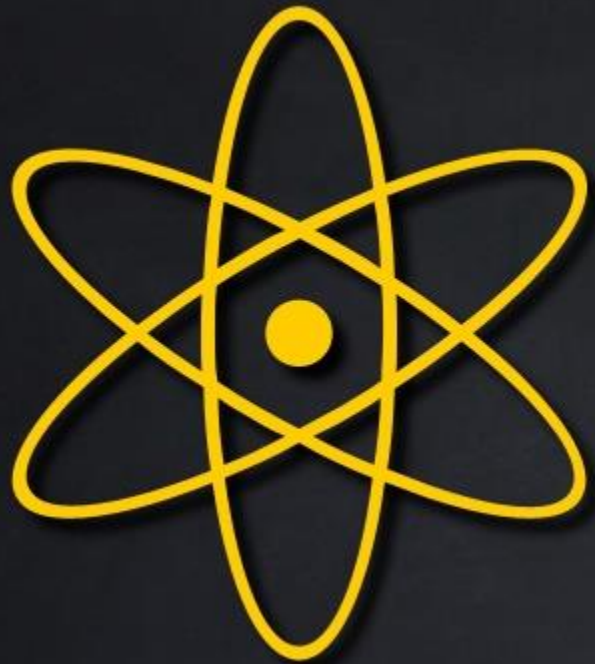




A radioaktivitás

A radioaktivitás felfedezése

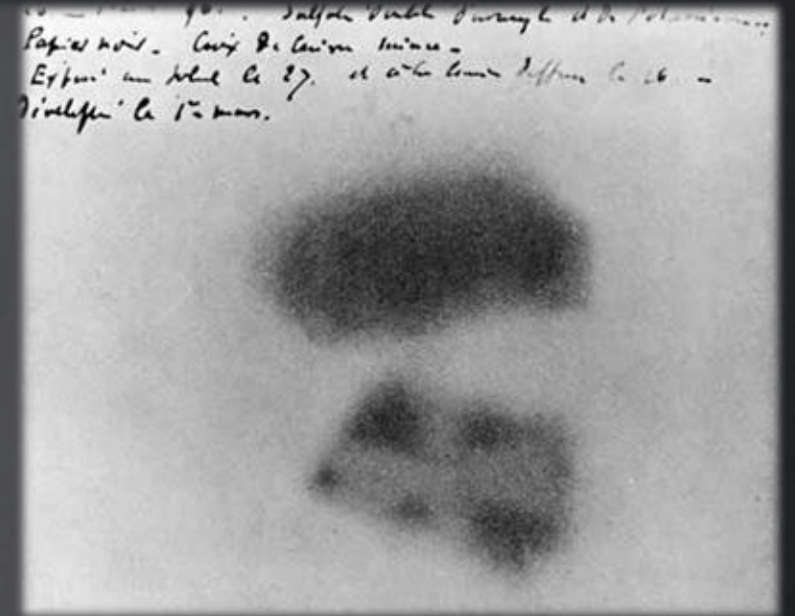
- **Henri Becquerel (1896)**

- Az uránsó ($\text{K}_2\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sugárzása
- fotólemez elfeketedett fény nélkül

- **Marie és Pierre Curie (1898)**

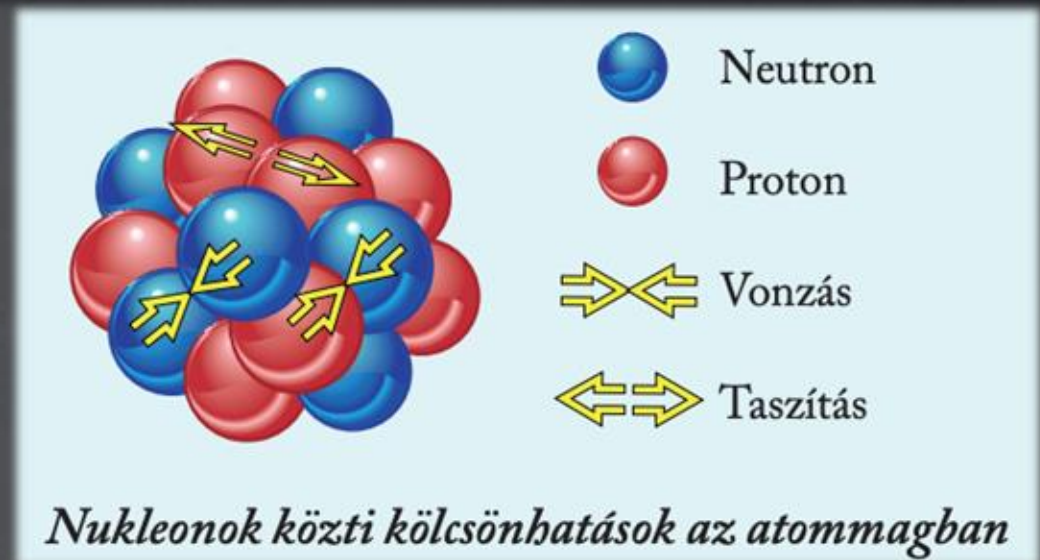
- "radioaktivitás" elnevezése
- Szurokérc (uraninit) vizsgálata során felfedezik
 - A polóniumot ($_{84}\text{Po}$)
 - A rádiumot ($_{88}\text{Ra}$)

