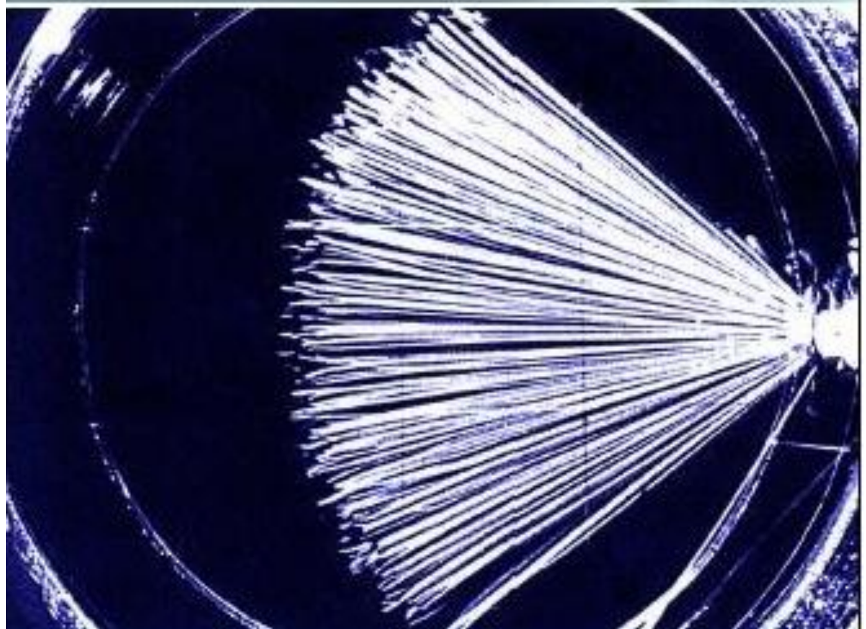
Radiokémia
vegyész MSc radiokémia szakirány

Kónya József, M. Nagy Noémi: Izotópia I és II. Debreceni Egyetemi Kiadó, 2007, 2008.

Kiss István,Vértes Attila: Magkémia (Akadémiai Kiadó)

Nagy Lajos György, Nagyné László Krisztina, Radiokémia és izotóptechnika (Műegyetemi Kiadó, 1997)

Németh Zoltán: Radiokémiai és izotóptechnikai alapismeretek (VE 1996)



RADIO AND NUCLEAR CHEMISTRY

JÓZSEF KÓNYA • NOÉMI M. NAGY

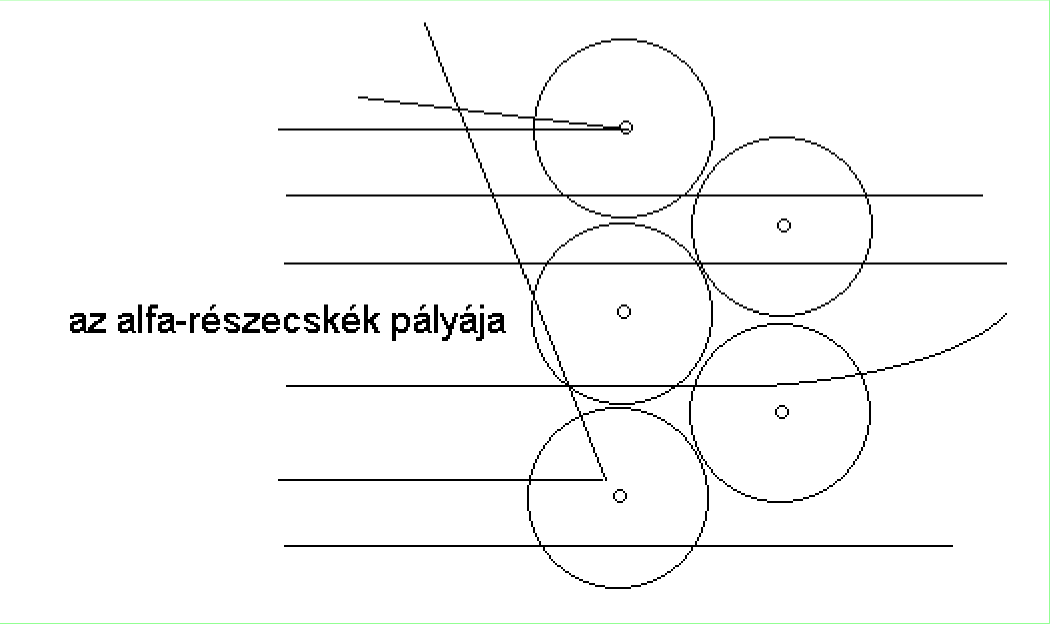
Alapismeretek: BSc-ből (zöld háttérrel)

