

Bomlási sorok:

Nagy tömegszámú atommagok bomlása során újabb radioaktív atommagok jönnek létre. Ezek tovább bomlanak, amíg végül stabil atommagok nem kapunk.

A bomlások közül egyedül az α -bomlás változtatja meg a tömegszámot: négygel csökkenti.

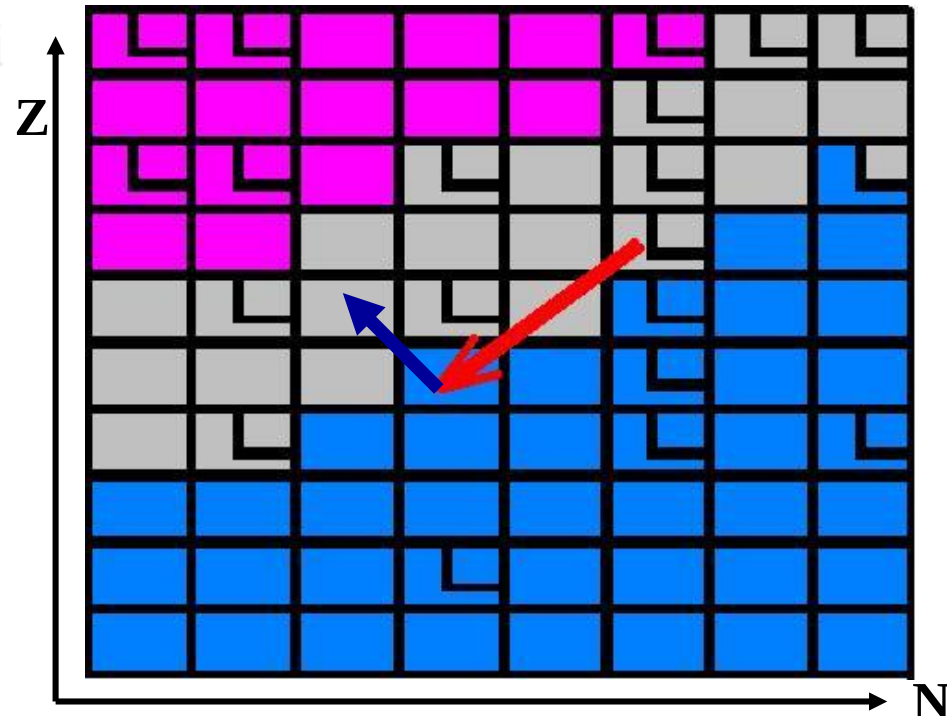
Következmény: a bomlási sor minden elemének tömegszáma négygel osztva ugyanannyi maradékot ad!

Emiatt négy különböző bomlási sort különböztetünk meg:

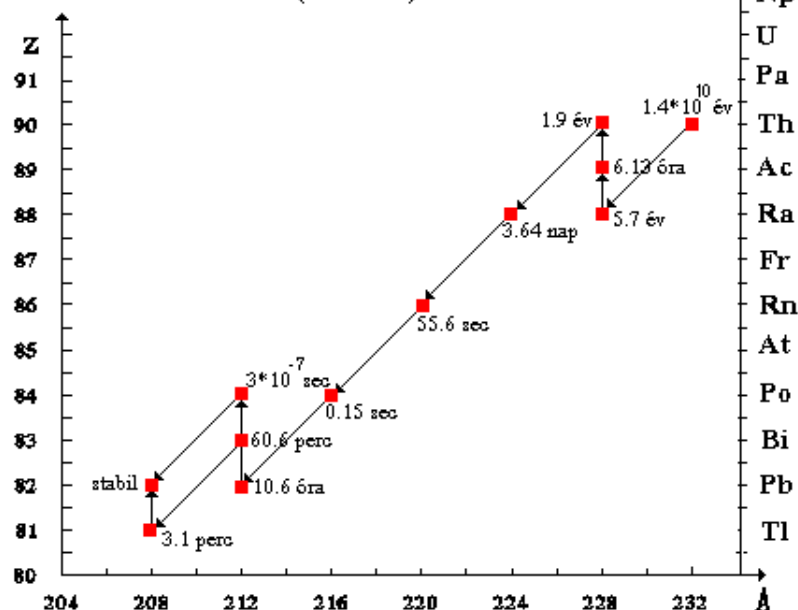
$$A = 4k, A = 4k+1,$$

$$A = 4k+2, A = 4k+3$$

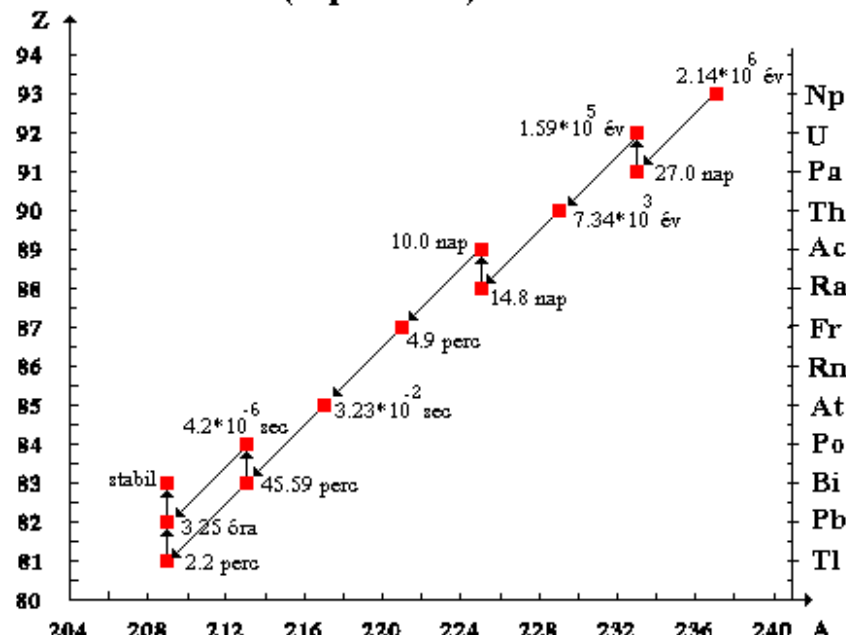
Az α -bomlásokat β -bomlások (és ezeket γ -bomlások) követik, hogy a sor követni tudja az energiavölgy hajlását.



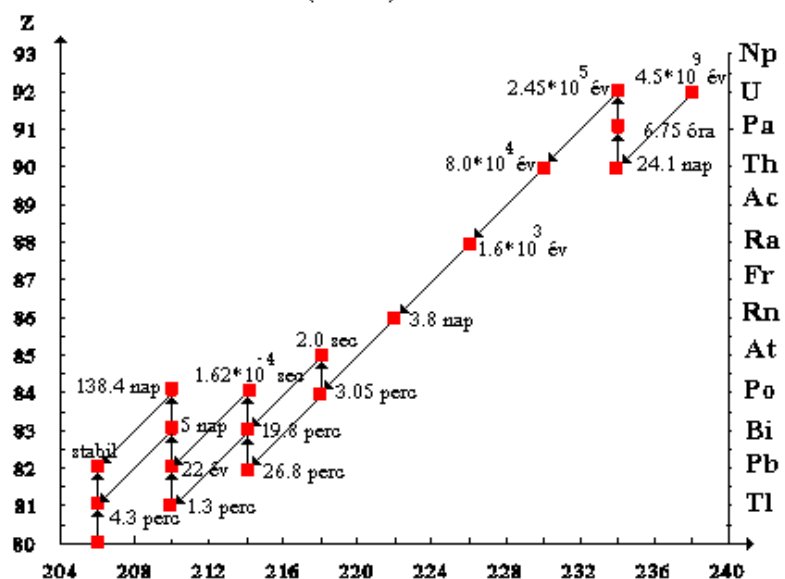
A = 4k (tórium) bomlási sor



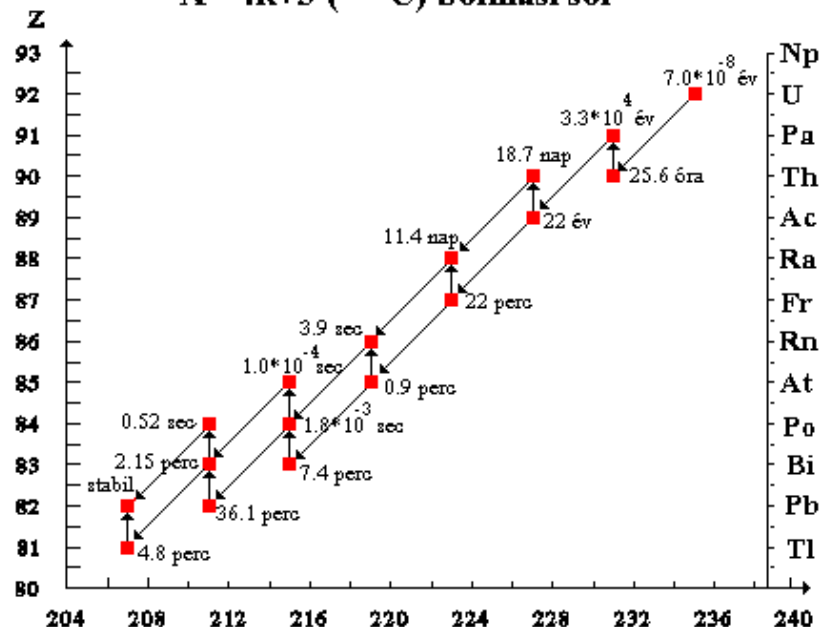
A = 4k+1 (neptunium) bomlási sor



A = 4k+2 (^{238}U) bomlási sor



A = 4k+3 (^{235}U) bomlási sor



Radioaktív egyensúly

Tekintsünk egy mindössze 3 tagból álló radioaktív „családot”:

$1 \longrightarrow 2 \longrightarrow 3$, legyenek a bomlási állandók: λ_1 és λ_2 .