- Nobel-díj (1903) – Megosztva a három tudós között

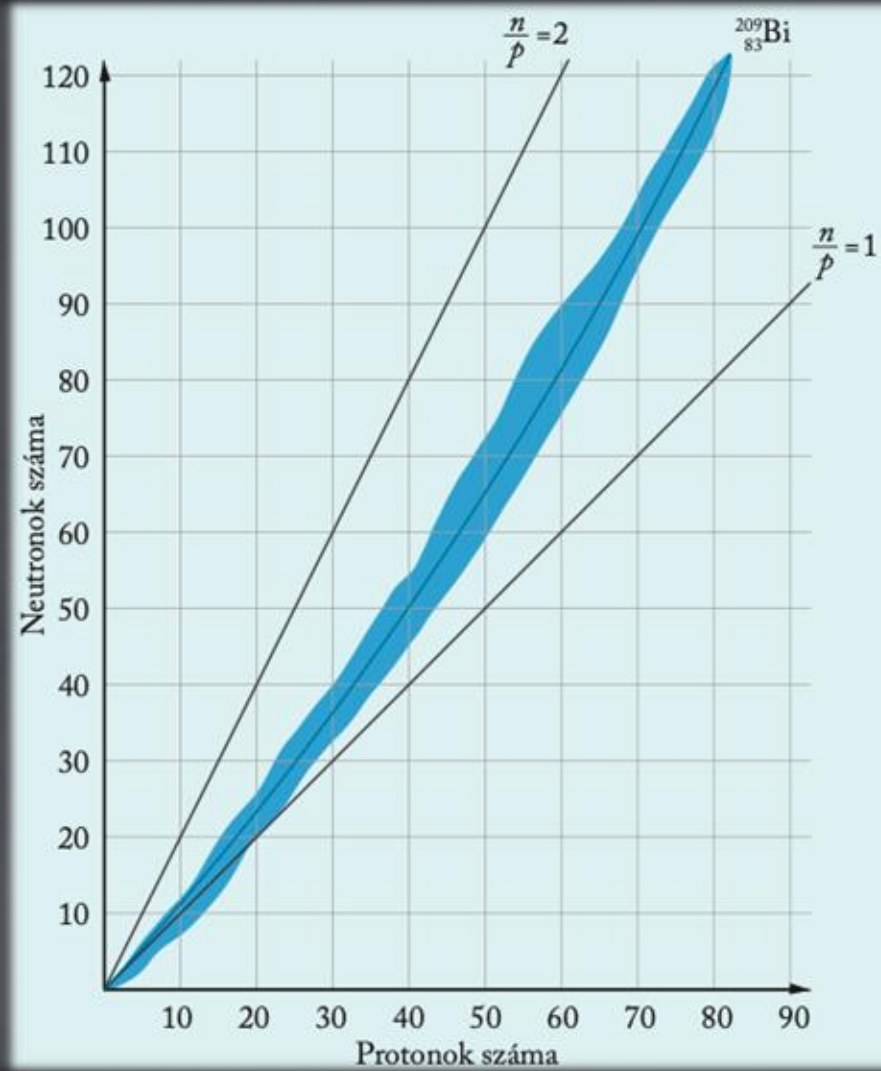


Az atommag stabilitása

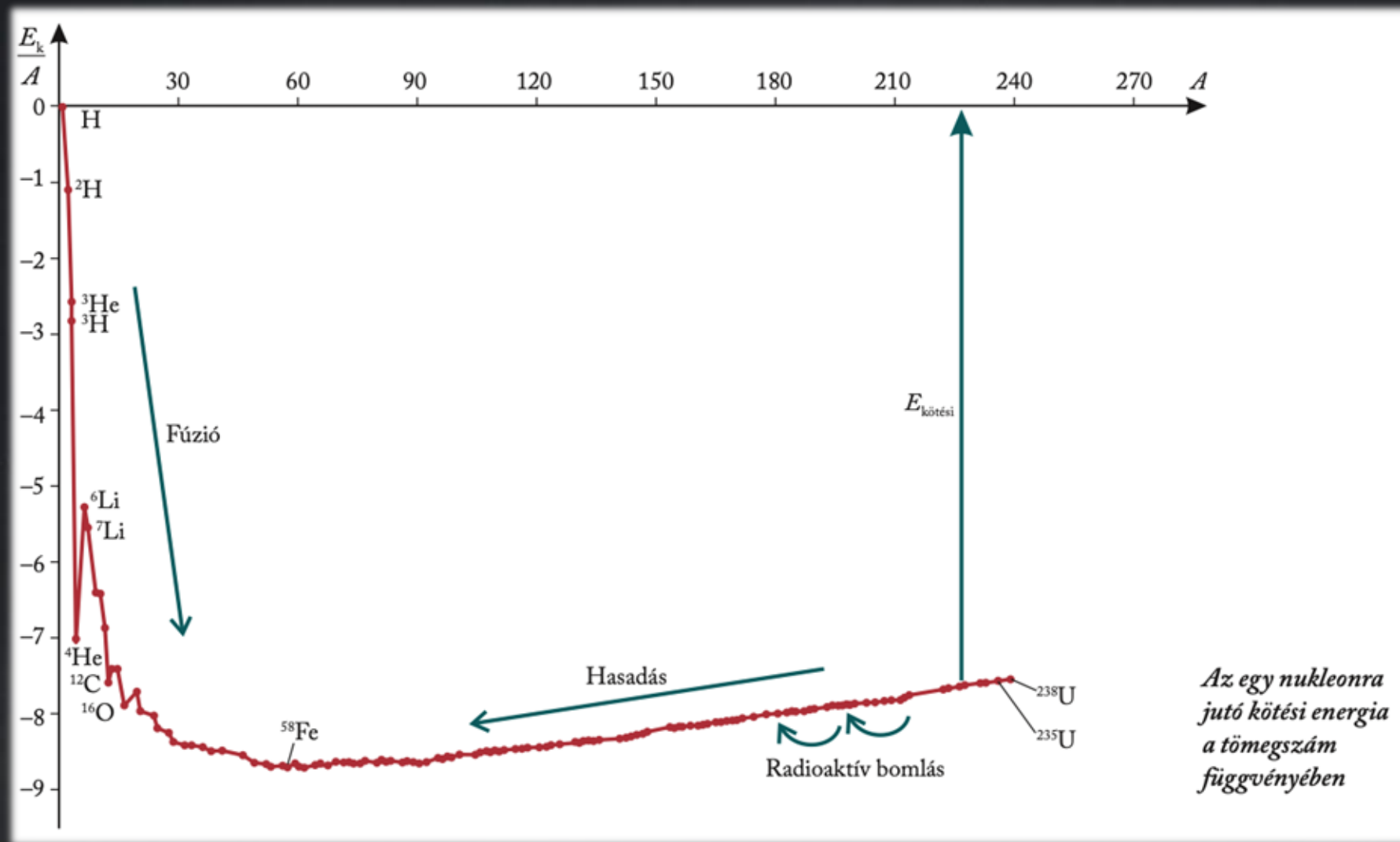
- Rövid hatótávolságú, vonzó erő a nukleonok (p^+ és n^0) között
- Hosszú hatótávolságú, taszító erő a protonok között (Coulomb-erő)
- Ha a neutron/proton arány (N/Z) eltér az optimálistól, a mag instabillá válik (Stabilitási sáv)
- $Z > 82$ (Ólom) felett minden elem instabil (Rendszámhatár)



Stabilitási sáv

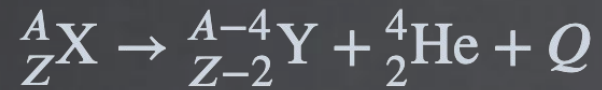


A radioaktív bomlás

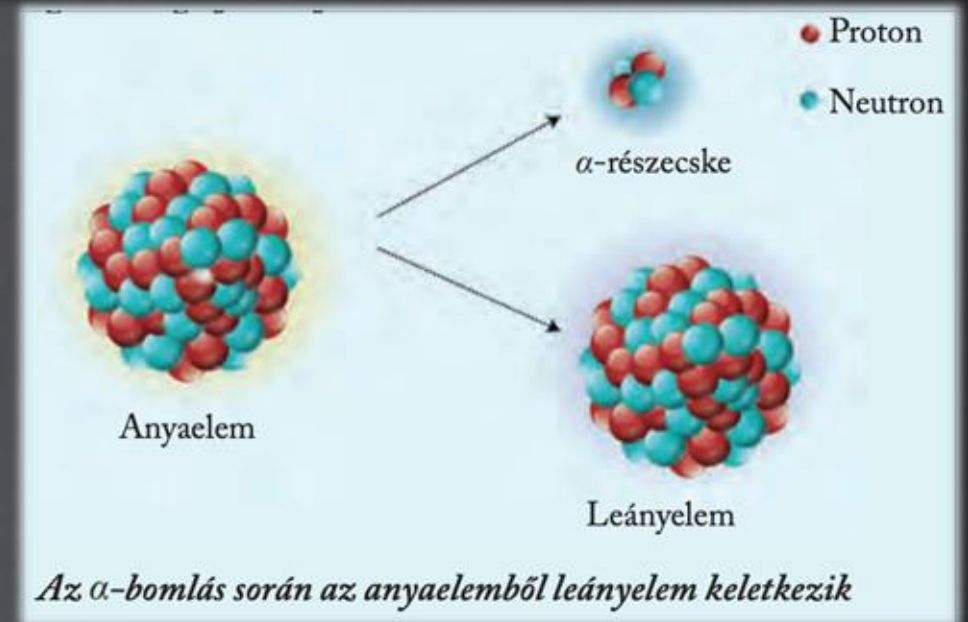


Alfa-bomlás (α)

- Egy hélium-mag (${}_2^4\text{He}$) kilöködése (2 proton, 2 neutron)

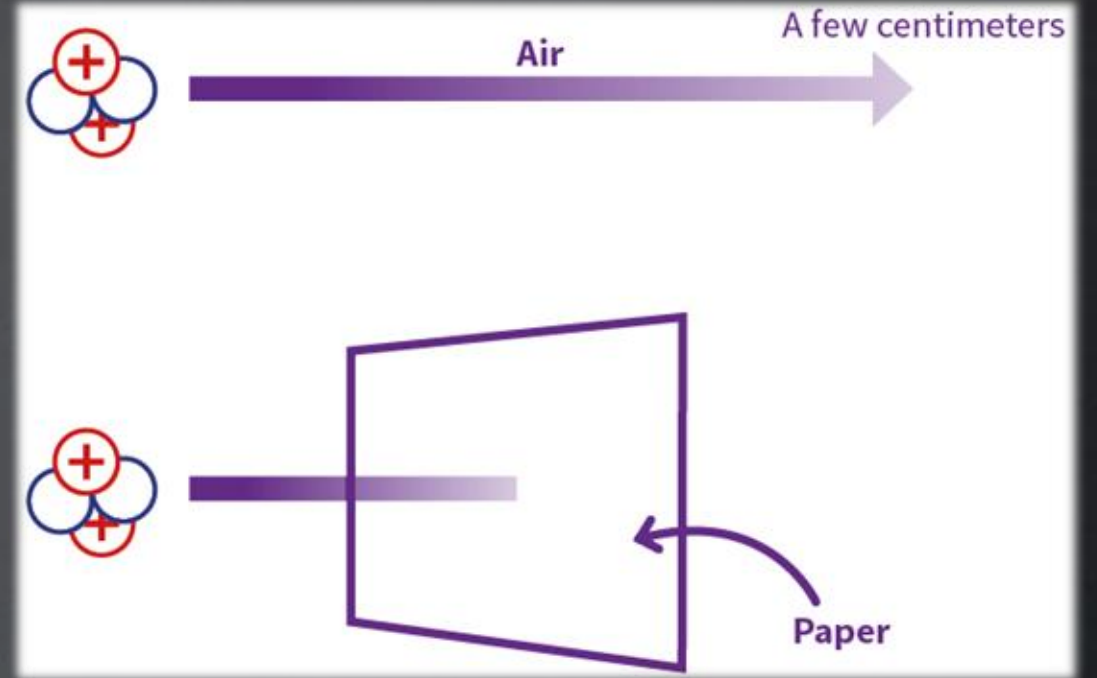


- X: Anyamag
- Y: Leánymag
- A: Tömegszám (nukleonok száma)
- Z: Rendszám (protonok száma)
- Q: Felszabaduló energia (Bomlási energia)



Alfa-bomlás (α)

- **Nagy tömeg**
- **+2 töltés**
- **5%-a a fénysebességnek**
- **Áthatolóképesége alacsony**
 - 5 cm levegőben
 - Egy papírlap megállítja



