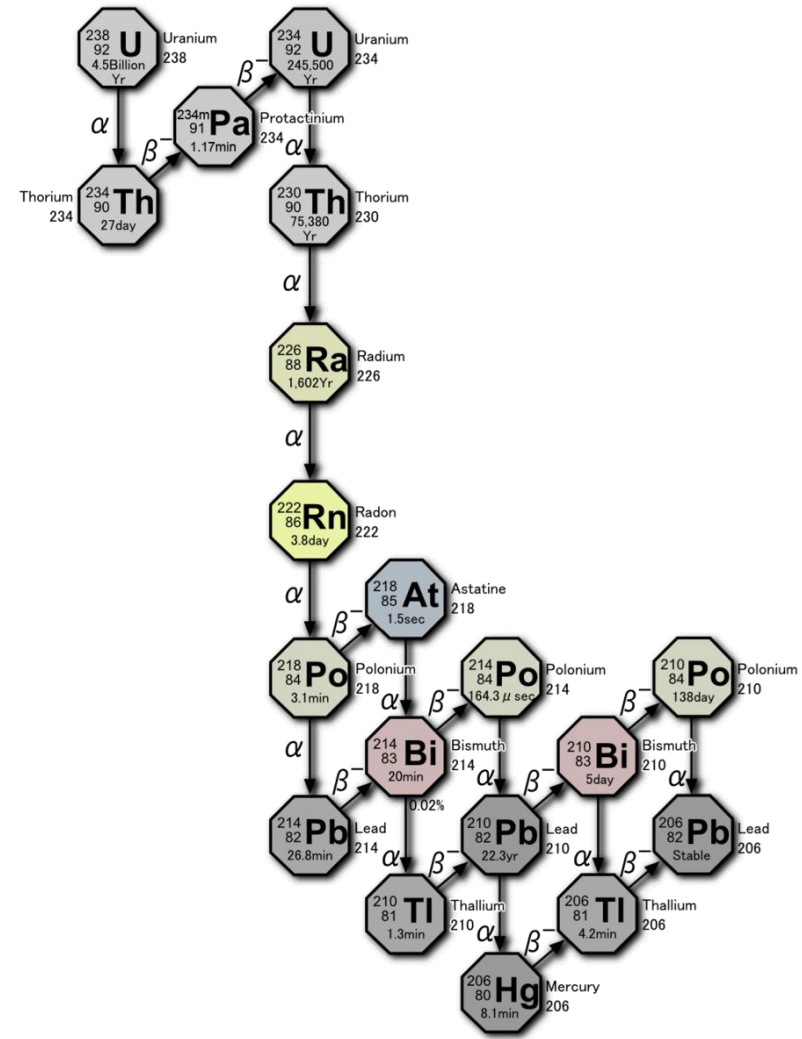
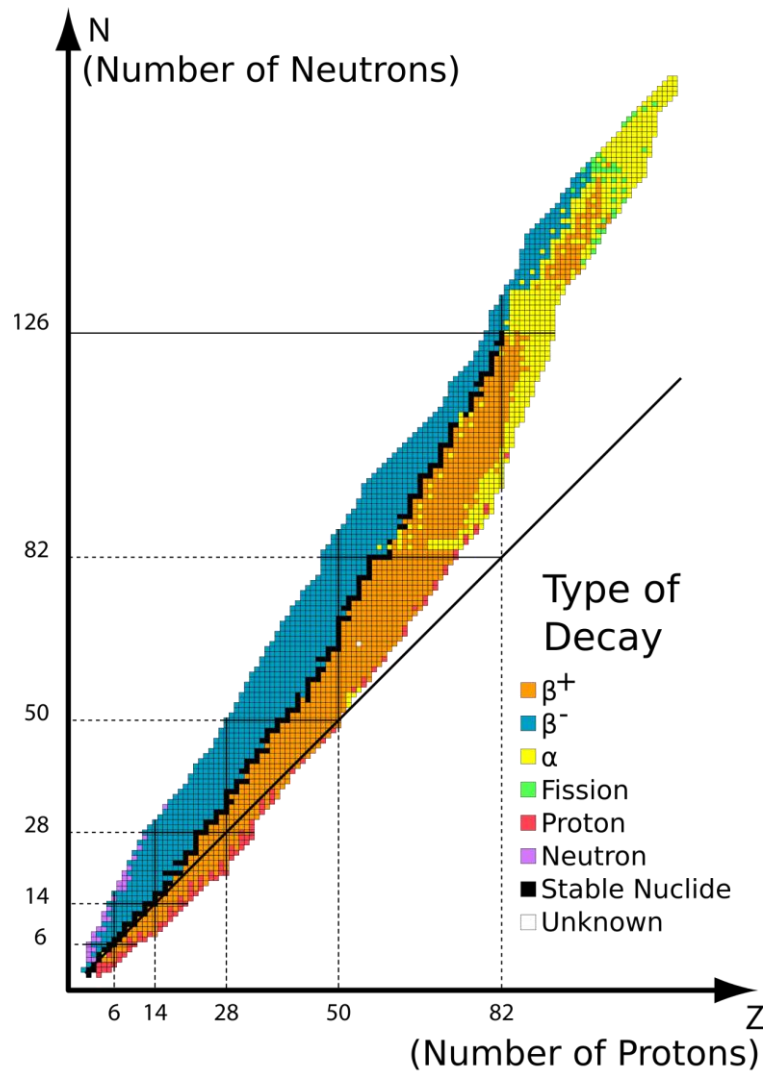