A nukleáris tudomány története, elméleti, gyakorlati jelentősége, természetes radioaktív izotópok: BSc magkémia 1. óra

Az atommag és tulajdonságai, az atommag alkotórészei

Az atommag felfedezése

Rutherford-Mardsen-Geiger-féle szórási kísérlet



$R=R_0*A^{1/3}$

R az atommag sugara

R_0 a hidrogén atommag sugara: $1{,}3*10^{-15}$ m

A tömegszám

A tömeg egyenletesen oszlik el a magban, vagyis az atommag sűrűsége független az atom minőségétől: $2*10^{27}$ kg/dm^3

Ez a sűrűség hirtelen, kb. $2.5*10^{-15}$ m távolságon csökken az elektronhéjakra jellemző sűrűségre, ami gyakorlatilag nulla.

Ugyanígy változik a töltés is; az elektronhéj 5 nagyságrenddel nagyobb mérete (kb. $10^{-10)}$ m miatt a töltéssűrűség 15 nagyságrenddel kisebb, mint a magban.

Tehát: az atommagnak tömege, töltése, jól definiált mérete van. Mivel a neutronokat ekkor még nem ismerték, feltételezték, hogy a protonokat semlegesítő elektronok is a magban vannak: J.J. Thomson-féle atom-modell.

Lehetnek-e elektronok a magban?

Számítsuk ki, mennyi lenne az elektron nullponti energiáját (E_{kin}) az atommagban! Heisenberg-féle határozatlansági reláció:

$$\Delta x * \Delta v = \frac{h}{2\pi m}$$

Δx a helymeghatározás határozatlansága
Δv a sebesség-meghatározás határozatlansága,
h a Planck-állandó,
m a részecske tömege.
Δx-t a mag sugarával (R) vehetjük azonosnak, mivel $\Delta x > R$, akkor az elektron nem a magban található, hanem azon kívül. Így a sebesség, abból pedig az elektron energiája kifejezhető:

$$\Delta v \approx \frac{h}{2\pi m R} \qquad E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{h^2}{2mR^2}$$

A számítások azt mutatják, hogy az elektron nullponti energiája két nagyságrenddel nagyobbnak adódik, mint a magban a nukleonok kötési energiája (7-8 MeV /nukleon), tehát elektron nem lehet az atommagban.
De: valamilyen semleges részecskének akkor lenni kell - neutron (1933)