Alfa-bomlás (α) – Példák

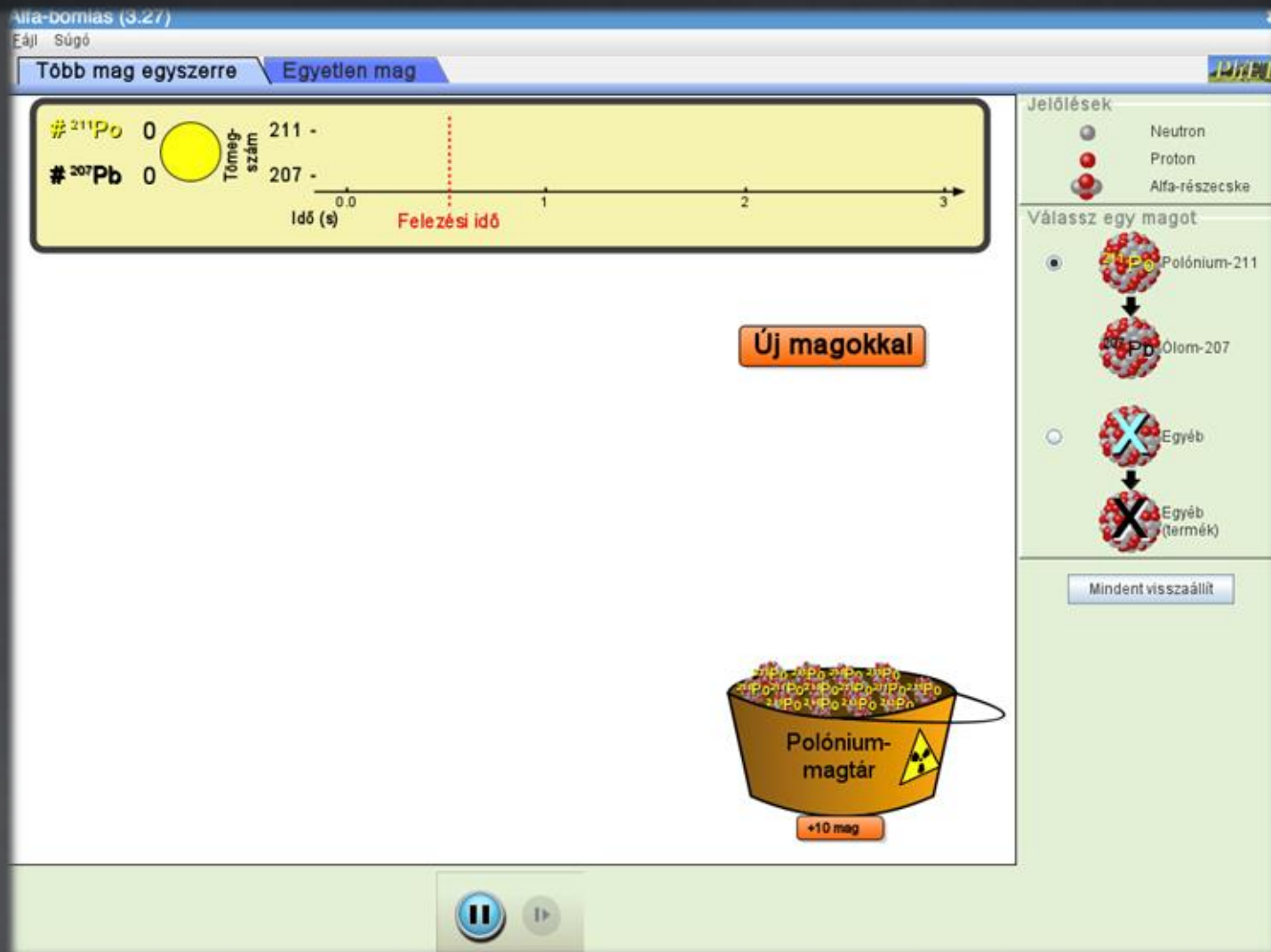
- A természetben előforduló urán 99,28%-a ${}_{92}^{238}\text{U}$ izotóp, amely α -bomlással tóriummá alakul:



- A Curie házaspár által felfedezett ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ α -bomlással légnemű radonizotóppá alakul át, amely a lakossági sugárterhelés kb. 50%-át okozza:

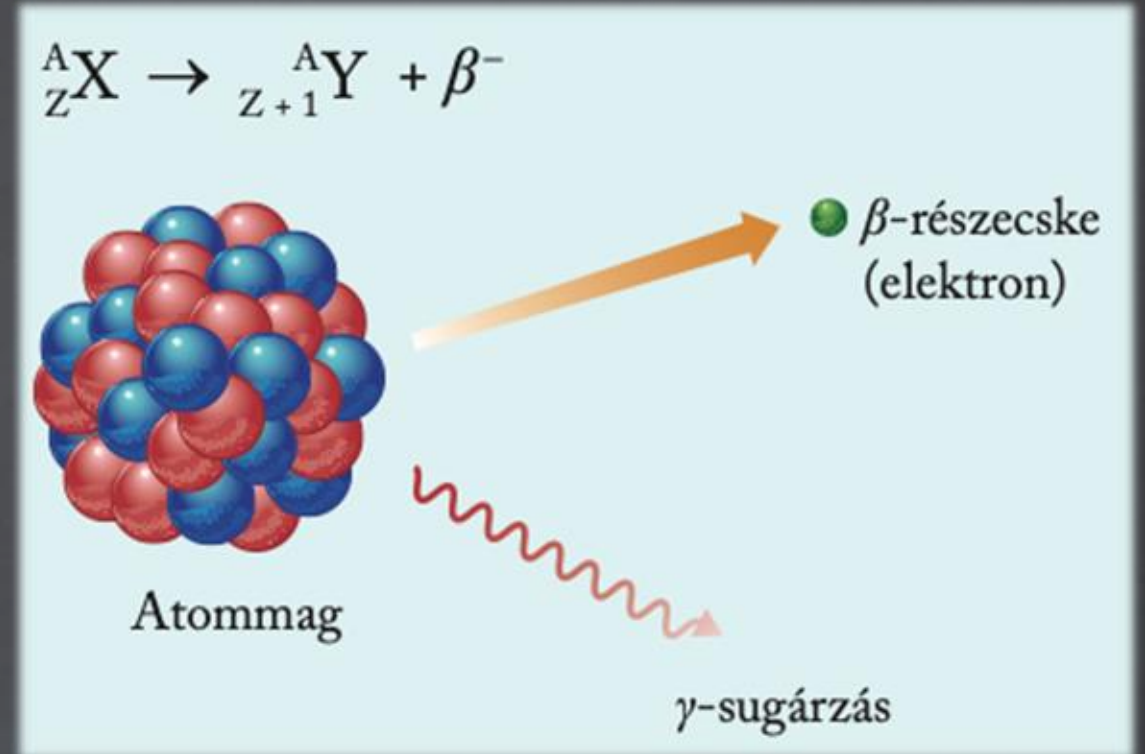


Alfa-bomlás (α)



A negatív β -bomlás (β^-)

- **Tömegszám nem változik**
- **Rendszám eggyel nő**
- **Az atommagban egy neutron protonná alakul át**
- **az atommagból távozik:**
 - Egy elektron (β^- -részecske)
 - γ -sugárzás
 - (Egy antineutrínó)

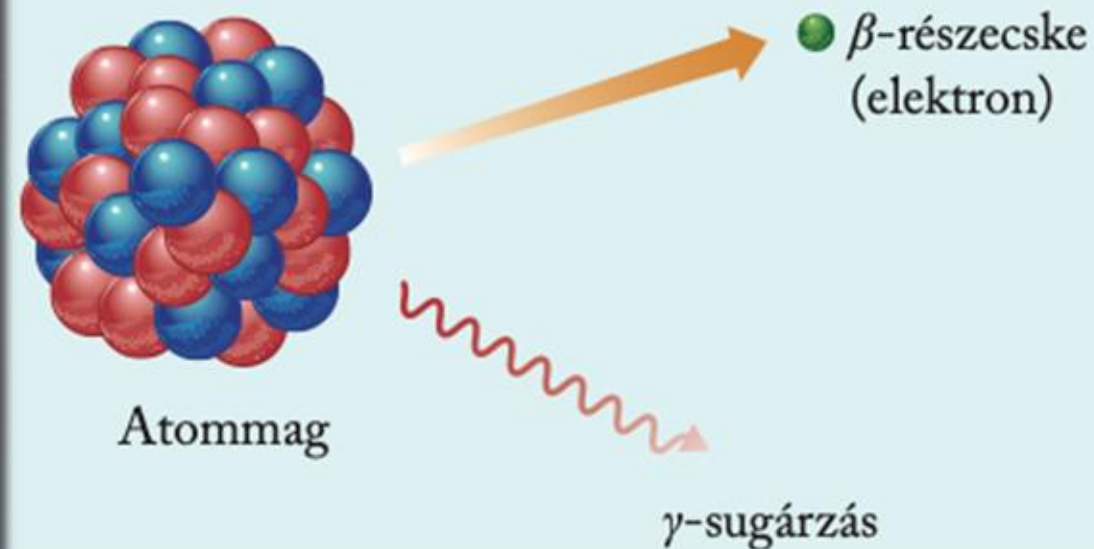
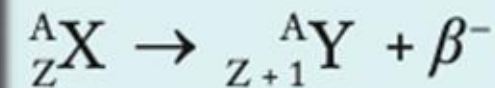


A negatív β -bomlás (β^-)