*Arany-198 (^{198}Au) - $T_{1/2} = 2,7$ nap
Tumorterápia*

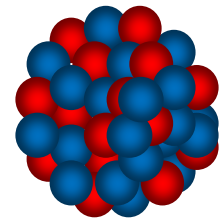
Radioaktív bomlás típusai



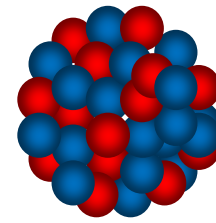
Radioaktív bomlás típusai



α bomlás



anyamag

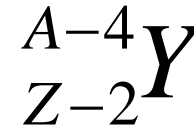
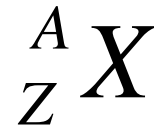


leánymag

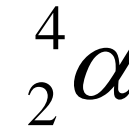
+



α részecske

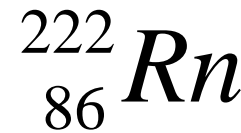
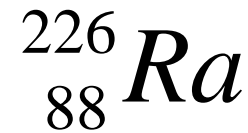


+

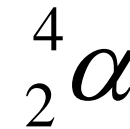


α részecske: a hélium atommagja, 2 proton és 2 neutron alkotja

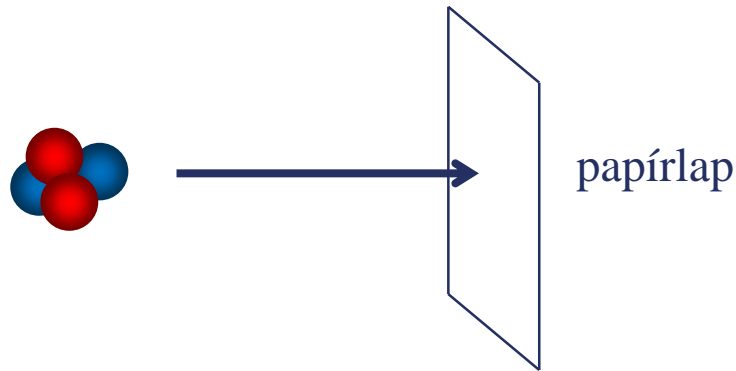
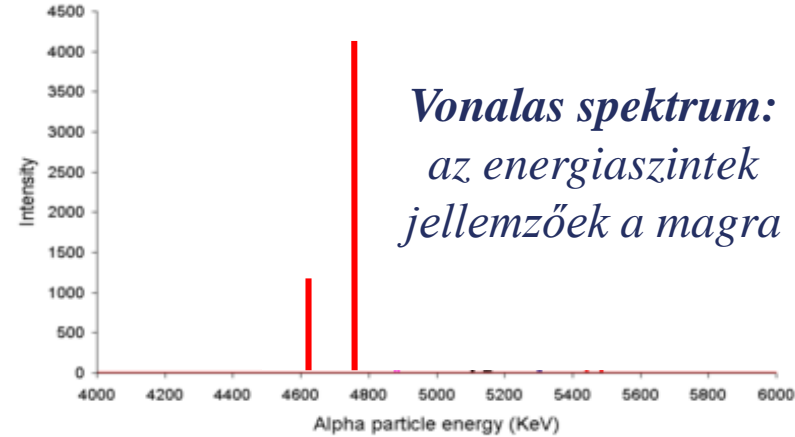
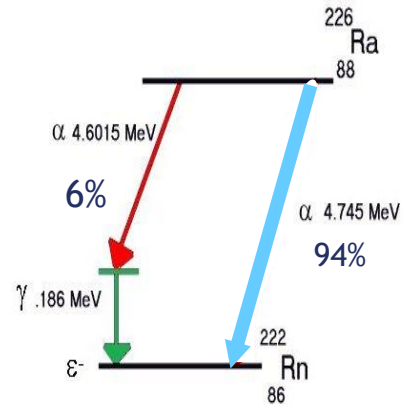
Nehéz magok ($A > 150$) tipikusan a részecske kibocsátásával bomlanak



