

Magfizika

Elérhető segédanyagok

- Kiss Ádám honlapján ^[1]
- Csótó Attila honlapján ^[2]

Magfizika tételkidolgozás - Első rész

A korábbi évek (2003., 2004., 2005.) feladatsorainak zanzásított, típus szerinti megoldásai.

1. Izotópok

a) Milyen eredetűek a környezetünkben előforduló radioaktív atommagok? b) Sorolja fel a természetben előforduló radioaktív családokat

a) A környezetünkbe előforduló radioaktív atommagok:

- Hosszú felezési idejű izotópok, pl: $^{40}_{19}\text{K}$ ($1,28 \cdot 10^9$ év – 0.012%); $^{87}_{37}\text{Rb}$ ($4,7 \cdot 10^{10}$ év – 27.83%); $^{113}_{48}\text{Cd}$ ($9 \cdot 10^{15}$ év – 12.3%); $^{115}_{49}\text{In}$ ($5 \cdot 10^{14}$ év – 95.7%); $^{208}_{82}\text{Pb}$ (52.4%); $^{206}_{82}\text{Pb}$ (24.1%); $^{207}_{82}\text{Pb}$ (22.1%)
- Folyamatosan keletkező izotópok, pl:
 - ^3H (12.3 év – β - [$E_{\text{max}}=18.6$ keV]), folyamatok: $^{14}\text{N}(n,t)^{12}\text{C}$ és $^{16}\text{O}(n,t)^{14}\text{N}$, keletkezési seb. $\sim 0,25 \frac{\text{atom}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$, egyensúlyi mennyiség az atmoszférában: ~4 kg, egyenetlen eloszlású, nem keveredik gyorsan
 - $^{14}_6\text{C}$ (5730 év – β - [$E_{\text{max}}=156$ keV]), folyamat: $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$, 2 atom/(cm².s) évente ~ 7 kg keletkezik, gyorsan keveredik a CO₂-n keresztül; ~ 56 t egyens. mennyiség a légkörben, élő szervezetben 13.5 Bq/g › kormeghatározás
- Civilizációs eredetű, a természetbe kijutott radioaktivitás (nukleáris fegyverkísérletek (1963-ig), nukleáris technika, reaktorok balesetei, stb.), pl: $^{137}_{55}\text{Cs}$ (30.07 év); $^{90}_{38}\text{Sr}$ (28.78 év)

b) A természetben előforduló radioaktív családok:

- $4n + 2$ › $^{232}_{90}\text{Th}$ ($1,4 \cdot 10^{10}$ év); tórium-sor stabil végmag (=anyaizotóp?) $^{208}_{82}\text{Pb}$ (52.4%)
- $4n + 1$ › $^{237}_{93}\text{Np}$ ($2,2 \cdot 10^6$ év); neptúnium-sor, $^{209}_{83}\text{Bi}$ (100%) a rövid felezési idő miatt már elbomlott
- $4n + 2$ › $^{238}_{92}\text{U}$ ($4,5 \cdot 10^9$ év); urán-sor $^{206}_{82}\text{Pb}$ (24.1%)
- $4n + 3$ › $^{235}_{92}\text{U}$ ($0,7 \cdot 10^9$ év); aktínium-sor, $^{207}_{82}\text{Pb}$ (22.1%)

2. Magsűrűség

a) Milyen módszerekkel lehet meghatározni az alapállapotú magok magsűrűség-eloszlását? b) Írja fel a Woods-Saxon eloszlást, és jellemezze az eloszlás tényleges alakját meghatározó paramétereket! c) Mi az elvi különbség a nagyenergiájú elektronokkal, ill. neutronokkal végrehajtott szórás kísérletekből meghatározott magsűrűség-eloszlások között? d) Hogyan függ a magsugár a tömegszámától?

a) Alapállapotú magok magsűrűség-eloszlásának meghatározása: Például szórás kísérletekkel történhet.

b) Woods-Saxon eloszlás

$$\rho(r) = \frac{k \cdot \rho_0}{1 + \exp\left(\frac{r-R_1}{a}\right)}$$

- $a \rightarrow$ diffúziós: ρ 90% és 10% közötti távolsága

- $R_{\frac{1}{2}} \rightarrow$ sűrűség 50% (leggyakrabban)
- $R = R_0 \cdot A^{\frac{1}{3}} \rightarrow R_0 = 1,128 fm \rightarrow$ az atommagok sűrűsége ~ állandó --> **magsugár tömegszám-függése!**
- $\rho(0) = 0,17 \cdot \frac{Z \cdot e}{A} (fm^{-3})$

c) A neutronok nem hatnak kölcsön elektromágnesesen, az elektronok nem hatnak kölcsön erős kölcsönhatással a maggal, így neutronokkal a maganyag sűrűségét, elektronokkal a töltéssűrűséget lehet mérni.

