Elemi (fundamentális) részecskék („particle zoo”)

Elemi (fundamentális részecske) nincs belső szerkezete

Dalton: atom

Atommodellek: proton, neutron, elektron

Yukawa: mezontér, mezon – új elemi rész!

Ebből is több fajtát, majd újabb elemi részecskéket fedeztek fel a különböző nukleáris és kozmikus folyamatokban.

Ma több mint 300 elemi részecskét ismerünk!

Csoportosításuk alapja: a magoknál is megismert tulajdonságok, az élettartam és a kölcsönhatások erőssége

Kvarkok

A nehéz részecskék, hadronok, maguk is összetettek, kvarkokból állnak. 50 GeV energiájú protonbesugárzással nem bonthatók tovább.

- Típusok:
  - up – down
  - charm – strange
  - top – bottom
- Atommagban: up és down

  nyugalmi tömeg: 1/3 ATE

  töltés: +2/3 –1/3

  - Proton: két up és egy down kvark (UUD)
  - Neutron: egy up és két down kvarkand (UDD)

Fermionok: spin 1/2								**Bozonok: spin 1**				
Név	Jelölés	Nyugal-mi tömeg (MeV)	Töltés	Név	Jelölés	Nyugal-mi tömeg (MeV)	Töltés	Név	Jelölés	Nyugal mi tömeg (MeV)	Töltés	Kölcsönhatás
Leptonok				**Kvarkok**								
elektron	e	0.511	-1	up	u	5.6	+2/3	foton	γ	0	0	Elektromág-neses
elektron neutrínó	ν_e	0	0	down	d	9.9	-1/3	W-bozon	$W_{\pm}$	8.5e4	±1	gyenge
müon	μ^-	105.8	-1	charme	c	1350	+2/3	Z_0-bozon	Z_0	9.5e4	0	
müon neutrínó	ν_μ	0	0	strange	s	199	-1/3	Glüon	g	0	0	erős
tauon	τ^-	1860	-1	top	t	cca.2-e5	+2/3	Bozon: spin 2				
tauon neutrínó	ν_τ	0	0	bottom	b	5000	-1/3	Gravi-ton	G	0	0	gravitációs
				heavy up	U	létezésül nem bizonyított						
				heavy down	D							

Higgs-bozon

http://videotorium.hu/hu/recordings/details/5509,Az_isten-reszecske

Kölcsönhatások relatív erőssége

- Erős 1
- Elektromágneses 10^{-2}
- Gyenge 10^{-14}
- Gravitációs 10^{-39}
- A hatótávolság fordítva arányos a relatív erősséggel.

Antirészecskék

- A táblázatban felsorolt részecskéknek van antirészecskéje, melynek a töltése ellentétes. A részecske-antirészecske kölcsönhatásban kisebb, vagy nulla nyugalmi tömegű részecskék keletkeznek; pl. pozitronannihiláció.

Magmodellek

- Egyik sem magyarázza meg a maggal kapcsolatos összes jelenséget – sok van belőlük
- Alfa-magmodell – csak az alfa-bomlásra
- Cseppmodell
- Héjmodell
- Egyesített és kollektív modellek

Cseppmodell

- A mag állandó sűrűségű, függetlenül a nukleonok számától – folyadékcseppben azonosak a molekulák közötti van der Waals-erők a csepp méretétől függetlenül
- A nukleonok közötti erők hatótávolsága kb. 10^{-15} m
- A magot összetartó energia arányos a nukleonok számával (A).
- Kiszámítható a magok kötési energiája –Weizsäcker-féle félempírikus formula

$$\frac{\Delta E}{A} = -6U_0 + 9\frac{a}{R}U_0 + \frac{3}{5}k\frac{Z(Z-1)e^2}{AR} + \frac{\varepsilon_4}{A} \pm \frac{\varepsilon_5}{A}$$

$$\frac{\varepsilon_4}{A} = \frac{\gamma}{A}\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2 \qquad \frac{\varepsilon_5}{A} = \alpha_5 A^{3/4}$$

γ és α_5 állandók

Weizsäcker-formula tagjai

1. Magot összetartó energia (térfogati energia)

   Két nukleon közötti energia: $-U_0$. Gömbszimmetriában legszorosabb illeszkedés mellett egy nukleonnak 12 szomszédja van (a koordinációs szám 12). Az egy nukleonra eső teljes kötési energia ezek szerint $-12U_0$ lenne, de a nukleonpárok közötti energia számításánál minden nukleont kétszer veszünk figyelembe, így az egy nukleonra eső kötési energia $-12\,U_0/2=-6U_0$. *A* tömegszámú nuklidra: $-6U_0A$.

2. Felületi energia (E_s)

   A széleken levő nukleonoknak csak hat szomszédja van, ez csökkenti a magot összetartó energiát.

   A széleken levő réteg térfogata $4R^2\pi a$ (felület*vastagság).