+



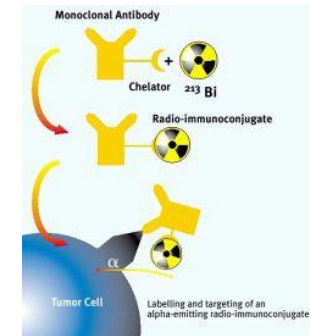
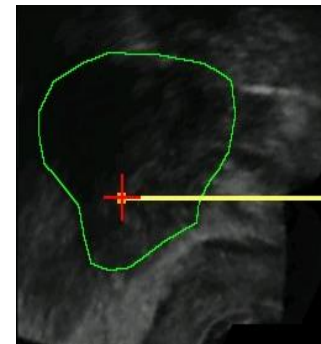
Az α sugárzás jellemzői: spektrum, penetráció, felhasználás



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

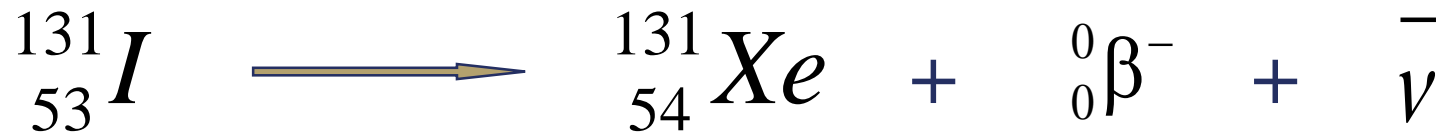
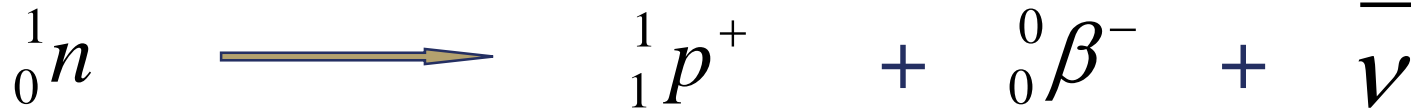
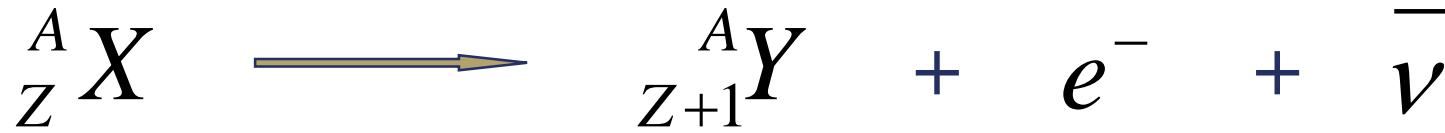
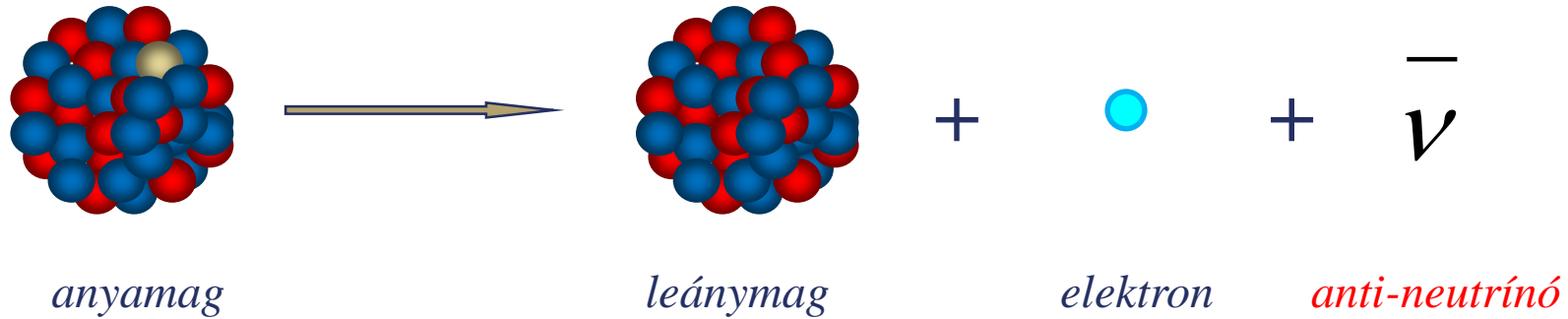
Diagnózis: –

