

**ADRIANA GHIȚĂ**

**ANDREI PETRESCU**

**ANDREEA RODICA STERIAN**

# **FIZICĂ NUCLEARĂ**

**PROBLEME**

**pentru elevi și studenți**

**EDITURA**

**ACADEMIEI OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA**

**BUCUREȘTI, 2013**

Editura **Academiei Oamenilor de Știință din România**

Splaiul Independenței nr. 54, sectorul 5, 050094

București, România

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**GHIȚĂ, ADRIANA**

**Fizică nucleară: probleme pentru elevi și studenți** / Adriana Ghiță, Andreea Rodica Sterian, Andrei Petrescu. - București : Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, 2011

ISBN 978-606-92500-2-0

I. Sterian, Andreea Rodica

II. Petrescu, Andrei

539.1(076)

Referenți: Prof. univ. dr. fiz. Doru DELION

Prof. univ. dr. fiz. Laurențiu FARA

Șef serviciu: ing. Mihai CĂRUȚAȘU

Tehnoredactor: prof. Andrei D. PETRESCU, dr. ing.

Documentarist: ing. Ioan BALINT

Copyright © Editura **Academiei Oamenilor de Știință din România**

**2013**

## CUPRINS

|                                                                                                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>CUVÂNT ÎNAINTE .....</b>                                                                    | <b>5</b>   |
| <b>1. FIZICĂ NUCLEARĂ (Adriana Ghiță) .....</b>                                                | <b>7</b>   |
| <b>Probleme rezolvate .....</b>                                                                | <b>7</b>   |
| <b>Probleme propuse .....</b>                                                                  | <b>23</b>  |
| <b>Teste de evaluare .....</b>                                                                 | <b>37</b>  |
| <b>2. FIZICĂ ATOMICĂ (Adriana Ghiță, Andrei Petrescu) .....</b>                                | <b>39</b>  |
| <b>Probleme rezolvate .....</b>                                                                | <b>39</b>  |
| <b>Probleme propuse .....</b>                                                                  | <b>45</b>  |
| <b>3. FIZICĂ NUCLEARĂ ȘI FIZICĂ ATOMICĂ</b><br><i>(Adriana Ghiță, Andrei Petrescu) .....</i>   | <b>50</b>  |
| <b>Teste de autoevaluare .....</b>                                                             | <b>50</b>  |
| <b>4. BAZELE EXPERIMENTALE ALE MECANICII CUANTICE</b><br><i>(Andreea Rodica Sterian) .....</i> | <b>60</b>  |
| <b>Probleme rezolvate .....</b>                                                                | <b>60</b>  |
| <b>5. FUNDAMENTELE MECANICII CUANTICE</b><br><i>(Andreea Rodica Sterian) .....</i>             | <b>81</b>  |
| <b>Probleme rezolvate .....</b>                                                                | <b>81</b>  |
| <b>BIBLIOGRAFIE.....</b>                                                                       | <b>115</b> |





## CUVÂNT ÎNAINTE

Am parcurs cu un deosebit interes lucrarea **Fizică nucleară - Probleme pentru elevi și studenți**, elaborată de bine-cunoscuții noștri profesori *Adriana Ghiță* (prof. grad I), *Andrei Petrescu* (dr. ing.) și *Andreea-Rodica Sterian* (șef lucr. dr. fiz., Universitatea **Politehnica** București).

Am constatat de la început câteva lucruri:

a) nivelul înalt: lucrarea reușește să aducă nu numai pe studenți, dar și pe elevi la nivelul **Fizicii moderne**;

b) lucrarea completează literatura noastră didactico-științifică în direcția unui învățământ asistat de activități aplicative: „să învățăm **Fizica**, rezolvând probleme!”; asemenea metode sunt aplicate cu mult succes și în alte țări (de exemplu, Rusia), astfel încât contribuția celor trei autori în această direcție este întrutotul meritorie;

c) stilul expunerii este deosebit de adecvat tematicii abordate, incluzând diferite metode de abordare a problemelor studiate, incluzând:

(i) atât probleme cu rezolvări „complete”, cât și probleme finalizate exclusiv prin răspunsuri,

(ii) abordări gradate ale tematicii studiate, începând cu elementele oarecum mai „clasice” la nivelul învățământului liceal, dar și fundamentări teoretice, grupate îndeosebi în cadrul capitolelor 4 (*Bazele experimentale ale Mecanicii cuantice*) și 5 (*Fundamentele mecanicii cuantice*),

(iii) elementele prezentate sunt urmărite prin implicațiile lor și în afara „perimetrului” anunțat al *Fizicii nucleare* (inclusiv *Fizica atomică*), spre exemplu abordând și unele aspecte de deosebit interes din domeniul *Fizicii solidului*.

În concluzie, cartea reușește ca, în doar 112 pagini, să abordeze o multitudine de probleme de interes deosebit din principalele domenii ale **Fizicii moderne**: *Fizica atomică* (inclusiv teoria *Radiației termice*, din păcate absentă în manualele noastre liceale), *Fizica cuantică* și *Fizica solidului*.

Aceste rezultate cu totul remarcabile nu sunt totuși surprinzătoare, având în vedere calitățile profesionale excepționale ale autorilor: profesorii *Adriana Ghiță* și *Andrei Petrescu* - cu experiențe remarcabile nu numai profesional (autori de manuale și culegeri de probleme, membri ai comitetului de redacție și autori de materiale în principala noastră revistă actuală de Fizică, „**Evrika!**”), dar și ca participanți de bază la Olimpiadele naționale de Fizică pentru elevi, respectiv doamna prof. dr. fiz. *Andreea-Rodica Sterian*, autoare a mai multor manuale de *Fizica modernă*.

Felicităm pe autori, exprimându-ne convingerea eficienței didactice a prezentei culegeri de probleme, atât de necesară elevilor și studenților noștri.

**Dr. fiz. Dan-Alexandru Iordache**

**Profesor Emerit, Departamentul Fizică al Universității Politehnica București**

## 1. FIZICĂ NUCLEARĂ

### Probleme rezolvate

**1.1.** Cât de mare este raza nucleului de  $^{208}_{82}\text{Pb}$  (52,38% abundență naturală), care este considerat unul dintre cele mai stabile nuclee? Dar a celorlalți izotopi stabili ai plumbului:  $^{207}_{82}\text{Pb}$  (21,11%),  $^{206}_{82}\text{Pb}$  (25,15%),  $^{201}_{82}\text{Pb}$  (1,37%)?

#### Rezolvare:

Folosim relația  $R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$ , unde  $R_0 = 1,45 \cdot 10^{-15} \text{ m}$  și  $A = 208$ ; obținem:  
 $R_{208} = 8,59 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 8,59 \text{ fm}$ ,  $R_{207} = 8,58 \text{ fm}$ ,  $R_{206} = 8,56 \text{ fm}$  și  $R_{201} = 8,49 \text{ fm}$ .

**1.2.** Să se indice care din nucleele:  $^{29}_{14}\text{Si}$ ,  $^{28}_{14}\text{Si}$ ,  $^{28}_{13}\text{Al}$ ,  $^{26}_{13}\text{Al}$ ,  $^{26}_{12}\text{Mg}$  sunt *izotopi* și care sunt *izobari*.

#### Rezolvare:

Sunt izotopi:  $^{29}_{14}\text{Si}$  și  $^{28}_{14}\text{Si}$  ( $Z_1 = Z_2 = 14$ ), respectiv  $^{28}_{13}\text{Al}$  și  $^{26}_{13}\text{Al}$  ( $Z_3 = Z_4 = 13$ ).

Sunt izobari:  $^{26}_{13}\text{Al}$  și  $^{26}_{12}\text{Mg}$  ( $A_4 = A_5 = 26$ ), respectiv  $^{28}_{14}\text{Si}$  și  $^{28}_{13}\text{Al}$  ( $A_2 = A_4 = 28$ ).

**1.3.** Ce valoare are masa unui atom de  $^{107}_{47}\text{Ag}$ ? Dar masa nucleului acestui atom?

#### Rezolvare:

Deoarece  $A = 107,87 \text{ u}$  și  $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ , masa atomului de  $^{107}_{47}\text{Ag}$  va fi:

$$M_{^{107}_{47}\text{Ag}} = 107,87 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 179,1 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Pentru calculul masei unui atom poate fi folosită și relația

$$M_{\text{atom}} = \frac{\text{masa molară}}{N_{\text{Avogadro}}} = \frac{\mu}{N_A} = \frac{A}{6,023 \cdot 10^{23}} \text{ g} = \frac{A}{6,023 \cdot 10^{26}} \text{ kg}.$$

Pentru calculul masei *nucleului* folosim relația  $M_{\text{atom}} = M_{\text{nucleu}} + Z m_e$ , în care am neglijat energia de legătură a electronilor în atom ( $W_{\text{leg}}$ ); deoarece  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , obținem:

$$M_n(^{107}_{47}\text{Ag}) = M_a(^{107}_{47}\text{Ag}) - 47 m_e = 179,1 \cdot 10^{-27} - 47 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} = 179,05 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

Se remarcă diferența foarte mică dintre masa atomului și masa nucleului de  $\text{Ag}$ .

**1.4.** Să se calculeze masa atomică a heliului, dacă sunt date: energia de legătură a nucleului de  ${}^4_2\text{He}$ ,  $W_{leg} = 28,3 \cdot 10^6 \text{ eV}$ , masa protonului  $m_p = 1,007276 \text{ u}$ , masa neutronului  $m_n = 1,008665 \text{ u}$ , masa electronului  $m_e = 5,487 \cdot 10^{-4} \text{ u}$  și echivalentul energetic al unității atomice de masă,  $1 \text{ u} \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$ .

**Rezolvare:**

Energia de legătură a nucleului este  $W_{leg} = [Z \cdot m_p + (A - Z) m_n - M_{nucleu}] c^2$ , astfel încât rezultă  $M_{nucleu} = Z m_p + (A - Z) m_n - \frac{W_{leg}}{c^2}$ . Dar  $M_{atom} = M_{nucleu} + Z m_e$ ; rezultă:

$$M_a({}^4_2\text{He}) = M_n({}^4_2\text{He}) + Z m_e, \text{ adică } M_a({}^4_2\text{He}) = 2 m_p + 2 m_n - \frac{W_{leg}}{c^2} + 2 m_e \cong 4,0026 \text{ u}.$$

**1.5.** Se știe că pentru ca un nucleu să fie stabil, energia sa de legătură  $W_{leg}$  trebuie să fie pozitivă. Precizați dacă nucleul de  ${}^{239}_{92}\text{U}$  este stabil. Dar cel de  ${}^4_2\text{He}$ ?

Se dau:  $m_H = 1,007825 \text{ u}$ ,  $m_n = 1,008665 \text{ u}$ ; se consideră  $1 \text{ u} \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$ .

**Rezolvare:**

Energia de legătură a unui nucleu este  $W_{leg} = [Z \cdot m_H + (A - Z) m_n - M_A] c^2$ , unde  $M_A$  este masa atomică a elementului respectiv.

Deoarece  $M_a({}^{239}_{92}\text{U}) = 239,054 \text{ u}$  și  $M_a({}^4_2\text{He}) = 4,002604 \text{ u}$ , obținem:

$$W_{leg}^{239}_{92}\text{U} = (92 m_H + 147 m_n - 239,054) \cdot 931,5 \text{ MeV} = 1806,8 \text{ MeV} > 0, \text{ adică nucleul } {}^{239}_{92}\text{U} \text{ este stabil; } W_{leg}^4_2\text{He} = (2 m_H + 2 m_n - 4,002604) \cdot 931,5 \text{ MeV} = 28,30 \text{ MeV} > 0, \text{ adică și nucleul } {}^4_2\text{He} \text{ este stabil.}$$

**1.6.** Pentru a aprecia stabilitatea nucleelor atomice, energia de legătură pe nucleon,  $B = \frac{W_{leg}}{A}$  este o mărime fizică mai potrivită. Care dintre nucleeele din problema anterioară credeți că este mai stabil?

**Rezolvare:**

$$\text{Folosind relația } B = \frac{W_{leg}}{A} \text{ obținem: } B_{239}_{92}\text{U} = 7,55 \text{ MeV} \text{ și } B_4_2\text{He} = 7,07 \text{ MeV}.$$

Dar, făcând apel la modelul în pături al nucleului, se ajunge la concluzia că  ${}^4_2\text{He}$  este mai stabil, cu toate că  $B_4_2\text{He} < B_{239}_{92}\text{U}$ .

