



GONDOLATOK A BOMLÁSI ÁLLANDÓRÓL

Szűcs László

*Budapest Főváros Kormányhivatala
Metrológiai és Műszaki Felügyeleti Főosztály
Sugárfizikai és Kémiai Mérések Osztály*



Előzetes

- A bomlási állandó/felezési idő.
- A bomlási állandó stabilitásának következményei.
- Megfigyelések-kételyek.
- Felvetések metrológiai intézeteknél.
- A „Metrológia” legújabb publikációja.
- Következtetések.



Periódusos rendszer

- 1869: periódusos rendszer
- Stabil atommagok
- 112 elem ?, ~2500 izotóp, 249 stabil mag



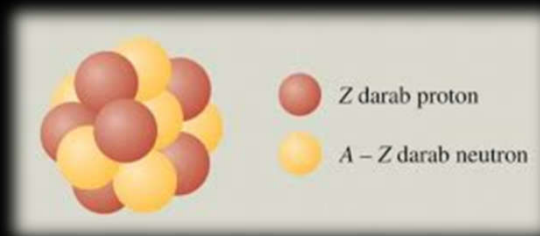
AZ ELEM PERIÓDUSOS RENDSZERE

The table displays 118 elements, color-coded by groups. A legend at the bottom left identifies groups: Alkali metals (green), Alkaline earth metals (light green), Transition metals (yellow), and Noble gases (purple). A legend at the bottom right identifies states of matter: Solid (grey), Liquid (blue), and Gas (red). The table also includes the names of the elements in Hungarian, such as Hidrogén (Hydrogen), Helium (Helium), and others.



Atommagok szerkezete

- Atommagok: protonok (pozitív töltés) és neutronok (semleges) rendszere.

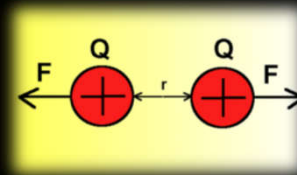


- Számoljunk!**

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

$$Q_1 = Q_2 = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$F \approx 231 \text{ N}$$



$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$



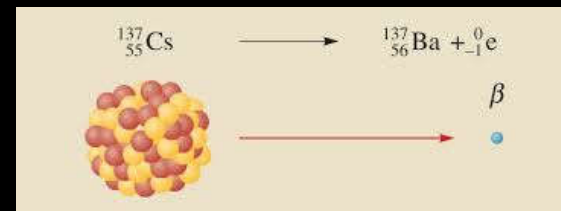
Charles Augustin de Coulomb
1736-1806

- A protonokat (pozitív töltések) csak megfelelő számú neutron tart egybe a magerők segítségével.



Instabil atommagok

- Ha a neutronok száma az egyensúlyi értéktől 2-3 darabbal eltér, az atommag instabillá válik, és átalakul.
- Az átalakulás során részecskéket (esetenként fotonokat) bocsát ki.
- A jelenséget radioaktivitásnak hívjuk, az adott tulajdonságú atommagokat pedig radioaktív anyagnak.





Radioaktív bomlástípusok

- α bomlás: az atommagot két protonból és két neutronból álló részecske (He atommag) hagyja el. Jellemző a nagy rendszámú, nehéz magokra. ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + \alpha (+\gamma)$
- β^- bomlás: az atommag egy neutronja protonná alakul, miközben elektront és antineutrinót bocsát ki. ${}^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\text{Ba} + \beta^- (+\gamma) + \bar{\nu}$
- β^+ bomlás: az atommag egy protonja neutronná alakul, miközben pozitront és neutrinót bocsát ki. ${}^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + \beta^+ (+\gamma) + \nu$



Radioaktív bomlástípusok

- Elektron befogás (EC): az atommag a közvetlen környezetéből egy elektront elnyel és egy protonja az elektronnal neutronná alakul:

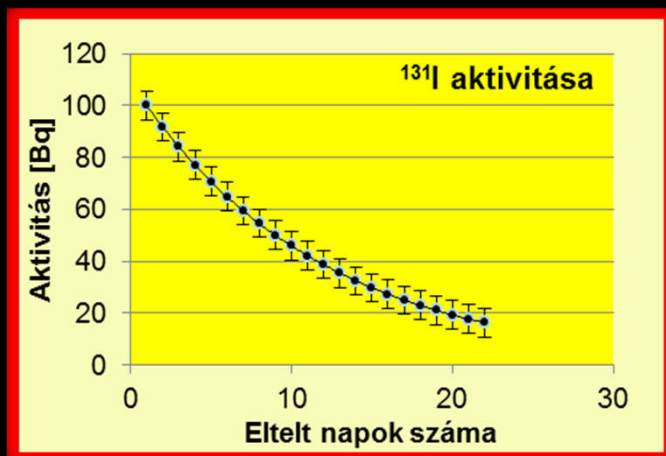


- Belső konverzió (IT): az atommag bomlását követően egy olyan mag jön létre, amelynek gerjesztettsége viszonylag hosszú életű, ilyenkor γ foton kibocsátása helyett egy elektronnak adja át az energiáját.
- Maghasadás: nehéz magok frakciókra esnek szét.



Bomlások tulajdonságai

- A fontosabb tulajdonságok:
 - a kibocsátott részecskék típusa,
 - a kibocsátott részecskék energiája,
 - a bomlási állandó.



$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N \quad \longrightarrow \quad N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

λ : bomlási állandó

- Tulajdonságai:
- a radioaktív magra jellemző,
 - állandó !!



Felezési idő

- A bomlási állandónál közismertebb a belőle származtatható felezési idő:

A felezési idő ($T_{1/2}$) az az időtartam, amely alatt a radioaktív anyag aktivitása a felére csökken.

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$



Bomlási állandó jelentősége

- Kormeghatározás: történelmi leletek, kozmológia:
 - ^{14}C felezési ideje,
 - ^{232}Th , ^{238}U mellett a ^{187}Re - ^{187}Os felezési ideje,
- Radioaktív hulladékok kezelése.
- Sugárvédelmi számítások megbízhatósága.
- Nukleáris biztonság (reaktorok kritikussága).
- Űrszondák és pacemakerek üzemanyagcelláinak élettartama.



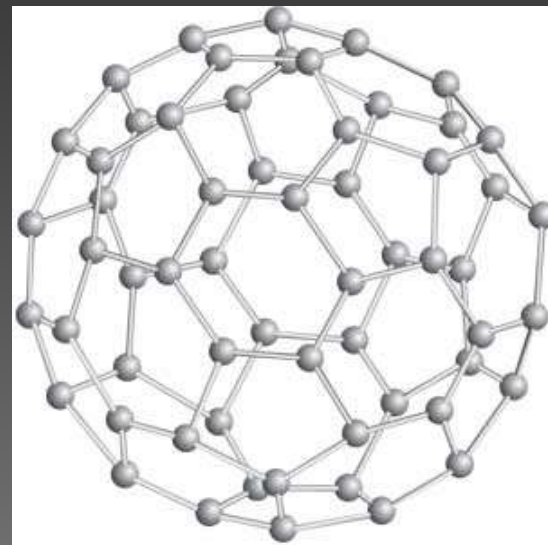
Bomlási állandó?

- Az elmúlt 50 évben a bomlási állandó stabilitását egyre gyakrabban vonták kétségbe.
- 1972: G.T. Emery¹: az egyik legátfogóbb cikk, amely a kísérletek leírása mellett bonyolult matematikai elemeket is tartalmaz.
- ⁷Be felezési ideje 53,22 nap. EC bomlás. Elektronszerkezete olyan, hogy a belső elektronok is részt vesznek a kötésekben.
- Atommag és a vegyérték-elektronok hullámfüggvényének kölcsönhatása.



Bomlási állandó?

- A megfigyelések alapján a ${}^7\text{Be}$ felezési ideje 0,2 % nagyságrendben függ a kémiai környezettől.
- Ugyancsak a ${}^7\text{Be}$ bomlását Ohtsuki és társai vizsgálták 2004-ben³. Eredmény: ha az atomot gömb alakban szénatomok vesznek körül (fullerén), a felezési idő 0,8 %-al csökken.