- **Stabil proton-neutron arányhoz képest neutrontöbblet áll fenn**

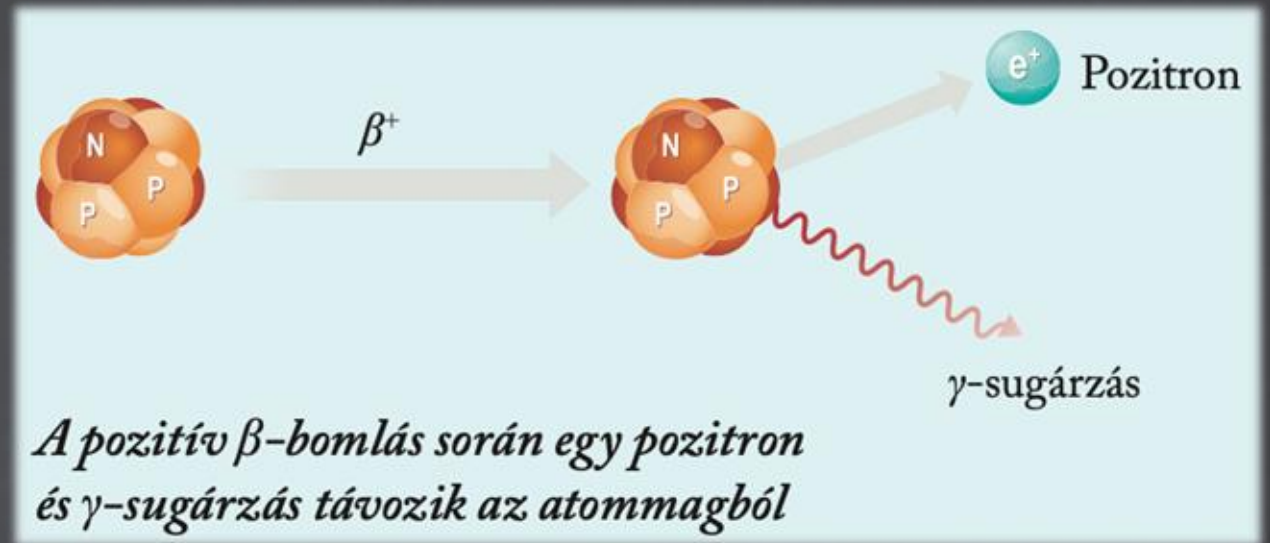


- **Háttérsugárzás kb. 12%-át okozó ${}_{19}^{40}\text{K}$ izotóp β^- -bomlással kalciummá alakul (banánban is):**



A pozitív β -bomlás (β^+)

- Proton alakul át neutronná
- Az atommagból távozik:
 - Egy pozitron (β^+ -részecske, e^+)
 - γ -sugárzás
 - (Egy neutrínó)
- Leányelem rendszáma
eggyel csökken
- Tömegszám nem változik

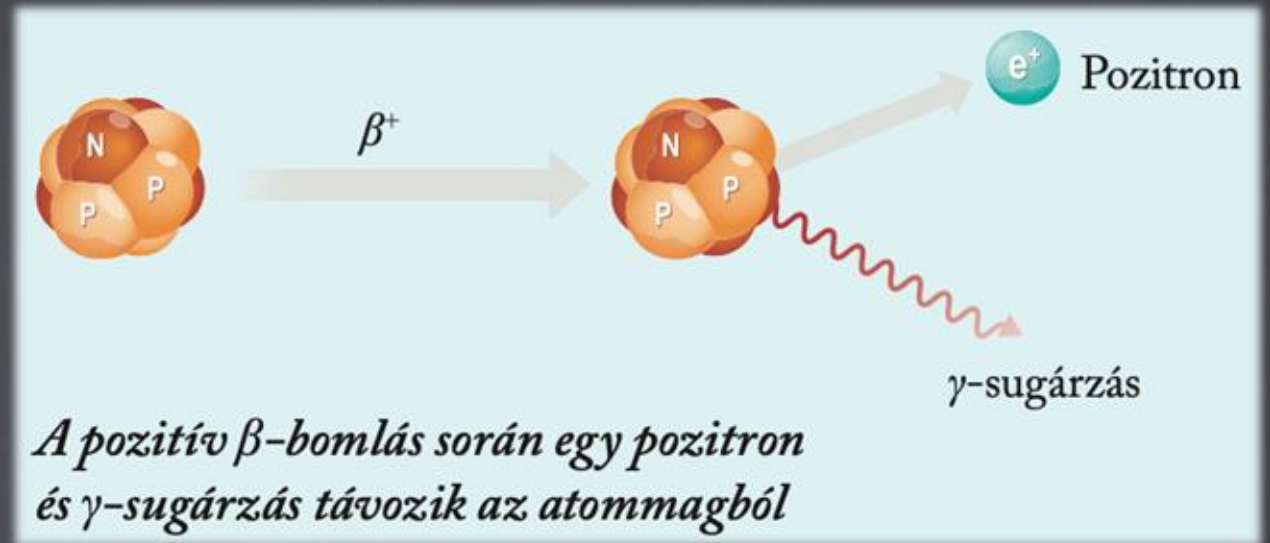


A pozitív β -bomlás (β^+)

- A jelenség a stabilitási sávhoz képesti protonfelesleg esetén következik be:



- A $_{11}^{22}\text{Na}$ a kozmikus sugárzás következtében keletkezik, pozitronkibocsátással $_{10}^{22}\text{Ne}$ izotóppá alakul át:



A pozitron (e^+)

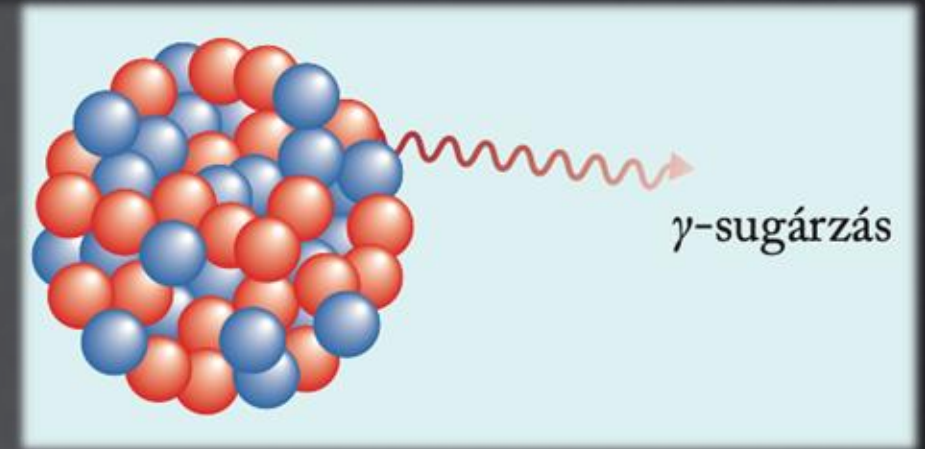
- Az elektron antimateriális párja
- Párkeltéssel keletkezik, egy elektron párjaként
- Carl David Anderson fedezte fel (1932)
- Ködkamrában vizsgálható



Anderson ködkamrafelvétele a pozitron nyomáról. 6 mm-es ólomlemez választja el a kamrát, amelyen áthaladva az energiát veszít, lehetővé téve a mozgásirány meghatározását.

Gamma-sugárzás (γ)

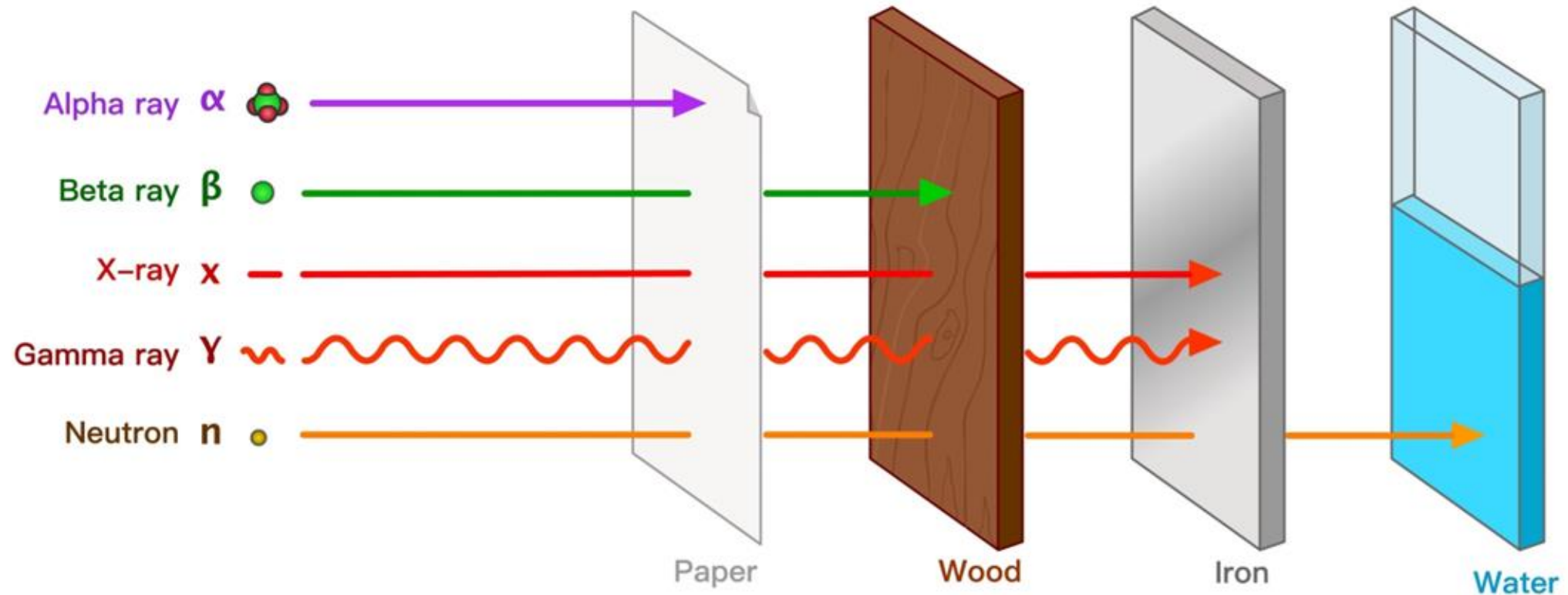
- **Kísérőjelensége az α - vagy β -bomlásnak**
 - Ezek során keletkező többlet-energiától szabadul meg
- **Nagy frekvenciájú foton (elektromágneses hullám)**
- **$f > 10^{19}$ Hz**
- **Tömegszám, rendszám állandó marad**