Az atommagot összetartó erők

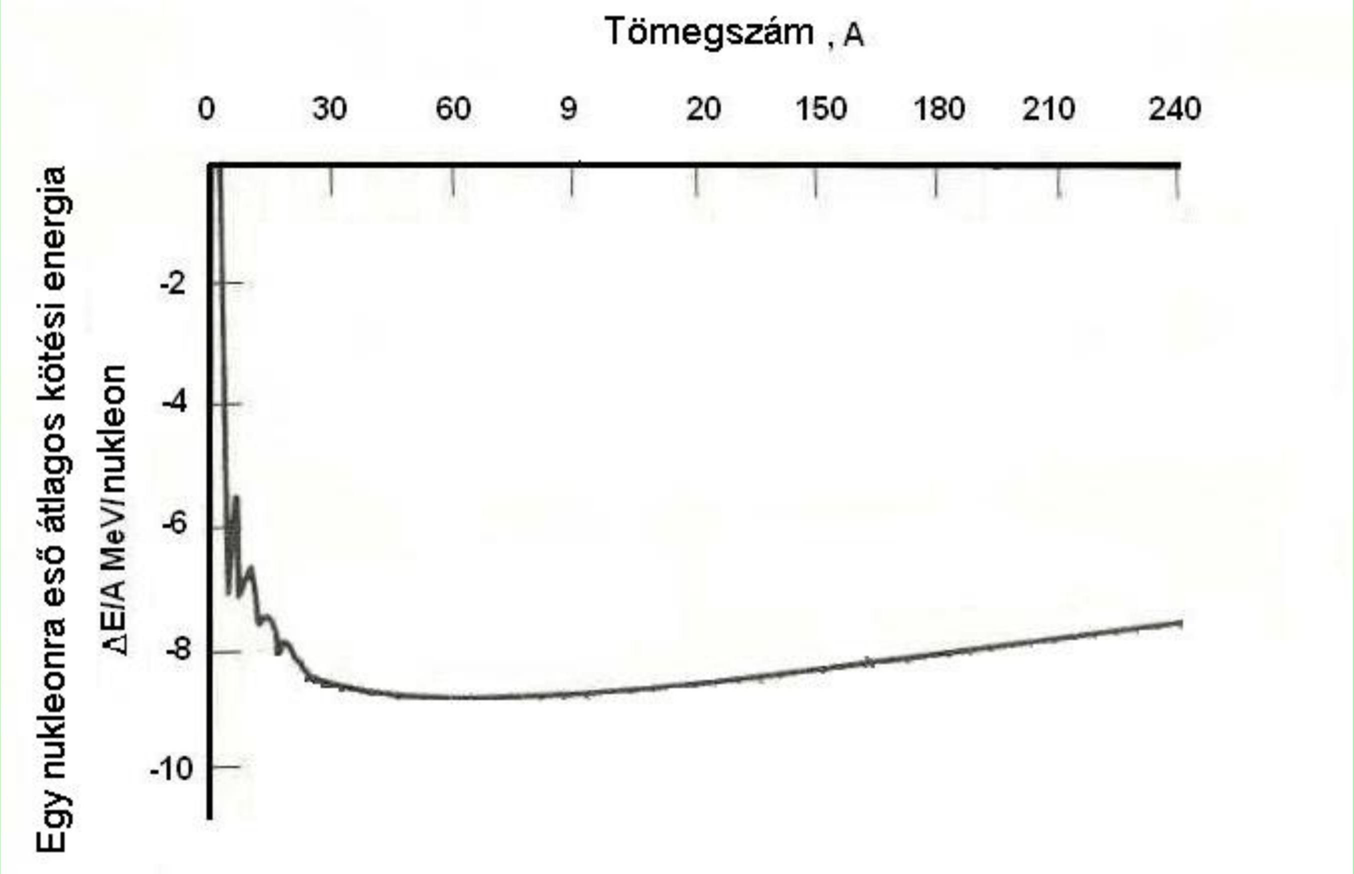
	kg	ATE*	MeV**
Proton (m_p)	$1.6726*10^{-27}$	1.0078	938.2
Neutron (m_n)	$1.6749*10^{-27}$	1.0086	939.5
Elektron (m_e)	$9.1072*10^{-31}$	$5.48*10^{-4}$	0.511
^{1}H		1.0078	
^{2}H		2.0140	
^{4}He		4.0026	
^{14}N		14.00307	
^{16}O		15.99491	
^{17}O		17.0045	
^{24}Mg		23.98504	
^{35}Cl		34.9688	
^{37}Cl		36.9775	
^{40}Ca		39.9626	
^{64}Zn		63.9295	
^{206}Pb		205.9745	

* ATE = atomi tömeg egység

** 1 ATE = 931 MeV

Egy nukleonra eső kötési energia:

$$\frac{\Delta m * c^2}{A} = \frac{\Delta E}{A} = \frac{\left(M - Z \times m_p - N \times m_n - Z \times m_e\right)c^2}{A}$$



Az atommagot összetartó erők

Yukawa kvantummechanikai magyarázata: analógia

elektromágneses kölcsönhatások: elektromágneses mező - nagy hatótávolság

kölcsönhatások a nukleonok között – mezontér, rövid hatótávolság (10^{-15} m nagyságrendű). A kölcsönhatási potenciál (*U*):

$$U = -g_1 \frac{\exp(r/R)}{r}$$

r távolság

g_1 az ún. nukleontöltés

$$R = \frac{h}{2\pi m_\pi c}$$

m_π a kölcsönhatást közvetítő részecske nyugalmi tömege.