**1.7.** Știind că numerele magice sunt: pentru protoni  $Z = 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126$  iar pentru neutroni  $N = 2, 8, 20, 28, 50, 126, 184$ , stabiliți care sunt nucleele dublu magice considerate ca fiind cele mai stabile.

**Rezolvare:**

Știind că  $A = Z + N$ , în urma tuturor combinațiilor posibile, rezultă că nucleele dublu magice ar putea fi:  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ,  ${}^{48}_{20}\text{Ca}$ ,  ${}^{56}_{28}\text{Ni}$ ,  ${}^{58}_{28}\text{Ni}$ ,  ${}^{108}_{50}\text{Sn}$ ,  ${}^{128}_{50}\text{Sn}$ ,  ${}^{132}_{50}\text{Sn}$ ,  ${}^{204}_{82}\text{Pb}$ ,  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ ,  ${}^{212}_{82}\text{Pb}$  (identificarea se face cu ajutorul tabelului lui **Mendeleev**).

Din acestea, unele prezintă dezintegrare  $\beta^-$  ( ${}^{128}_{50}\text{Sn}$   $T_{1/2} = 59$  min și  ${}^{132}_{50}\text{Sn}$   $T_{1/2} = 1$  min) sau captură electronică, CE ( ${}^{56}_{28}\text{Ni}$   $T_{1/2} = 6,1$  zile și  ${}^{108}_{50}\text{Sn}$   $T_{1/2} = 9$  min), deci nu sunt stabile.

Cele mai stabile nuclee sunt:  ${}^4_2\text{He}$  (99,9998%),  ${}^{16}_8\text{O}$  (99,76%),  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$  (96,94%),  ${}^{48}_{20}\text{Ca}$  (0,2%),  ${}^{58}_{28}\text{Ni}$  (68,27%),  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$  (52,3%); stabilitatea le este atestată și de abundența lor izotopică (indicată între paranteze).

**1.8.** În cadrul cărui model nuclear se pot explica proprietățile nucleelor dublu magice? Ce ipoteze face acest model asupra nucleului?

**Rezolvare:**

În cadrul *modelului păturilor*, nucleonii se găsesc grupați în pături succesive de energii diferite în interiorul nucleului, la fel ca electronii în atom; pe un nivel energetic nu pot sta decât cel mult doi nucleoni identici cu momente de spin orientate antiparalel (conform principiului de excluziune al lui **Pauli**), deci pe o pătură nucleară se pot găsi cel mult 2 protoni și 2 neutroni.

**1.9.** Ce proprietăți ale forțelor nucleare rezultă din constatarea că nucleele sunt stabile și au formă aproape sferică).

**Rezolvare:**

**1.10.** Forțele nucleare sunt forțe de tip *atractiv* și mult mai *intense* decât cele de tip coulombian; ele au un *caracter de saturație* și acționează la *distanțe mici*. Ce argumente conduc la compararea nucleului cu o picătură de lichid?

**Rezolvare:**

Densitatea constantă ( $\approx 10^{17} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) a materiei nucleare, implică incompresibilitatea acesteia. Caracterul de saturație al forțelor nucleare, asemănător celui al forțelor intermoleculare, este răspunzător pentru forma aproximativ sferică a nucleului; se constată că  $V_{\text{nucleu}} = \frac{4}{3} \pi R^3 = KA$ , unde  $A$  este numărul de nucleoni, de unde se poate deduce:  $R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$ .

**1.11.** Energia degajată în procesul de fisiune a unui nucleu de  ${}^{235}_{92}\text{U}$  este 200 MeV. Calculați:

- a) energia degajată prin fisiunea completă a unui kg de uraniu;
- b) puterea unui reactor care ar produce această energie în 24 h.

**Rezolvare:**

a) Notând  $w_1 = 200 \text{ MeV}$ ,  $W_{tot}$  = energia degajată prin fisiunea completă a unui kilogram de uraniu și  $N$  = numărul de nuclee (respectiv atomi) dintr-un kilogram de uraniu, se poate scrie:  $W_{total} = N \cdot w_1$ ;  $N$  este dat de relația  $N = \frac{m N_A}{A}$ , cu  $m = 1 \text{ kg}$ ,  $N_A$  = numărul lui AVOGADRO =  $6,023 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$ ,  $A = 235 \text{ kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$ ,  $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ . Numeric, obținem:  $N = 256 \cdot 10^{22}$  nuclee,  $W_{tot} = 8,2 \cdot 10^{13} \text{ J}$ .

b)  $P = \frac{W_{totală}}{t}$ , unde  $t = 24 \text{ h}$ ; rezultă  $P = 949 \text{ MW}$ .

**1.12.** Considerați reacția de fuziune  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + E$  ( $E$  este energia eliberată).

- a) Calculați în MeV și în J, energia  $E$ , eliberată în această reacție.
- b) Calculați energia pe un mol de deuteriu, amintindu-vă că hidrogenul este un gaz diatomic și comparați-o cu puterea calorică ( $q$ ) a hidrogenului, care are valoarea aproximativă  $2,9 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Se cunosc: masa nucleului de deuteriu,  $m_n({}^2_1\text{D}) = 2,0136 \text{ u}$ , masa atomului de heliu,  $m_a({}^4_2\text{He}) = 4,002604 \text{ u}$ , masa electronului,  $m_e = 0,0005486 \text{ u}$ .

**Rezolvare:**

a)  $E = \left( m_n({}^2_1\text{D}) + m_n({}^2_1\text{D}) - m_a({}^4_2\text{He}) \right) c^2$ , unde  $m_n({}^4_2\text{He}) = m_{{}^4_2\text{He}} - 2m_e$ ; înlocuind, obținem  $E = 23,93 \text{ MeV} = 38,33 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ .

b)  $E_{1\text{mol}({}^2_1\text{D})} = N_A \cdot E$ , unde  $N_A$  este numărul lui **Avogadro**,  $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

Obținem:  $E_{1\text{mol}({}^2_1\text{D})} = 2,3 \cdot 10^{12} \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; observăm că  $E_{\text{mol}({}^2_1\text{D})} \cong 10^7 \cdot q$ .

**1.13.** O particulă  $\alpha$  având energia de 5 MeV, ciocnește frontal un nucleu de aur (cu numărul atomic  $Z = 79$ ). Se cunosc:  $m_\alpha = 4 \text{ u}$ ,  $Z_\alpha = 2e$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Determinați:

- a) viteza inițială a particulei  $\alpha$ ;
- b) distanța minimă la care particula  $\alpha$  se apropie de nucleu.

**Rezolvare:**

a) În tratare nerelativistă ( $v_\alpha \ll c$ ), energia cinetică a particulei  $\alpha$  se poate calcula

cu formula:  $E_{c_\alpha} = \frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2}$ , de unde  $v_\alpha = \sqrt{\frac{2E_{c_\alpha}}{m_\alpha}} = 1,54 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

b) Lucrul mecanic de frânare efectuat de forțele de respingere electrostatică care acționează din partea nucleului asupra particulei  $\alpha$  este:

$$L = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{d_{\min}} = \frac{Z_{Au} \cdot Z_\alpha}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{d_{\min}} \quad \text{și} \quad L = E_{C\alpha}; \quad \text{obținem} \quad d_{\min} = \frac{Z_{Au} \cdot Z_\alpha \cdot e^2}{4\pi\epsilon_0 E_{C\alpha}}, \quad \text{adică}$$

$$d_{\min} = 4,55 \cdot 10^{-14} \text{ m}.$$

**1.14.** Seria thoriului are ca nuclid inițial  ${}^{232}_{90}\text{Th}$  și ca produs final, izotopul  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ . Calculați numărul dezintegrărilor  $\alpha$  și  $\beta^-$  din această serie.

**Rezolvare:**

Notăm:  $Z_1 = 90$ ,  $A_1 = 232$ ,  $Z_2 = 82$ ,  $A_2 = 208$ ,  $N_\alpha$  = numărul dezintegrărilor  $\alpha$  și  $N_{\beta^-}$  = numărul dezintegrărilor  $\beta^-$ . Folosind legile deplasării radioactive, obținem

$$\text{sistemul de ecuații: } \begin{cases} Z_2 = Z_1 - 2 N_\alpha + N_{\beta^-} \\ A_2 = A_1 - 4 N_\alpha \end{cases} \quad \text{cu soluția } \begin{cases} N_\alpha = \frac{A_1 - A_2}{4} = 6 \\ N_{\beta^-} = Z_2 - Z_1 + 2 N_\alpha = 4 \end{cases}.$$

**1.15.** După câte perioade de înjumătățire, activitatea  $\Lambda_0$  a unei surse radioactive scade de  $10^n$  ori?

**Rezolvare:**

Conform legii dezintegrării radioactive,  $\Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t}$ , dar  $\frac{\Lambda_0}{\Lambda} = 10^n$  și  $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ , astfel încât obținem  $t_n = n \frac{\ln 10}{\ln 2} \cdot T_{1/2} = 3,32 n \cdot T_{1/2}$ .

**1.16.** Un miligram de radium emite  $3,7 \cdot 10^7$  particule  $\alpha$  pe secundă. Care este constanta de dezintegrare  $\lambda$  a radiumului, știind că numărul său de masă este 226?

**Rezolvare:**

Activitatea radiumului este  $\Lambda = 3,7 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$ , dar  $\Lambda = \lambda N$  și  $N = \frac{N_A \cdot m_{\text{radium}}}{A}$  (numărul nucleelor care se dezintegrează); masa unui mol de radium este  $A = 226 \text{ g}$  și  $N = N_A \cdot v$  (unde  $v$  este numărul de moli de radium).

$$\text{Obținem } \lambda = \frac{\Lambda \cdot A}{N_A \cdot m_{\text{radium}}}, \quad \lambda = \frac{3,7 \cdot 10^7 \text{ dez} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 226 \text{ g}}{6,023 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-3} \text{ g}} \cong 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}.$$

**1.17.** Determinați vârsta unui obiect de lemn, știind că activitatea izotopului  $^{14}\text{C}$  pentru acest obiect este  $\frac{3}{5}$  din activitatea unui copac tăiat recent. Se dă  $T_{1/2}(^{14}\text{C}) = 5730$  ani.

**Rezolvare:**

Se notează cu  $\Lambda_0$  activitatea copacului tăiat recent, cu  $t_0$  vârsta obiectului și cu  $\Lambda$  activitatea izotopului  $^{14}\text{C}$ . Folosind relațiile  $\Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t}$ ,  $\Lambda = \frac{3}{5} \Lambda_0$  și  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ ,

obținem  $\frac{\Lambda}{\Lambda_0} = e^{-\lambda t_0} = \frac{3}{5}$ . Logaritmând egalitatea, rezultă:  $-\lambda t_0 = \ln \frac{3}{5}$ , sau

$$-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t_0 = -\ln \frac{5}{3} \text{ de unde rezultă } t_0 = \frac{T_{1/2} \cdot \ln \frac{5}{3}}{\ln 2}, t_0 = 4282 \text{ ani.}$$

**1.18.** Calculați grosimea stratului de apă ce reduce la jumătate un fascicul de radiații gama, cunoscând coeficientul de atenuare liniară  $\mu = 0,047 \text{ cm}^{-1}$ .