Sugárzások permeabilitása

Radiation and Penetration Types

Permeability of alpha, beta, x, gamma rays and neutron in paper sheet, wood, iron plate and water

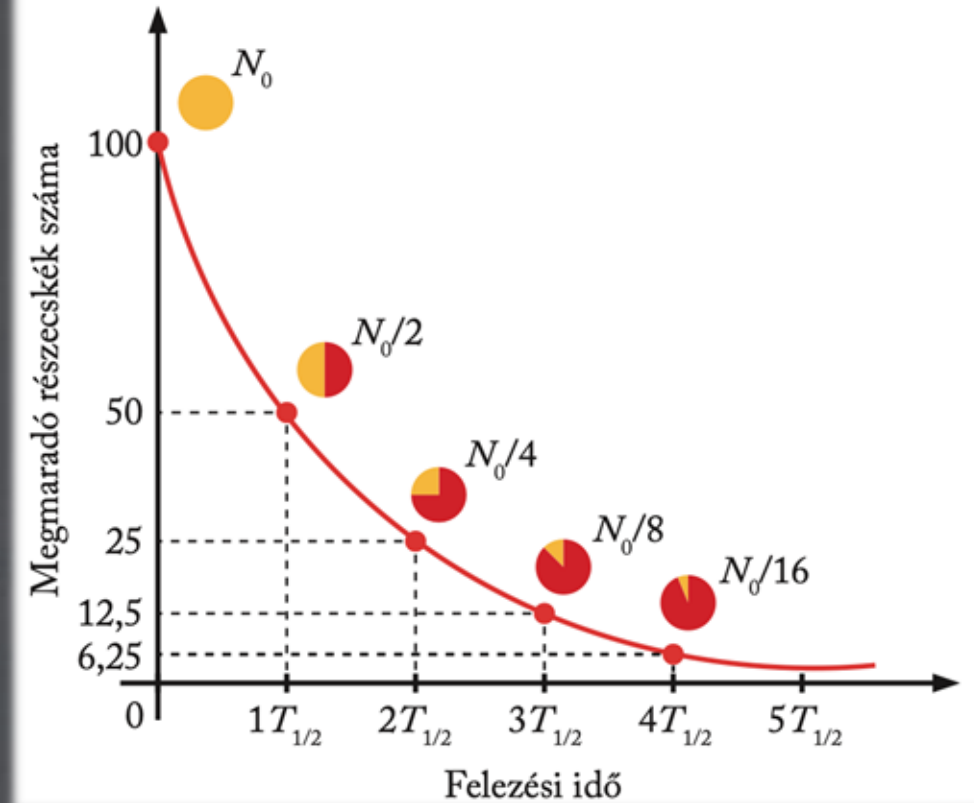


A radioaktív bomlás – Felezési idő

- Időbeni lefolyására bevezették

a felezési időt:

- „Felezési időnek nevezzük azt az időt, ami alatt a radioaktív részecskék száma a felére csökken”
- Jele: $T_{1/2}$
- Semmilyen külső körülménytől nem függ
- A „törvény” statisztikus jellegű

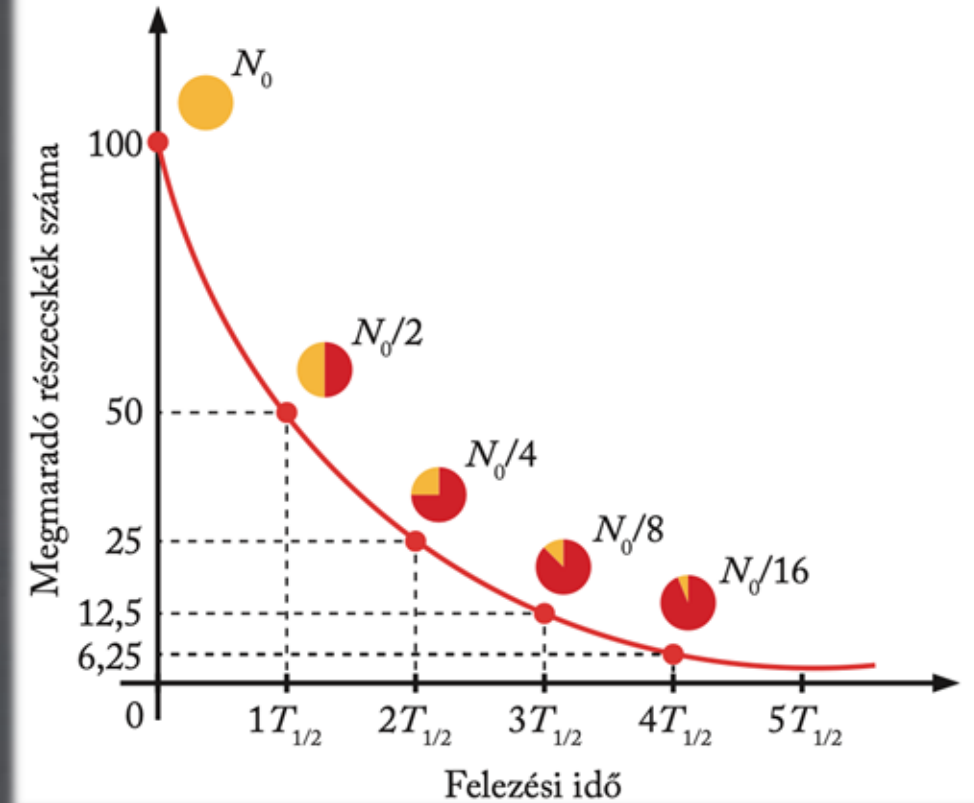


A radioaktív bomlás – Felezési idő

- Exponenciális bomlástörvényre vonatkozó összefüggés:

$$N_t = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

- N_0 : kezdeti atommagok száma,
- N_t : t idő után is megmaradó részecskék száma
- $T_{1/2}$ jelöli a felezési idő
- t ideig figyeljük a bomlást



A radioaktív bomlás – Felezési idő

Elem vegy- jele	Rend- szám (Z)	Tömeg- szám (A)	Felezési idő ($T_{1/2}$)	A bomlás módja, energiája (MeV)
P	15	32	14,3 nap	β^- (1,71 MeV)
Co	27	60	5,271 év	β^- (1,71 MeV)
Sr	38	90	28,5 év	β^- (1,71 MeV)
Tc	43	99	6,01 óra	γ (0,14 MeV)
I	53	123	13,2 óra	K-befogás; γ (0,16 MeV)
Th	90	232	$1,405 \cdot 10^{10}$ év	α (4,01 MeV)

A radioaktív izotópok felezési ideje $\approx 10^{-7}$ s és $\approx 10^{17}$ év közé esik

A radioaktív bomlás – Bomlási állandó

- Annak a valószínűségét adja meg, hogy egy atommag 1 másodperc alatt elbomlik:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{T_{1/2}}$$

- A megmaradó atommagok számát a bomlási állandóval is kifejezhetjük:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = N_0 \cdot e^{\ln 2 \cdot \left(-\frac{t}{T_{1/2}}\right)} = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

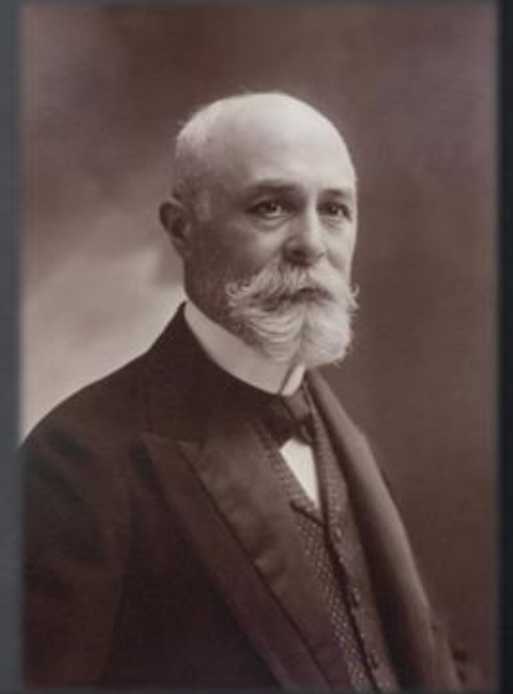
Az aktivitás

- Bizonyos mennyiségű anyagban az egy másodperc alatt elbomlott részecskék száma

$$A = \lambda \cdot N$$

(Bomlási sebesség):

- Mértékegysége: $\frac{1}{s}$
- Becquerelről elnevezve Bq-val jelölnek
- Nem SI mértékegysége a Curie (Ci)



Az aktivitás és a bomlástörvény kapcsolata

- Az aktivitás felírható az exponenciális

bomlási törvény felhasználásával is:

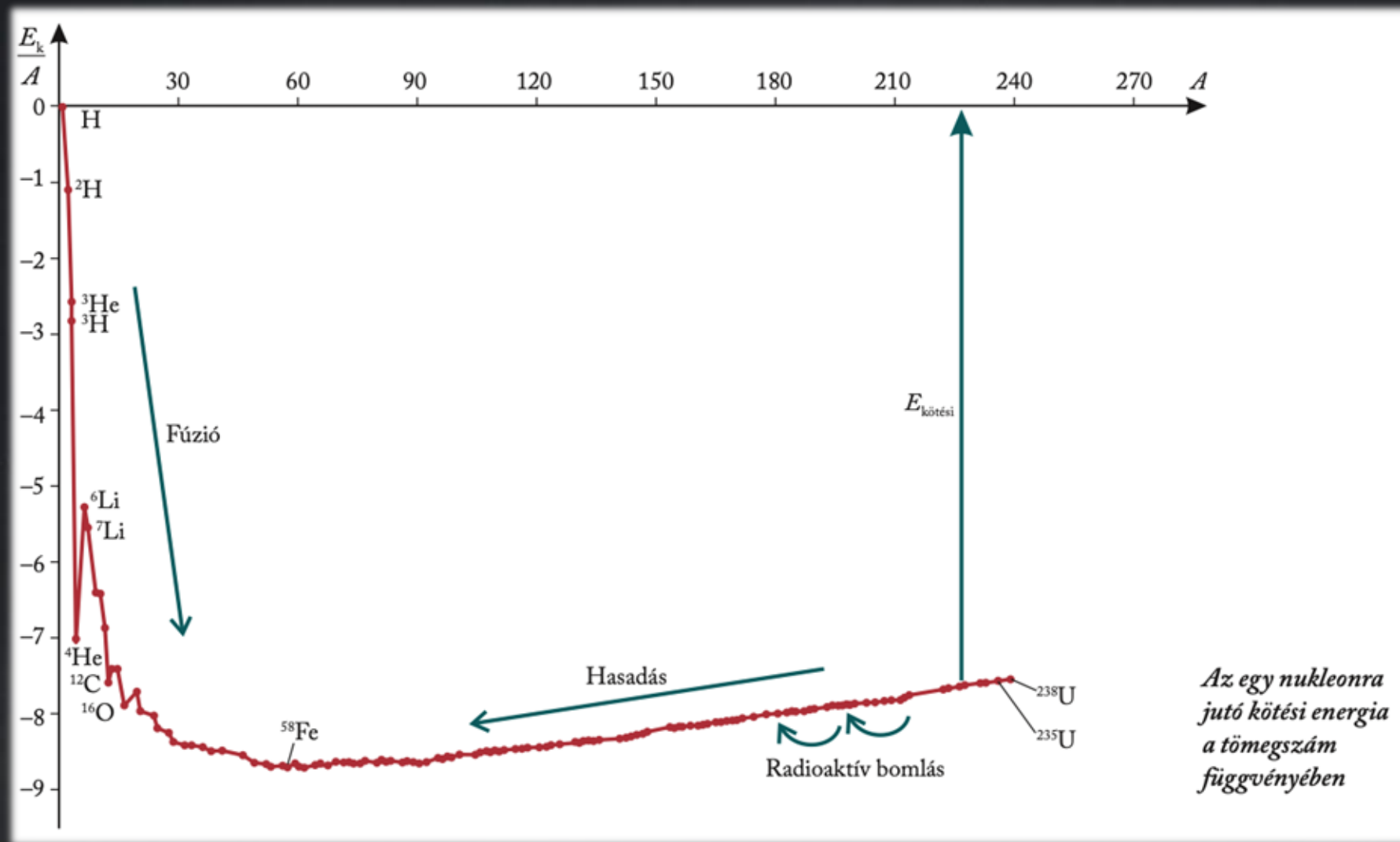
$$A = \lambda \cdot N = \lambda \cdot N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

- Ebből következőleg felírható a bomlási

állandónál levezett összefüggés:

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

A radioaktív bomlás



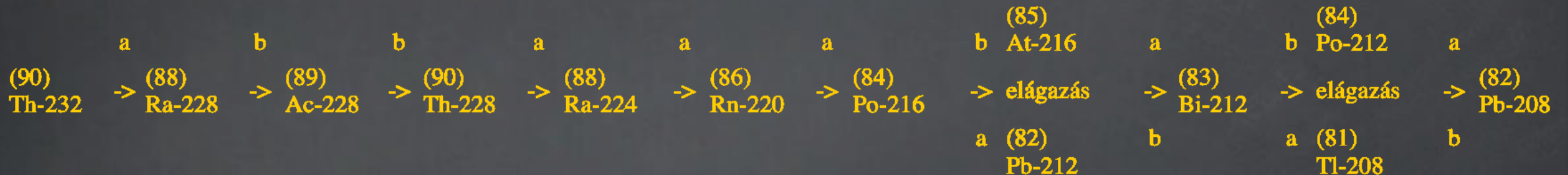
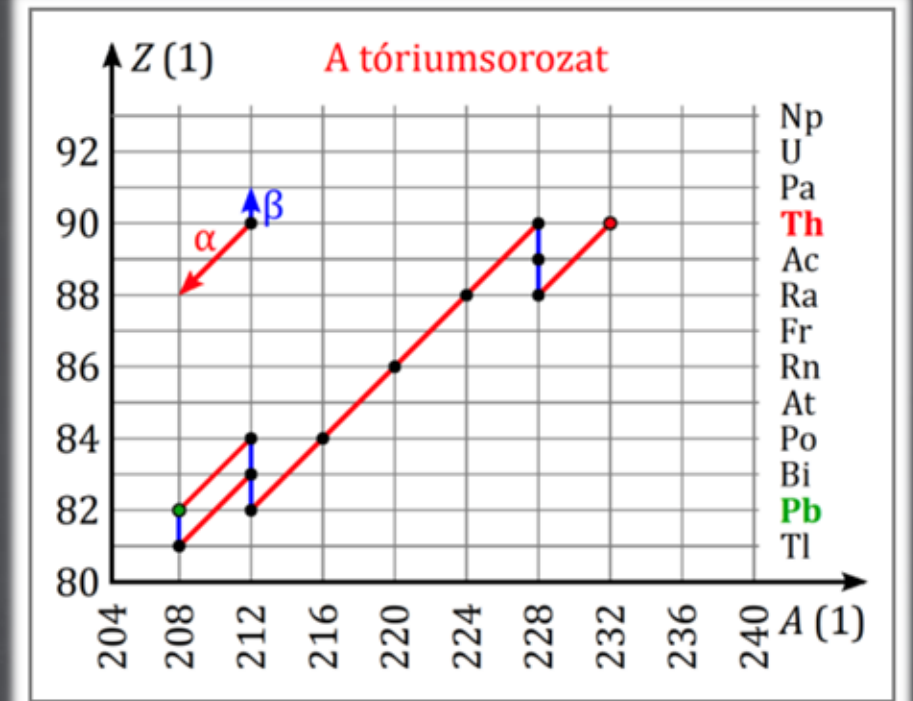
A radioaktív bomlási sorok

- Radioaktív atommag stabil atommaggá alakulását írja le
- Négy fő sor létezik:
 - Tórium ($4n$)
 - Neptúnium ($4n + 1$)
 - Urán ($4n + 2$)
 - Aktínium ($4n + 3$)
- A kiindulási izotóp tömegszámának 4-gyel oszthatósága határozza meg

	A bomlási sor neve	A bomlási sor első izotópja	Bomlási sor leghosszabb felezési ideje (év)	A bomlási sort lezáró stabil izotóp
$4n$	tórium	${}^{232}_{90}\text{Th}$	$1,41 \cdot 10^{10}$	${}^{82}_{208}\text{Pb}$
$4n+1$	neptúnium	${}^{237}_{93}\text{Np}$	$2,14 \cdot 10^6$	${}^{205}_{81}\text{Tl}; {}^{209}_{83}\text{Bi}$
$4n+2$	urán	${}^{238}_{92}\text{U}$	$4,47 \cdot 10^9$	${}^{206}_{82}\text{Pb}$
$4n+3$	aktínium	${}^{235}_{92}\text{U}$	$7,04 \cdot 10^8$	${}^{207}_{82}\text{Pb}$