Az egyes atommagok száma $N_1(t)$, $N_2(t)$, $N_3(t)$.

Az atommagok számának változását leíró egyenletek:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 \cdot N_1(t) \quad (\text{csak bomlik})$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 \cdot N_2(t) + \lambda_1 \cdot N_1(t) \quad (\text{bomlik és keletkezik})$$

$$\frac{dN_3}{dt} = +\lambda_2 \cdot N_2 \quad (\text{csak keletkezik a megelőzőből})$$

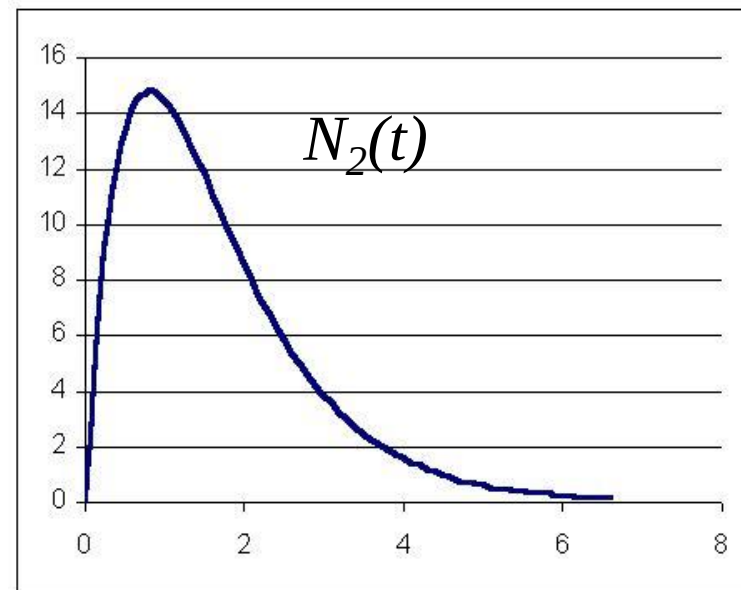
Az első egyenlet megoldása már ismert: $N_1(t) = N_{10} \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t}$

A további egyenletek megoldásához kezdeti feltételt adunk:

$N_{20} = 0$ és $N_{30} = 0$, azaz kezdetben nincs semmi a „2” és a „3” anyagból.

A megoldás (levezetés a gyakorlaton):

$$N_2(t) = N_1(0) \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right)$$



A „2” izotóp aktivitása:

$$a_2(t) = \lambda_2 \cdot N_2(t) = a_1(0) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right)$$

Ezt egy kicsit átírhatjuk, felhasználva, hogy $a_1(t) = a_1(0) \cdot e^{-\lambda_1 t}$

$$a_2(t) = a_1(t) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t} \right)$$

$$a_2(t) = a_1(t) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t} \right)$$

Speciális esetek:

1) Ha $\lambda_2 > \lambda_1$, akkor elegendően hosszú idő után az exponenciális

elhanyagolhatóan kicsiny lesz $a_2(t) \approx a_1(t) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$, amiből

$$\frac{a_2(t)}{a_1(t)} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} = \text{konst.}, \text{ azaz időtől független!}$$

Ezt nevezzük **átmeneti egyensúlynak**.

2) Ha $\lambda_2 \gg \lambda_1$, akkor teljesül az átmeneti egyensúly feltétele, de a nevezőben λ_1 -et elhanyagolhatjuk λ_2 mellett, és kapjuk:

$$\frac{a_2(t)}{a_1(t)} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2} = 1 \quad \text{Másképpen: } a_1(t) = a_2(t)$$

Hasonlóan belátható, hogy egy sok elemű bomlási sorban is elegendően hosszú idő után $a_1(t) = a_2(t) = a_3(t) = \dots$,

ha λ_1 sokkal kisebb, mint a többi bomlásállandó.

Ezt nevezzük **szekuláris egyensúlynak**.

Szekuláris egyensúlyban tehát $a_1(t) = a_2(t) = a_3(t) = \dots$

Ebből $a(t) = \lambda \cdot N(t) = \frac{N(t)}{T} \ln 2$ felhasználásával azonnal adódik:

$$\frac{N_1(t)}{T_1} = \frac{N_2(t)}{T_2} = \frac{N_3(t)}{T_3} = \dots$$

Ezt másképpen felírva kapjuk:

$$N_1(t) : N_2(t) : N_3(t) \dots = T_1 : T_2 : T_3 : \dots$$

Szavakban: szekuláris egyensúlyban lévő bomlási sorban az egyes tagok anyagmennyiségeinek aránya a felezési idők arányával egyezik meg.