**Rezolvare:**

Din relația  $I(x) = I(0)e^{-\mu x}$ , ținând seama că  $I(x) = \frac{I(0)}{2}$ , obținem prin logaritmare:

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{0,047} = 14,74 \text{ cm.}$$

**1.19.** O placă de cadmiu cu grosimea de  $10^{-4} \text{ m}$  slăbește intensitatea unui fascicul de neutroni termici cu 69 %. Care este secțiunea de captură a  $\text{Cd}$  ( $\sigma$ ) dacă densitatea acestuia este  $8560 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , iar masa molară este  $A = 112,4 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Rezolvare:**

Din  $I(x) = I(0)e^{-n\sigma x}$ , ținând seama că  $\frac{I(x)}{I(0)} = 69\%$ , obținem  $\sigma = \frac{1}{nx} \ln \frac{I(0)}{I(x)}$ , unde

$n = \frac{\rho_{\text{Cd}} N_A}{A}$  este numărul nucleelor din unitatea de volum,  $\rho_{\text{Cd}}$  este densitatea cadmiului,  $N_A$  este numărul lui **Avogadro**. Înlocuind, rezultă:

$$\sigma = \frac{A}{\rho_{\text{Cd}} \cdot N_A \cdot x} \cdot \ln \frac{I(0)}{I(x)}, \sigma = 8 \text{ bn.}$$

**1.20.** Într-un contor **Geiger-Müller** se produc  $10^8$  electroni la o singură descărcare. Să se calculeze curentul mediu înregistrat la ieșirea din detector, dacă se produc 600 descărcări pe minut. Se dă:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

**Rezolvare:**

Ținând seama de relațiile:



$I_{\text{mediu}} = \frac{Q}{t}$ ,  $Q = neN$ , în care:  $N = 10^{18}$  electroni,  $n$  este numărul de descărcări,  
 $t = 1$  min, se obține:  $I_{\text{mediu}} = \frac{neN}{t}$ ,  $I_{\text{mediu}} = 1,6 \cdot 10^{-10}$  A.

**1.21.** Care este viteza inițială calculată nerelativist a unei particule  $\alpha$  care formează într-o cameră cu ceață 200 000 perechi ioni, dacă energia de ionizare a vaporilor din cameră este de aproximativ 33 eV?

**Rezolvare:**

Dacă se fac notațiile:  $m_\alpha$  = masa particulei  $\alpha$ ;  $v_\alpha$  = viteza inițială a particulei  $\alpha$ ;  
 $W_\alpha$  = energia cinetică a particulei  $\alpha$ ;  $W_i$  = energia de ionizare și  $N$  = numărul perechilor de ioni, se pot scrie relațiile:  $W_\alpha = N W_i$ , unde  $W_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2$ ,  $m_\alpha = 4 u$ ;

înlocuind, rezultă:  $v_\alpha = \sqrt{\frac{2 N W_i}{m_\alpha}} = 1,81 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**1.22.** Știind că la un zbor cu avionul pe distanța București–Paris se încasează doza biologică  $B = 10 \mu\text{Sv}$ , câte zboruri avem voie să facem pe an, astfel încât să nu depășim doza biologică maxim admisă ( $B_{\text{max}}$ )?

Se presupune că nu mai încasăm nici o doză din alte surse.

**Rezolvare:**

Conform standardelor internaționale:  $B_{\text{max}} = 1 \text{ mSv/an}$  deci numărul de zboruri permis este  $n = \frac{B_{\text{max}}}{B} = 100$ , ceea ce chiar și pentru un om de afaceri de exemplu, este mai mult decât rezonabil.

**1.23.** Să se calculeze energia și viteza particulelor  $\alpha$  ce ies dintr-un ciclotron dacă raza maximă a orbitei de accelerare este  $R = 0,5$  m. Inducția câmpului magnetic are valoarea  $B = 1,7$  T.

**Rezolvare:**

Fie  $W_\alpha$  energia cinetică nerelativistă a particulei  $\alpha$ . Forța **Lorentz** care acționează asupra particulei  $\alpha$ , joacă rol de forță centripetă, deci:  $F_{cp} = F_L$  sau  $\frac{m_\alpha v_\alpha^2}{R} = q_\alpha v_\alpha B$ .

Se obține:  $v_\alpha = \frac{q_\alpha B R}{m_\alpha}$ , unde  $q_\alpha = 2 e$ ;  $m_\alpha = 4 u$ ,  $W_\alpha = \frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2}$  și, înlocuind, obținem:

$$W_\alpha = \frac{q_\alpha^2 B^2 R^2}{2 m_\alpha} \quad W_\alpha = 34,37 \text{ MeV}; \quad v_\alpha = 4 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

**1.24.** Să se precizeze particulele și antiparticulele stabile. Care dintre caracteristicile acestora ar putea fi cauza acestei stabilități?

**Rezolvare:**

Electronul  $e^-$  și pozitronul  $e^+$ , fotonul  $\gamma$ , neutrinul electronic  $\nu_e$  și antineutrinul electronic  $\bar{\nu}_e$ , sunt particule stabile. Timpul mediu de viață al acestora este, practic, infinit. Pentru *foton* și (poate) pentru *neutrini*, masa de repaus este nulă,  $e^-$  și  $e^+$  sunt cei mai ușori leptoni; aceste caracteristici pot fi cauza stabilității particulelor indicate. (*Observație:* și protonul, care este cel mai ușor barion are un timp de viață uriaș:  $\tau_{proton} \cong 10^{33}s$ ).

**1.25.** Să se precizeze care din reacțiile de mai jos sunt interzise de legile de conservare: a)  $n \rightarrow p + \beta^- + \tilde{\nu}$ ; b)  $p \rightarrow n + \beta^+$ ; c)  $\mu^- \rightarrow \beta^- + \nu + \tilde{\nu}$ .

**Rezolvare:**

În procesul b) se observă că dacă se aplică legea conservării energiei și impulsului, rezultă pentru  $\beta^+$  o *energie* și un *impuls* bine determinate, fapt contrazis de observațiile experimentale; tot în acest proces nu se conservă numărul leptonic. Procesele a) și c) sunt permise de legile de conservare.

**1.26.** Să se arate că densitatea medie a materiei nucleare  $\rho$ , are aproximativ aceeași valoare pentru toate nucleele.

a) Care este această valoare?

b) Evaluați numărul de nucleoni din unitatea de volum a substanței nucleare,  $n$ .

**Rezolvare:**

Raza nucleului este  $R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$ , unde  $R_0 = 1,5 \cdot 10^{-15}m$ , iar volumul unui nucleu este dat de expresia  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ ; înlocuind, se obține  $V = \frac{4}{3} \pi R_0^3 A$ ,  $V \sim A$ .

a) Considerând masa nucleului dată de relația  $M = \rho V$ , rezultă  $\rho = \frac{M}{V}$ .

Ținând seama că  $M \cong A \cdot M_H$  ( $M_H$  este masa atomului de hidrogen) se poate obține  $\rho = \frac{3M_H}{4\pi R_0^3}$ ;  $\rho \cong 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

b) Volumul nucleului  $V = \frac{4\pi}{3} R^3$ ;  $V = 14,13 \cdot 10^{-45} \text{ Am}^3$  unde  $A$  este numărul de nucleoni din nucleu, deci  $n = \frac{A}{V} = \frac{10^{45}}{14,13 \text{ m}^3} = 7,1 \cdot 10^{43} \text{ nucleoni} \cdot \text{m}^{-3}$ .

**1.27.** O radiație  $\gamma$  cu energia de 0,5 MeV are grosimea de înjumătățire în beton  $X_{1/2} = 10$  cm.

Cunoscând valoarea constantei lui Planck,  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J·s, să se determine:

**a)** frecvența radiației;

**b)** grosimea stratului de beton care absoarbe 75 % din radiație.

**Rezolvare:**

**a)** Dacă notează cu  $W = 0,5$  MeV, energia radiației  $\gamma$ ,  $W = h\nu$ , rezultă:  $\nu = \frac{W}{h}$ ;  
 $\nu = 1,208 \cdot 10^{20}$  Hz.

**b)** Din legea atenuării radiației  $\gamma$ :  $I = I_0 e^{-\mu x}$ , în care  $I = 25 \% I_0$ ; este intensitatea fasciculului  $\gamma$  care trece după ce radiația a fost absorbită. Se poate scrie  $\mu = \frac{\ln 2}{X}$ ;

$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$ , care prin logaritmare în baza în baza naturală  $e$ , devine:  $\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x$ ,

$\ln \frac{1}{4} = -\frac{\ln 2}{X} x$ . În final, se obține  $x = 2X = 20$  cm.

**1.28.** Două substanțe radioactive au activitatea inițială  $\Lambda_{01}$ , respectiv  $\Lambda_{02}$  ( $\Lambda_{02} < \Lambda_{01}$ ) și timpii de înjumătățire  $T_1$  respectiv  $T_2$ .

**a)** După cât timp activitățile radioactive ale celor două substanțe devin egale?

**b)** După cât timp numărul de nuclee rămase nedezintegrate ale celor două substanțe va fi același?

**Rezolvare:**

**a)** Dacă se notează:  $\Lambda_1$  = activitatea primei substanțe după timpul  $t$ ;  
 $\Lambda_2$  = activitatea celei de-a doua substanțe după același timp  $t$  și se ține seama că:  
 $\Lambda_1 = \Lambda_{01} e^{-\lambda_1 t}$ ,  $\Lambda_2 = \Lambda_{02} e^{-\lambda_2 t}$  și  $\Lambda_1 = \Lambda_2$ , rezultă  $\Lambda_{01} e^{-\lambda_1 t} = \Lambda_{02} e^{-\lambda_2 t}$ , din care, după

logaritmare, se obține  $t = \frac{\ln \frac{\Lambda_{02}}{\Lambda_{01}}}{\lambda_2 - \lambda_1}$ . Deoarece  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ , rezultă  $t = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \cdot \frac{\ln \frac{\Lambda_{02}}{\Lambda_{01}}}{\ln 2}$ .

**b)** Dacă  $N_1$  și  $N_2$  sunt numerele de nuclee rămase nedezintegrate după timpul  $t$ , din legea dezintegrării se obține:  $\begin{cases} N_1 = N_{01} e^{-\lambda_1 t} \\ N_2 = N_{02} e^{-\lambda_2 t} \end{cases}$  și  $\begin{cases} \Lambda_{01} = \lambda_1 N_{01} \\ \Lambda_{02} = \lambda_2 N_{02} \end{cases}$ ; dar

$N_1 = N_2$ , deci  $N_{01} e^{-\lambda_1 t} = N_{02} e^{-\lambda_2 t}$  sau  $\frac{\Lambda_{01}}{\lambda_1} e^{-\lambda_1 t} = \frac{\Lambda_{02}}{\lambda_2} e^{-\lambda_2 t}$ .

Deoarece  $\lambda_{1,2} = \frac{\ln 2}{T_{1,2}}$  se obține:  $T_1 \Lambda_{01} e^{-\lambda_1 t} = T_2 \Lambda_{02} e^{-\lambda_2 t}$  iar după logaritmare, rezultă:

$$t = \frac{T_1 T_2}{\ln 2 (T_1 - T_2)} \ln \frac{T_2 \cdot \Lambda_{02}}{T_1 \cdot \Lambda_{01}}.$$

**1.29.** Un gram din cenușa unui os găsit într-o săpătură arheologică produce cinci dezintegrări  $\beta$  pe minut. Știind că un gram din cenușa unui os actual produce 15 dezintegrări  $\beta$  pe minut și că timpul de înjumătățire al radiocarbonului  $^{14}_6\text{C}$  este 5650 ani, se cere:

a) vârsta osului găsit în săpătură;

b) ecuația reacției de dezintegrare a  $^{14}_6\text{C}$  și viteza electronului emis, dacă energia cinetică a acestuia este 156 keV.

Se neglijează variația relativistă a masei cu viteza. Se dă  $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$  kg.

**Rezolvare:**

a) Se notează:  $\Lambda$  – activitatea unui gram din cenușa unui os găsit în săpătura arheologică ( $\Lambda = 5$  dez/min),  $N$  – numărul de nuclee de  $^{14}_6\text{C}$  rămase nedezintegrate din osul vechi ( $\Lambda = \lambda N$ ),  $\Lambda_0$  – activitatea unui os actual ( $\Lambda_0 = 15$  dez/min),  $N_0$  – numărul de nuclee de  $^{14}_6\text{C}$  existente în osul nou ( $\Lambda_0 = \lambda N_0$ ). Din legea dezintegrării, se obține:  $N = N_0 e^{-\lambda t}$  sau  $\Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t}$ , înlocuind, rezultă  $5 = 15 e^{-\lambda t}$  și, prin logaritmare în baza naturală  $e$ , se obține:  $t = \frac{1}{\lambda} \ln 3$ , unde  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ , deci

$$t = T_{1/2} \cdot \frac{\ln 3}{\ln 2}, = 5650 \text{ ani} \cdot \frac{1,09861}{0,693} = 8956,9 \text{ ani}.$$

b) Ecuația reacției:  $^{14}_6\text{C}$  este  $^{14}_6\text{C} \xrightarrow{\beta^-} ^{14}_7\text{N} + 156 \text{ keV}$  (se admite că nucleul  $^{14}_7\text{N}$  nu preia energia de recul, nici nu este excitat).