3. Mágikus számok

a) Sorolja fel a mágikus számokat! b) Mondjon példát egy stabil, kétszer mágikus atommagra! c) Mutasson két jelenségek közt, ahol a mágikus számok különleges szerepe megnyilvánul!

a) A mágikus számok: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126

b) Stabil, kétszer mágikus atommag: $^{16}_8\text{O}$ (99.76%), $^{40}_{20}\text{Ca}$ (96.941%), $^{208}_{82}\text{Pb}$ (52.4%)

c) Két jelenségkör, ahol a mágikus számok különleges szerepe megnyilvánul:

(ílyesmik):

- Az átlagos kötési energia nagyobb, ahol a proton vagy neutronszám vagy mindkettő mágikus.
- Lényegesen több stabil izotópjuk van, mint a nem mágikus magoknak.
- A béta bomlás energiája megnő (a megnő kifejezés nem biztos hogy jó kifejezés) ott, ahol N,Z mágikus.
- Az első nívók gerjesztési energiája markáns lokális maximumokat mutat a tömegszám függvényében ott, ahol a proton vagy neutronszám mágikus.
- A gamma befogási hatáskeresztmetszetek a neutronszám függvényében (klasztereket mutatnak mágikus N-ek környékén).
- Páros neutronszámú és mágikus neutronszám esetében a neutronszerparációs energia ugrik.
- A mágikus magok gömb alakúak, a mágikustól távoli magok egyre inkább deformáltak.

(A magtulajdonságok diában az 1-6 ponthoz található grafikonok a 12-17 oldalon megtalálhatóak)

4. Magok tömege

a) Mi az AMU? b) Milyen módszerekkel határozzuk meg az atommagok tömegét és mekkora a meghatározás relatív pontossága? c) Mi a kötési energia definíciója?

a) AMU: Atomic Mass Unit (atomi tömegegység), $M(^{12}\text{C atom}) = 12,000 \text{ AMU}$, $1 \text{ AMU} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 $= 931,501 \text{ MeV}$.

b) Tömegmeghatározás és annak relatív pontossága:

- Tömegspektrometria (I. Atomfizika)

$$F = q \cdot \left(E + \frac{1}{c} \cdot [v \times B] \right) \rightarrow \text{forrás} - \text{két diszperzív elem} - \text{detektálás} \rightarrow M \text{ és } v$$

meghatározható, kulcskérdés: fókuszálás (irány, seb.), ma: $\Delta M \sim 10^{-6} - 10^{-7} \text{ AMU} \rightarrow \Delta M/M \sim 10^{-7} - 10^{-9}$

- Bomlások, bomlási termékek vizsgálata: Ismert: egyik tömeg \rightarrow rész. azonosítás, energiamérés \rightarrow bomlástermékek tömege meghatározható; Stabilitástól távoli magok tömegére \rightarrow pontosság: energiamérés pontosságától függ Felhasznált eszközök: félvezetők, mágneses spektrométerek: $\Delta E \sim \text{keV}$
 $\rightarrow \Delta M \sim 10^{-6} \text{ AMU} \rightarrow \Delta M/M \sim 10^{-8}$
- Magreakciók kinematikája: Legegyszerűbb: A(B,C)D reakció (általában: B és C könnyű; B bombáz, C kirepül); ahol $T_B \rightarrow$ bombázó energia; $T_A = 0$. Mérendő: T_C és T_D ; Ma: sokrészesek reakciók is; Pontosság: detektálás pontossága; $\Delta M \sim 10^{-6} \text{ AMU}$

- Az atommagok tömegét magtáblázatokban található adatokból lehet meghatározni, általában nem közvetlenül adják meg.

c) A kötési energia definíciója: Az az energia, ami akkor szabadul fel, ha az atommagot távoli protonokból és neutronokból felépítjük.

- Tömegdefektus: $\frac{B(Z, A)}{c^2} = M(Z, A) - Z \cdot M_p - (A - Z) \cdot M_n$
- Átlagos (nukleononkénti) kötési energia: $B_{\text{ÁTL.}} = B(Z, A)/A$
- Táblázatokban: $\left[M(Z, A) - A \cdot \left(\frac{^{12}\text{C}}{12} \right) \right] \cdot c^2 (\text{keV})$

5. Tömeg-sugár kapcsolat, izospin

a) Mekkora azoknak a magoknak a tömegszáma, amelyek 1) sugara, 2) felülete, 3) térfogata kétszerese az alumínium 27-es tömegszámú izotópjáénak? b) Mekkora az $^{27}_{13}\text{Al}$ mag alapállapotának izospinjé?

a) Magok tömegszáma. Először is emlékezzünk vissza a sugár-tömegszám összefüggésre: $R = R_0 \cdot A^{\frac{1}{3}} \rightarrow R_0 = 1,128 \text{ fm}$. A 27-es tömegszámú alumínium sugara: $1,128 \text{ fm} \cdot 3 = 3,384 \text{ fm}$.