Célzott rákterápia α sugárzással

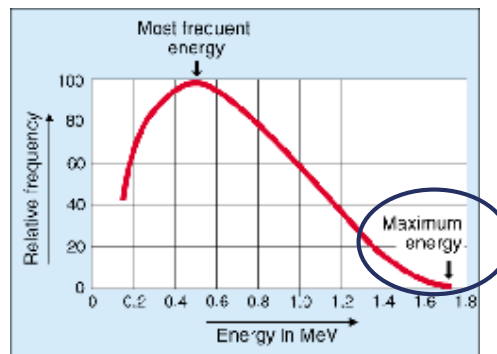
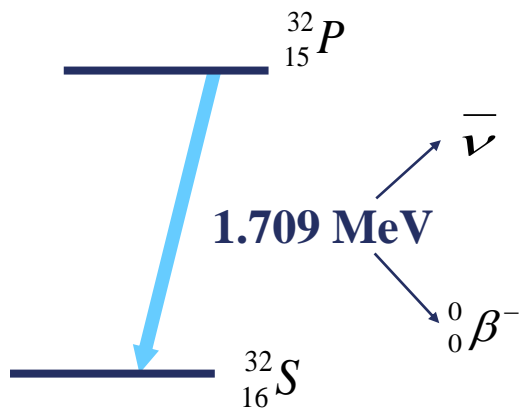


β bomlás

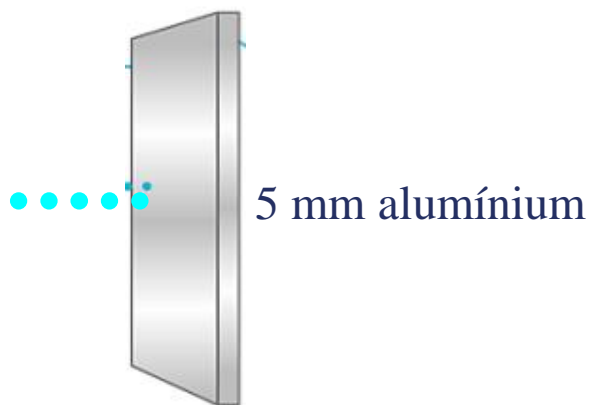
1. Neutron-felesleg: β^- bomlás



Az β sugárzás jellemzői: spektrum, penetráció, felhasználás



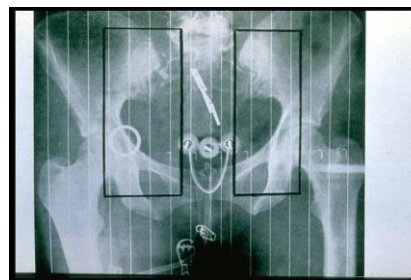
folytonos spektrum
 DE, a β részecske energiájának van maximuma!