Energia cinetică a electronului emis este:  $W_{\beta^-} = \frac{m_e v_{\beta}^2}{2}$ , unde  $W_{\beta} = 156 \text{ keV}$ , adică:

$$v_{\beta^-} = \sqrt{\frac{2 W_{\beta}}{m_e}} = 2,355 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

**1.30.** Particula  $\Lambda$  este un hiperon format din trei quarci:  $u$ ,  $d$  și  $s$ ; presupunem că, la un moment dat, acești trei quarci au sarcinile de culoare, respectiv,  $R$ ,  $G$  și  $B$ . Quarci interacționează prin intermediul gluonilor (particule fără masă, fără sarcină electrică, dar cu sarcini de culoare, anume combinația culoare-anticuloare). De exemplu, quarcul  $u_R$  devine  $u_G$  emițând un gluon virtual

$R\bar{G}$  care este absorbit imediat de quarcul  $d_G$  care se transformă în  $d_R$ . Trecerea de la situația  $(u_R d_G s_B)$  la situația  $(u_G d_R s_B)$  reprezintă o *transformare de culoare*.

Stabiliți:

- Cum se poate ajunge de la situația inițială  $(u_R d_G s_B)$  la situația  $(u_B d_R s_G)$  prin emisia și absorbția a doi gluoni virtuali.
- Care va fi configurația hiperonului  $\Lambda$  după ce quarcii  $u$ ,  $d$  și  $s$  emit succesiv câte un gluon, anume:  $R\bar{B}$ ,  $G\bar{R}$ ,  $G\bar{B}$ .
- Care sunt cele șase transformări de culoare  $T_1, \dots, T_6$  (inclusiv transformarea identică) pe care le poate suferi hiperonul  $\Lambda$ .
- Ce rezultate se obțin dacă hiperonul  $\Lambda$  ar suferi succesiv două transformări de culoare  $T_j$  și  $T_k$  ( $j \neq k$ ) fie în ordinea  $T_j \cdot T_k$ , fie în ordinea  $T_k \cdot T_j$ .

**Rezolvare:**

- Quarcul  $u_R$  emite un gluon  $R\bar{G}$  (absorbit de  $d_G$ ), apoi  $s_B$  emite un gluon  $B\bar{G}$  (absorbit de  $u_G$ ).
- După emisia gluonului  $R\bar{B}$  se ajunge la starea  $(u_B d_G s_R)$ , după emisia gluonului  $G\bar{R}$  se ajunge la  $(u_B d_R s_G)$ , iar după emisia gluonului  $G\bar{B}$  se ajunge la  $(u_G d_R s_B)$ .
- $T_1(u_R d_G s_B)$ ,  $T_2(u_R d_B s_G)$ ,  $T_3(u_B d_G s_R)$ ,  $T_4(u_G d_R s_B)$ ,  $T_5(u_B d_R s_G)$ ,  $T_6(u_G d_B s_R)$ .
- Rezultatele sunt indicate în tabelul următor; se observă că există posibilitatea ca  $T_j \cdot T_k \neq T_k \cdot T_j$ , de exemplu  $T_2 \cdot T_3 = T_6 \neq T_5 = T_3 \cdot T_2$ . De asemenea, se vede că fiecare transformare admite o transformare inversă: de exemplu, inversa transformării  $T_2$  este tot  $T_2$  și inversa lui  $T_5$  este  $T_6$ .

| $\cdot$ | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T_4$ | $T_5$ | $T_6$ |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $T_1$   | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T_4$ | $T_5$ | $T_6$ |
| $T_2$   | $T_2$ | $T_1$ | $T_6$ | $T_5$ | $T_4$ | $T_3$ |
| $T_3$   | $T_3$ | $T_5$ | $T_1$ | $T_6$ | $T_2$ | $T_4$ |
| $T_4$   | $T_4$ | $T_6$ | $T_5$ | $T_1$ | $T_3$ | $T_2$ |
| $T_5$   | $T_5$ | $T_3$ | $T_4$ | $T_2$ | $T_6$ | $T_1$ |
| $T_6$   | $T_6$ | $T_4$ | $T_2$ | $T_3$ | $T_1$ | $T_5$ |

**1.31.** Se dă reacția  ${}^3_2\text{He}({}^2_1\text{D}, X){}^4_2\text{He}$ . Să se afle elementul  $X$ , cu ajutorul legilor de conservare a numărului de nucleoni ( $A$ ) și a sarcinii electrice ( $Z$ ). Să se stabilească tipul reacției nucleare după energia de reacție  $Q$ .

**Rezolvare:** Se scrie ecuația corespunzătoare notației:  ${}^3_2\text{He} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^4_2\text{He} + X$   
aplicând legile de conservare, se obține:

$$Z_X = Z_{{}^3_2\text{He}} + Z_{{}^2_1\text{D}} - Z_{{}^4_2\text{He}} = 2 + 1 - 2 = 1$$

$$A_X = A_{{}^3_2\text{He}} + A_{{}^2_1\text{D}} - A_{{}^4_2\text{He}} = 3 + 2 - 4 = 1$$

de unde  ${}_Z^AX = {}^1_1\text{H}$ .

Energia de reacție  $Q$ , se calculează cu relația:

$$Q = (M_{{}^3_2\text{He}} + M_{{}^2_1\text{D}} - M_{{}^4_2\text{He}} - M_{{}^1_1\text{H}})c^2 = 0,019723 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 18,372 \text{ MeV}; Q > 0,$$

deci reacția este exotermă.

**Observație:**

Valorile maselor atomice izotopice ale elementelor ce participă la reacția nucleară se iau din tabele.

**1.32.** Se dă reacția nucleară:  ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He}$ . Să se calculeze energia de reacție ( $Q$ ), cu ajutorul energiilor de legătură pe nucleon:

$$B_{{}^7_3\text{Li}} = 5,61 \text{ MeV}, B_{{}^4_2\text{He}} = 7,06 \text{ MeV}.$$

**Rezolvare:** Știind că  $B = \frac{W_{\text{leg}}}{A}$ ; rezultă  $W_{\text{leg}} = A B$ , deci:

$$W_{\text{leg } {}^7_3\text{Li}} = 7 \cdot B_{{}^7_3\text{Li}}, W_{\text{leg } {}^4_2\text{He}} = 4 B_{{}^4_2\text{He}}.$$

Energia de reacție  $Q$  se calculează cu relația:

$$Q = (m_{\text{Li}} + m_{\text{H}} - 2 m_{\text{He}}) c^2$$

Știind că  $W_{\text{leg Li}} = (7 m_{\text{H}} + 4 m_{\text{n}} - m_{\text{Li}}) c^2$ , se obține:

$$m_{\text{Li}} = 7 m_{\text{H}} + 4 m_{\text{n}} - \frac{W_{\text{leg Li}}}{c^2};$$

analog se obține:  $m_{\text{He}} = 4 m_{\text{H}} - 2 m_{\text{n}} - \frac{W_{\text{leg He}}}{c^2}$ ; înlocuind, rezultă:

$$Q = 2 W_{\text{leg He}} - W_{\text{leg Li}} = 8 B_{\text{He}} - 7 B_{\text{Li}}; Q = 17,2 \text{ MeV}$$

**1.33.** Verificați stabilitatea produsului de reacție în reacția nucleară:

$${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} = 2 {}^4_2\text{He}.$$

**Rezolvare:**

Condiția de stabilitate a unui nucleu este ca energia lui de legătură  $W_{\text{leg}} > 0$ . Deci se calculează energia de legătură a produsului de reacție:

$$W_{\text{leg } {}^4_2\text{He}} = (2m_H + 2m_n - m_{{}^4_2\text{He}})c^2 \text{ și se obține } W_{\text{leg } {}^4_2\text{He}} = 28,29 \text{ MeV};$$

$W_{\text{leg}} > 0$ , rezultă că produsul de reacție  ${}^4_2\text{He}$  este stabil.

**1.34.** Energia degajată în procesul de fisiune a unui nucleu de  ${}^{235}_{92}\text{U}$  este 200 MeV. Să se calculeze:

- energia degajată prin fisiunea completă a unui kg de uraniu;
- puterea unui reactor care ar produce această energie în 24 h.

**Rezolvare:**

a) Notând cu:  $W_i = 200 \text{ MeV}$ ;  $W_{\text{total}}$  = energia degajată prin fisiunea completă a unui kilogram de uraniu;  $N$  = numărul de nuclee (respectiv atomi) dintr-un kilogram de uraniu, atunci

$$W_{\text{total}} = N \cdot W_i, \text{ unde } N = \frac{m N_A}{A}, \quad m = 1 \text{ kg},$$

$$N_A = \text{numărul lui Avogadro}, A = 235, 1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J},$$

înlocuind, se obține:

$$N = 256 \cdot 10^{22} \text{ nuclee}, W_{\text{total}} = 8,2 \cdot 10^{13} \text{ J}.$$

$$\text{b) } P = \frac{W_{\text{totală}}}{t}, \text{ unde } t = 24 \text{ h}; P = 949 \text{ MW}.$$

**1.35.** Un miligram de radiu emite  $3,7 \cdot 10^7$  particule  $\alpha$  pe secundă. Care este constanta de dezintegrare  $\lambda$  a radiului (numărul de masă al radiului este 226)?

**Rezolvare.**

Se notează cu:  $\Lambda$  = activitatea radiului;  $\Lambda = 3,7 \cdot 10^7 \text{ dez} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $A$  = masa unui mol de radiu;  $A = 226 \text{ g}$ , cu relația  $\Lambda = \lambda N$ , unde  $N = \frac{N_A \cdot m_{\text{radiu}}}{A}$  este numărul de nuclee ce se dezintegrează;  $N = N_A \cdot \nu$ ;  $\nu$  = numărul de moli.

$$\text{Se obține } \lambda = \frac{\Lambda \cdot A}{N_A \cdot m_{\text{radiu}}}, \lambda = \frac{3,7 \cdot 10^7 \text{ dez} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 226 \text{ g}}{6,023 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-3} \text{ g}} \approx 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}.$$

**1.36.** Să se determine „vârsta” unui obiect de lemn, știind că activitatea izotopului  $^{14}\text{C}$  pentru acest obiect este  $\frac{3}{5}$  din activitatea unui copac tăiat recent. Se dă:  $T_{\frac{1}{2}}(^{14}\text{C}) = 5730 \text{ ani}$ .

**Rezolvare:**

Se notează  $\Lambda_0$  = activitatea copacului tăiat recent;  $t$  = vârsta obiectului;  $\Lambda$  = activitatea izotopului  $^{14}\text{C}$ . Din relația  $\Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t}$ ,  $\Lambda = \frac{3}{5} \Lambda_0$  și  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}$  se obține  $\frac{\Lambda}{\Lambda_0} = e^{-\lambda t} = \frac{3}{5}$ .

Logaritmând, se obține:  $-\lambda t = \ln \frac{3}{5}$  sau  $-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \cdot t = -\ln \frac{5}{3}$ , de unde:  $t = 4282 \text{ ani}$ .

**1.37.** Să se calculeze grosimea stratului de apă ce reduce la jumătate un fascicul de radiații gama, cunoscând coeficientul de atenuare liniară  $\mu = 0,047 \text{ cm}^{-1}$ .

**Rezolvare:**

Din relația:  $I(x) = I(0) e^{-\mu x}$  și ținând seama că  $I(x) = \frac{I(0)}{2}$ , prin logaritmare se obține  $X_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{0,047} = 14,74 \text{ cm}$ .

**1.38.** O placă de cadmiu cu grosimea de  $10^{-4} \text{ m}$  slăbește intensitatea unui fascicul de neutroni termici cu 69 %. Care este secțiunea de captură a  $\text{Cd}(\sigma)$  dacă densitatea acestuia este  $8560 \text{ kg m}^{-3}$ , iar masa molară  $A = 112,4 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Rezolvare:**

Din relația:  $I(x) = I(0) e^{-n\sigma x}$  și ținând seama că  $\frac{I(x)}{I(0)} = 69\%$ , prin logaritmare, se obține  $\sigma = \frac{1}{n x} \ln \frac{I(0)}{I(x)}$  unde  $n = \frac{\rho_{cd} N_A}{A}$ ,  $n$  este numărul de nuclee din unitatea de volum,  $N_A$  – numărul lui Avogadro;  $\rho_{cd}$  – densitatea cadmiului.

