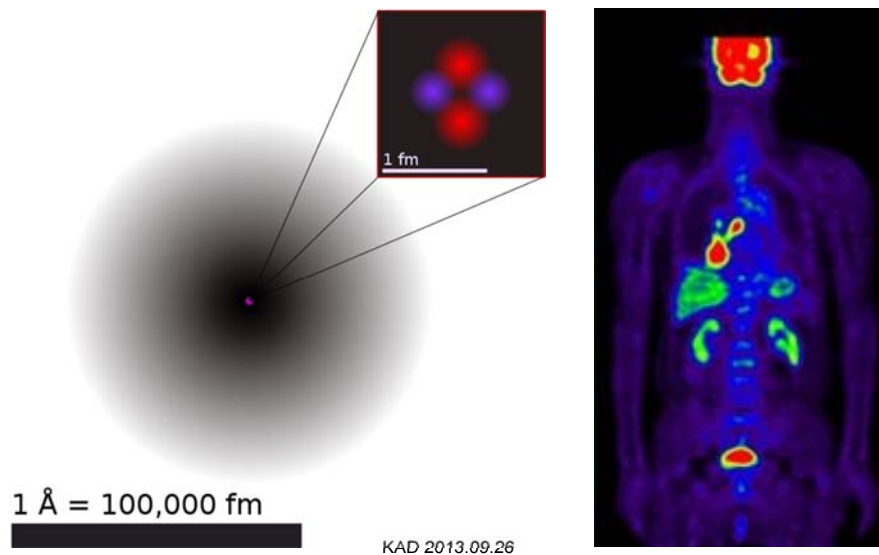
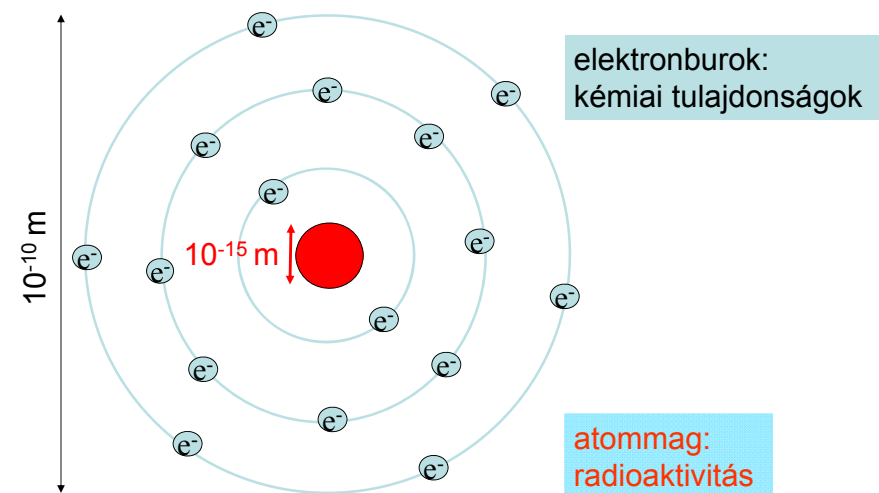


Atommag. Radioaktivitás. Magsugárzások

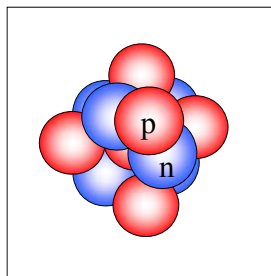


Atom és atommag



2

Az atommag felépítése



nukleon	töltés	tömeg
proton	+1 elemi töltés	1 atomi tömegegység
neutron	0	1 atomi tömegegység

A (tömegszám) = protonszám + neutronszám → 99
 Z (rendszám) = protonszám → 43 **Tc**

99 nukleon, ebből 43 proton és 56 neutron

3

Az atommag stabilitása



- magerő: rövid hatótáv (~fm)
 nagyon erős
 vonzó (elektromos töltésfüggetlen)
 egzakt formája ismeretlen
- Coulomb erő destabilizál (protonok között: taszító hatás)
- a nukleonok diszkrét energiaszinteken helyezkednek el
- a mag energiája is diszkrét (kvantált)
- energiaszintek tipikus távolsága: MeV
 (1 eV = $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 1 \text{V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{J} = 0,16 \text{ aJ}$)