Ha a kísérletileg meghatározott magerőket figyelembe vesszük, akkor a m_π értékére kb. az elektron nyugalmi tömegének 200-szorosát kapjuk. Yukawa feltételezése szerint tehát lennie kell egy ilyen tömegű részecskének, amelyet később a kozmikus sugárzásban fel is fedeztek és mezonnak neveztek el. A mezon az elemi részecskék közé tartozik.

A mag teljes kötési energiájának (ΔE) számítása

r távolságban levő nukleonok közötti kölcsönhatási energiák ($U_{r,kl}$) összege:

$$\Delta E = -\frac{1}{2}\sum_k \sum_l U_{r,kl}$$

k és *l* a protonok, ill. a neutronok száma. A mag kötési energiája tehát a protonok és a neutronok számának szorzatával arányos:

$$Z * N = Z * (A - Z)$$

A függvény szélsőértéket mutat, azaz a kötési energia abszolút értékének maximuma van annál a rendszámnál, amikor

$$\frac{d(AZ - Z^2)}{dZ} = 0$$

$$A = 2Z$$

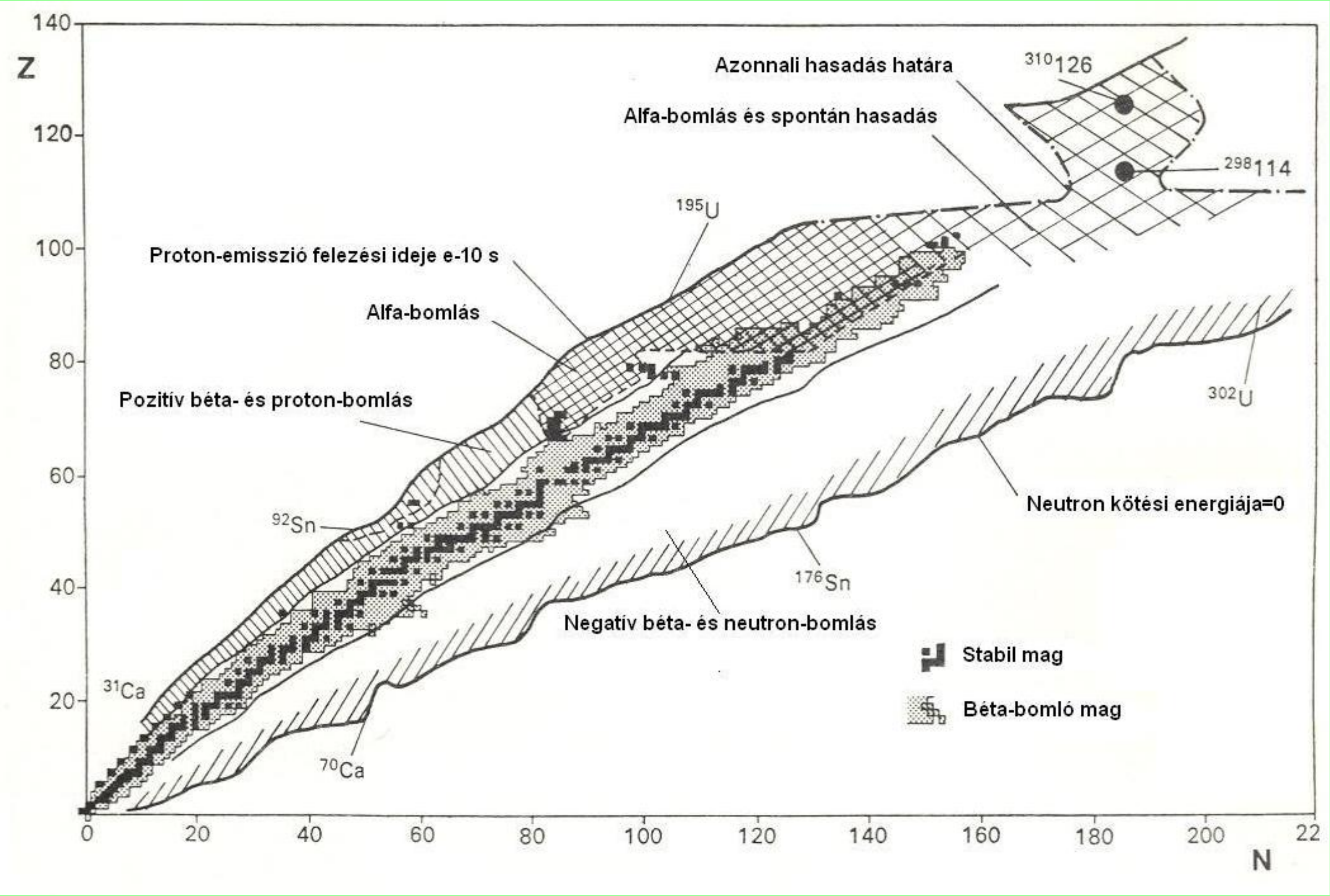
Stabilis magoknál a protonok és a neutronok száma megegyezik (pl. ^{4}He, ^{12}C, ^{14}N, ^{16}O, ^{24}Mg)