$$1) \text{ Sugár kétszerese: } 6,768 \text{ fm. Tömegszám: } \left(\frac{6,768 \text{ fm}}{1,128 \text{ fm}} \right)^3 = 216.$$

$$2) \text{ 27-es alumínium felülete: } A = 4 \cdot r^2 \cdot \pi = 143,903 \text{ fm}^2 \sim 144 \text{ fm}^2. \text{ Ennek kétszerese: } 288 \text{ fm}^2. \text{ Ebből a sugár: } 4,7873 \text{ fm. Ebből a tömegszám: } \left(\frac{4,7873 \text{ fm}}{1,128 \text{ fm}} \right)^3 = 76,4442 \sim 76.$$

$$3) \text{ 27-es alumínium térfogata: } V = \frac{4}{3} \cdot r^3 \cdot \pi = 162,3227 \text{ fm}^3. \text{ Ennek kétszerese: } 324,6454 \text{ fm}^3. \text{ Ebből a sugár: } 4,2636 \text{ fm. Ebből a tömegszám: } \left(\frac{4,2636 \text{ fm}}{1,128 \text{ fm}} \right)^3 = 54,001 \sim 54.$$

b) $^{27}_{13}\text{Al}$ mag alapállapotának izospinjé: ???

A neutron izospinjének harmadik komponense $-1/2$; a proton esetében ez $1/2$. $^{27}_{13}\text{Al}$ mag esetében eggyel több a neutronok száma, mint a protonoké. Az izospin harmadik komponense összeadható, így $T_z = -1/2$. Kis rendszámú alapállapotú atomok esetében az izospin harmadik komponensének abszolútértéke megegyezik az atom izospinjével. Így a válasz $T=1/2$.

Valszeg nem jó, de:

a 13 protonból 2 van $^1s_{1/2}$ -n, 4 db $^1p_{3/2}$ -n, 2 db $^1p_{1/2}$ -n, 5 db $^1d_{5/2}$ -n.

Tehát $I = 5/2$, mert az utolsó páratlanul maradt proton ezen állapoton van, és csak ez ad járulékot.

(A neutronok tuti nem adnak járulékot, mert párosával vannak.)

6. FEKF

Írja fel a félempirikus kötési formulát és magyarázza meg az egyes tagok felléptének fizikai okát!

$$\text{FÉKF: } M(Z, A) \cdot c^2 = (Z \cdot M_H + (A - Z) \cdot M_n) \cdot c^2 - \alpha \cdot A + \beta \cdot A^{\frac{2}{3}} + \epsilon \cdot \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} + \gamma \cdot \frac{(A - 2 \cdot Z)^2}{A} \pm \delta \cdot A^{-\frac{3}{4}}$$

$$\text{Csak a kötési energiára felírva: } E_{\text{kot}} = \alpha \cdot A - \beta \cdot A^{\frac{2}{3}} - \epsilon \cdot \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} - \gamma \cdot \frac{(A - 2 \cdot Z)^2}{A} \pm \delta \cdot A^{-\frac{3}{4}}$$

- $-\alpha \cdot A$: Térfogati tag (legnagyobb járulék), az erős kölcsönhatás rövid hatótávja miatt csak a közvetlen szomszédokkal hat csak kölcsön minden nukleon.
- $+\beta \cdot A^{\frac{2}{3}}$: Felületi feszültség tag, a felületen kevesebb szomszéd van, ezért itt túlszámoltuk az első tagban a kötési energiát, ezzel visszakorrigálunk.

- $+\epsilon \cdot \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}}$: Coulomb-tag, a protonok taszítása miatt lép fel.
- $+\gamma \cdot \frac{(A - 2 \cdot Z)^2}{A}$: Szimmetria tag, a Pauli-elv miatt a protonok és a neutronok magasabb energiájú szintekre kényszerülnek, ha sokan vannak, így adott nukleon szám mellett az a legkedvezőbb, ha ugyan annyi van belőlük.
- $\pm\delta \cdot A^{-\frac{3}{4}}$: Pártag, a nukleonok szeretnek párosával betölteni állapotokat, mert így nem lesz eredő spinjük, ami a Pauli-elv miatt kedvezőbb energiájú. Ezért a páros neutron, illetve proton számok energetikailag kedvezőbbek.

7. Gerjesztett állapotok

a) Mely mennyiségek jellemzik az atommag gerjesztett állapotait? b) Mit értünk yrast állapotok alatt?

a) Jellemző mennyiségek:

- Energia
- Szélesség (Γ , $T_{1/2}$)
- Spin
- Paritás
- Izospin
- Áram- és töltéseloszlások (elektromos és mágneses momentumok)
- Bomlásmódok, elágazási arányok
- Gerjesztés módjai, hatáskeresztmetszetek stb.

b) Yrast állapotok: az adott perdülethez (magspinhez) tartozó minimális energiaállapot.

8. Nívósűrűség

Mi a nívósűrűség definíciója? Hogyan függ a nívósűrűség a vizsgált magállapotok a) perdületétől, b) paritásától, c) izospinjének harmadik komponensétől? Hogyan változik az atommagok nívósűrűsége a gerjesztési energiával? Mi a nívósűrűség-paraméter és mire jellemző a spinlevágási paraméter?