Ez lehetőséget ad hosszú felezési idők meghatározására (pl. ^{238}U felezési ideje 4,5 milliárd év.)

Radioaktív kormeghatározás:

Radioaktív izotóp bomlási tulajdonságait felhasználva következtetünk a minta életkorára.

Ismerni kell a „kezdeti” arányt!

Kormeghatározásra használt leggyakoribb izotópok:

Izotóp	Felezési idő	Gyakoriság (stabilhoz képest)
^3H (trícium)	12,262 év	$1 \cdot 10^{-18}$
^{14}C (radiokarbon)	5568 év	$2 \cdot 10^{-12}$
^{40}K	$1,3 \cdot 10^9$ év	$1,19 \cdot 10^{-4}$
^{87}Rb	$5 \cdot 10^{10}$ év	0,278
^{238}U	$4,51 \cdot 10^9$ év	0,992739
^{235}U	$7,04 \cdot 10^8$ év	0.007204
^{232}Th	$1,39 \cdot 10^{10}$ év	1.0

Olyan kort (időt) lehet legpontosabban meghatározni, amely az illető izotóp felezési idejének nagyságrendjébe esik.

Geológiai kormeghatározások (10 millió év – néhány milliárd év)

- viszonylagos
- abszolút

Viszonylagos kormeghatározások (nem nukleáris módszerek)

- paleontológiai (kövült ősmaradványok üledékes kőzetekben)
- földtani szelvényben történt elhelyezkedés alapján

Abszolút kormeghatározások (nukleáris módszerek)

- Rubídium-stroncium (Rb-Sr) módszer
- Ólom-hélium módszer (Th, vagy uránsor alapján)
- Kálium-argon módszer (K-Ar)

Rubídium-stroncium módszer: $^{87}\text{Rb} \xrightarrow{\beta^- \text{ 50 Mrd év }} ^{87}\text{Sr}$

$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{87}\text{Rb}}$ arányból lehet a kőzet életkorára következtetni

Ólom-hélium módszer: a radioaktív bomlási sorok alapján.

- ^{238}U –ből lesz végül ^{206}Pb . Közben 8 db α -bomlás következik be.
- ^{232}Th -ből ^{208}Pb lesz. Közben 6 db α -bomlás következik be
- ^{235}U -ből ^{207}Pb lesz. Közben 7 db α -bomlás következik be

Ezek miatt a kőzetben hélium halmozódik fel.

Nehézségek:

- nehezen lehet szétválasztani az ólomizotópokat egymástól
- általában mindhárom sor együttesen van jelen
- a sorok mindenütt áthaladnak a Rn (radon) valamely izotópján
ez nemesgáz, könnyen megszökhet, a sor „megszakad”.

Kálium-argon módszer ($T = 1,3$ Mrd év)



Mérni kell a $\frac{^{40}\text{Ca}}{^{40}\text{K}}$, és $\frac{^{40}\text{Ar}}{^{40}\text{K}}$ arányokat.

Nehézségek:

- ^{40}Ca igen gyakori, nemcsak a ^{40}K bomlásából keletkezik
- ^{40}Ar nemesgáz, ezért elszökhet.

Radiokarbon módszer: ($T = 5568$ év)

A ^{14}C a kozmikus sugárzás hatására folyamatosan keletkezik.

Egyensúlyi koncentrációja (CO_2) a levegőben $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 1,2 \cdot 10^{-12}$

Ez épül be a növényekbe és állatokba is az anyagcsere folyamán.

Amikor az élőlény elpusztul, az anyagcsere megszűnik, a ^{14}C utánpótlása leáll, csak bomlik.

Itt t a halál óta eltelt idő,

T a felezési idő.

$$\frac{N(^{14}\text{C})}{N(^{12}\text{C})} = 1,2 \cdot 10^{-12} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

Tríciumos módszer: ($T = 12,26$ év)

A ^3H a kozmikus sugárzás hatására folyamatosan keletkezik.

Egyensúlyi koncentrációja (H_2O) a levegőben $^3\text{H}/^1\text{H} = 1 \cdot 10^{-18}$

A felszíni vizekben ez a koncentráció megőrződik.

A felszín alatti vizek korát a trícium-koncentráció alapján meg lehet határozni.

(Elpusztult élőlények korát nem lehet meghatározni vele

mert a H-csere folytatódik a környezettel a halál után is)

$$\frac{N(^3\text{H})}{N(^1\text{H})} = 1 \cdot 10^{-18} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$