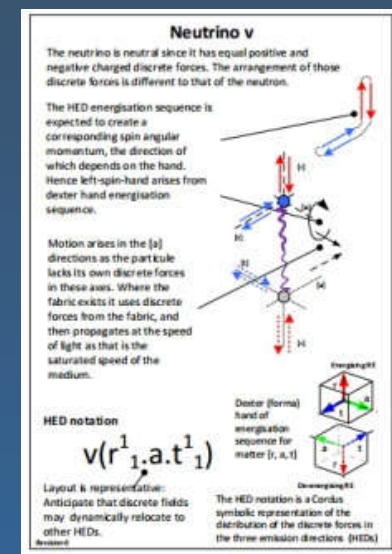
Bomlási állandó?

- 1996: Bosch² és társai: kozmológiai cikkükben a teljesen ionizált ^{187}Re bomlását vizsgálták.
- A semleges rénius felezési ideje $4,12 \cdot 10^{10}$ év. A cikk szerzői szerint az elektroneutrális (ionizált) rénius felezési ideje mindössze 33 év!
- Kozmokronológiai következmények (galaxisunk életkora).



Lehetséges okok

- A lehetséges okok alapvetően két csoportba oszthatók: – neutrínok hatása,
– a finomszerkezeti állandó változása.
- Az irodalomban (D. J. Pons *et al.*; 2015) egy újabb spinfüggő, hosszú hatótávolságú kölcsönhatás bevezetésének lehetősége is felmerült.⁴





BIPM CCRI(II) 2015

- A BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) CCRI(II) ülése 2015: a Dél-Afrikai delegátus rövid előadása szerint a felezési időt befolyásolja a Föld-Nap távolság.
- A bejelentés meglepő, de nem elhanyagolandó következtetésekkel járt.





JRC IRMM

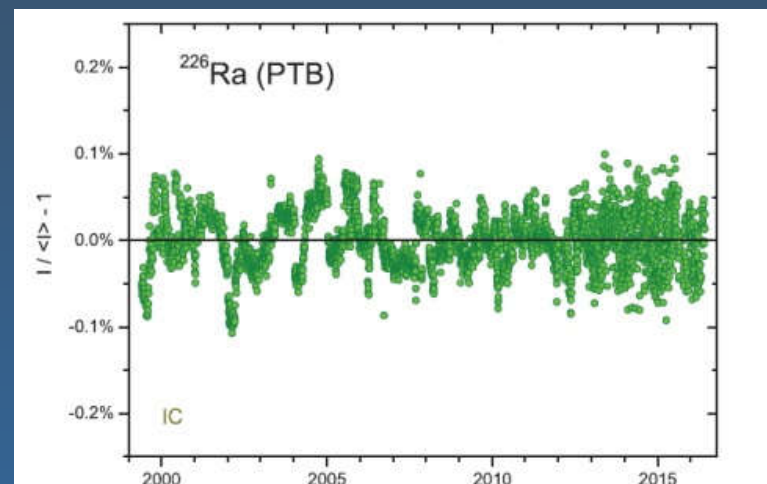
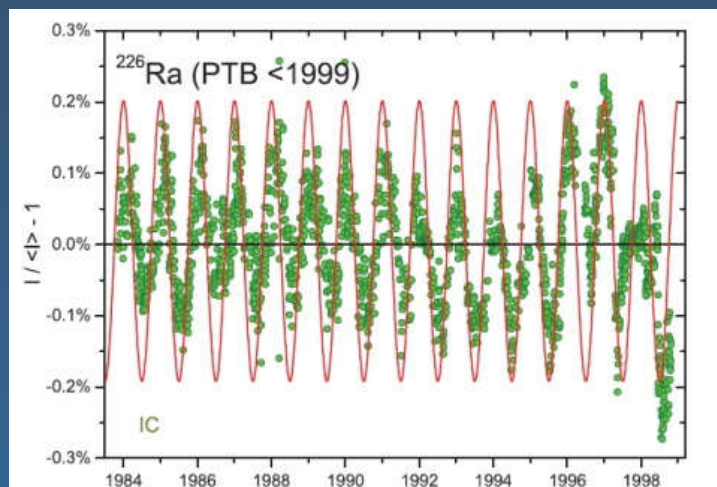
- A JRC IRMM munkatársai koordinálásával gyűjtő munka kezdődött a metrológiai intézetekben.
- A munka egyrészt az irodalmi áttekintésre, másrészt a meglévő archivált mérési adatok elemzésére terjedt ki.