Diagnózis: -

Célzott terápiák:
 hypertiroidizmus, pajzsmirigy,
 prosztata és egyéb tumorok

<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



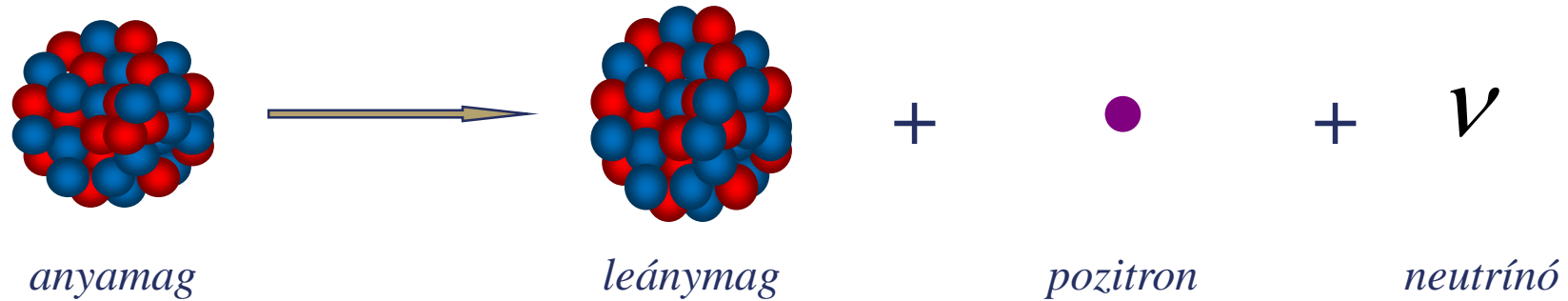
Brachyterápia: radioaktív sugárforrást juttatnak a daganatba



