

Radioaktív izotópok, magsugárzások

Dr. Bozó Tamás

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet
2022.november 29.



Témakörök

Előadás

- Sugárzásokról általában (1. 6. ea.)
 - Fotonok
 - Intenzitásengergülés
- Atom, elektron (1. 7. ea.)
 - Rutherford-kísérlet, és atommodell
- Atommag szerkezete
 - Felépítés, jellemzők
 - Nuklidok, izotóp, izotóp, izotóp fogalma
 - Mágterők
 - Mágmodellek
 - Stabilitás
- Magsugárzások
 - α -, β -, γ -sugárzás, egyéb sugárzások
 - Spektrum, ionizáció, hatótáv
- Radioaktív bomlás törvénye, aktivitás

Kapcsolódó biofizika gyakorlatok

- Nukleáris alaprémérés
- Gamma abszorpció
- Dzómétria
- Gamma energia (2. félévben)
- Izotópdiaagnosztika (2. félévben)

Tankönyv kapcsolódó fejezetek

- I/1.1.1. Atom, elektron, atommag
- I/1.5. Az atommag szerkezete
- II/3.2. Magsugárzások, radioaktív izotópok

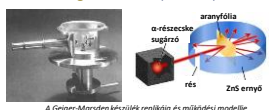


Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

2

Az atommag szerkezete

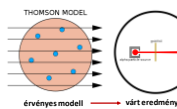
Az atommag felfedezése (1908-13)



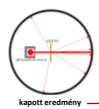
A Geiger-Marsden kísérlet replikája és működési modellje



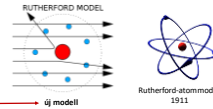
Ernest Marsden 1889-1970 J.W. Geiger 1882-1945 Ernest Rutherford 1871-1937



THOMSON MODEL



RUTHERFORD MODEL



Rutherford-atommodell 1911

érvényes modell → várt eredmény

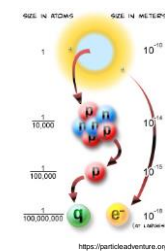
kapott eredmény → új modell



Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

Dr. Bozó Tamás
egyetemi adjunktus

Az atommag szerkezete



Tulajdonságok:

- Méret: kb. $10^{-15} - 10^{-14}$ m (1-10 fm)

- Atomi tömeg egység (ATE)

$$ATE = \frac{m_{12}C}{12} = 1,6605 \cdot 10^{-27} kg$$

- Nukleonok: proton (p^+), neutron (n)

$$m_{p^+} = 1,6726 \cdot 10^{-27} kg \quad m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} kg$$

$$q_{p^+} = 1,6 \cdot 10^{-19} C \quad q_n = 0 C$$

$$(m_{e^-} = 9,31 \cdot 10^{-31} kg; \quad q_{e^-} = 1,6 \cdot 10^{-19} kg)$$



Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

Dr. Bozó Tamás
egyetemi adjunktus

Az atommag szerkezete

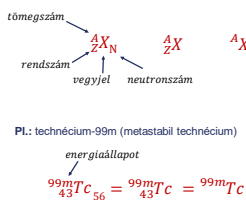
Tömegszám:

$$A = Z + N$$

A: tömegszám
Z: rendszám (= protonszám)
N: neutronszám

- Nuklid: atomfajta, melyet rendszáma (Z) és tömegszáma (A) és magjának energiaállapota határoz meg.

Nuklidok jelölése:



Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

Dr. Bozó Tamás
egyetemi adjunktus

Az atommag szerkezete

Izotóp: adott, vagyis azonos rendszámú (Z) kémiai elem eltérő tömegszámú atomfajtai.

PL szénizotópok		
${}^{12}_6C$	${}^{13}_6C$	${}^{14}_6C$
Z=6; A=12; N=6 m=12 ATE 98,90% stabil	Z=6; A=13; N=7 m=13,00335 ATE 1,109% stabil	Z=6; A=14; N=8 m=14,003244 ATE 1 ppt radioaktív (β^-) T=5730év

Ugyanazon elemnek létezhetnek stabil és radioaktív izotópjai.

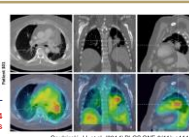


Henry G. J. Moseley 1885-1906

Az izotópok kémiai tulajdonságai azonosak.

The Absorption and Translocation of Lead by Plants. Biochem J. 1923; 17: 439.
1943: Kémiai Nobel díj az izotópok nyomjelzés technikájáért

PL



Grubb J. J. et al. (2014) PLCS ONE 9(11) e111162



Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

Dr. Bozó Tamás
egyetemi adjunktus

Az atommag szerkezete

Izotóp: adott, vagyis azonos rendszámú (Z) kémiai elem eltérő tömegszámú atomfajtái.