Prin înlocuire, rezultă:  $\sigma = \frac{A}{\rho_{cd} \cdot N_A \cdot x} \cdot \ln \frac{I(0)}{I(x)}$ ;  $\sigma = 8 \text{ bn}$ ,  $1 \text{ bn} = 10^{-28} \text{ m}^2$ .

**1.39.** Care este viteza inițială calculată nerelativist a unei particule  $\alpha$  care formează într-o cameră cu ceață 200 000 perechi ioni, dacă energia de ionizare a vaporilor din cameră este de aproximativ 33 eV)?



**Rezolvare:**

Dacă se fac notațiile:  $m_\alpha$  = masa particulei  $\alpha$ ;  $V_\alpha$  = viteza inițială a particulei  $\alpha$ ;  $W_\alpha$  = energia cinetică a particulei  $\alpha$ ;  $W_i$  = energia de ionizare și  $N$  = numărul perechilor de ioni, se pot scrie relațiile:  $W_\alpha = NW_i$ , unde  $W_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha V_\alpha^2$ ,  $m_\alpha = 4 u$ ,

înlocuind, rezultă  $v_\alpha = \sqrt{\frac{2 NW_i}{m_\alpha}} = 1,81 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**1.40.** Știind că la un zbor cu avionul pe distanța România – Franța se încasează doza biologică  $B = 10 \text{ } \mu\text{Sv}$ , câte zboruri avem voie să facem pe an, astfel încât să nu depășim doza biologică maxim admisă ( $B_{\max}$ )?  
Se presupune că nu mai suferim iradiieri din alte surse.

**Rezolvare:**

Conform standardelor internaționale (revezi noțiunile de Dozimetrie):  $B_{\max} = 1 \text{ mSv / an}$ ; deci numărul de zboruri permis este  $n = \frac{B_{\max}}{B} = 100$ , ceea ce chiar și pentru un om de afaceri de exemplu, este mai mult decât rezonabil.

**1.41.** Să se calculeze energia și viteza particulelor  $\alpha$  ce ies dintr-un ciclotron dacă raza maximă a orbitei de accelerare este  $R = 0,5 \text{ m}$ .  
Inducția magnetică este  $B = 1,7 \text{ T}$ .

**Rezolvare:**

Fie  $W_\alpha$  = energia cinetică nerelativistă a particulei  $\alpha$ .

Forța Lorentz care acționează asupra particulei  $\alpha$ , joacă rol de forță centripetă, deci:

$$F_{cp} = F_L \quad \text{sau} \quad \frac{m_\alpha V_\alpha^2}{R} = q_\alpha V_\alpha B,$$

se obține:

$$V_\alpha = \frac{q_\alpha BR}{m_\alpha},$$

unde  $q_\alpha = 2 e$ ;  $m_\alpha = 4 u$ ,  $W_\alpha = \frac{m_\alpha V_\alpha^2}{2}$ ,

deci înlocuind, obținem:

$$W_\alpha = \frac{q_\alpha^2 B^2 R^2}{2 m_\alpha}; \quad W_\alpha = 34,37 \text{ MeV}; \quad V_\alpha = 4 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

*Adriana Ghiță*

$$\hbar\lambda = \frac{\hbar \ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{\hbar v}{2R} e^{-2G}$$

$$G = \int_R^{R_0} \frac{p}{\hbar} dr = \frac{1}{\hbar} \int_R^{R_0} \sqrt{2M_C(V-E)} \, dr = \frac{1}{\hbar} \int_R^{R_0} \sqrt{2M_C\left(\frac{Z_C Z_D}{r} - E\right)} \, dr = \frac{1}{\hbar} \int_R^{R_0} \sqrt{2M_C E \left(\frac{R_0}{r} - 1\right)} \, dr$$

### Probleme propuse

**1.42.** Să se arate că densitatea medie a materiei nucleare ( $\rho$ ) are aproximativ aceeași valoare pentru toate nucleele.

a) Care este această valoare?

b) Să se evalueze de asemenea, numărul de nucleoni din unitatea de volum a substanței nucleare ( $n$ ).

**Răspuns:** a) Raza nucleului este  $R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$ ,  $R_0 = 1,5 \cdot 10^{-15}$  m iar volumul nucleului  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ ; înlocuind, se obține  $V = \frac{4}{3} \pi R_0^3 A$ ;  $V \sim A$ . Considerăm masa nucleului dată de relația  $M = \rho V$ , rezultă  $\rho = \frac{M}{V}$ . Ținând seama că  $M \cong A \cdot M_H$ ,  $M_H$  = masa atomului de hidrogen, se obține  $\rho = \frac{3M_H}{4 \pi R_0^3}$ ;  $\rho \cong 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

b) Volumul nucleului  $V = \frac{4 \pi}{3} R^3$ ;  $V = 14,13 \cdot 10^{-45} A \cdot \text{m}^3$  unde  $A$  este numărul de nucleoni din nucleu, deci  $n = \frac{A}{V} = \frac{10^{45}}{14,13 \text{ m}^3} = 7,1 \cdot 10^{43} \text{ nucleoni} \cdot \text{m}^{-3}$ .

**1.43.** Două substanțe radioactive au activitatea inițială  $\Lambda_{01}$ , respectiv  $\Lambda_{02}$  ( $\Lambda_{01} > \Lambda_{02}$ ) și timpii de înjumătățire  $T_1$ , respectiv  $T_2$ .

a) După cât timp activitățile radioactive ale celor două substanțe devin egale?

b) După cât timp numărul de nuclee rămase nedezintegrate ale celor două substanțe va fi același?

**Răspuns:** a) Dacă se notează:  $\Lambda_1$  = activitatea primei substanțe după timpul  $t$ ;  $\Lambda_2$  = activitatea celei de-a doua substanțe după același timp  $t$  și ținând seama că:

$$\Lambda_1 = \Lambda_{01} e^{-\lambda_1 t}, \quad \Lambda_2 = \Lambda_{02} e^{-\lambda_2 t} \text{ iar } \Lambda_1 = \Lambda_2, \text{ rezultă } \Lambda_{01} e^{-\lambda_1 t} = \Lambda_{02} e^{-\lambda_2 t}$$

$$\text{care după logaritmare se obține } t = \frac{\ln \frac{\Lambda_{02}}{\Lambda_{01}}}{\lambda_2 - \lambda_1}.$$

Notând  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}$  rezultă

$$t = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \cdot \frac{\ln \frac{\Lambda_{02}}{\Lambda_{01}}}{\ln 2}.$$

b) Dacă  $N_1, N_2$  sunt numerele de nuclee rămase nedeintegrare, după timpul  $t$ ; din legea dezintegrării se obține:

$$\begin{aligned} N_1 &= N_{01} e^{-\lambda_1 t} & \text{și} & & \Lambda_{01} &= \lambda_1 N_{01}; \\ N_2 &= N_{02} e^{-\lambda_2 t} & & & \Lambda_{02} &= \lambda_2 N_{02} \end{aligned}$$

dar  $N_1 = N_2$ , deci  $N_{01} e^{-\lambda_1 t} = N_{02} e^{-\lambda_2 t}$  sau  $\frac{\Lambda_{01}}{\lambda_1} e^{-\lambda_2 t} = \frac{\Lambda_{02}}{\lambda_2} e^{-\lambda_2 t}$ .

Ținând seama că  $\lambda_1 = \frac{\ln 2}{T_1}$ ,  $\lambda_2 = \frac{\ln 2}{T_2}$ , se obține:

$$T_1 \Lambda_{01} e^{-\lambda_1 t} = T_2 \Lambda_{02} e^{-\lambda_2 t}$$

iar după logaritmare se obține:  $t = \frac{T_1 T_2}{\ln 2 (T_1 - T_2)} \ln \frac{T_2 \cdot \Lambda_{02}}{T_1 \cdot \Lambda_{01}}$ .

**1.44.** O radiație  $\gamma$  cu energia de 0,5 MeV are grosimea de înjumătățire în beton  $X = 10$  cm. Să se determine:

a) frecvența radiației;

b) grosimea stratului de beton care absoarbe 75 % din radiație.

Se cunosc:  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J · s.

**Răspuns:** a) Dacă se notează cu  $W = 0,5$  MeV, energie radiație  $\gamma$ ,  
 $W = h \nu$ ,  $\nu = \frac{W}{h}$ ;  $\nu = 1,208 \cdot 10^{20}$  Hz.

b) Din legea atenuării radiației  $\gamma$ :  $I = I_0 e^{-\mu x}$ , în care  $I = I_0 \cdot 25\%$ ;  $I$  este intensitatea fasciculului  $\gamma$  care trece după ce radiația a fost absorbită.

Se poate scrie  $\mu = \frac{\ln 2}{X}$ ;  $\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$ , care prin logaritmare în baza  $e$  devine:

$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x$ ,  $\ln \frac{1}{4} = -\frac{\ln 2}{X} x$ , se obține  $x = 2 X = 20$  cm.

**1.45.** Un gram din cenușa unui os găsit într-o săpătură arheologică produce cinci dezintegrări  $\beta$  pe minut. Știind că un gram din cenușa unui os actual produce 15 dezintegrări  $\beta$  pe minut și că timpul de înjumătățire al radiocarbonului  $^{14}_6C$  este 5650 ani se cere:

- a) vârsta osului găsit în săpătură;  
b) ecuația reacției de dezintegrare a  $^{14}_6C$  și viteza electronului emis, fiind dată energia cinetică a acestuia, de 156 KeV.

Se neglijează variația relativistă a masei cu viteza. Se dau:  $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$  kg.

**Răspuns:** a) Notăm:  $\Lambda$  activitatea unui gram din cenușa unui os găsit în săpătura arheologică ( $\Lambda = 5$  dez/min);  $\Lambda_0$  = activitatea unui os actual ( $\Lambda_0 = 15$  dez / min),  $\Lambda = \lambda N$ ,  $\Lambda_0 = \lambda N_0$ ,  $N$  = numărul de nuclee de  $^{14}_6C$  rămase nedezintegrate din osul vechi;  $N_0$  = numărul de nuclee de  $^{14}_6C$  existente în osul nou. Din legea dezintegrării:  $N = N_0 e^{-\lambda t}$  sau  $\Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t}$ ; rezultă  $5 = 15 e^{-\lambda t}$  și, logaritmand, obținem  $t = \frac{1}{\lambda} \ln 3$ ; unde  $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$ , deci  $t = 5650 \text{ ani} \cdot \frac{1,09861}{0,693}$ ;  $t = 8956,9$  ani.

b) ecuația de dezintegrare a  $^{14}_6C$  este  $^{14}_6C \xrightarrow{\beta^-} ^{14}_7N + 156 \text{ KeV}$  (se admite că nucleul de  $^{14}_7N$  nu preia energia de recul, nici nu este excitat. Energia cinetică a electronului emis este:  $W_{\beta^-} = \frac{m_e V_{\beta^-}^2}{2}$ , unde  $W_{\beta^-} = 156 \text{ keV}$ , deci rezultă:

$$V_{\beta^-} = \sqrt{\frac{2 W_{\beta^-}}{m_e}}; \quad V_{\beta^-} = 2,355 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

**1.46.** Să se determine energia de legătură a nucleului de  $^{10}_5B$  și energia de legătură pe nucleon a acestui nucleu. Se cunosc:  $M_5^{10}B = 10,012939 \text{ u}$ ,  $M_1^1H = 1,007825 \text{ u}$ ,  $m_n = 1,008665 \text{ u}$ ;  $1 \text{ u} \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$ .

**Răspuns:** Energia de legătură a nucleului de  $^{10}_5B$  este:

$$W_{\text{leg}} = [Z \cdot M_H + (A - Z) m_n - M_5^{10}B] \cdot c^2$$

unde  $Z = 5$ ,  $A - Z = 5$ ; deci  $W_{\text{leg}} = 0,069511 \text{ u} \cdot c^2$ ;  $W_{\text{leg}} = 64,74 \text{ MeV}$ .