Nagyobb magok: a növekvő Coulomb-taszítás miatt: $E_c = \frac{3}{5} k \frac{Z(Z-1) * e^2}{R_a}$

$$A > 2Z$$

Gyakorlatban: a nagy rendszámú magok neutron:proton=1,4:1 aránynál stabilisak.

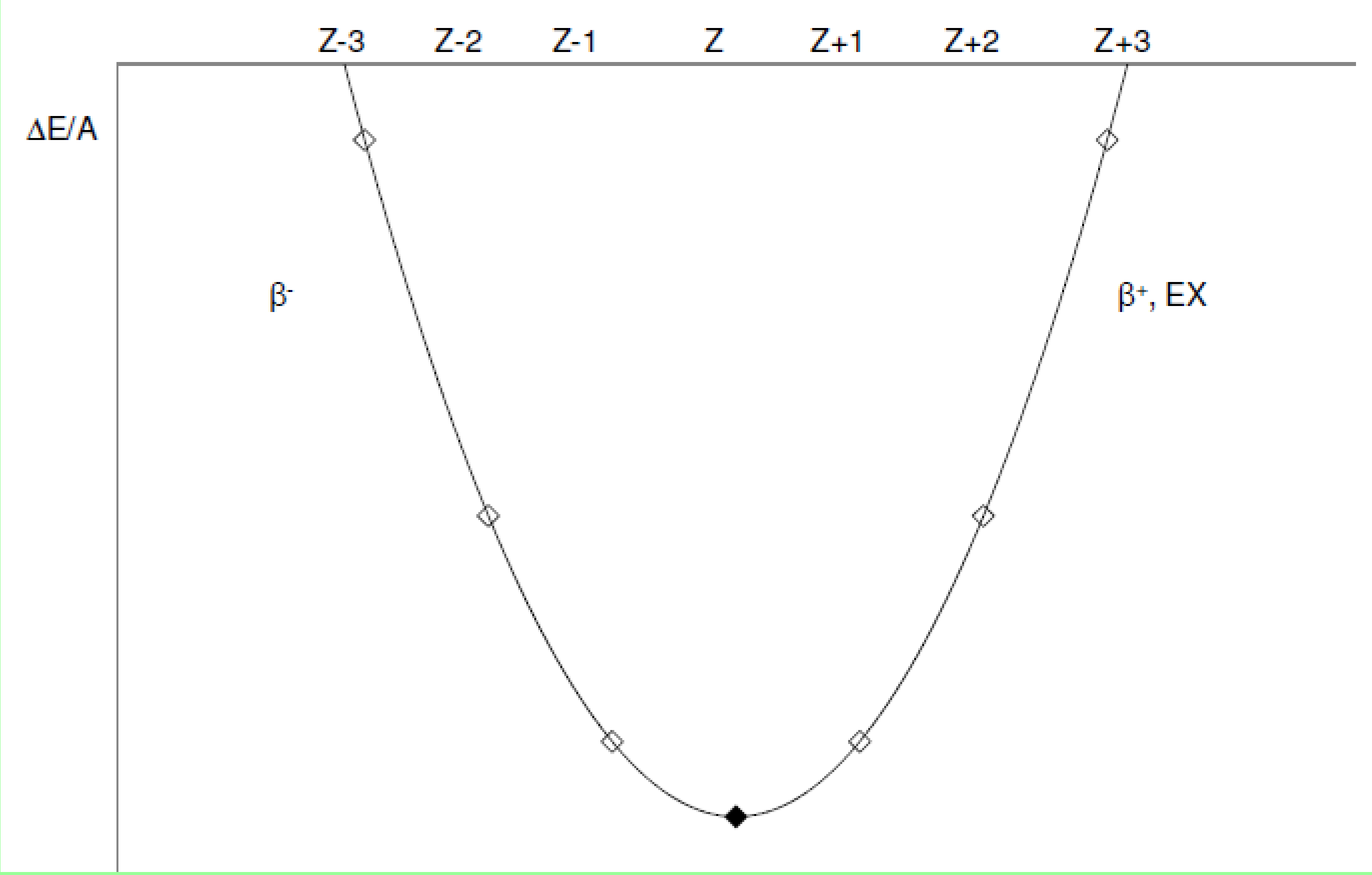
Stabilis és radioaktív magok neutronszám-protonszám függvénye