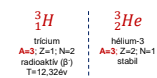
Pl. hidrogénizotópok



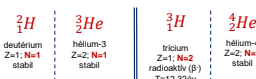
Pl. héliumizotópok



Izobár: azonos tömegszám (A), de eltérő rendszámú atomfajták



Izotón: azonos neutronszámú (N) atomfajták



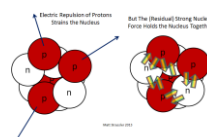
Az atommag szerkezete

Mi tartja össze az atommagot?

(1) Coulomb erő: p⁺-p⁺ tasztítás

(2) Gravitáció: gyenge vonzás

(3) Erős kölcsönhatás: vonzó erőhatás a nukleonok között. Töltésfüggetlen, nukleonpár-független.



Alapvető kölcsönhatások a fizikában

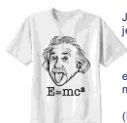
Kölcsönhatás	Mire hat?	Hatótávolság	Relatív erősség
Gravitáció	minden részecske	végtelen (~1/r ²)	10 ⁻⁴⁰
Elektromágneses	ionizált részecskék	végtelen (~1/r ²)	10 ²
Erős nukleáris	nukleonok	10 ⁻¹⁶ m	1
Gyenge nukleáris	minden részecske	10 ⁻¹⁶ m	10 ⁻¹³

Az atommag szerkezete

Tömegdefektus (ΔM)

Jelenség: A magtömeg (M_{A,Z}) kisebb, mint az azt alkotó szabad nukleonok tömege. Hogyhogy?

$$\Delta M = [Zm_p + (A - Z)m_n] - M_{A,Z}$$



Jó tudni, hogy m tömeg jelenléte a természetben

$$E = m \cdot c^2$$

energia jelenlétének felel meg.
(Einstein-féle tömeg-energia reláció)

Magyarázata:

- A magterék vonzóerők, ezért
- A nukleonok belépése a magba azok potenciális energiájának jelentős csökkenését okozza.
- A mag energiája kisebb, mint a szabad nukleonok energiája (ΔE: **mag kötési energiája**).
- Tömeghiány ennek az energiának felel meg:
- Ez az energia a mag keletkezésekor nagy energiájú foton (v. részecske) révén távozik.

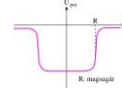
$$\Delta E = \Delta M \cdot c^2$$

Az atommag szerkezete

Magmodellek Még nincs kiforrott, átfogó elmélet, analógiák

Héjmodell

- Kötött nukleonok energiállapota kvantált
- Közös potenciáletter hoznak létre
- A nukleonok egymástól függetlenül mozognak
- Schrödinger egyenlet megoldható a nukleonokra
- Kvantumszámok (E, impulzusmomentum, mágneses momentum, spin)
- A nukleonok héjakat alakítanak ki → zárt héjú nukleonok stabilak



Folyadékcsöpp modell

- A mag gömb alakú
- Sűrűsége független a méretétől
- Nukleonok csak közvetlen szomszédjaikkal vannak kölcsönhatásban
- Mag sugara:

$$r = r_0 \sqrt[3]{A}$$

$$(r_0 = 2 \cdot 10^{-15})$$

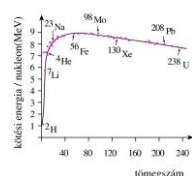
Kötési energiát meghatározza:

- Térfigatási E: több nukleon → nagyobb magerő
- Felületi E: felületi nukleonok kevésbé kötnek (nincsenek teljesen körülvéve)
- Coulomb E: több p⁺ → nagyobb tasztítás

Az atommag szerkezete

A mag stabilitása

ΔE nő a tömegszámmal. A fajlagos kötési energia ΔE/A:



- Az egy nukleonra jutó kötési energia kb. 6,5-8 MeV
- ΔE/A maximuma A=55-60-körül van
- Energetikailag kedvező:
 - Nagy magok (A>200) hasadása,
 - Kis magok (A<1-5) fúziója
 - OK: energiaminimumba törekvés elve (kisebb E_{pot})
- Energiatermelés: fission (és fúziós) reaktorok

Az atommag szerkezete

A mag stabilitása – II.