- A nívósűrűség definíciója: Adott J kvantumszám esetén egy E energia dE környezetében található nívók számát adja meg.

$$\rho(E, J) = \frac{k \cdot \exp(2 \cdot \sqrt{a \cdot E^*})}{E^{*\frac{5}{4}}} \cdot (2 \cdot J + 1) \cdot \exp\left(-\frac{(J + \frac{1}{2})^2}{2 \cdot \sigma^2}\right)$$

- $E^* = E \pm \Delta_{ptl-ps}$
- J a magspin
- a a nívósűrűség-paraméter (egyszerű modell szerint: $a \sim \frac{A}{8} \frac{1}{MeV}$).
- σ a spinlevágási paraméter
- Nívósűrűség függése a magállapotok:
 - a) perdületétől: exponenciális*konstans ?????? (ha 7b része szerint perdület (itt is)=magspin)
 - b) paritásától: ???
 - c) izospinjének harmadik komponensétől: ???
- Az atommagok nívósűrűsége a gerjesztési energiával:
 - a) könnyebb magok esetén lineárisan változik (a példák között ${}^{66}_{30}Zn$ (ps-ps) volt a legnagyobb tömegszámú).
 - b) nehezebb magok esetén exponenciálisan változik (a példák között a ${}^{124}_{51}Sb$ (ptl-ptl) volt a legkönnyebb).

- A nívósűrűség-paraméter definíciója: $a \sim \frac{A}{8} \frac{1}{MeV}$????????

- A spinlevágási paraméter: $\sigma^2 = 0,015A^{\frac{5}{3}} \cdot T$, ahol A a tömegszám, T a maghőmérséklet (a nívósűrűségből definiálva).

9. Izospin

a) Mi az izospin? b) Mi az izobár analóg állapot? c) A ^{74}Ge ($Z = 32$) két azonos tömegszámú szomszédja, a ^{72}As ($Z = 33$), illetve a ^{74}Ga ($Z = 31$) közül melyikben figyelhető meg a ^{74}Ge alapállapotának megfelelő izobár analóg állapot és miért?

a) Izospin [3]: alap gondolat: a proton és a neutron a *nukleon* két megjelenési formája. Harmadik komponensének értéke: $T_3 = T_z = 1/2 (Z-N)$. Csakúgy mint a spint, az izospint is két számmal írhatjuk le, az I a teljes izospinnel, és az I_3 izospinkomponenssel, amit egy kiválasztott irányban veszünk az izospintérben. A proton és a neutron esetén egyaránt $T=1/2$, mivel mindketten – történetesen ugyanazon – dubletthez tartoznak. A protonra $T_3=+1/2$ ('izospin-fel') a neutronra pedig $T_3=-1/2$ ('izospin-le').

b) Izobár analóg állapot: (?) Olyan két mag, amelyekben a tömegszám megegyezik.

c) (? ha b igaz): ^{74}Ge és ^{74}Ga izobár analóg állapotok, mert mindkettőnek az alapállapota $^2p_{3/2}$ protonokra, de az As esetén $^1f_{5/2}$. Neutronokra mindhárom atommagnál $^1g_{9/2}$ az állapot.

10. Kvadrupólmomentum

a) Mi a kvadrupólmomentum definíciója? b) Mi a kvadrupólmomentum dimenziója? c) Mit jelent a mag alakjára nézve az, ha a kvadrupólmomentum pozitív/negatív értékű? d) Melyik tömegszám-tartományban mérték a legnagyobb eltéréseket a magalak gömbszimmetriájától?

a) Kvadrupólmomentum: az atommag belső elektromos kvadrupólmomentuma. (a mag és a külső el. tér kölcsönhatásából?)

Képletes alakban:
$$W = e \cdot Z \cdot \int \rho' \cdot \phi d\underline{r},$$
 ahol

$$\phi(x, y, z) = \phi_0 + \sum_j \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \Big|_0 + \frac{1}{2} \cdot \sum \frac{\partial^2 \phi}{\partial x_j \partial x_k} \Big|_0 \cdot x_j \cdot x_k$$

A harmadik tag a behelyettesítés után: $\frac{1}{2} \cdot e \cdot Z \cdot \sum \frac{\partial E_j}{\partial x_k} \Big|_0 \cdot Q_{j,k}$

$$Q_{j,k} = \int \rho' \cdot x_j \cdot x_k d\underline{r}$$

$$Q_{rr} = \int \rho' \cdot r^2 d\underline{r} = Q_{xx} + Q_{yy} + Q_{zz}$$

Spektroszkópiai kvadrupólmomentum:

$$Q = 3 \cdot Q_{zz} - Q_{rr} = \int \rho' \cdot (3 \cdot z^2 - r^2) d\underline{r} = \int \rho' \cdot r^2 \cdot (3 \cdot (\cos^2 \theta) - 1) d\underline{r} = 2 \cdot \int \rho' \cdot r^2 \cdot P_2(\cos \theta) d\underline{r}$$

Belső kvadrupólmomentum:

$$Q_{x'x'} = Q_{y'y'} \neq Q_{z'z'}$$

$$Q = \int (3 \cdot \cos^2 \theta) \cdot r^2 \cdot \rho'(x, y, z) d\underline{r} = \frac{1}{2} (3 \cdot \cos^2 \xi - 1) \cdot Q_0$$

Ahol Q_0 a belső kvadrupólmomentum, ez ad információt a mag alakjáról.

b) Dimenziója: Hosszúság², például barn-ban is megadható.

c) Ha pozitív: szivar alakú, ha negatív, diszkosz alakú a mag, és 0 ha gömbszimmetrikus.

d) Deformált magokat távol a mágikus számoktól találtak.