Eredmények⁵

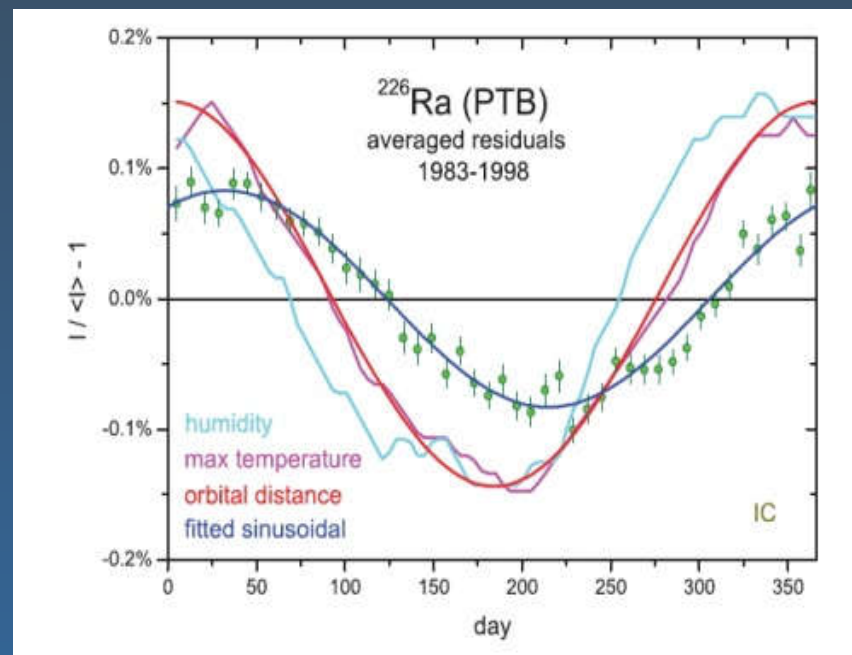
- A legtöbb adat a ^{226}Ra vonatkozásában gyűlt össze, mivel a legtöbb nemzeti mérésügyi szerv a rádiumot használja ionizációs kamrás mérőrendszerének referencia forrásaként (a BFKH is). PTB:





Eredmények

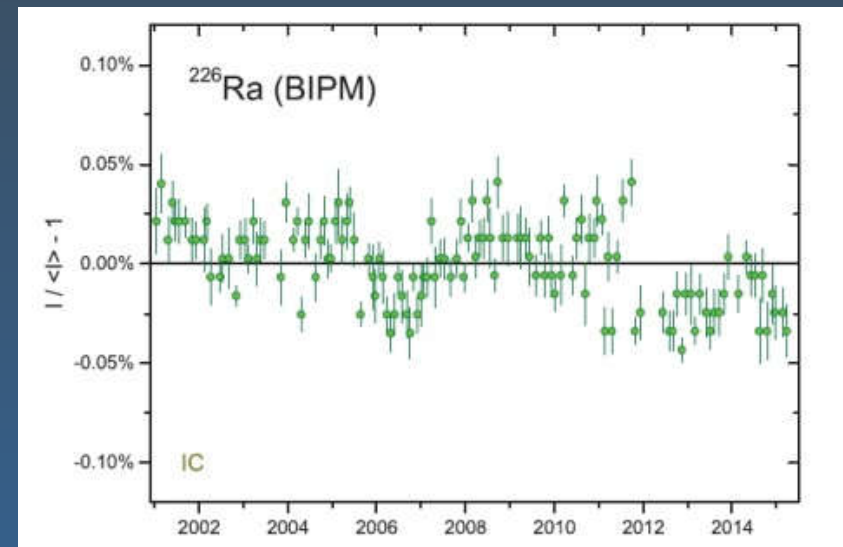
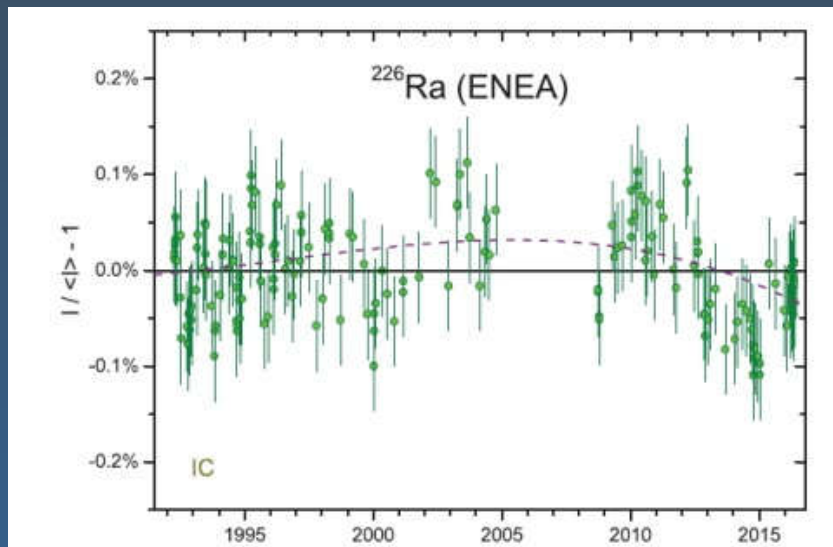
- A periodicitás amplitudójának változását az árammérő cseréje okozta. 1999 előtt Keithley elektrométert, azt követően Townsend balance módszert használtak.
- Figyelembe kell venni, hogy a környezeti paraméterek változása is hasonló periodicitást mutatott.





Eredmények

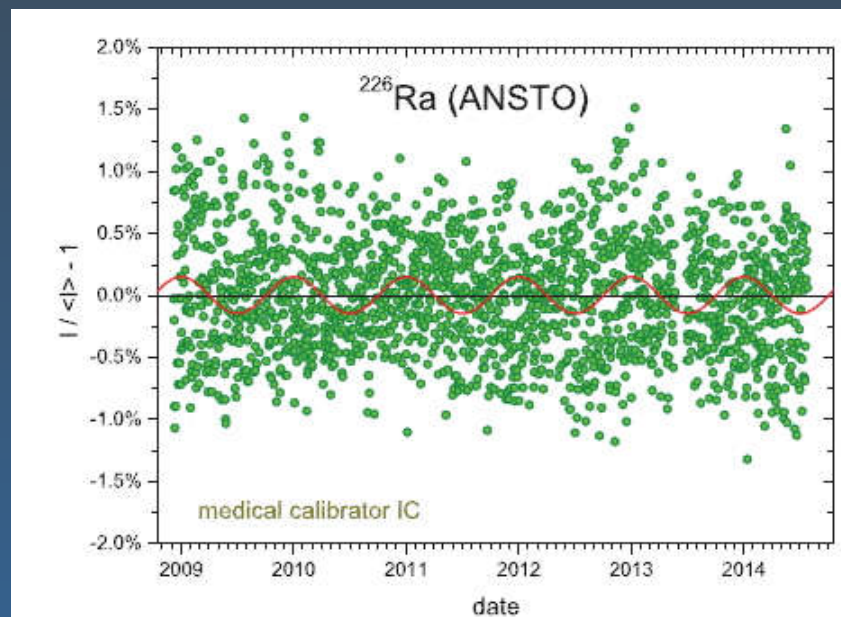
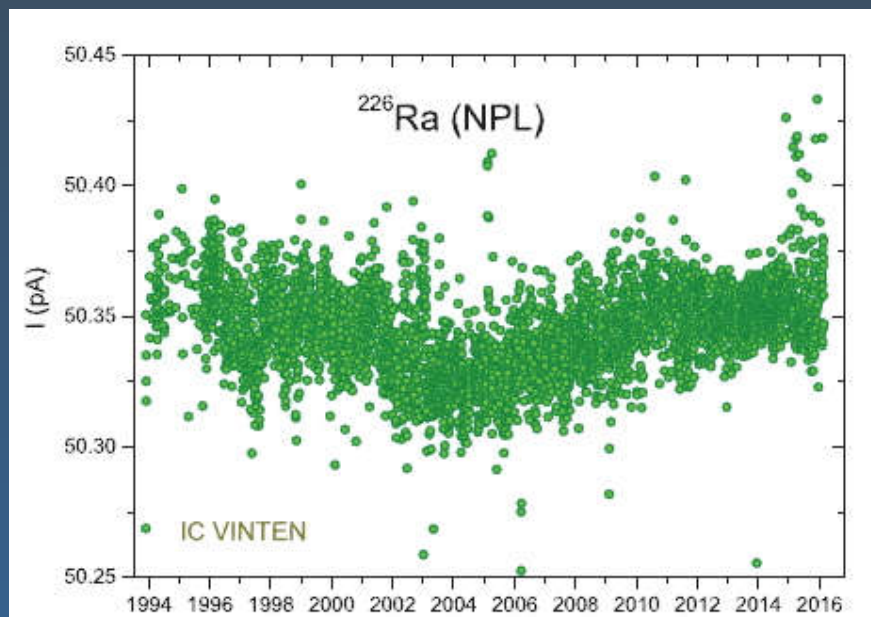
- A PTB mérési adatainál kevésbé felismerhető a periodicitás más mérésügyi intézetek esetében.