Endovaszкулярis besugárzás

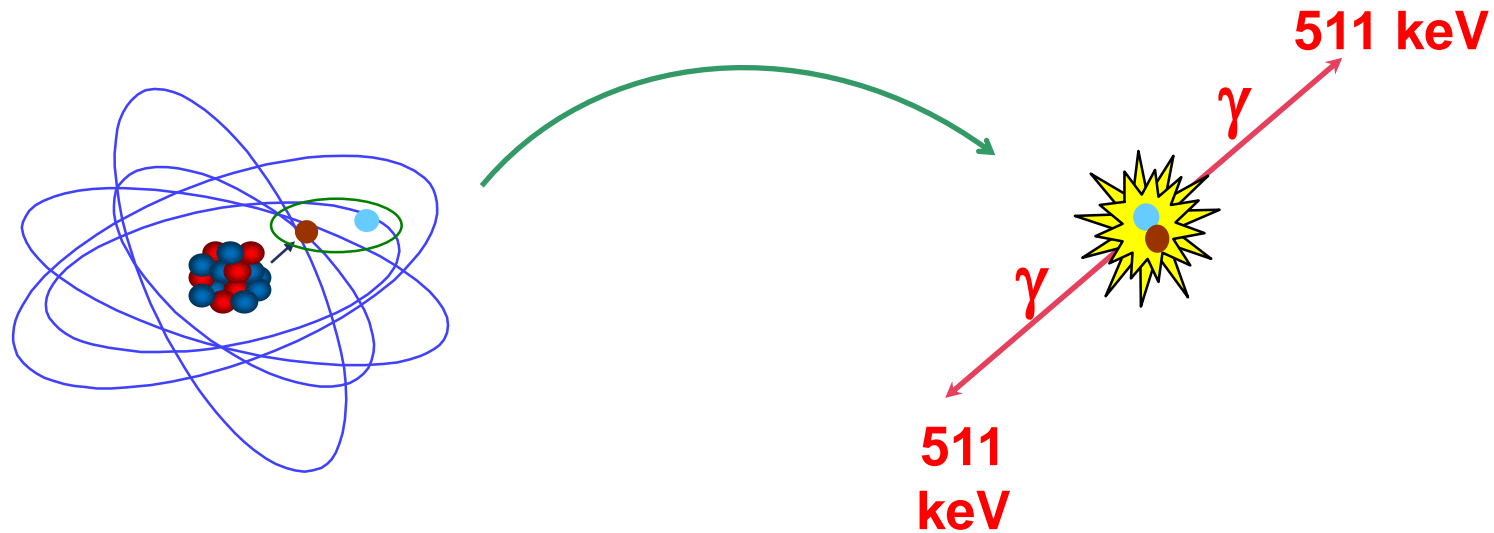
β bomlás

2. Proton-felesleg: β^+ bomlás



Annihiláció

- pozitron-elektron párok megsemmisítik egymást

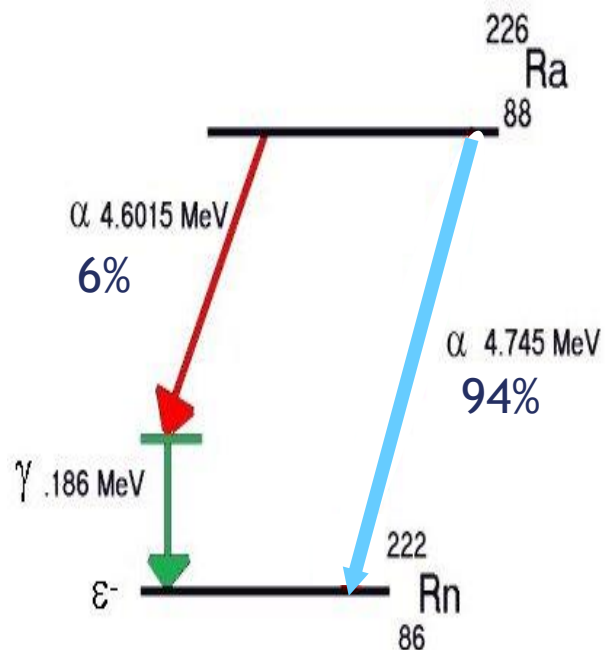


1. Lendület megmaradás törvénye: két egymással átellenesen kirepülő foton születik

2. Energiamegmaradás törvénye:

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

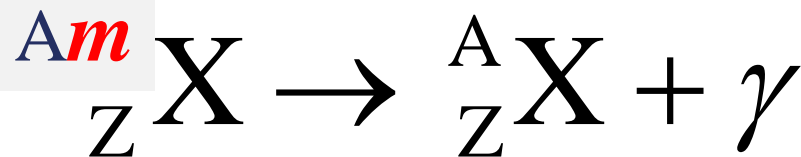
γ bomlás - nukleonok izomerizációja



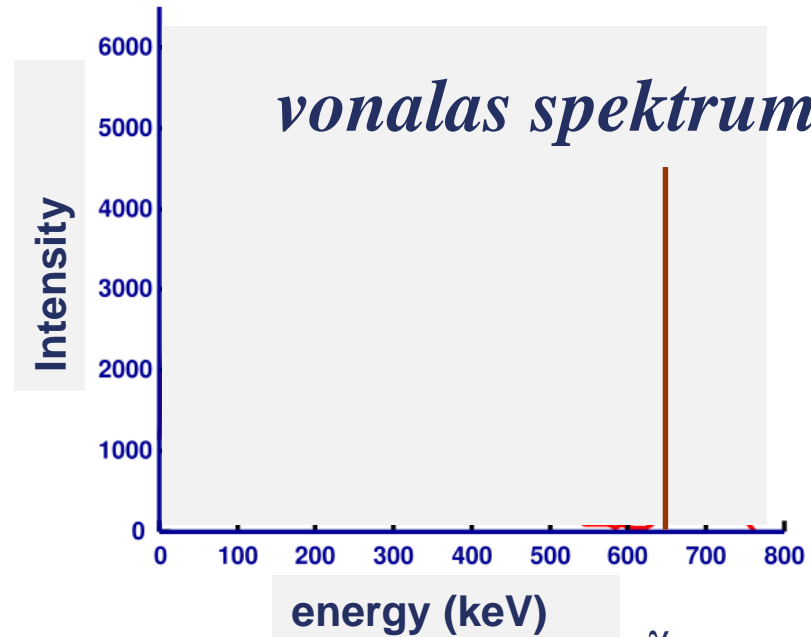
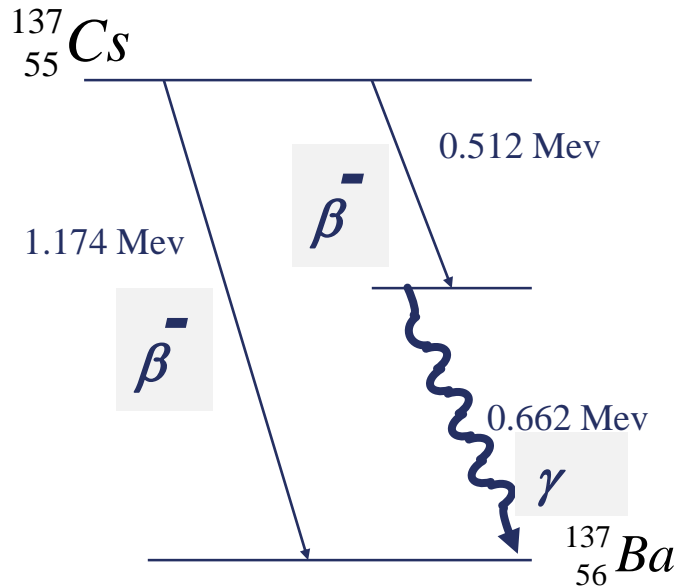
A leánymag néha gerjesztett állapotban van α vagy β bomlást követően.