Ha A túl nagy, vagy N/Z arány nem megfelelő → nem stabil a mag → radioaktív bomlás

A>230 → minden nuklid radioaktív

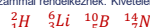


Bomlási folyamat iránya: N/Z csökken (egyes lépéseknél növekedhet)

${}^3_2\text{He}$ Egyetlen stabil nuklid ahol Z>N

Stabilitási szabályok:

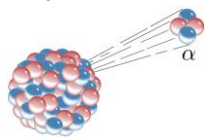
- Több páros rendszámú stabil mag van, mint páratlan.
- Több páros neutronszámú stabil mag van, mint páratlan.
- Több páros tömegszámú stabil mag van, mint páratlan.
- A páros tömegszámú stabil magok általában páros rendszámmal rendelkeznek. Kivételek:



Magsugárzások

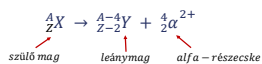
α -bomlás

- Nagy rendszámú elemekre jellemző
- He-atommagot emittálnak



urán – 236 alfa bomlása

<https://f10science.com/alpha-beta-gamma-ionizing-radiation/>



Pl. rádium-226 bomlása



Magsugárzások

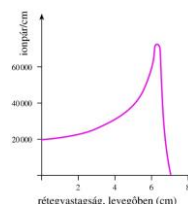
α -sugárzás

- Vonalas spektrum**
- α -részecske kinetikus energiája: $\sim 0,4-0,8$ MeV
- Tömegük: $6,7 \cdot 10^{-27}$ kg
- Sebességük: 2-20 000 km/s
- Hatótáv:** levegőben 2-9 cm, vízben, lágy szövetben: $\sim 0,1$ mm
- Ionizáció:** Coulomb hatás

$$\text{lineáris ionsűrűség} = \frac{n}{l}$$

$$\text{LET} = \frac{\Delta E}{l} = \frac{n}{l} \cdot E_{\text{ionpár}}$$

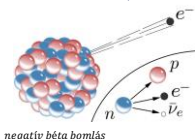
n : képzett ionpárok száma
 l : megtett úthossz
 LET: fékezőképesség
 ΔE : leadott energia
 $E_{\text{ionpár}}$: ionpár létrehozásához szükséges energia



Magsugárzások

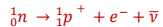
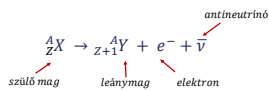
Negatív β -bomlás

- Magrészecske átalakulásával jár: $n \rightarrow p^+$
- Z egyet nő \rightarrow új elem keletkezik
- Spontán lejátszódhat ($m_n > m_p$)

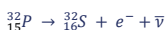


negatív béta bomlás

<https://f10science.com/alpha-beta-gamma-ionizing-radiation/>



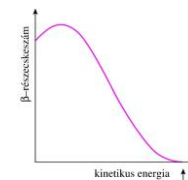
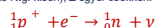
Pl. foszfor-32 bomlása



Magsugárzások

β -sugárzás

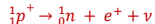
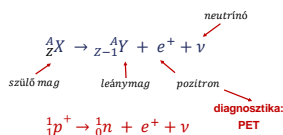
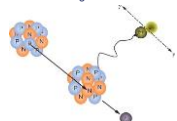
- Folytonos spektrum** — Antineutrínó
- $m_{e^-} = 9,31 \cdot 10^{-31}$ kg; $q_{e^-} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ kg
- Kiseb tömeg \rightarrow szóródás elektronokon, zezugos pálya
- Kiseb töltés \rightarrow kisebb **Coulomb hatás** \rightarrow kisebb lineáris ionsűrűség
- E_{max} ált. < 2 MeV
- Max. hatótáv:** levegőben néhány m, vízben, lágy szövetben: néhány mm
- Torápiában használható**
- INVERZ béta bomlás:** K-héjról elektron befogása (karakterisztikus Rtg. kisér), Z egyet csökken.



Magsugárzások

Pozitív β -bomlás és sugárzás

- Magrészecske átalakulásával jár: $p^+ \rightarrow n$
- Z egyet csökken \rightarrow új elem keletkezik
- Spontán nem játszódhat le ($m_n > m_p$), energiatöbblet szükséges \rightarrow mesterséges nuklidok
- A keletkező pozitron rövid élettartamú \rightarrow annihiláció \rightarrow 2 gamma-foton szétsugárzás



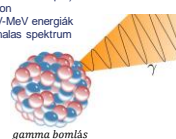
Pl. foszfor-30 bomlása



Magsugárzások

Gamma-bomlás

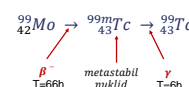
- Kisérőjelenség: bomlás utáni többletenergia leadására
- Prompt / izomer magátalakulás (hosszan fennálló metastabil állapot)
- Foton
- keV-MeV energiák
- Vonalas spektrum



gamma bomlás

<https://f10science.com/alpha-beta-gamma-ionizing-radiation/>

Pl. Moitbén-99 bomlása



- Indirekt ionizáció (Fotoeffektus, Compton sz., Párkeltés)
- Elnyelődés energiatfüggő
- Lágy szövetben is jelentős hatótáv

diagnosztika: Pl. SPECT

SEMMELWEIS
EGYETEM 1785

Biológiai és Sugárbiológiai Intézet

Dr. Bócsa Tamás
egyetemi adjunktus

SEMMELWEIS
EGYETEM 1785

Biológiai és Sugárbiológiai Intézet

Dr. Bócsa Tamás
egyetemi adjunktus