Energia de legătură pe nucleon a nucleului de  $^{10}_5B$  este:

$$B = \frac{W_{\text{leg}}}{A}; \quad B = 6,474 \text{ MeV / nucleon}.$$

**1.47.** Prin bombardarea izotopului  $^7_3Li$  cu protoni se obțin două particule  $\alpha$ , fiecare având energia de 9,15 MeV. Să se determine energia cinetică a protonilor

incidenți. Se dau:  $M_H = 1,0078252u$ ,  $M_2^4\alpha = 4,0026033u$  și  $M_3^7Li = 7,0160048u$ ,  $1u \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$ .

**Răspuns:** Se scrie reacția nucleară:  ${}^7_3Li + {}^1_1p \rightarrow 2 {}^4_2\alpha$ .

Defectul de masă este:  $\Delta M = M_{N_3^7Li} + m_p - 2m_\alpha$ ;  $M_{N_3^7Li} = M_{{}^7_3Li} - 3m_e$ ;  $M_{N_2^4\alpha} = M_{N_2^4\alpha} - 2m_e$ , deci  $\Delta M = M_{N_3^7Li} + M_H - 2M_{N_2^4\alpha}$ ;  $\Delta M = 0,0186234u$ . Energia de reacție  $Q = \Delta M \cdot c^2$ ;  $Q = 17,34 \text{ MeV}$  dar  $Q = 2E_{\alpha} - E_{cp}$ ,  $E_{c_3^7Li} = 0$  (nucleu țintă în repaus), rezultă  $E_{cp} = 2E_{\alpha} - Q$ ;  $E_{cp} = 0,96 \text{ MeV}$ .

**1.48.** Cât de mare este raza nucleului de  ${}^{27}_{13}Al$ ?

**Răspuns:**  $R = 4,35 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 4,35 \text{ fm}$ .

**1.49.** Cât este masa unui atom de  ${}^{63}_{29}Cu$ ? Dar masa nucleului aceluiasi element?

**Răspuns:**  $M_a({}^{63}_{29}Cu) = 104,59 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  $M_n({}^{63}_{29}Cu) = 104,57 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

**1.50.** Să se deducă relația utilizată pentru calculul energiei de legătură a unui nucleu ( $W_{leg}$ ) în funcție de masa atomului corespunzător și de masa atomului de hidrogen.

**Răspuns:**  $m_{atom} = m_{nucleu} + Zm_e$  (dacă se neglijează energia de legătură a electronilor);  $W_{leg} = [Z \cdot m_H + (A-Z)m_n - M_{atom}]c^2$ .

**1.51.** Care sunt vitezele particulei  $\alpha$  și nucleului de  ${}^{206}_{82}Pb$  produs la dezintegrarea unui atom de  ${}^{210}_{84}Po$ ? (Calculul se va face nerelativist, pornind de la conservarea energiei totale și a impulsului).

**Răspuns:**  $v_\alpha = 1,59 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $v_{Pb} = 3,09 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**1.52.** Nucleul  ${}^7_4Be$  suferă o captură electronică, transformându-se în  ${}^7_3Li$ . Se dau masele atomice:  $M_{Be} = 7,016931u$ ,  $M_{Li} = 7,016005u$  și  $1u \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$ . Cu ce energie va fi emis neutrino?

**Răspuns:**  $E_\nu = 862 \text{ KeV}$ .

**1.53.** După cât timp se vor dezintegra  $p\%$  din numărul inițial de nuclee radioactive dintr-un nuclid ce are constanta radioactivă  $\lambda$ ?

**Răspuns:**  $t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{1}{1-p}$ .

**1.54.** În sângele unui pacient a fost injectată o soluție de  ${}^{24}_{11}\text{Na}$  având activitatea  $\Lambda_0 = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{dez}}{\text{s}}$ . Dacă după 5 ore activitatea unui  $\text{cm}^3$  de sânge este  $\Lambda = 16 \frac{\text{dez}}{\text{min}}$ , să se găsească volumul de sânge al persoanei respective. Se va considera că volumul soluției este neglijabil față de volumul sângelui, care nu variază din alte cauze în cele 5 ore de experiență. Se cunoaște:  $T_{1/2}({}^{24}_{11}\text{Na}) = 15 \text{ h}$ .

**Răspuns:**  $V = 6 \ell$ .

**1.55.** Prin trecerea unui fascicul monoenergetic de neutroni termici printr-un filtru de cadmiu cu grosime de  $6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ , intensitatea fasciculului de neutroni scade la jumătate. Să se calculeze secțiunea de absorbție  $\sigma$  pentru acești neutroni.

Se dau:  $A_{\text{Cd}} = 112,4 \text{ kg} \cdot 10^{-3} \text{ mol}^{-1}$  și  $\rho_{\text{Cd}} = 8560 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

**Răspuns:**  $\sigma = \frac{A \cdot \ln 2}{\rho N_A \cdot x} = 2490 \text{ bn}$ .

**1.56.** Să se stabilească tipul interacțiunii ce se realizează în următoarele procese:

**a)** dezintegrarea  $\alpha$ ; **b)** dezintegrarea  $\beta^-$ ; **c)** fisiunea; **d)** fuziunea.

**Răspuns:** Interacțiunea tare în procesele a, c, d; interacțiunea slabă în procesul b.

**1.57.** Dacă în procesul de anihilare electron–pozitron (considerați practic în repaus), se produc doi fotoni  $\gamma$ , determinați: energia, frecvența și lungimea de undă a fiecăruia.

**Răspuns:**  $\varepsilon_f = m_0 c^2 = 511 \text{ keV}$ ;  $\nu = \frac{m_0 c^2}{h} = 1,24 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$ ;  $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{h}{m_0 c^2} = \Lambda$ ;

$\Lambda = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ m}$  este lungimea de undă **Compton**.

**1.58.** Să se găsească legătura dintre „frecvența” unghiulară  $\omega$  a unei particule cu sarcina electrică  $q$  și masa de repaus  $m_0$ , care se deplasează pe orbita de accelerare a unui accelerator, câmpul magnetic cu inducția  $B$  și energia cinetică ( $E_c$ ). Orbita de accelerare se consideră staționară.

**Răspuns:**  $\omega = \frac{q B c^2}{E_c + m_0 c^2}$  (în tratare relativistă).

**1.59.** Cum trebuie să se schimbe față de  $\ell_1$ , lungimea  $\ell_2$  a unui cilindru de accelerare într-un accelerator liniar, pentru a accelera protoni, având energia cinetică  $E_{c1} = 2 \text{ MeV}$ , până la  $E_{c2} = 30 \text{ MeV}$ , dacă frecvența generatorului care alimentează cilindrii este  $10^8 \text{ Hz}$ .

**Răspuns:**  $\ell = \frac{v}{2v}$ ;  $v = \frac{c\sqrt{x(x+2)}}{x+1}$ ;  $x = \frac{E_c}{m_0c^2}$ ;  $\ell_1 = 98,2 \text{ mm}$ ,  $\ell_2 = 371,8 \text{ mm}$ , deci

lungimea cilindrului de accelerare trebuie să crească cu  $\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1$ ;  
 $\Delta\ell = 273,6 \text{ mm}$ .

**1.60.** Indicați o lege de conservare specifică interacțiunilor nucleare tari.

**Răspuns:** în interacțiunile tari se conservă izospinul.

**1.61.** Care sunt legile de conservare în reacțiile nucleare și care este importanța lor?

**Răspuns:** Legile conservării: *energiei, impulsului, momentului cinetic, sarcinii electrice, numărului barionic, numărului leptonic* (în interacțiunile electromagnetice, slabe și tari), *stranietății, parității* (în interacțiunile electromagnetice și tari), *izospinului* (în interacțiunile tari).

**1.62.** Care sunt legile de conservare valabile pentru toate tipurile de interacțiuni? Ce legi nu se respectă în interacțiunile slabe?

**Răspuns:** Revezi noțiunile teoretice.

**1.63.** Într-o lume de antimaterie, care ar fi structura unui antiatom? Ce condiție este necesară pentru existența acestuia?

**Răspuns:** Antiatomul ar fi format din antinucleu (antiprotoni + antineutroni) și o pătură de pozitroni.

**1.64.** Să se scrie expresia înălțimii maxime a barierei de potențial care împiedică intrarea unei particule  $\alpha$  într-un nucleu de oxigen, cunoscând suma razelor celor două nuclee ( $R$ ).

**Răspuns:**  $C = \frac{4e^2}{\pi\epsilon_0 R}$ .

**1.65.** Un neutron se dezintegrează spontan; aflați energia maximă a electronului emis.

**Răspuns:**  $E_{\max} = 782 \text{ keV}$ .

**1.66.** Se știe că la fisiunea unui nucleu de  $^{235}\text{U}$  se eliberează energia de 200 MeV. Câte nuclee de  $^{235}\text{U}$  trebuie să fisioneze într-o secundă pentru a produce într-un reactor puterea de 3 200 W ( $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ).

**Răspuns:**  $N = 10^{14}$  nuclee de  $^{235}\text{U}$  în fiecare secundă.

**1.67.** Știind că la o radiografie pulmonară, doza biologică primită este  $B = 20 \mu\text{Sv}$ , aflați câte radiografii avem voie să facem toată viața, astfel încât să nu depășim doza biologică maxim admisă pe viață  $B_{\max} = 1 \text{ mSv}$ ? (Presupunem că nu mai suferim iradierii din alte surse). Exprimați doza biologică maxim admisă  $B_{\max}$  precum și doza biologică  $B$  în rem.



**Răspuns:** 50 radiografii! Deci, se recomandă multă atenție! (s-a ținut seama de relațiile  $B_{\max} = 0,1 \text{ rem/an}$  și  $B = 0,002 \text{ rem/radiografie}$ ).

**1.68.** Ce poziția va ocupa în tabelul periodic al elementelor (Mendeleev) un nucleu rezultat în urma unei dezintegrări  $\alpha$ ,  $\beta$ , respectiv  $\gamma$ .

Să se scrie reacțiile nucleare corespunzătoare fiecărei dezintegrări.

Prin ce se deosebește radiația  $\gamma$  de radiația neutrinică?

Prin ce tip de dezintegrare se obțin nucleele izobare?

Care radiații nucleare prezintă spectru energetic continuu? Dar discret?

Care din radiațiile nucleare este cea mai periculoasă pentru organismele vii, datorită puterii mari de pătrundere în țesut, dacă toate radiațiile au aceeași energie?

**Indicație:** Revezi noțiunile teoretice.

**1.69.** Prin câte dezintegrări  $\alpha$  și câte  $\beta^-$  trece nuclidul  ${}^{238}_{92}\text{U}$  în nuclidul  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ ?

**Răspuns:** 8 dezintegrări  $\alpha$  și 6 dezintegrări  $\beta^-$ .

**1.70.** Constanta radioactivă a radonului este  $2,1 \cdot 10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$ . Care va fi perioada de înjumătățire  $T_{1/2}$  a acestuia?

**Răspuns:**  $T_{1/2} = 91,8 \text{ h}$ .

**1.71.** Perioada de înjumătățire a izotopului  ${}^{14}\text{C}$  este 5 740 ani. Activitatea unei mase  $m$  din acest izotop este 1 Ci.

Care este valoarea masei  $m$ ?

**Răspuns:**  $m = 0,2 \text{ mg}$ .

**1.72.** Doi nuclizi radioactivi au perioadele de înjumătățire  $T_1 = T_0$  și  $T_2 = 2T_0$ ; la un moment dat, raportul  $\frac{N_2}{N_1}$  este  $\frac{1}{4}$ . După cât timp acest raport devine 4?

**Răspuns:**  $t = 8 T_0$ .

**1.73.** Să se calculeze vârsta unei roci terestre, dacă numărul de nuclee de  ${}^{238}_{92}\text{U}$ , cu timpul de înjumătățire  $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ ani}$ , dezintegrate în decursul vremii dintr-un mol de uraniu conținut în roca radioactivă este  $n = 2,23 \cdot 10^{22}$ .

**Răspuns:**  $t = 2,5 \cdot 10^8 \text{ ani}$ .

**1.74.** Radiația  $\gamma$  monocromatică emisă de radioizotopul  ${}^{198}_{79}\text{Au}$  având energia 0,411 MeV este studiată cu ajutorul unui filtru din  $\text{Cu}$  cu grosimea de 0,02 m. Să se calculeze coeficientul de atenuare liniară, știind că filtrul micșorează intensitatea cuantelor  $\gamma$  incidente de 5 ori.