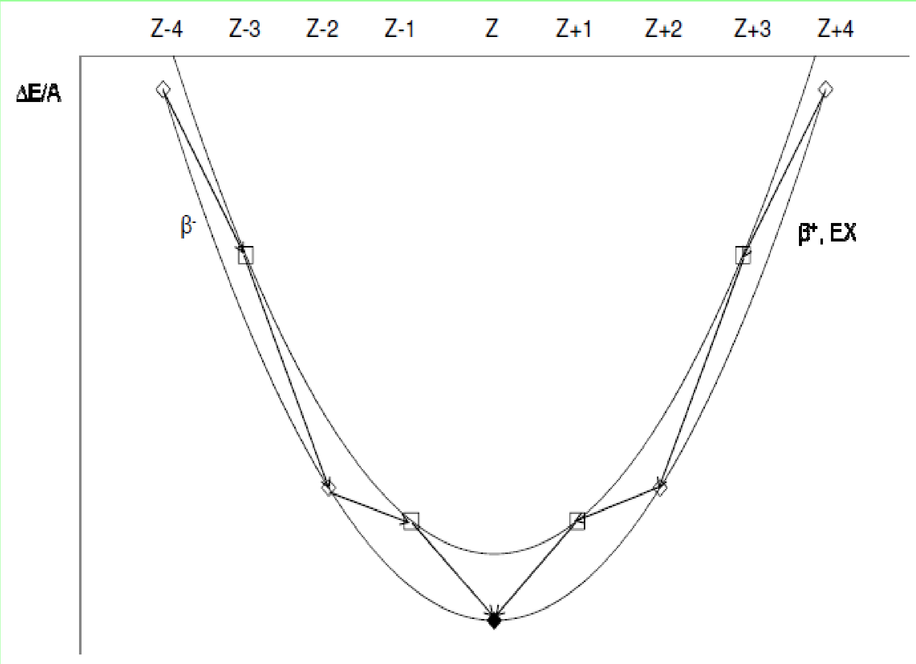
Az atommagok csoportosítása az azonos nukleonok száma alapján

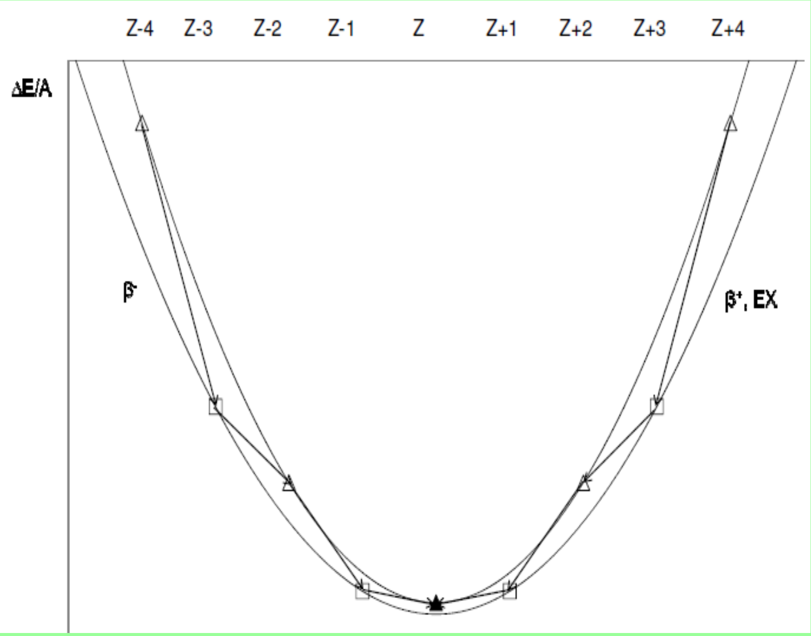
	Z rendszám	N neutronok száma	A tömegszám	N-Z a fölös neutronok száma
izotóp	egyenlő	eltérő	eltérő	
izobár	eltérő	eltérő	egyenlő	
izoton	eltérő	egyenlő	eltérő	
izodiafer				azonos