4

Izotóp

⇒ azonos protonszám eltérő neutronszám

⇒ azonos protonszám eltérő neutronszám

⇒ kémiai tulajdonságaik azonosak

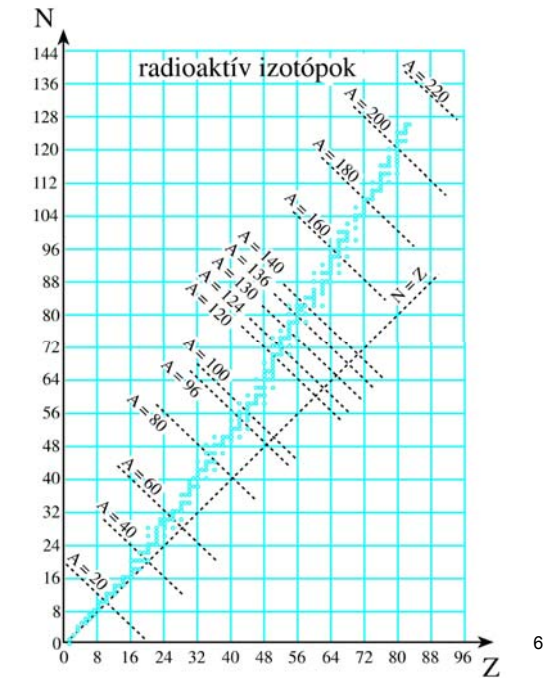
PI 1:	${}^1_1\text{H}$	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$
	stabil	stabil	instabil (radioaktiv)

PI 2:	$^{18}_{9}\text{F}$	$^{19}_{9}\text{F}$	$^{20}_{9}\text{F}$
	instabil (radioaktív)	stabil	instabil (radioaktív)

5

Neutronszám és protonszám viszonya az atommagokban

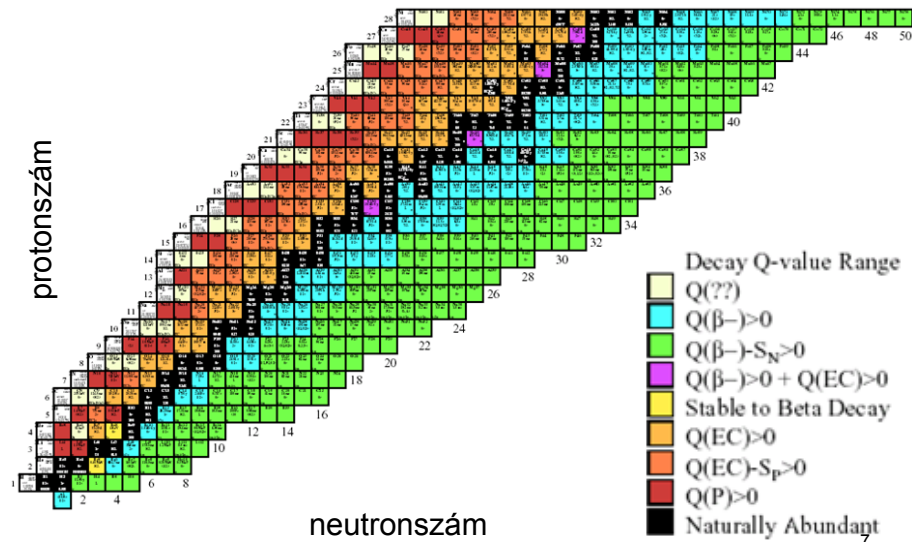
A stabil izotópok által meghatározott vonal $N=Z$ egyenestől a nagyobb neutron-számok felé tér el