   Az atommag térfogata $4R^3\pi/3$, a nukleonok száma pedig *A*, egy nukleon térfogata $4R^3\pi/3A$.

   A szélső rétegben levő nukleonok száma a kettő hányadosa: $3aA/R$.

$$E_s = \frac{6}{2}\frac{3aAU_0}{R} = \frac{9aAU_0}{R_0A^{1/3}} = \frac{9aA^{2/3}U_0}{R_0}$$

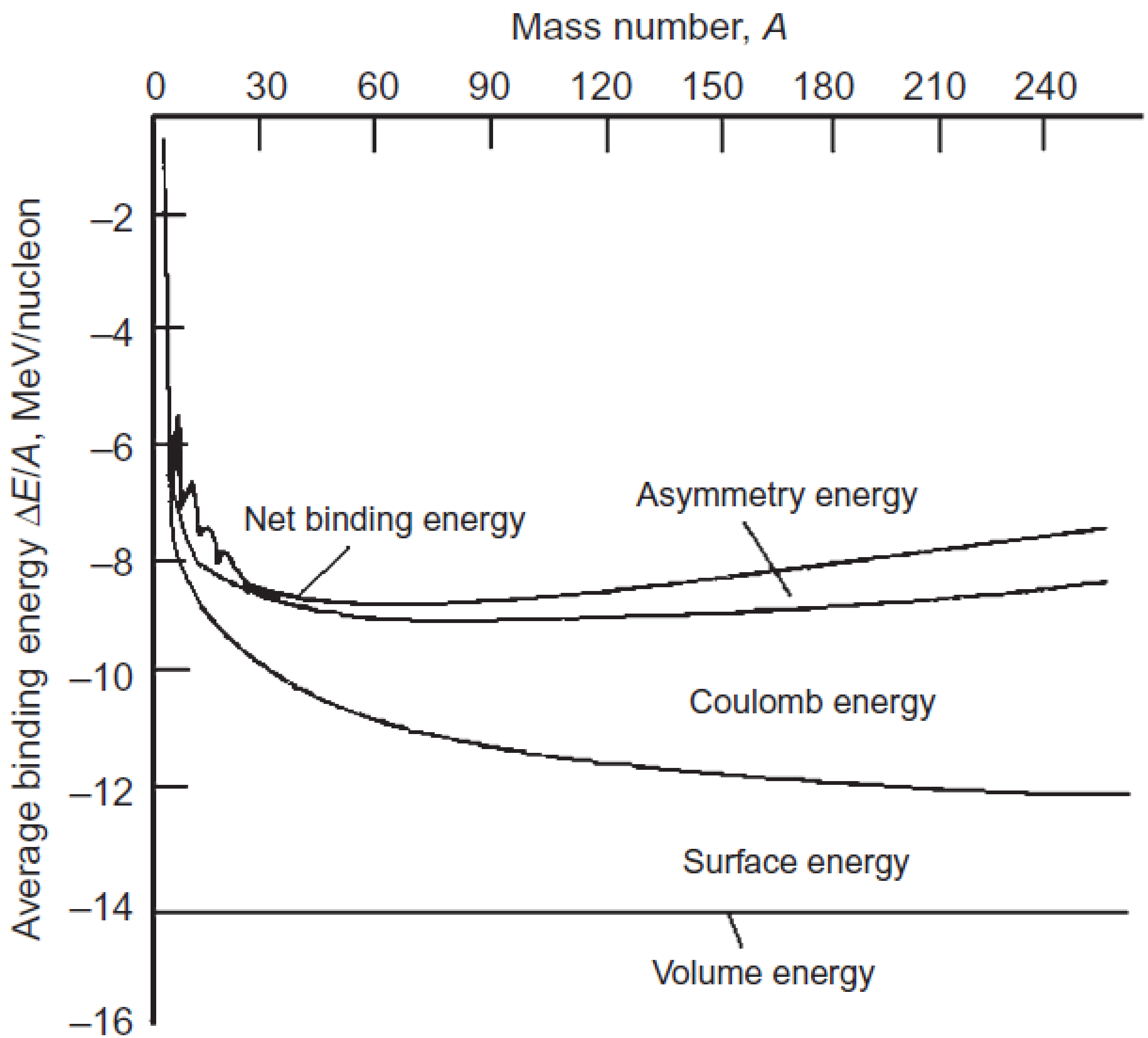
Weizsäcker-formula tagjai

3. A protonok elektrosztatikus taszítása

$$E_c = \frac{3}{5} k \frac{Z(Z-1) * e^2}{R_a}$$

4. Minden tömegszám (*A*) értékhez tartozik egy adott rendszám (*Z*), ami maximális stabilitást jelent. Amikor a proton:neutron arány eltér ettől az értéktől, figyelembe kell venni az ún. aszimmetria-energiát is, ami onnan ered, hogy a proton-proton, proton-neutron, és neutron-neutron párok közötti energia nem teljesen egyforma.