Izobár magok stabilitása: páratlan izobár



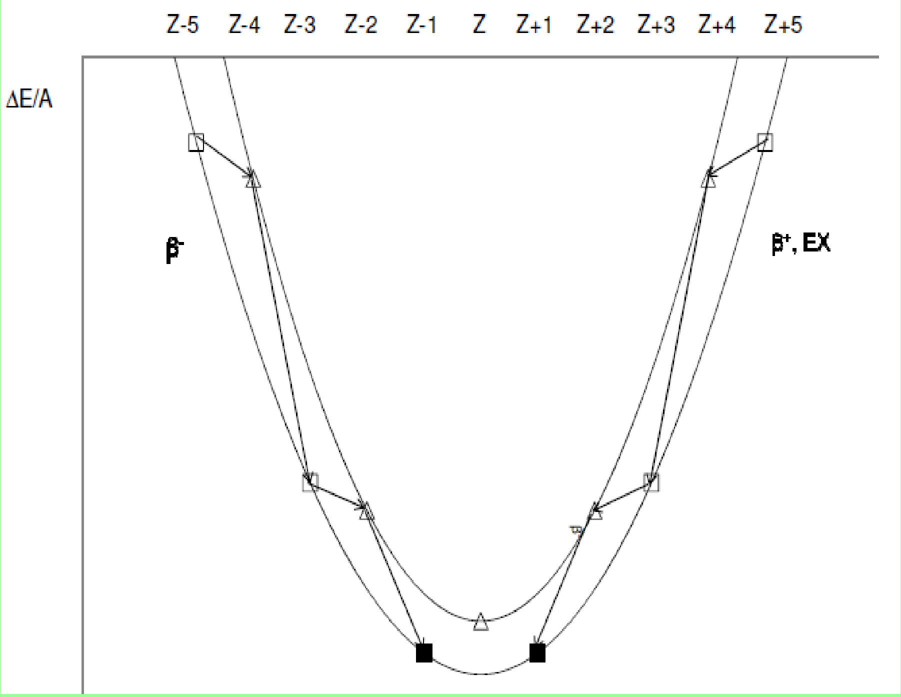
Páros izobár egy stabil maggal

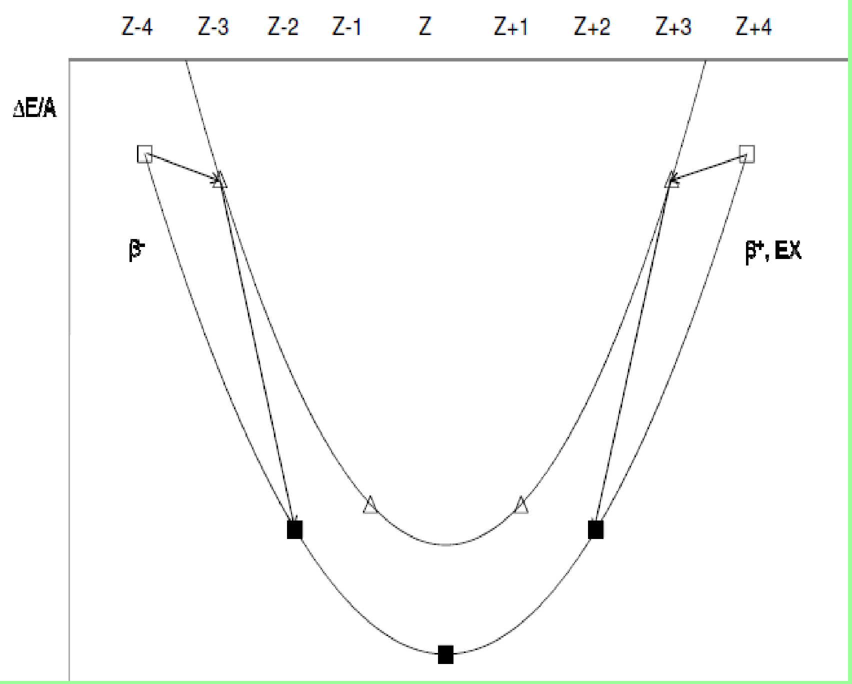




^{2}H, ^{6}Li, ^{10}B, ^{14}N

Páros izobár 2 ill. 3 stabil maggal





Mattauch-szabály

- A stabilis nuklidok előfordulása:
  - A páratlan izobárokon egy stabilis mag van
  - A páros izobárokon kettő vagy több stabilis mag van, amelyek tömegszáma kettővel eltér.
  - Következmény: ha két szomszédos elemnek van ugyanolyan tömegszámú nuklidja, akkor ezek közül legalább az egyik radioaktív. Ezért jelenthetjük ki pl. hogy a technéciumnak (Z=43) nincs stabil izotópja.

Az atommagra jellemző egyéb paraméterek

- Spin:

vektormennyiség, abszolút értéke

$$\sqrt{I(I+1)}\frac{h}{2\pi}$$

I a magspin kvantumszáma, amit egyszerűen magspinnek szoktak nevezni.

A páros tömegszámú magok esetén *I*=0,1,2,3…,

a páratlan tömegszámoknál $I = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2} ...$

A magspin a neutronok és a protonok saját spinjének összegzésével adódik.

Az atommagok átalakulásainál a spinek megmaradási elve érvényesül.

Az atommagra jellemző egyéb paraméterek

- A paritás: a részecskemozgások kvantummechanikai ábrázolására vonatkozik. A mozgást reprezentáló hullámfüggvény
  - szimmetrikus: a részecskék közötti kölcsönhatásban a hullámfüggvény megtartja előjelét - páros paritás
$$\Psi(-x,-y,-z)=\Psi(x,y,z)$$
  - antiszimmetrikus. a részecskék közötti kölcsönhatásban a hullámfüggvény előjelet vált- páratlan paritás