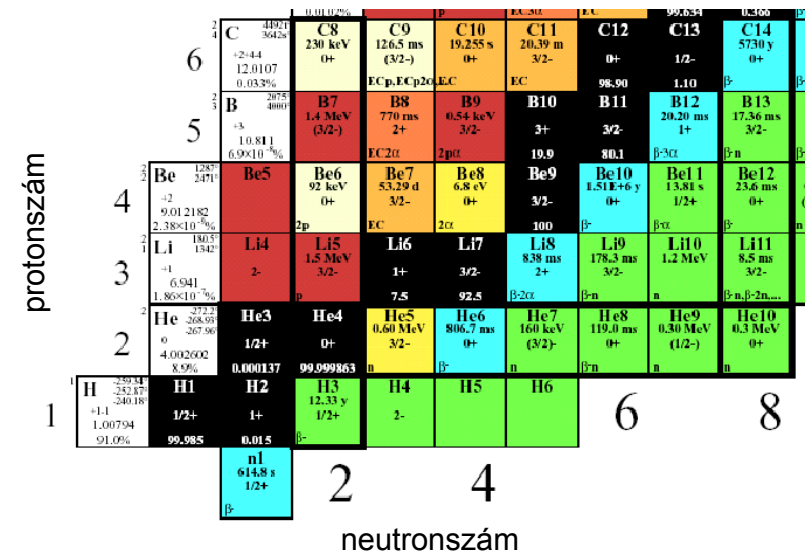
Tkv. I.18. ábra

6

Izotóptáblázat



Izotóptáblázat részlet



8

Bomlások és részecskék

α - bomlás

α - részecske = ${}^4_2\text{He}$ atommag

β -bomlás: β^-
 β^+

β^- részecske = elektron

β^+ részecske = pozitron

K-elektron befogás

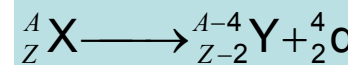
karakterisztikus Röntgen-foton

izomer magátalakulás γ -sugárzás

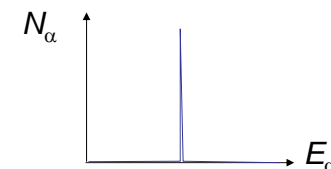
9

α - bomlás

α - bomlás: ${}^4\text{He}$ atommag válik le a magról
nehéz atommagoknál fordul elő



vonalas energiaspektrum
 $E_\alpha \sim \text{MeV}$



neutrontúlsúly

β^- - bomlás

pl: ${}^{20}_9\text{F}$
 ${}^{32}_{15}\text{P}$
 ${}^{59}_{26}\text{Fe}$
 ${}^{131}_{53}\text{I}$

$${}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}\beta + \bar{\nu}$$

$${}_0^1n \longrightarrow {}_1^1p + {}^0_{-1}\beta + \bar{\nu}$$

az atommagban marad kilép

Pl: ${}^{32}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + {}^0_{-1}\beta + \bar{\nu}$

β^- -sugárzás

folytonos energiaspektrum

jelölések: $\beta^- = {}^0_{-1}\beta = e^-$

protontúlsúly

β^+ - bomlás

pl: ${}^{11}_6\text{C}$
 ${}^{15}_8\text{O}$
 ${}^{18}_9\text{F}$
 ${}^{52}_{26}\text{Fe}$

$${}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + {}^0_{+1}\beta + \nu$$

$${}_1^1p \longrightarrow {}_0^1n + {}^0_{+1}\beta + \nu$$

az atommagban marad kilép

Pl: ${}^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}\beta + \nu$

β^+ -sugárzás

folytonos energiaspektrum mesterséges előállítás

12

Tömeg és energia

tömegek: $m_p = 1,672623 \cdot 10^{-27}$ kg

$m_n = 1,674928 \cdot 10^{-27}$ kg

$m_n > m_p$: β^- OK, de β^+ ?

megoldás: Einstein féle tömeg-energia ekvivalencia

$$E = mc^2$$

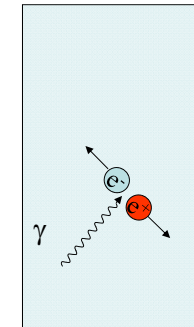
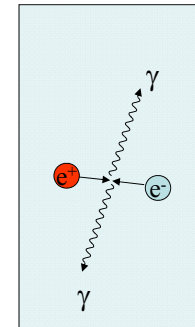
kötött nukleon: alacsonyabb energiaszint, kisebb tömeg!

pl. atomi tömegegység, u : a ^{12}C atom tömegének 1/12-ed része
 ^1H atom (amely egy proton és egy elektron) atomtömege
 1,007825 u , tehát minden egyes ^{12}C mag átlagosan a
 tömegének nagyjából 0,8%-át elvesztette a kialakulása során

13

Kitérő: elektron - pozitron

- antirészecskék
- tömeg u.a, töltés ellentétes ...
- annihiláció és párkeltés



Einstein:
 tömeg-energia
 ekvivalencia

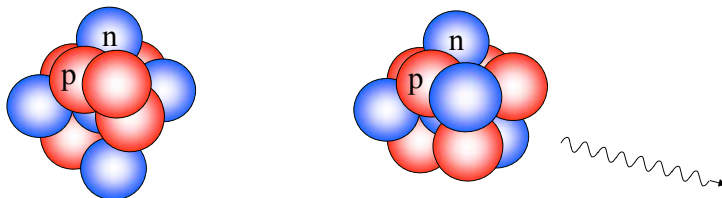
$$E = mc^2$$

$$m_e c^2 = 511 \text{ keV} \approx 0,5 \text{ MeV}$$

Prompt γ -sugárzás

A bomlás után a nukleonok elhelyezkedése
energetikailag kedvezőtlen lehet

Átrendeződés: alacsonyabb energiaszintre jut,
 a fölös energiát kisugározza γ foton formájában



protonszám, neutronszám változatlan! kísérőjelenség

15

Izomer magátalakulás

izomer magok: a rendszám és a tömegszám is azonos,
 csak a mag energiaállapotában van különbség