**Răspuns:**  $\mu = 0,1116 \text{ cm}^{-1}$ .

**1.75.** Cadmiul are secțiunea de captură la neutroni termici egală cu 2 500 bn. De câte ori este atenuat fluxul de neutroni termici după străbaterea unei foițe de

cadmiu cu grosimea de  $6 \cdot 10^{-4}$  m? Se dau: densitatea cadmiului  $\rho_{Cd} = 8\,560 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , masa molară a cadmiului,  $\mu_{Cd} = 112,4 \text{ kg mol}^{-1}$ ; se știe că  $1 \text{ bn} = 10^{-28} \text{ m}^2$ .

**Răspuns:** Atenuarea este  $1 - \frac{N}{N_0} = 0,999$ .

**1.76.** Să se determine energia de legătură a nucleului de  ${}^{10}_5\text{B}$  și energia de legătură pe nucleon a acestui nucleu. Se cunosc  $M_{{}^{10}_5\text{Be}} = 10,012939 \text{ u}$ ,  $M_{{}^1_1\text{H}} = 1,007825 \text{ u}$ ,  $m_n = 1,008665 \text{ u}$  și echivalentul energetic al u.a.m.,  $1 \text{ u} \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$ .

**Răspuns:** Energia de legătură a nucleului  ${}^{10}_5\text{B}$  este dată de relația:  $W_{\text{leg}} = [Z \cdot M_H + (A - Z)m_n - M_{{}^{10}_5\text{B}}] \cdot c^2$ , unde  $Z = 5$ ,  $A - Z = 5$ ; acum rezultă ușor:  $W_{\text{leg}} = 0,069511 \text{ u} \cdot c^2$ ;  $W_{\text{leg}} = 64,74 \text{ MeV}$ . Energia de legătură pe nucleon a nucleului de  ${}^{10}_5\text{B}$  este  $B = \frac{W_{\text{leg}}}{A}$ ;  $B = 6,474 \text{ MeV/nucleon}$ .

**1.77.** Un contor **Geiger–Müller** este folosit pentru a măsura activitatea unei surse radioactive.

Când sursa este ecranată cu  $n$  blocuri de plumb, de grosimi identice, așezate perpendicular pe direcția fasciculului de radiații, contorul (menținut în aceeași poziție) înregistrează  $R_n$  pulsuri, într-un interval de timp  $\tau$ .

Cunoscând  $R_1 = 2\,300$ ,  $R_2 = 800$ ,  $R_3 = 300$ , stabiliți:

- a)** câte pulsuri  $F$  va înregistra contorul, într-un interval de timp  $\tau$ , în absența sursei radioactive;
- b)** câte pulsuri  $R_0$  va înregistra contorul într-un interval de timp  $\tau$  (dacă este menținut în aceeași poziție) în absența blocurilor de ecranare;
- c)** numărul minim blocuri de ecranare  $N_{\min}$  astfel încât numărul pulsurilor înregistrate într-un interval de timp  $\tau$ ,  $R_{N \min}$  să fie cu mai puțin de 10% mai mare decât  $F$ ?

**Răspuns:** **a)**  $F = \frac{R_1 R_3 - R_2^2}{R_1 + R_3 - 2R_2} = 50$ ; **b)**  $R_0 = \frac{(R_1 - F)^2}{R_2 - F} + F = 6800$ ; **c)**  $N_{\min} = 7$ .

**1.78.** Un mezon este format dintr-un cuarc  $u_R$  și anticuarcul respectiv,  $\bar{u}_R$ .

**a)** Ce devine acest mezon după ce quarcul emite gluonul  $R\bar{G}$ , absorbit de antiquarc?

**b)** Ce gluon trebuie să fie emis de anticuarc și absorbit de cuarc, pentru ca mezonul considerat inițial ( $u_R \bar{u}_R$ ) să devină ( $u_B \bar{u}_B$ )?

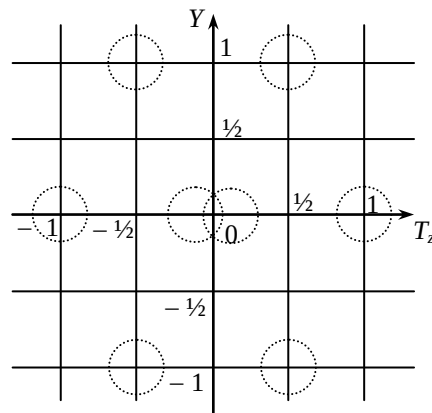
**Răspuns:** **a)**  $u_G \bar{u}_{\bar{G}}$ ; **b)**  $B\bar{R}$ .

**1.79.** În tabelul următor sunt indicate unele caracteristici ale quarcilor, precum și structura de quarci a unor hadroni (doi barioni și șase hiperoni).

**a)** Precizați semnificația mărimilor fizice indicate și completați tabelul.

**b)** Indicați locul fiecărui hadron în diagrama din figura alăturată.

**c)** Considerând că ultimul hadron din tabel ( $\Xi^-$ ) ar trebui să ocupe locul rămas liber din diagramă, stabiliți structura sa de quarci.



| Particula        | $B$           | $S$ | $\frac{Q}{e} = Z$ | $Y = B + S$ | $T_z = Z - \frac{Y}{2}$ |
|------------------|---------------|-----|-------------------|-------------|-------------------------|
| $u$              | $\frac{1}{3}$ | 0   | $\frac{2}{3}$     |             |                         |
| $d$              | $\frac{1}{3}$ | 0   | $-\frac{1}{3}$    |             |                         |
| $s$              | $\frac{1}{3}$ | -1  | $-\frac{1}{3}$    |             |                         |
| $p (uud)$        |               |     |                   |             |                         |
| $n (udd)$        |               |     |                   |             |                         |
| $\Lambda (uds)$  |               |     |                   |             |                         |
| $\Sigma^+ (uus)$ |               |     |                   |             |                         |
| $\Sigma^- (dds)$ |               |     |                   |             |                         |
| $\Sigma^0 (uds)$ |               |     |                   |             |                         |
| $\Xi^0 (uss)$    |               |     |                   |             |                         |
| $\Xi^- (???)$    |               |     |                   |             |                         |

$n \quad p$

**Răspuns:** **a)** Revedi teoria. **b)**  $\Sigma^- \quad \Lambda, \Sigma^0 \quad \Sigma^+$ . **c)**  $\Xi^- (dss)$ .

$\Xi^- \quad \Xi^0$

**1.80.** Hiperonul  $\Omega^-$  este format din trei quarci  $s$ . Calculați valorile numărului barionic, stranietății, sarcinii electrice, hipersarcinii și proiecției izospinului pe axa  $Oz$ .

**Răspuns:** 1, -3, -e, -2, 0.

**1.81.** Care sunt vitezele particulei  $\alpha$  și ale nucleului de  $^{206}_{82}\text{Pb}$  produs la dezintegrarea unui atom de  $^{210}_{84}\text{Po}$ ? (Calculul se va face *nerelativist*, pornind de la conservarea energiei totale și a impulsului).

**Răspuns:**  $V_\alpha = 1,59 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $V_{\text{Pb}} = 3,09 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**1.82.** Nucleul  ${}^7_4\text{Be}$  suferă o captură electronică, transformându-se în  ${}^7_3\text{Li}$ . Se dau masele atomice:  $M_{\text{Be}} = 7,016931\text{u}$ ;  $M_{\text{Li}} = 7,016005\text{u}$ ;  $1\text{u} \cdot c^2 = 931,5\text{MeV}$ .

Cu ce energie va fi emis neutrinelul ?

**Răspuns:**  $E_\nu = 862\text{KeV}$ .

**1.83.** Să se determine energia necesară descompunerii nucleului de  ${}^{12}_6\text{C}$  în 3 particule  $\alpha$ . Ce energie medie revine unei particule  $\alpha$ ? Se dau masele atomice:  $M_{\text{He}} = 4,0026033\text{u}$ ;  $M_{12\text{C}} = 12\text{u}$ .

Specificați ce fel de reacție este aceasta, *endoenergetică* sau *exoenergetică*?

**Răspuns:**  $W_{\text{leg}} = 7,279\text{MeV}$ ;  $W_\alpha = \frac{W_{\text{leg}}}{3} = 2,462\text{MeV}$ ;  $Q = -W_{\text{leg}}$ .

$Q < 0$ , rezultă că reacția este endoenergetică.

**1.84.** Calculați energia de reacție în reacțiile următoare:



Care reacție este exoenergetică? Calculați energia de prag pentru reacțiile endoenergetice.

Se dau:  $m_p = 1,00727\text{u}$ ,  $M_{{}^{15}_7\text{N}} = 15,000108\text{u}$ ,

$m_n = 1,008665\text{u}$ ,  $M_{{}^{11}_6\text{C}} = 11,01143\text{u}$ ,

$M_{{}^{12}_6\text{C}} = 12,0\text{u}$ ,  $m_{{}^4_2\alpha} = 4,002604\text{u}$ .

**Răspuns:** a)  $Q = 5,746\text{MeV}$ ,  $Q > 0$ , deci reacția este exoenergetică;

b)  $Q = -12,973\text{MeV}$ ,  $Q < 0$ , deci reacția este endoenergetică.  $E_{\text{prag}}^{\text{SL}} = 13,845\text{MeV}$ .

**1.85.** După cât timp se vor dezintegra  $p\%$  din numărul inițial de nuclee radioactive dintr-un nuclid ce are constanta radioactivă  $\lambda$ ?

**Răspuns:**  $t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{1}{1-p}$ .

**1.86.** În sângele unui om a fost injectată o rezolvare de  ${}^{24}_{11}\text{Na}$  cu activitatea  $\Lambda_0 = 2 \cdot 10^3\text{dez/s}$ . Dacă după 5 ore activitatea unui  $\text{cm}^3$  de sânge este  $\Lambda = 16\text{dez/min} \cdot \text{cm}^3$ , găsiți volumul de sânge al persoanei respective. Considerați că volumul soluției este neglijabil față de volumul sângelui și că acest volum nu variază din alte cauze în cele 5 ore de experiență. Se cunoaște:  $T_{\frac{1}{2}}({}^{24}_{11}\text{Na}) = 15\text{h}$ .

**Răspuns:**  $V = 6\ell$ .

**1.87.** Prin trecerea unui fascicul monoenergetic de neutroni termici printr-un filtru de cadmiu cu grosime de  $6 \cdot 10^{-5}$  m, intensitatea fasciculului de neutroni scade la jumătate. Să se definească secțiunea de absorbție ( $\sigma$ ) pentru acești neutroni.

Se dau:  $A_{cd} = 112,4 \text{ kg} \cdot 10^{-3} \text{ mol}^{-1}$  și  $\rho_{cd} = 8560 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

**Răspuns:**  $\sigma = \frac{A \cdot \ln 2}{\rho N_A \cdot x} = 2490 \text{ bn}.$

**1.88.** Să se stabilească tipul interacțiunii ce se realizează în următoarele procese: a) dezintegrarea  $\alpha$ ; b) dezintegrarea  $\beta^-$ ; c) fisiunea; d) fuziunea.

**Răspuns:** Interacțiunea tare în procesele a), c), d); slabă în procesul b) (revezi interacțiuni ale particulelor elementare).

**1.89.** Dacă în procesul de anihilare electron – pozitron, (considerați practic în repaus) se produc doi fotoni gamma, determinați: energia, frecvența și lungimea de undă a fiecăruia.

**Răspuns:**  $E_{\text{foton}} = m_0 c^2 = 511 \text{ KeV}$ ;  $\nu = \frac{m_0 c^2}{h} = 1,24 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$ ;

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{h}{m_0 c} = \Lambda; \quad \Lambda = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ (lungimea de undă Compton)}.$$

**1.90.** Să se găsească legătura dintre frecvența unghiulară ( $\omega$ ) a unei particule de sarcină electrică ( $q$ ) și masa de repaus ( $m_0$ ), ce se deplasează pe orbita de accelerare a unui accelerator, mărimea câmpului magnetic ( $B$ ) pe orbita de echilibru și energia cinetică a particulei ( $E_c$ ).