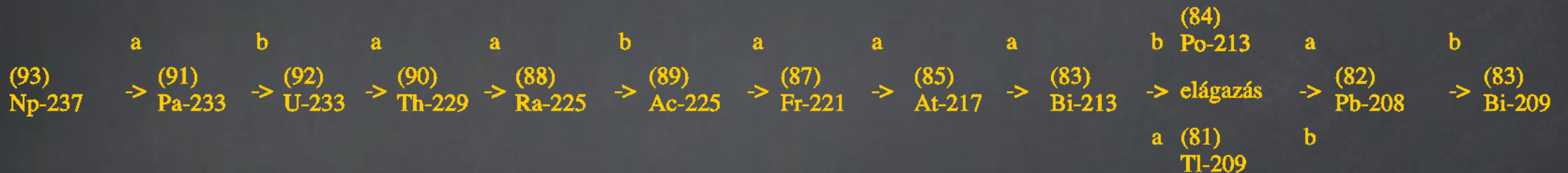
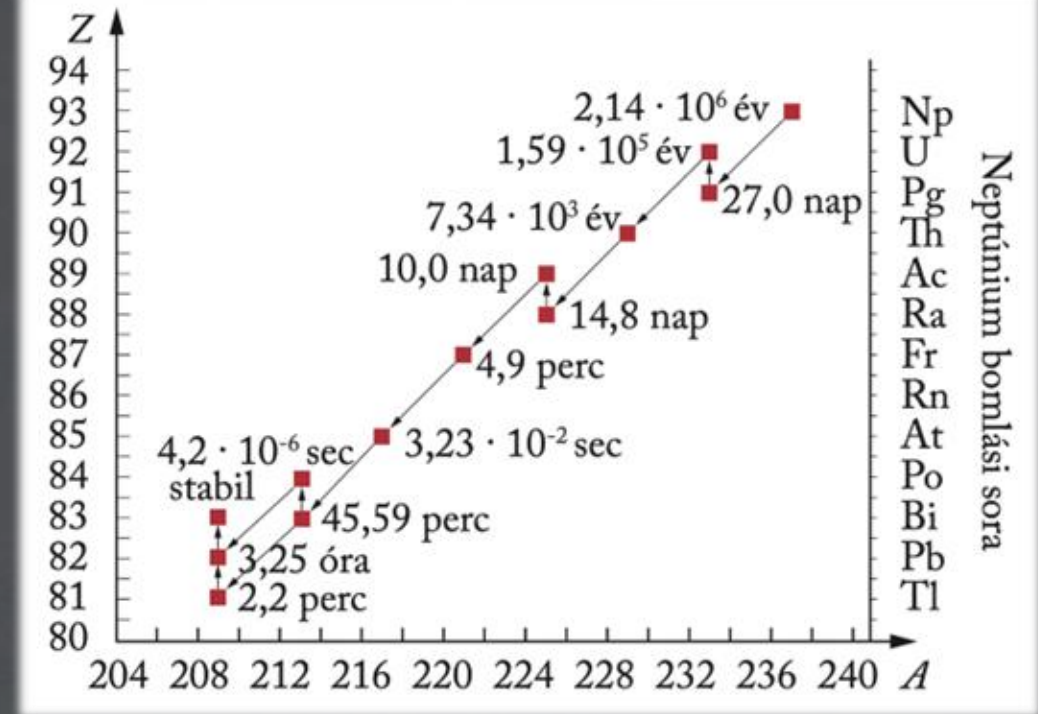
A radioaktív bomlási sorok – Tórium ($4n$)

- Anyaelem: ${}_{90}^{232}\text{Th}$
- $T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$ év
- $232 / 4 = 58$
- Gyakori a természetben



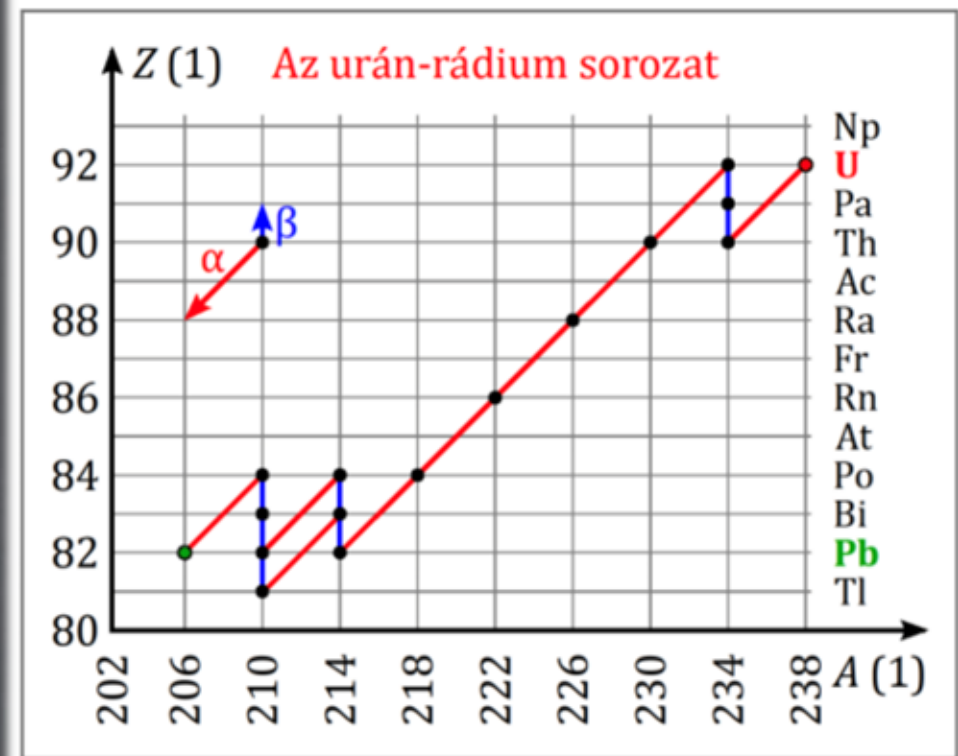
A radioaktív bomlási sorok – Neptúnium ($4n + 1$)

- Anyaelem: ${}_{93}^{237}\text{Np}$
- $T_{1/2} = 2,14 \cdot 10^6 \text{ év}$
- $(237 - 1) / 4 = 59$
- Természetben már nem létezik, mert az anyaelem felezési ideje nem elég hosszú



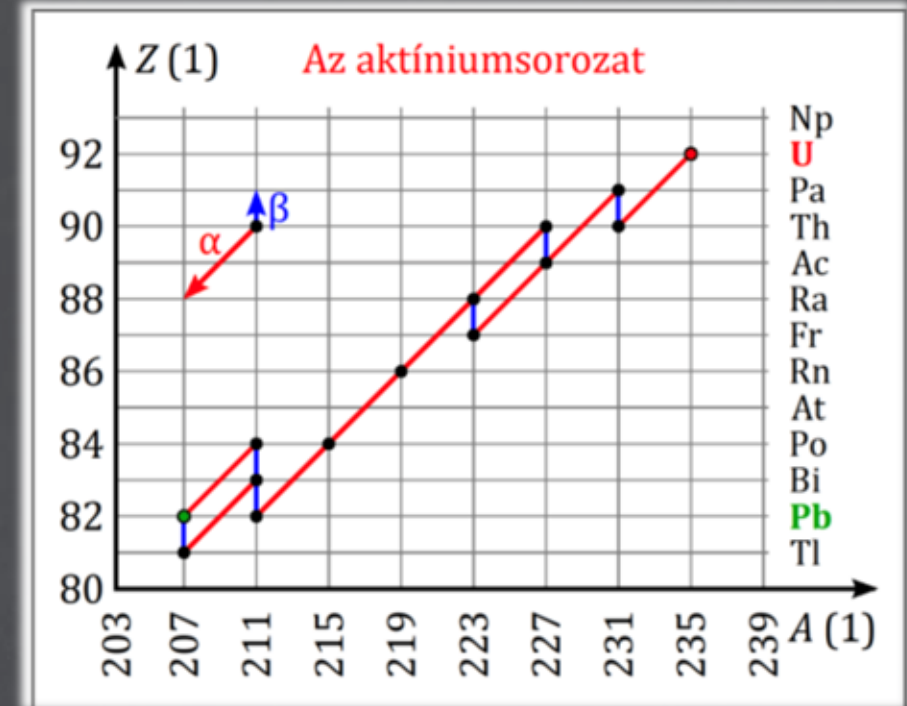
A radioaktív bomlási sorok – $^{238}\text{Urán}$ ($4n + 2$)

- Anyaelem: ${}_{94}^{238}\text{U}$
- $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ év
- $(238 - 2) / 4 = 59$
- Másnéven rádium (Ra) sorozat, mert az uránérc mellett fellelhető ez a bomlási termék is



A radioaktív bomlási sorok – Aktínium ($4n + 3$)

- Anyaelem: ${}_{92}^{235}\text{U}$
- $T_{1/2} = 704 \cdot 10^6$ év
- $(235 - 3) / 4 = 58$
- Anyaeleme a 235-ös uránizotóp, de annak bomlási termékéről kapta nevét (${}_{89}^{227}\text{Ac}$)



	a	b	b	(89) Ac-227	a	a	a	b	(85) At-215	a	b	(84) Po-211	a							
(92) U-235	->	(90) Th-231	->	(91) Pa-231	->	elágazás	->	(88) Ra-223	->	(86) Rn-219	->	(84) Po-215	->	elágazás	->	(83) Bi-211	->	elágazás	->	(82) Pb-207
				a	(87) Fr-223	b			a	(82) Pb-211	b		a	(81) Tl-207	b					

A radioaktivitás hatásai – Az emberi szervezetre

- Ekvivalens dózisban (H) mérjük, tömegarányosan:
$$H = Q \cdot \frac{E}{m}$$
 - Q : Minőségi tényező
(A mért sugárzás és a gamma sugárzás hányadosa)
 - E : Elnyelt energia (J)
 - m : A besugárzott anyag tömege kilogrammban (kg)
 - Mértékegysége a Sievert (Sv)

A radioaktivitás hatásai – Minőségi tényező

Sugárzás típusa	Minőségi tényező (Q)	Biológiai hatás / Magyarázat
Röntgen- és Gamma-sugárzás	1	Referenciaérték; ritkán ionizál a szövetben.
Béta-sugárzás (elektronok)	1	Hasonló a gamma-sugárzáshoz, alacsonyabb roncsolás.
Lassú (termikus) neutronok	5	Közepes roncsolás a magreakciók miatt.
Gyors neutronok / Protonok	10 - 20	Súlyos roncsolás a DNS-ben a nagy tömeg miatt.
Alfa-sugárzás	20	Rendkívül veszélyes szervezetbe jutva (erős ionizáció).