A gerjesztett mag gamma-sugárzással szabadul meg fölös energiájától.

A fél-életidő néhány órától néhány száz évig változhat.

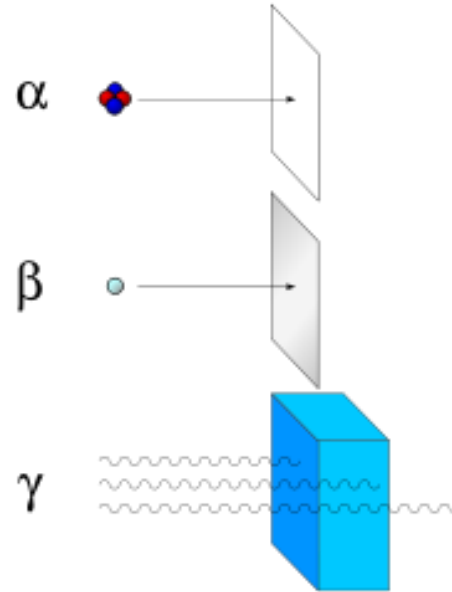


γ sugárzás energia-spektruma



A gamma-energia jellemző a magra

γ sugárzás behatolási mélysége

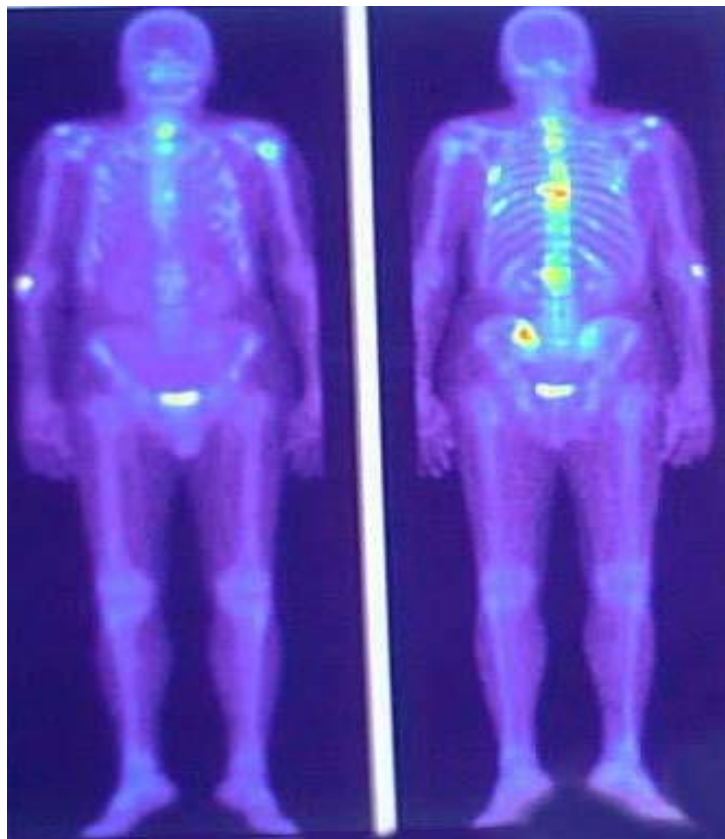


A gamma sugárzás behatolási mélysége sokkal nagyobb, mint az α vagy β részecskéké, és nagymértékben függ a gamma foton energiájától.

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

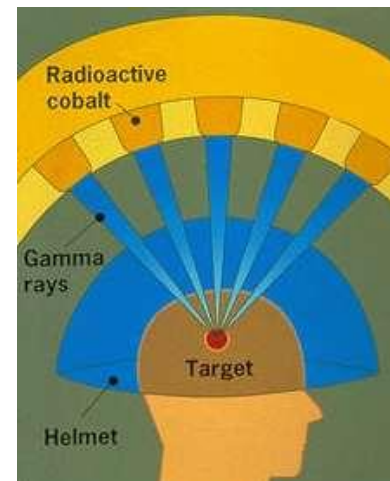
gamma sugárzás a gyógyászatban

Diagnosztika:
gamma kamera, SPECT, (PET)



Csontfelvétel ^{99m}Tc -jelölt foszfátvegyülettel

Terápia:
gamma-kés



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