16. 1/v-s törvény

Mire vonatkozik az 1/v-s törvény és mi a fizikai oka érvényességének?

Neutronok rugalmas szórásánál kis energián (n,n-szórás, $E < 5$ eV) a hatáskeresztmetszet konstansnak tekinthető. Azonban exoterm reakcióknál alacsony energiájú neutronokkal (n, γ), (n,p)+Q (a reakció során keletkezett energia) a hatáskeresztmetszet arányos lesz a neutronok sebességének reciprokával, $\sigma \sim \frac{1}{v_n}$. Ez az 1/v-s törvény. Általános (fázistér) megfontolások miatt igaz, nincs köze például a magszerkezethez.

17. Magreakciók

a) Mi a különbség a direkt- és az összetett magreakció-mechanizmusok között? (Ismertesse ezen mechanizmusokat!) b) Soroljon fel néhány kísérletben megfigyelhető különbséget! c) Mi a Goshal-kísérlet lényege?

a) A direkt reakciók rövid idő alatt (10^{-22} sec), gyorsan végbemennek, kevés szabadsági fokúak, egyetlen lépésben végbemennek, sokszor nagy energiás részecskével, előre irányuló, szórási jellegűek, az energiafüggésük sima, szelektív impulzus-momentum átadás jellemző.

Az összetett magreakciók (CN, Compound Nucleus), lényegesen hosszabb ideig (10^{-16} sec) tarthatnak, sokszabadsági fokú a lefolyásuk, soklépésesek, ezért a rendszer igen nagymértékben elfelejti a kezdeti állapotot, mire a végállapotba jut (lásd c.), fluktuációk jellemzőek a differenciális hatáskeresztmetszet energiafüggésében, szög szerint előre-hátra szimmetria jellemző.

b) A fentiek közül a hatáskeresztmetszet jellemzői, valamint a direkt reakcióknál a szórási jelleg fontos.

c) A Goshal kísérlet CN reakciókban vizsgálta a felejtés jelentőségét, amikor is ugyan azt a CN állapotot többféle be- és kimenő csatornából lehetett előállítani, az eredmények szerint nagyon hasonló a hatáskeresztmetszet függés a bemenő csatornákra, de nem azonos, tehát a rendszer erőteljesen felejt, de nem független a bemenő csatornáktól.

18. Hasadás

a) Mi a spontán hasadás és mi az indukált hasadás? b) Mi jellemzi a 220 és 240 közé eső páratlan tömegszámú atommagok hasadási tulajdonságait? c) Mi jellemzi a hasadványok energia- és tömegeloszlását? d) Hogyan függ a tömegeloszlás a hasadást indukáló részecske energiájától? e) Mi jellemzi a hasadási neutronokat? (Energia- és tömegeloszlás is!) f) Mi a késő-neutronok jelenségköre és mi a fellépésük oka? g) Hozzávetőleg mennyi a késő neutronok és az azonnali (prompt) neutronok intenzitásaránya? h) Mi a termikus és a gyors (szaporító) reaktorok közötti különbség?

a) Spontán hasadás: Instabil mag kisebb magokra esik szét, miközben energia szabadul fel. Indukált hasadás: a felszabadulóhoz képest kicsiny energiabefektetés (aktivációs energia) hatására bekövetkező hasadás. Itt fontos a termikus neutronok szerepe.

b) A párosak nem, a páratlanok viszonylag könnyen hasadnak (az eltérő viselkedés a párenergia miatt lép fel). Az ^{235}U ebből a szempontból különösen előnyös, mert egy termikus neutron belövésével a magba a neutronerjesztettség energiája ($E_n = 6,8$ MeV) az így kialakuló ^{236}U -ban nagyobb lesz, mint a hasadáshoz szükséges aktivációs energia ($E_{akt} = 6,5$ MeV). A ^{238}U esetében a termikus neutron belövése a kialakuló ^{239}U -nál 5,8 MeV-es neutronerjesztettséget okoz, míg az aktivációs energia itt 7 MeV.

c) Tömegeloszlás: 94 és 140 környékén két maximum (nagy intenzitás), körülötte alacsony. Energiaeloszlás: szintén két maximum (110 MeV-ig rajzoltuk fel az energiát), összesen körülbelül 160-200 MeV-et adnak.

d) Kis energián gyakorlatilag nincs szimmetrikus hasadás, ha növeljük az energiát, akkor ez valamelyest emelkedik. Néhányszor 10 MeV-ig a kettős hasadás dominál, utána már a hármas hasadásnak is megnő a valószínűsége (ez már spalláció, és nem hasadás!!!).