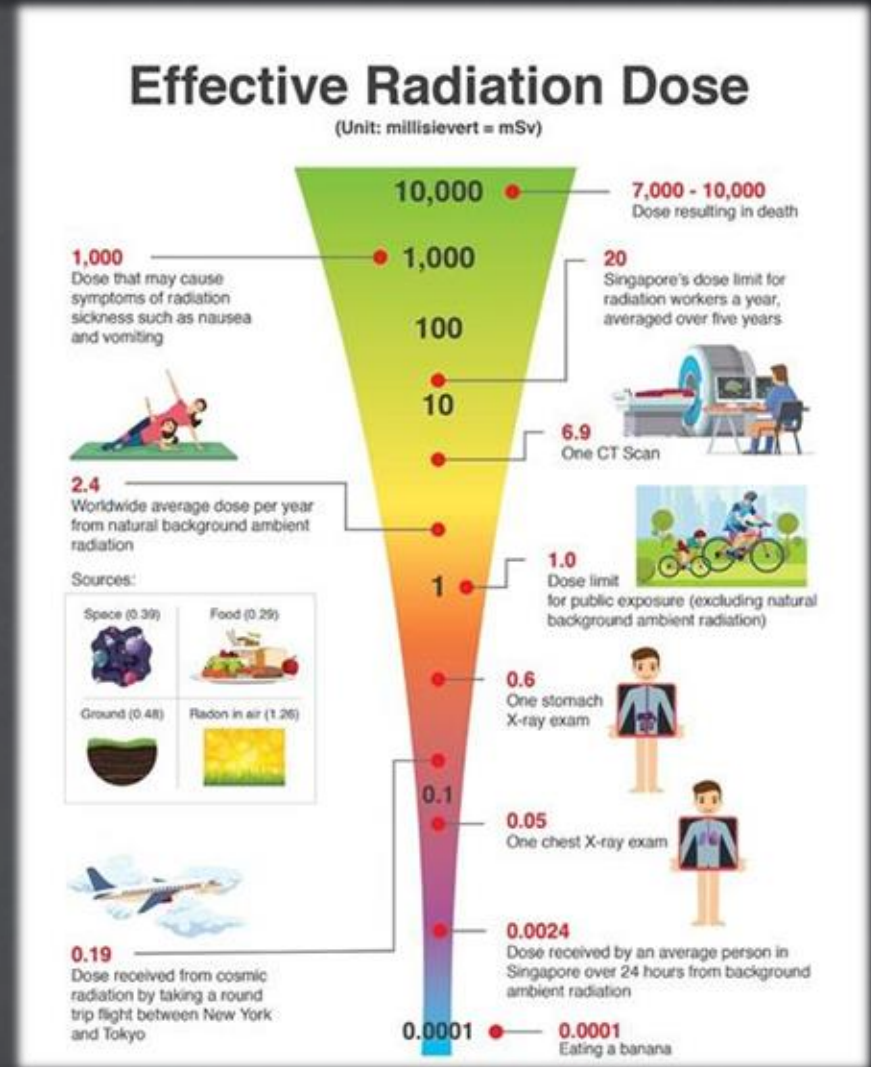
A radioaktivitás hatásai – Az emberi szervezetre

Chest X-ray	0.1 mSv
Average background exposure in one year	3 mSv
Abdominal X-ray	4 mSv
Living on the Colorado Plateau for one year	4.5 mSv
Typical yearly dose for a uranium miner	5-10 mSv
Full-body CT scan	10 mSv
Lowest dose for any statistical risk of cancer	50 mSv
Mild radiation sickness (headache, risk of infection)	0.5-1 Sv
Light radiation poisoning (mild to moderate nausea, fatigue, 10% risk of death after 30 days)	1-2 Sv
Severe radiation poisoning (vomiting, hair loss, permanent sterility, 35% risk of death after 30 days)	2-3 Sv
Severe radiation poisoning (bleeding in mouth and under skin, 50% risk of death after 30 days)	3-4 Sv
Acute radiation poisoning (60% fatality risk after 30 days)	4-6 Sv
Acute radiation poisoning (bone marrow destroyed, nearly 100% fatality after 14 days)	6-10 Sv
Acute radiation poisoning (symptoms appear within 30 minutes, massive diarrhea, internal bleeding, delirium, coma)	10-50 Sv
Coma in seconds or minutes, death within hours	50-80 Sv
Instant death*	>80 Sv

* Actually, an instant death would be ideal. There have been a couple of recorded cases where people have been exposed to levels over 100 Sv and lived for hours or days.

A radioaktivitás hatásai – Az emberi szervezetre

- **$H < 250 \text{ mSv}$ (millisievert)**
 - Nincs kimutatható hatása
- **$H > 6000 \text{ mSv}$**
 - Halálos dózis
 - Csernobil dolgozói, meghaltak 1 hónapon belül



A radioaktivitás alkalmazásai

- **Orvostudomány:**

- Diagnosztika (pl. PET-scan, SPECT)
- Terápia (pl. rákbetegség kezelésére)

- **Ipar és Mezőgazdaság:**

- Anyagvizsgálat
- Vastagságmérés
- Sterilizálás

- **Kutatás és Régészet:**

- Kormeghatározás
- Nyomjelzés

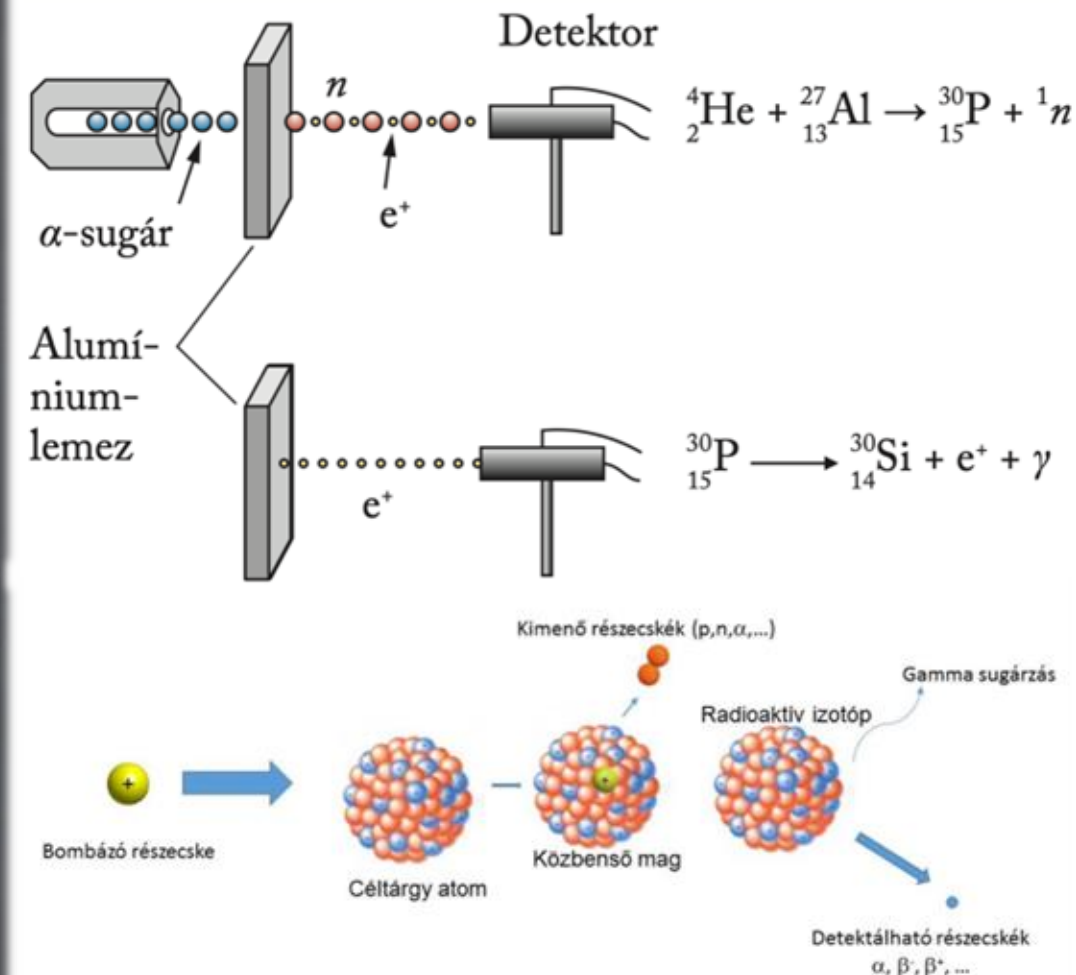
- **Energiaellátás:**

- Atomreaktorok működtetése energiatermelésre

A radioaktivitás alkalmazásai – Izotópok előállítása

- **Joliot-Curie házaspár (1934):**

- Alumíniumlemezt bombáztak α -részecskékkel
- Sugárzás befejeztével is pozitronáramot tapasztaltak (β^+)
- A sugárzás mértéke a bomlási törvénnyel megegyezett
- Megállapították, 30-as tömegszámú foszfor keletkezett



Köszönöm a figyelmet!