Eredmények

- A következő esetekben szemmel láthatóan nem tapasztalható periodicitás:





Következtetések

- Számos más radionuklidra (^{14}C , ^3H , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{36}Cl ...) végeztek vizsgálatokat, amelyek a ^{226}Ra által mutatott periodicitást mutatták/nem mutatták.
- A bomlási állandó változását összefüggésbe hozták a napkitörésekkel is⁶.
- Történtek kísérletek nagyfluxusú atomreaktorok mellett, de nem jártak sikerrel.



Összefoglalás

- A bomlási állandó stabilitásának kérdése jelenleg izgalmas téma az elméleti és alkalmazott fizikában egyaránt.
- Az effektusnak bizonyos bomlástípusoknál (elektronbefogás, belső konverzió) elméleti háttere is van.
- A legújabb mérések szerint mértéke nem haladja meg a 0,006 %-t⁵.



Összefoglalás

- A metrológiai intézetek eredményeinek elemzése több esetben mutatott periodicitást, de sajnos nem voltak azonos fázisban...
- Az effektus nagyságrendje kicsi, a környezeti paraméterek változása befolyásolhatja a mérőrendszert.
- Érdekesség: a periodicitás mellett az irodalomban csak a bomlási állandó növekedéséről (felezési idő csökkenése) van szó.



1. G. T. Emerey; Perturbation of Nuclear Decay Rates, Annual Review of Nuclear Science 22, pg 165 (1972)
2. Bosch et al.; Observation of Bound-State β^- Decay of Fully Ionized ^{187}Re : $^{187}\text{Re} \rightarrow ^{187}\text{Os}$ Cosmochronometry, Phys. Rev. Lett. 77, 5190 (1996).
3. Ohtsuki et al., Enhanced Electron-Capture Decay Rate of Be-7 Encapsulated in C-60 Cages. Phys. Rev. Lett. 93, (2004).
4. D. J. Poins *et al.*: Hidden Variable Theory Supports Variability in Decay Rates of Nuclides; Applied Physics Research; Vol. 7, No. 3; (2015)
5. S. Pomme *et al.*: On decay constants and orbital distance to the Sun—part I-II-III; Metrologia 54 (2017)
6. Bellotti *et al.*; Search for correlations between solar flares and decay rate of radioactive nuclei; Physics Letters B 720 (2013)



**Köszönöm a megtisztelő
figyelmüket!**