- e) A hasadási neutronok gyors neutronok, 2-4 keletkezik egy hasadásnál, 230-250-es tömegszám-tartományban a hasadványoktól kevésbé függ a számuk. Viszont az indukációs energia növelésével nő a számuk. Energiaeloszlásuk: átlag: 0,7 MeV, maximális energia: 2 MeV.
- f) A késő-neutronok a hasadás során keletkező leányelem béta-bomlása révén keletkeznek. A prompt (azonnali) neutronok közvetlenül a hasadáskor keletkeznek.
- g) Hozzávetőlegesen 0,6 %. De a hozam az indukáló neutron energiájától függ. Ez teszi lehetővé a hasadási reaktor építését. (A szabályozhatóság szempontjából nagy szerepe van.)
- h) Termikus reaktor: kicsit dúsított urán, van moderálás, víz- vagy grafithűtés. Gyors tenyésztőreaktor: nagy dúsítás, nincs moderálás, általában folyékony fémes (pl. folyékony nátriumos) hűtés.

Magfizika tételkidolgozás - Második rész

Milyen a forgási gerjesztési módusok spektruma és miért ilyen?

Merev rotátor közelítésben a Hamilton: $\frac{L^2}{2\sigma}$. Ennek sajátértékei: $\frac{\hbar l(l+1)}{2\sigma}$. Ezek a forgási gerjesztési módusok merev rotátor közelítésben. Azért tekinthető merev rotátornak, mert $E_{\text{rot}} \text{ gerjesztés} \ll E_{\text{forg}} \text{ gerjesztés} \ll E_{\text{magfizikai}} \text{ gerjesztés}$ (mivel más a spin, paritás stb.)

Miért tűnik fel a 14-es mágikus számként a kötési energiában?

A héjmodellben a betöltődési sorrend: $1s_{1/2}$, $1p_{3/2}$, $1p_{1/2}$, $1d_{5/2}$. Ez után a $2s_{1/2}$ jön a betöltődésben, ami egy nagy ugrás energetikailag, így itt a kötési energia lokális minimumot vesz fel.

Miért alkalmazható a független részecskekép?

A cseppmodell érvényességét a mágikus számok léte szétzúzta. A magokon belül nincs centrális erő, ami a különleges nukleonszámok felléptét előidézné. A magerők erősek, nem érhető, hogy ezek mi mellett hanyagolhatók el első közelítésben. A mágikus számok léte mégis azt bizonyította, hogy a magokon belül a független részecske modell a jó közelítés. (forrás: Csótó Attila honlapján a magfizika fizikushallgatóknak jegyzet 24. oldala).

Mi a virtuális részecske?

Rövid élettartamú, kölcsönhatást közvetítő részecske. Megengedett neki, hogy off-shell legyen, vagyis $p_\mu p^\mu$ nem feltétlenül egyezik meg $m^2 \cdot c^2$ -tel. A Feynman-diagrammokban a virtuális részecskékhez tartozó belső propagátorok ugyan megengedettek, hogy off-shell legyenek, de az amplitudó általában eltűnik minél off-shellebbek, annál inkább. A propagátornak tipikusan szingularitása van on-shell. Matematikailag a virtuális és valós részecskék nem igazán különböztethetőek meg, ez inkább "gyakorlati jellegű" fogalom.

Szimmetriák és megmaradási tételek

a) Mi az összefüggés a szimmetriák és a megmaradási tételek között? b) Mik a sérülő szimmetriák? c) Soroljon fel legalább négy független, sérülő szimmetriát és mondja meg, mikor sérülnek!

a) Noether-tétel alapján minden folytonos (diffható, kis távolságon csak kicsit változó) szimmetriához tartozik egy megmaradási törvény, illetve megmaradó mennyiség. Más oldalról megközelítve: $\frac{dA}{dt} = \frac{i}{\hbar} [A, H]$, tehát ha egy mennyiség kommutál a hamilton operátorral azaz $[A, H]=0$ akkor a mennyiség megmaradó.

b) CP,P (paritás) – gyenge kölcsönhatásban nem marad meg. Leptonszámok - gyenge kölcsönhatásban nem marad meg, neutrínó-oszcilláció sérti. Flavour - gyenge kölcsönhatás sérti.

c) c) Lásd: b).

Milyen tényből következik a barionszám-megmaradás?

A kvarkszám megmaradásból. β -bomlás során a kvarkszám (vagyis a kvarkok és antikvarkok számának különbsége) megmaradó mennyiség. Ez a szabály az erős és elektromágneses kölcsönhatásra is érvényes (ezeknél még a kvarkok fajtája sem változik). A kvarkszám egyharmadát barionszámmak hívjuk (tehát a proton és a neutron barionszáma: 1). A proton a legkönnyebb barion, s mivel a barionszám megmaradó mennyiség (na inentől tautológia), a protonnak abszolút stabilnak kell lennie (kísérletileg mért élettartama legalább 1031 év; a nagy egyesítési elméletek szerint még a proton is elbomolhat, de ezt még eddig nem sikerült kimutatni).

Hullámfüggvények

a) Mi a különbség egy $l = 0$ és egy $l = 2$ hullámfüggvény között? Rajzolja fel sematikusán a radiális komponenseket egy potenciálgödörben! b) Mi a különbség fizikai oka?

a) $l = 0$ -nak nincs zérushelye. $l = 2$ -nek van két zérushelye a radiális komponensben.
ÁBRA!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

b) ???