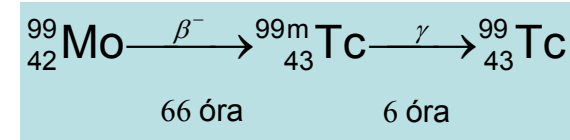
Ha a bomlás utáni mag elég hosszú ideig stabil,
 a γ -sugárzás később keletkezik.

A két folyamat szeparálható.

tisztán γ -sugárzó izotóp állítható elő!
=> izotópd diagnosztika

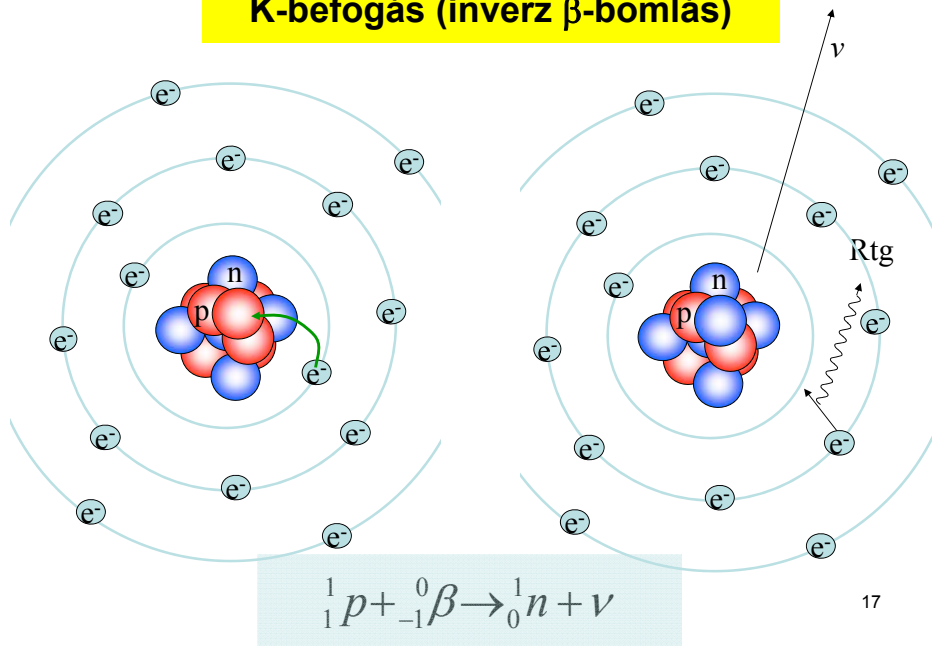
Pl: ^{99m}Tc

m: meta



16

K-befogás (inverz β -bomlás)



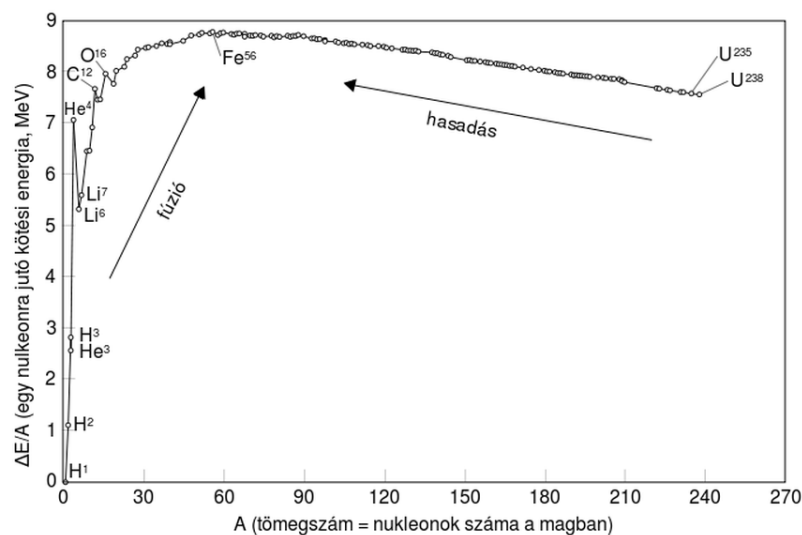
Bomlás, hasadás, fúzió

- bomlás: kis részecske távozik (α , β , γ ...)
- hasadás: kb. két azonos részre hasad (nehéz magoknál)
pl: ${}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow 2 \text{ db közepes mag} + 2-3 \text{ neutron}$
- fúzió könnyű magok egyesülése



