



Olimpiada de Fizică - Etapa națională

1 – 6 aprilie 2012

Ilfov

Baraj

Problema a V - a (10 puncte)

Un model simplu pentru nucleul atomic

Deși nucleele atomice sunt obiecte cuantice, unele dintre legile fenomenologice referitoare la proprietățile lor de bază (cum sunt raza și energia de legătură) pot fi deduse plecând de la câteva presupuneri simple:

- (i) - nucleele sunt constituite din nucleoni (protoni și neutroni);
- (ii) - interacțiunile nucleare tari, care țin împreună nucleonii, au rază de acțiune foarte scurtă (ele acționează numai între nucleonii vecini);
- (iii) - numărul de protoni (Z) pentru un nucleu dat este aproximativ egal cu numărul de neutroni

(N), adică $Z \approx N \approx \frac{A}{2}$, unde A este numărul total de nucleoni ($A \gg 1$).

În rezolvarea sarcinilor de lucru din această problemă, folosește aceste trei presupuneri. Consideră că masa medie a nucleonului este $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ și că sarcina electrică elementară are valoarea $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Sarcina de lucru nr.1 – Nucleul atomic considerat ca un sistem de nucleoni împachetați compact

Într-un model simplu, nucleul atomic poate fi considerat ca o sferă umplută cu nucleoni împachetați compact [figura 1(a)], în care nucleonii sunt modelați prin bile solide de rază $r_N = 0,85 \text{ fm}$.

Forța nucleară apare numai când doi nucleoni sunt în contact. Volumul V al nucleului este mai mare

decât volumul tuturor nucleonilor $A \cdot V_N$, unde $V_N = \frac{4}{3} \pi r_N^3$.

Raportul $f = \frac{A \cdot V_N}{V}$ este numit *factor de împachetare* și indică procentul din spațiul nucleului umplut cu materie nucleară.

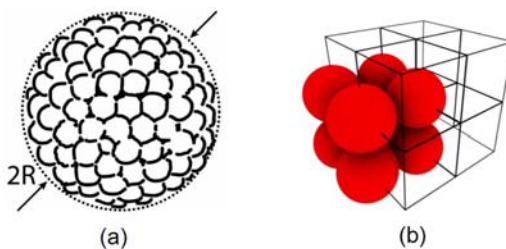


Figura 1 Modelarea nucleului ca un sistem de nucleoni împachetați compact
(a) Un nucleu atomic considerat ca o sferă de nucleoni împachetați compact
(b) Împachetarea cubică simplă (CS)

Pagina 1 din 5

- ✍ Proba de baraj pentru selecția lotului olimpic lărgit de fizică conține cinci probleme.
- ✍ Durata probei este de cinci ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
- ✍ Fiecare problemă se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
- ✍ Elevii pot utiliza calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
- ✍ Pentru fiecare problemă evaluarea se face ținându-se cont atât de soluția redactată de elevul competitor, cât și de rezultatele pe care acesta le completează în Foaia de răspunsuri.
- ✍ Fiecare problemă se punctează de la 10 la 0 (nu se acordă punct din oficiu).
- ✍ Punctajul final reprezintă suma punctajelor acordate pentru fiecare dintre cele cinci probleme.

1.a. Calculează factorul de împachetare f , dacă nucleonii au fost dispuși în „rețeaua cubică simplă” (CS) în care fiecare nucleon este plasat astfel încât centrul său se află într-un nod al unei rețele cubice infinite [figura 1(b)].

În toate sarcinile de lucru ce urmează consideră că factorul de împachetare pentru nucleee este acela pe care l-ai determinat în cadrul sarcinii de lucru 1.a. În situația în care nu ai reușit să-l calculezi, folosește în continuare valoarea $f = 1/2$.

1.b. Calculează densitatea medie ρ_m a nucleului.

1.c. Determină valoarea densității de sarcină electrică ρ_s .

1.d. Determină expresia razei R a nucleului, ca funcție de numărul A de nucleoni conținuți.

Sarcina de lucru nr.2 – Energia de legătură a nucleelor atomice – contribuțiile de volum și de suprafață

Energia de legătură este energia necesară pentru a descompune nucleul izolat și în repaus în nucleoni izolați și în repaus. Ea se datorează esențial forțelor atractive care se exercită între un nucleon și vecinii săi. Dacă un nucleon nu se află pe suprafața nucleului, contribuția sa la energia totală de legătură este de $\alpha_v = 15,8 \text{ MeV}$ ($1 \text{ MeV} = 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J}$). Contribuția unui nucleon aflat pe suprafața nucleului la energia de legătură este aproximativ $\alpha_v / 2$.

2.a. Dedu expresia energiei de legătură E_b a unui nucleu cu A nucleoni. Exprimă rezultatul în funcție de A , α_v și f , ținând seama de contribuția nucleonilor din suprafață.

Sarcina de lucru nr.3 – Contribuția interacțiunii electrostatice (coulombiene) la energia de legătură

Consideră că nucleul atomic, modelat printr-o sferă cu nucleoni împachetați compact, are sarcina electrică distribuită uniform în întreg volumul său. Ai în vedere că energia electrostatică a unei bile de raza R , încărcată uniform cu sarcina electrică totală Q_0 are expresia

$$U_c = \frac{3Q_0^2}{20\pi\epsilon_0 R}$$

unde $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$.








3.a. Utilizând formula de mai sus, deduce expresia energiei electrostatice a nucleului. Ține cont că într-un nucleu, fiecare proton nu interacționează cu el însuși (prin forță coulombiană) ci numai cu ceilalți protoni. Ia în considerare acest fapt prin înlocuirea $Z^2 \rightarrow Z(Z-1)$ în expresia pe care ai obținut-o.