$$\Psi(-x,-y,-z)=-\Psi(x,y,z)$$
  - Magreakciókra a paritás megmaradása jellemző
  - Spin és paritás jelölése együtt: pl. 0+, 7/2-

Az atommagra jellemző egyéb paraméterek

- A részecskesokaság energia-eloszlását leíró statisztika
  - Fermionok: Fermi-Dirac statisztika
    - feles spin
    - Pauli-féle tilalmi elv érvényes
    - Páratlan paritás
  - Bozonok: Bose-Einstein statisztika
    - Spin 0 vagy egész szám,
    - Páros paritás

Az atommagra jellemző egyéb paraméterek

- Mágneses momentum: töltött részecske mozgása
  - Egysége az elektron saját mágneses momentuma, a Bohr-magneton:

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi m_e} = 9.274 * 10^{-24}\,\frac{J}{T}$$

  - amelynek analógiájára a proton tömegét alapul véve a magmagnetont kapjuk:

$$\mu_N = \frac{eh}{4\pi m_p} = 5.050 * 10^{-27}\,\frac{J}{T}$$

ahol *T*= tesla.

Az atommagok mágneses momentuma 0 és 5 μ_m között van.

A proton mágneses momentuma 2,7926 μ_m,

a neutroné pedig –1,9135μ_m: a neutron kisebb, töltött részecskékből áll

Az atommagra jellemző egyéb paraméterek

- Elektromos kvadrupólus momentum: a töltések nem szimmetrikus eloszlásából ered. Sok I>1/2 magra meghatározták. Ha a magspin I=0 vagy I=1/2, kvadrupólus momentum nem alakul ki.

Az atommagok jellemzői

- nyugalmi tömeg
- töltés
- spin
- paritás
- statisztika
- mágneses momentum
- elektromos kvadrupólus momentum (nem minden nuklidra)