18

Atommagok kötési energiájának görbéje



A radioaktív izotópokat jellemző mennyiségek

aktivitás (a sugárforrást jellemzi)

felezési idő (a bomlás időbeliségét jellemzi)

részecskeenergia (a sugárzást jellemzi)

20

(Radio)aktivitás, A

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

N = a bomlásra képes atomok száma
 t = idő

bomlási sebesség, az egységnyi idő alatt
 elbomlott atomok száma

mértékegysége: becquerel, Bq
 1 Bq = 1 bomlás/sec = 1/sec

a gyakorlatban: kBq, MBq, GBq, TBq

természetes
radioaktivitás
szintje

in vivo
diagn.

óvatosan
dolgozzunk
vele!

terápiában
alkalmazott
aktivitás

mérhetetlenül
alacsony

21

Radioaktív bomlástörvény

differenciális alak: $\Delta N = -\lambda N \Delta t$

N : a bomlásra képes (= elbomlatlan) atomok száma

λ : bomlási állandó, bomlási valószínűség [1/s]

$1/\lambda = \tau$ idő! átlagos élettartam

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



megoldása: $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ **exponenciális
lecsengés**

N_0 : az elbomlatlan atomok száma kezdetben ($t = 0$)

22

Karakterisztikus idők: felezési idő, élettartam

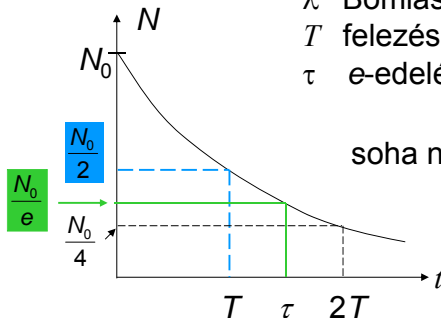
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

λ Bomlási állandó (bomlási valószínűség)

T felezési idő

τ e-edelési idő, átlagos élettartam

soha nem bomlik el az összes ?!



$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T} = \frac{1}{\tau}$$

23

Az aktivitás időbeli csökkenése

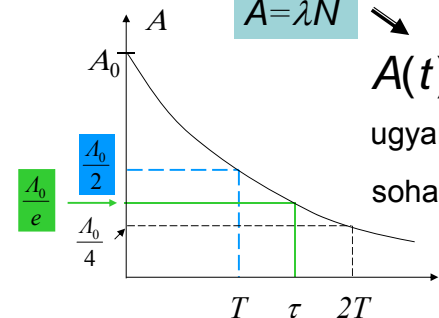
$$A = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \quad \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = \lambda N$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

ugyanúgy csökken mint az N

soha nem bomlik el teljesen?!



kb. 10 T alatt

1/1000 részre bomlik

24

Tipikus energia-nagyságrendek a mikrovilágban

külső elektronok
gerjesztése,
kilökése

eV (aJ)

fény



belső elektronpályák
közti átmenet

keV (fJ)

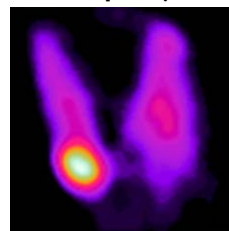
röntgensugár



atommag-
átalakulás

MeV (pJ)

r.a.sugárzás,
pl. γ



A FONTOSABB RADIOAKTÍV IZOTÓPOK JELLEMZŐ ADATAI:

kémiai elem és rendszáma	izotóp szimbóluma	fizikai felezési idő	bomlás módja	maximális részecske energiák (MeV)	γ -energia (MeV)	K_r dózis- konstans ($\mu\text{Gy}_{\text{lev}} \cdot \text{m}^2$ GBq · h)
hidrogén	1	^3H	12,33 év	β^-	0,0186	—
szén	6	^{11}C ^{14}C	20,4 perc 5760 év	β^+ β^-	0,96 0,155	—
nitrogén	7	^{13}N	10 perc	β^+	1,19	—
oxigén	8	^{15}O	2 perc	β^+	1,73	—
fluor	9	^{18}F	109,8 perc	β^+	0,633	—
nátrium	11	^{24}Na	15,02 óra	β^-, γ	1,392	2,754 1,369
foszfor	15	^{32}P	14,28 nap	β^-	1,710	—
kén	16	^{35}S	87,2 nap	β^-	0,167	—
kálium	19	^{40}K ^{42}K	1,28·10 ⁹ év 12,36 óra	$\beta^-, \text{K} (10\%)$ β^-, γ	1,31 3,52 (75%) 1,99 (25%)	1,46 K után 1,525
kalcium	20	^{45}Ca	163 nap	β^-	0,257	—
króm	24	^{51}Cr	27,7 nap	K, e^-, γ	0,315 (e ⁻)	0,320
vas	26	^{52}Fe ^{59}Fe	8,2 óra 44,6 nap	β^+, γ β^-, γ	0,8 1,566	0,5 1,30 1,10
kobalt	27	^{60}Co	5,272 év	β^-, γ	0,318	1,33 1,17

26

kémiai elem és rendszáma	izotóp szimbóluma	fizikai felezési idő	bomlás módja	maximális részecske energiák (MeV)	γ -energia (MeV)	K_r dózis- konstans ($\mu\text{Gy}_{\text{lev}} \cdot \text{m}^2$ GBq · h)
réz	29	^{64}Cu	12,74 óra	$\beta^- (39\%)$ $\beta^+ (19\%)$ $\text{K} (42\%)$ $\gamma (1\%)$	0,575 0,656	1,34
kripton	36	^{85}Kr	10,73 év	β^-, γ	0,687	0,514
rubídium	37	^{81}Rb ^{86}Rb	4,7 óra 18,65 nap	β^+, γ β^-, γ	0,99 1,78	1,93 0,95 1,078
stroncium	38	^{90}Sr	29 év	β^-	0,546	—
itrium	39	^{90}Y	64 óra	$\beta^-, \gamma (0,4\%)$	2,29	1,761
technécium	43	$^{99}\text{Tc}^m$	6,02 óra	γ	—	0,140
indium	49	$^{113}\text{In}^m$	1,658 óra	γ	—	0,391
jód	53	^{123}I ^{125}I ^{131}I	13,3 óra 59,7 nap 8,04 nap	K, γ K, γ β^-, γ	— 0,0355 0,606 0,25 0,81	0,16 — 0,364 0,080 0,723
xenon	54	^{133}Xe	5,29 nap	β^-, γ	0,346	0,081
cézium	55	^{137}Cs	30,1 év	β^-, γ	0,512 (92,6%) 1,173 (7,4%)	0,661
arany	79	^{198}Au	2,695 nap	β^-, γ	0,961	0,411
higany	80	^{203}Hg	46,6 nap	β^-, γ	0,212	0,279
radon	86	^{222}Rn	3,824 nap	α	5,489	—
rádium	88	^{226}Ra	1600 év	$\alpha, \gamma (6\%)$	4,784	0,186 0,260 0,609
urán	92	^{238}U	4,47·10 ⁹ év	α, γ	4,2	0,048

Stabilitás szerint

stabil magok

kb. 270 ilyen atommagot ismerünk, például: ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O

elsődleges természetes radionuklidok

olyan természetes radioaktív magok, amelyek megtalálhatóak a naprendszer keletkezése óta, felezési idejük nagyon hosszú
26 ilyen mag ismert

pl: ^{238}U ($T=4,47 \cdot 10^9$ év), ^{40}K ($T=1,28 \cdot 10^9$ év), ^{87}Rb ($T=4,8 \cdot 10^{10}$ év)

másodlagos természetes radionuklidok

olyan magok, amelyek elsődleges természetes radionuklidok keletkezése révén bomlanak
felezési idejük (nagyon) rövid, a Naprendszer keletkezése óta nem találhatóak meg
38 ilyen mag ismert, pl: ^{226}Ra ($T=1600$ év), ^{234}Th ($T=24,1$ nap)

indukált természetes radionuklidok

állandóan keletkeznek a kozmikus sugárzás hatására
10 ilyen mag ismert, pl: ^3H ($T=12,3$ év), ^{14}C ($T=5730$ év)

mesterséges radionuklidok

emberi tevékenység során keletkeztek, a természetben nincsenek jelen
2000 ilyen mag ismert, pl: ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{24}Na

28