Expresia energiei electrostatice a nucleului, dedusă în cadrul acestei sarcini de lucru, permite efectuarea unei corecții a expresiei energiei de legătură, pe care ai dedus-o în cadrul sarcinii de lucru 2.a.

3.b. Scrie expresia completă a energiei de legătură, care să includă contribuția principală (de volum), contribuția suprafeței și contribuția electrostatică. Exprimă rezultatul în funcție de A , α_v , f , r_N , e și ϵ_0 .

Sarcina de lucru nr.4 – Fisiunea nucleelor grele

Fisiunea este procesul nuclear în care un nucleu se dezintegrează în părți mai mici (nucleee ușoare). Presupune că nucleul cu A nucleoni se dezintegrează în două părți egale, așa cum este reprezentat în figura 2.

-  Proba de baraj pentru selecția lotului olimpic lărgit de fizică conține cinci probleme.
-  Durata probei este de cinci ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
-  Fiecare problemă se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
-  Elevii pot utiliza calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
-  Pentru fiecare problemă evaluarea se face ținându-se cont atât de soluția redactată de elevul competitor, cât și de rezultatele pe care acesta le completează în Foaia de răspunsuri.
-  Fiecare problemă se punctează de la 10 la 0 (nu se acordă punct din oficiu).
-  Punctajul final reprezintă suma punctajelor acordate pentru fiecare dintre cele cinci probleme.

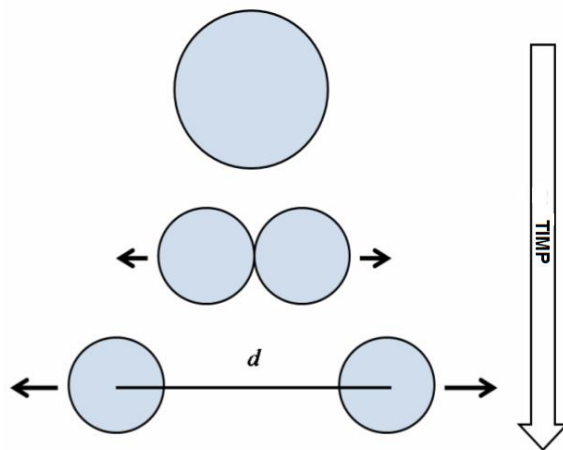


Figura 2 Descriere schematică a fisiunii nucleare în modelul simplu folosit în problemă

- 4.a.** Determină expresia energiei cinetice totale E_{cin} a produselor de fisiune, atunci când centrele celor două nuclee ușoare se află la distanța $d \geq 2R(A/2)$, unde $R(A/2)$ este raza fiecăruia dintre cele două nuclee ușoare. Nucleul care se dezintegrează se află inițial în repaus.
- 4.b.** Presupune că $d = 2R(A/2)$ și scrie expresia energiei cinetice E_{cin} , obținută la sarcina de lucru 4.a.
- 4.c.** Calculează valorile E_{cin} pentru $A = 100, 150, 200$ și 250 . Exprimă rezultatele în MeV .
- 4.d.** Estimează valoarea lui A pentru care este posibilă fisiunea, în modelul analizat.

Subiect propus de:

Dr. Delia DAVIDESCU – Centrul Național pentru Evaluare și Examinare – M E C T S

- ✎ Proba de baraj pentru selecția lotului olimpic lărgit de fizică conține cinci probleme.
- ✎ Durata probei este de cinci ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
- ✎ Fiecare problemă se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
- ✎ Elevii pot utiliza calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
- ✎ Pentru fiecare problemă evaluarea se face ținându-se cont atât de soluția redactată de elevul competitor, cât și de rezultatele pe care acesta le completează în Foaia de răspunsuri.
- ✎ Fiecare problemă se punctează de la 10 la 0 (nu se acordă punct din oficiu).
- ✎ Punctajul final reprezintă suma punctajelor acordate pentru fiecare dintre cele cinci probleme.



Olimpiada de Fizică - Etapa națională

1 – 6 aprilie 2012

Ilfov

Baraj

FOAIE DE RĂSPUNSURI

Problema a V- a (10 puncte)

Un model simplu pentru nucleul atomic

Sarcina de lucru nr.1 – Nucleul atomic considerat ca un sistem de nucleoni împachetați compact

1.a. Valoarea factorului de împachetare f

0,50p

1.b. Valoarea densității medii ρ_m a nucleului

0,40p

1.c. Valoarea densității de sarcină electrică ρ_s a nucleului

0,50p

1.d. Expresia razei R a nucleului, ca funcție de numărul A de nucleoni

0,70p

Sarcina de lucru nr.2 – Energia de legătură a nucleelor atomice – contribuțiile de volum și de suprafață

2.a. Expresia energiei de legătură E_b a unui nucleu cu A nucleoni

1,70p

Sarcina de lucru nr.3 – Contribuția interacțiunii electrostatice (coulombiene) la energia de legătură

3.a. Expresia energiei electrostatice a nucleului

1,00p

3.b. Expresia completă a energiei de legătură, care include contribuția principală (de volum), contribuția suprafeței și contribuția electrostatică

0,50p

Sarcina de lucru nr.4 – Fisiunea nucleelor grele

4.a. Expresia energiei cinetice totale E_{cin} a produselor de fisiune

1,50p

4.b. Expresia energiei cinetice E_{cin} pentru $d = 2R(A/2)$

1,00p

4.c. Valorile E_{cin} pentru $A = 100, 150, 200$ și 250

1,20p

4.d. Estimarea valorii lui A pentru care este posibilă fisiunea, în modelul analizat

1,00p