Miért végtelen hatótávolságú az elektromágneses kölcsönhatás?

$\Delta E \Delta t \approx \hbar \rightarrow \Delta t \approx \frac{\hbar}{\Delta E} = \frac{\hbar}{\hbar \omega} = \frac{1}{\omega}$. A foton által Δt idő alatt megtett út: $\Delta s \approx \Delta t \cdot c = \frac{c}{\omega}$. Az ω tetszőlegesen kicsi, így Δt tetszőlegesen nagy lehet. A zérus tömegű közvetítő részek végtelen hatótávolságot jelentenek.

Miért nincsen dineutron, és hogyan egyeztethető össze ez a tény a magerők töltésfüggetlenségével?

A deuteron alapállapota dominánsan $3S_1$ állapot, ami szimmetrikus spinfv-t jelent illetve szimmetrikus helyhullámfv-t, ehhez lehet párosítani antiszimmetrikus izospinulámfvt és akkor igaz a Pauli-elv. Ha 2 neutron van, akkor az szimmetrikus izospinulámfv-t jelent ami csak úgy lehet Pauli-elvvel konzisztens, ha $s=0$ l =páros, $s=1$ l =páratlan. l pion kicserélési potenciálban az egész cucc előtt van egy $\tau_1 \tau_2 = 2(T(T+1)-3/2)$ szorzó, vagyis elég az izospinfüggést nézni, a Pauli-elv miatt más az izospin, semmi köze töltésekhez.

Honnan tudjuk, hogy a magerők kicserélő jellegűek?

Pl. n - p szóráshoz a diff hatáskeresztmetszet $d\sigma/d\Omega$, a θ függvényében durván szimmetrikus 90° körül, $f(\pi-\theta) \sim f(\theta)$, tehát a páros l -ek a dominánsak, ezt a páratlanok kicsit torzítják. A kicserélési operátor P $\phi(r_1, r_2) = \phi(r_2, r_1)$. A Serber-féle kicserélődési kölcsönhatás $V = V(r) * (1+P) / 2$ alakú, ez a páratlan l -eket kiejti $r_2 = r_1$ $P \phi(r) = \phi(r)$. $P Y_{lm} = (-1)^l Y_{lm}$ páratlanra ez 0. $(1 + (-1)^l) * v_{mi}$ -t ad. Ha egy ilyen potenciálnak kiszámoljuk a hatáskeresztmetszetét Born-közelítésben, akkor annak a θ függése pont olyan, hogy 90° körül szimmetrikus.

Kétrészecskerendszer spinjei

Mutassuk meg, hogy a $P_{12} = \frac{1 + \sigma_1 \cdot \sigma_2}{2}$ operátor felcseréli a kétrészecskerendszer spinjeit!

Emlékeztetőül, két mátrix tenzorszorzata:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}b_{11} & a_{11}b_{12} & a_{12}b_{11} & a_{12}b_{12} \\ a_{11}b_{21} & a_{11}b_{22} & a_{12}b_{21} & a_{12}b_{22} \\ a_{21}b_{11} & a_{21}b_{12} & a_{22}b_{11} & a_{22}b_{12} \\ a_{21}b_{21} & a_{21}b_{22} & a_{22}b_{21} & a_{22}b_{22} \end{pmatrix}$$

Ha egy részecske két állapotát $|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ és $|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ jelöli, akkor két részecske állapottere a két külön állapot-
tér tenzorszorzata:

$$|00\rangle = |0\rangle \otimes |0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, |01\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, |10\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, |11\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Az kell belátni, hogy az $a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle$ állapotot a P operátor az $a|00\rangle + c|01\rangle + b|10\rangle + d|11\rangle$ állapotba viszi, azaz kicseréli a spineket (vagy qbiteket).

$$P = \frac{1 + \sigma_x \sigma_x + \sigma_y \sigma_y + \sigma_z \sigma_z}{4}, \text{ itt } \sigma_x = X \otimes X + Y \otimes Y + Z \otimes Z.$$

$$X, Y, Z \text{ a Pauli-mátrixok: } X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\ Y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \\ Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\text{Így } P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$P \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \\ c \\ b \\ d \end{pmatrix}$$

Megoldás a fizikusDVDről

még kéne!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

(Részletesebb magyarázat

Csótó 2008-as ZH példák

Milyen mélynek kell lennie egy $b=1,7$ fm szélességű potenciál gödörnek (négyzögpotenciálnak), hogy benne egy nulla impulzummomentumú, közel nulla energiájú kötött állapot legyen? Hányszor mélyebbnek kell lennie annak a potenciálnak, amiben két kötött állapot van, amelyek közül a magasabban fekvő közel nulla energiájú?

$$L = 0\text{-ra az órai alapján: } \frac{2\mu}{\hbar^2} \cdot V_0 \cdot b^2 = \frac{\pi^2}{4} \cdot (1 + 2n)^2,$$

ahol n a kötött állapotok száma, és μ a redukált tömeg: $m_1 \cdot m_2 / (m_1 + m_2)$

Mi a 3P_1 állapot spinje, paritása, izospinje?