5. A páros-páros proton és neutronszámú magok stabilisabbak, mint a páratlan-páratlan, a páros-páratlan és a páratlan-páros összetételűek. A páros-páratlan és a páratlan-páros esetben ezt a hatást nullának tekintjük, a páros-páros eseteket negatív számmal (növekvő stabilitás), a páratlan-páratlan összetételeket pozitív számmal (csökkenő stabilitás) vesszük figyelembe.



Mass number, A
0
30
60
90
120
150
180
210
240
Average binding energy ΔE/A, MeV/nucleon
–2
–4
–6
–8
–10
–12
–14
–16
Net binding energy
Asymmetry energy
Coulomb energy
Surface energy
Volume energy

Héjmodell

- A cseppmodellel nem magyarázható jelenségek
  - Bizonyos atommagok, ahol a nukleonszám éppen egy adott értékű (mágikus számok: 2, 8, 20, 50, 82, 126) kiemelkedően stabilisak.
  - Igen kis különbség az atommag összetételében egészen eltérő stabilitást eredményez. A ^{210}Po-izotóp felezési ideje 138,37 nap, míg a mindössze két neutronnal eltérő ^{212}Po-izotópé mindössze 10^{-7} s.
- Az atommag héjmodellje: az elektronokhoz hasonlóan a magban a nukleonok is héjakon helyezkednek el. A telített héjak nagyobb stabilitást jelentenek, ezek felelnek meg a mágikus számoknak. A stabilitást jelzi, hogy az izobár atommagok közül a stabil magnak legkisebb a tömege. A radioaktív magok a nem lezárt héjú magok közül kerülnek ki.
- A héjmodell alapján valószínűsíthető, hogy a transzurán elemek között is van olyan mag, amelynek stabilitása nagyobb, felezési ideje viszonylag „hosszú”.

Egyesített vagy kollektív atommodellek

- Az atommagok különböző kollektív tulajdonságait veszik figyelembe :
  - bizonyos atommagok nem gömb alakját, különös tekintettel a gerjesztett állapotokra
  - a magok rezgési és forgási szintjeit
  - ezeket a modelleket a magspektrumok hiperfinom szerkezetének magyarázatára alkalmazzák.
- A két nevet gyakran felváltva használják, mindkettő külön kezeli a lezárt héjakat (cseppmodell) és a nem lezárt héjakat (héjmodell).

A radioaktív bomlás kinetikája

Egyszerű radioaktív bomlás

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

N_0 radionuklidok száma t=0 időpontban

N radionuklidok száma t időpontban

λ a bomlássebességi állandó.

Egyszerű radioaktív bomlás

- Felezési idő: $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$ $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$
- Átlagos élettartam: $\tau = \frac{1}{\lambda}$
- Aktivitás: $A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$

bequerel (Bq) = 1 bomlás/s, curie (Ci)=3,7*10^{10} Bq

- Intenzitás: $I = kA = k\lambda N$ $I = I_0 e^{-\lambda t}$

cpm (counts per minute), cps (counts per second)

A radioaktív bomlás statisztikái jellemzése

Annak valószínűsége, hogy egy nuklid Δt idő alatt elbomlik p:

$$p = \lambda \Delta t$$

Annak valószínűsége, hogy ugyanezen idő alatt a nuklid nem bomlik el:

$$1 - p = 1 - \lambda \Delta t$$

Annak valószínűsége, hogy a nuklid 2*Δt idő alatt nem bomlik el:

$$(1 - p)^2 = (1 - \lambda \Delta t)^2$$

Annak a valószínűsége, hogy egy nuklid n*Δt idő alatt nem bomlik el:

$$(1 - p)^n = (1 - \lambda \Delta t)^n$$

Legyen a vizsgálat teljes időtartama t, ezt n intervallumra osztva:

$$\frac{t}{n} = \Delta t$$

$$(1 - p)^n = \left(1 - \lambda \frac{t}{n}\right)^n$$

Amennyiben n$\to\infty$, akkor :

$$\lim_{n\to\infty}(1 - p)^n = \lim_{n\to\infty}\left(1 - \lambda \frac{t}{n}\right)^n = e^{-\lambda t}$$

N_0 számú radionuklidra:

$$\longrightarrow \quad N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Átlagos élettartam (τ)

Az az idő, amely alatt a radioaktív magok száma e-ad részére csökken. Ez az idő azt is jelenti, hogy ha a bomlás a kezdeti sebességgel folyna tovább, akkor ennyi időre lenne szükség az összes mag elbomlásához.

$$\tau = \int_0^\infty \frac{t\lambda N dt}{N_0} = \int_0^\infty t\lambda e^{-\lambda t} dt = \lambda \left[\frac{e^{-\lambda t}}{\lambda^2} \left(-\lambda t - 1 \right) \right]_0^\infty = \frac{1}{\lambda}$$