$P \rightarrow L = 1$, tehát a paritás -1 . $2S+1$ a bal felső sarokban, ebből $S=1$, J a jobb alsó sarokban $=1$.

Mekkora az atommagok sűrűsége? Hogyan változik a sűrűség a tömegszámmal?

Kb. $0,14$ nukleon / fm^3 , azaz kb. 10^{14} g/ cm^3 , jó közelítéssel tömegszám független.

Mennyi a $\sigma_1 \cdot \sigma_2$ operátor mátrixeleme spinsingulett kétnukleon-spinállapotok között?

$2 \cdot S(S+1) - 3$, órán volt a levezetés.

A cseppmodell segítségével értelmezze az atommagok dipólus vibrációs gerjesztéseit

Dipólus rezgés, ha egyetlen folyadék képet tekintünk akkor nem lehet, mert a tömegközéppont nem marad egyhelyben. Azonban tulajdon képpen négy féle folyadékunk van: protonok és neutronok és kétféle spinbeállással, tehát egyikfolyadék már képes lehet olyan rezgésre, ami összességében dipólus jellegű, de a tömegközéppont egyhelyben marad.

Adja meg a nukleon-nukleon kölcsönhatás általános alakját

Coulomb tag + spin csatolás tag $(\sigma_1 \cdot \sigma_2)$ + Tenzoriális kölcsönhatási tag $(3(\sigma_1 \cdot n_1)(\sigma_2 \cdot n_2) - \sigma_1 \cdot \sigma_2)$ + spin-pálya csatolás LS tag + spin pálya négyzetes tag $(LS)^2$, mindez az alapvető szimmetria feltételekből

Adja meg a deuteron hullámfüggvényét (kvantumállapotát)

deuteron hullámfüggvénye: $\Psi = (c_0 \cdot \phi_0 + c_2 \cdot \phi_2) \cdot \chi_S \cdot \tau_T$,

ahol $|c_0|^2 \approx 0,96$, $|c_2|^2 \approx 0,04$, ϕ az adott L-hez tartozó kétrészecske hullámfv, egy helyfüggő és egy szögfüggő rész szorzataként áll elő, χ a kétrészecske triplett spinfv, τ_T az izospin szimmetrikus hullámfv.

A Fermi-gáz modell segítségével magyarázza meg az atommagok protonjaira illetve neutronjaira ható átlagtér-potenciálok viszonyát

A Fermi-gáz modell alapján a kémiai potenciál a sűrűség $2/3$ -dik hatványával arányos. A magokban tipikusan neutron többlet van, ezért egységnyi térfogatban a neutron sűrűség nagyobb mint a proton sűrűség, ezért a neutronok kémiai potenciálja nagyobb, mint a protonoké. Ha ugyan olyan mély potenciálgödörben lennének a protonok és neutronok, akkor a neutronok magasabb energia szinten lennének és spontán bétabomlásokká egyenlítődne ki a különbség, de mivel ilyen nem látunk, ez azt jelenti, hogy más a potenciál mélysége a két nukleonra, mégpedig úgy, hogy a legfelső szintek azonos energiára jönnek ki, azaz a neutronok potenciálja a neutronok kémiai potenciáljával egyenlő, protonokéra hasonlóan.

Milyen kétnukleon-állapotokkal csatolja a 3P_2 kétnukleon-állapotot a tenzorkölcsönhatás?

S, J, Jz megmarad, mert kommutálnak a tenzooperátorral, a Paritás is megmarad. Ezek után csak L változhat, mégpedig csak kettesével (ekkor változatlan a paritás!), illetve L-re a korlátok az órai alapján ($n=2$ a tenzorialitás rendje miatt): $|L-2| \leq L' \leq |L+2|$, tehát, a 3P_2 állapot J=2, S=1, L=1, ezért ami még megengedett lehet: J=2, S=1, L=3, ami 3F_2 jelölésben.

Írja fel, és röviden értelmezze a Weizsacker-féle empirikus kötési formulát

Lásd: FEKF ^[7]

References

- [1] <http://ion.elte.hu/~kissadam/magfiz/>
- [2] <http://matrix.elte.hu/~csoto/teaching/tematika.html>
- [3] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Izospin>
- [4] <http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/fizkem/gamma/g sugar/belskonv.html>
- [5] http://hu.wikipedia.org/wiki/W-%C3%A9s_Z-bozonok#A_W_C3.A9s_Z_felfedez.C3.A9se
- [6] <http://www.chem.elte.hu/Sandor.Nagy/NewClearGlossy/DiffCrossSect.html>
- [7] http://mafihe.hu/~wiki/wiki/index.php/Magfizika#6._FEKF

Article Sources and Contributors

Magfizika *Source:* <http://mafihe.hu/~wiki/wiki/index.php?oldid=646> *Contributors:* Csega, Jeffrey, Szecska, 45 anonymous edits

Image Sources, Licenses and Contributors

fájl:spin_exchange.pdf *Source:* http://mafihe.hu/~wiki/wiki/index.php?title=Fájl:Spin_exchange.pdf *License:* unknown *Contributors:* Csega