**Răspuns:**  $\omega = \frac{q B c^2}{E_c + m_0 c^2}$  (în tratare relativistă).

**1.91.** Cum trebuie să se schimbe lungimea  $\ell_1$  a unui cilindru de accelerare într-un accelerator liniar pentru a accelera protoni de la energia cinetică  $E_{c_1} = 2 \text{ MeV}$  la  $E_{c_2} = 30 \text{ MeV}$ , dacă frecvența generatorului ce alimentează cilindrii este  $10^8 \text{ Hz}$ .

**Răspuns:**  $l = \frac{v}{2\nu}$ ;  $\nu = \frac{c\sqrt{x(x+2)}}{x+1}$ ;  $x = \frac{E_c}{m_0 c^2}$ ;  $l_1 = 98,2 \text{ mm}$ ,  $l_2 = 371,8 \text{ mm}$ , deci

lungimea cilindrului de accelerare trebuie să crească cu  $\Delta l = l_2 - l_1$ ;  $\Delta l = 2736 \text{ mm}$ .

**1.92.** Ce lege de conservare este specifică interacțiunilor nucleare? Dar pentru interacțiunile slabe?

**Răspuns:** În interacțiunile tari se conservă *stranietatea*; în cele slabe se conservă *numărul* (sarcina) *leptonic* (electronic și miuonic). (Revezi *Legi de conservare în interacțiunile particulelor elementare*).

**1.93.** Cât de mare este raza nucleului de  ${}_{13}^{27}\text{Al}$ ?

**Răspuns:**  $R = 4,35 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 4,35 \text{ fm}$ .

**1.94.** Cât este masa unui atom de  ${}_{29}^{63}\text{Cu}$ ? Dar masa nucleului aceluiasi element?

**Răspuns:**  $M_{{}_{29}^{63}\text{Cu}} = 104,59 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  $M_{{}_{29}^{63}\text{Cu}} = 104,57 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

**1.95.** Să se deducă relația utilizată pentru energia de legătură a unui nucleu ( $W_{\text{leg}}$ ), din cea binecunoscută.

**Răspuns:**  $W_{\text{leg}} = [Z \cdot m_H + (A - Z) m_n - M_{\text{atom}}] c^2$ .

**1.96.** Care sunt legile de conservare în reacțiile nucleare? De ce sunt importante aceste legi?

**Indicație:** Revedi legile de conservare în reacțiile nucleare.

**1.97.** Cunoscând simbolul unei reacții nucleare  $A(a, b)B$ , adică:  $a + A \rightarrow B + b$  și utilizând legile de conservare a numărului de nucleoni și a sarcinii electrice, să se identifice nuclidul lipsă, notat cu  $X$  din următoarele reacții nucleare:

- a)  ${}_{7}^{14}\text{N}(\alpha, p)X$ ;                      b)  ${}_{6}^{12}\text{C}(X, \alpha){}_4^8\text{Be}$ ;  
c)  ${}_{1}^3\text{T}({}_1^2\text{D}, X){}_2^4\text{He}$ ,                      d)  $X(p, n){}_{18}^{37}\text{Ar}$ .

**Răspuns:** a)  $X = {}_8^{17}\text{O}$ ; b)  $X = \text{foton}$ ; c)  $X = {}_0^1n$ ; d)  $X = {}_{17}^{37}\text{Cl}$ .

**1.98.** Stabiliți care din reacțiile nucleare din problema 33. sunt exoterme și care sunt endoterme, calculând energia de reacție ( $Q$ ).

Știind că  $W_{\text{leg}} = -Q$ , stabiliți care din reacții determină dezintegrarea spontană a nucleului țintă.

Se consideră  $1 \text{ u} \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$ .

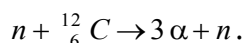
**Răspuns:** a)  $Q = -8,12 \text{ MeV}$ , reacție endotermă;  $W_{\text{leg}} > 0$ , nucleul țintă este stabil.

b)  $Q = -7,37 \text{ MeV}$ , reacție endotermă;  $W_{\text{leg}} > 0$ , nucleul țintă este stabil.

c)  $Q = 16,65 \text{ MeV}$ , reacție exotermă;  $W_{\text{leg}} < 0$ , dezintegrare spontană a nucleului țintă.

d)  $Q = -1,63 \text{ MeV}$ , reacție endotermă,  $W_{\text{leg}} > 0$ , nucleul țintă stabil.

**1.99.** Calculați energia de prag necesară producerii reacției:



**Răspuns:**  $E_{\text{prag}}^{SL} = 7,9 \text{ MeV}$ .

**1.100.** Să se afle ce particulă  $X$  este împrăștiată în următoarea reacție și dacă nucleeele sunt stabile față de această dezintegrare:  ${}^{21}_{10}\text{Ne} \rightarrow {}^{20}_{10}\text{Ne} + X$ .

**Răspuns:**  $X = {}^1_0n$ ;  $W_{\text{leg}} \cong 6,763 \text{ MeV}$ ,  $W_{\text{leg}} > 0$ , deci nucleeele sunt stabile.

**1.101.** Să se calculeze expresia înălțimii maxime a barierei de potențial care împiedică intrarea unei particule  $\alpha$  într-un nucleu de oxigen, cunoscând suma razelor celor două nuclee ( $R$ ).

**Răspuns:**  $C = \frac{4e^2}{\pi \varepsilon_0 R}$ .

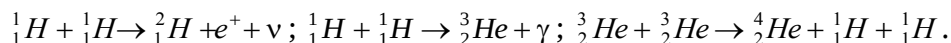
**1.102.** Un neutron se dezintegrează spontan. Care va fi energia maximă a electronului emis?

**Răspuns:**  $E_{\text{max}} = 782 \text{ KeV}$ .

**1.103.** Se știe că la fisiunea unui nucleu de  $U^{235}$  se eliberează energia de 200 MeV. Câte nuclee de  $U^{235}$  trebuie să fisioneze într-o secundă pentru a produce într-un reactor puterea de 3200 W ( $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ).

**Răspuns:**  $N = 10^{14}$  nuclee, de  $U - 235$  care fisionează/s.

**1.104.** Ciclul proton–proton (Critchfield) propus în anul 1938 pentru a explica originea energiei degajate în reacțiile termionucleare din stelele reci este următorul:



Să se calculeze energia totală eliberată.

**Răspuns:**  $Q = 24,7 \text{ MeV}$ .

**1.105.** Știind că la o radiografie pulmonară, doza biologică primită este  $B = 20 \mu\text{Sv}$ , aflați câte radiografii avem voie să facem toată viața, astfel încât să nu depășim doza biologică maxim admisă pe viață  $B_{\text{max}} = 1 \text{ mSv}$ ? (Presupunem că nu mai încasăm nici o doză din alte surse).

Exprimați doza biologică maxim admisă  $B_{\text{max}}$  precum și doza biologică  $B$  în rem.

**Răspuns:** 50 radiografii, deci atenție! (s-a ținut seama de relațiile  $B_{\text{max}} = 0,1 \text{ rem / an}$  și  $B = 0,002 \text{ rem / radiografie}$ ).

**1.106.** Prin ce se deosebește radiația  $\gamma$  de radiația neutrinică?

**Indicație** Revedi „Dezintegrarea  $\beta$  și  $\gamma$ ”.

**1.107.** Prin ce tip de dezintegrare se obțin nucleeele izobare?

**Indicație** Revedi „Legile dezintegrării radioactive”.

**1.108.** Care radiații nucleare prezintă spectru energetic continuu? Dar discret?

**Indicație** Revedi „Radiații nucleare“.

**1.109.** Care din radiațiile nucleare este cea mai periculoasă pentru organismele vii, datorită puterii mari de pătrundere în țesut, dacă toate radiațiile au aceeași energie?

**Indicație** Revedi „Doza biologică“.

**1.110.** Constanta radioactivă a radonului este  $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ . Calculați perioada de înjumătățire?

**Răspuns:**  $T_{\frac{1}{2}} = 91,8 \text{ h}$ .

**1.111.** Perioada de înjumătățire a izotopului  $^{14}\text{C}$  este 5740 ani. Activitatea unei mase  $m$  din acest izotop este 1 Ci. Care este valoarea masei  $m$ ?

**Răspuns:**  $m = 0,2 \text{ mg}$ .

**1.112.** Doi nuclizi radioactivi au perioadele de înjumătățire  $T_1 = T_0$  și  $T_2 = 2T_0$ ; la un moment dat, raportul  $\frac{N_2}{N_1}$  este  $\frac{1}{4}$ . După cât timp acest raport devine 4?

**Răspuns:**  $t = 8 T_0$ .

**1.113.** Să se calculeze vârsta unei roci terestre, dacă numărul de nuclee de  $^{238}_{92}\text{U}$ , cu timpul de înjumătățire  $T_{\frac{1}{2}} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ ani}$ , dezintegrate în decursul vremii dintr-un

mol de uraniu conținut în roca radioactivă este  $n = 2,23 \cdot 10^{22}$ .

**Răspuns:**  $t = 2,5 \cdot 10^8 \text{ ani}$ .

**1.114.** Radiația  $\gamma$  monocromatică a radioizotopului  $^{198}_{79}\text{Au}$  cu energie de 0,411 MeV este studiată cu ajutorul unui filtru din  $\text{Cu}$  cu grosimea de 0,02 m. Să se calculeze coeficientul de atenuare liniară, știind că filtrul micșorează intensitatea cuantelor  $\gamma$  incidente de 5 ori.

**Răspuns:**  $\mu = 0,1116 \text{ cm}^{-1}$ .

**1.115.** Cadmiul are secțiunea de captură la neutroni termici egală cu 2 500 bn. De câte ori este atenuat fluxul de neutroni termici după străbaterea unei foițe de cadmiu cu grosimea de  $6 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ? Se dau: densitatea  $\rho_{cd} = 8560 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , masa molară  $\mu_{cd} = 112,4 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$   $1 \text{ bn} = 10^{-28} \text{ m}^2$ .

**Răspuns:** Atenuarea este  $1 - \frac{N}{N_0} = 0,999$ .

**1.116.** Fie următoarele reacții în care  $x$  și  $y$  sunt particule elementare necunoscute:

1)  $x \rightarrow p + e^- + y$ ; 2)  $x \rightarrow n + y + \nu$ ; 3)  $e^- + x \rightarrow 2\gamma$ . Identificați  $x$  și  $y$  în fiecare caz.

**Răspuns:** 1)  $x = n$ ,  $y = \tilde{\nu}$ ; 2)  $x = p$ ,  $y = e^-$ ; 3)  $x = e^+$ .



### Teste de evaluare

**1.117.** Un preparat radioactiv emite două tipuri de radiații alfa, cu energiile cinetice de 6,25 MeV și 9 MeV. Fasciculul de particule alfa intră într-un spectrograf de masă cu deviere de  $90^\circ$ , în care acționează perpendicular pe viteza particulelor un câmp magnetic omogen, cu inducția magnetică de 1 T. Să se calculeze:

- a. vitezele celor două tipuri de particule  $\alpha$ ;
- b. razele traiectoriilor lor în câmpul magnetic;
- c. cu cât se vor separa cele două tipuri de particule pe placa fotografică înregistratoare așezată paralel față de direcția de intrare a fasciculului.

Se dau:

masa de repaus a particulei alfa,  $m_0 = 4 \text{ u}$ ,  $1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ , sarcina particulei alfa  $q = 2e$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , viteza luminii în vid  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ .

**Rezolvare:** a.  $V_{\alpha_1} = c \sqrt{1 - \left( \frac{m_0 c^2}{E_{c_1} + m_0 c^2} \right)^2}$ ;  $V_{\alpha_1} = 1,728 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$$V_{\alpha_2} = c \sqrt{1 - \left( \frac{m_0 c^2}{E_{c_2} + m_0 c^2} \right)^2}; \quad V_{\alpha_2} = 2,07 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

b.  $R_1 = \frac{m_0 V_{\alpha_1}}{qB}$ ;  $R_1 = 0,361 \text{ m}$ ;  $R_2 = \frac{m_0 V_{\alpha_2}}{qB}$ ;  $R_2 = 0,432 \text{ m}$ .

c.  $d = R_2 - R_1$ ;  $d = 7,1 \text{ cm}$ .

**1.118.** Considerați o anumită cantitate de radon  $^{222}_{86}\text{Rn}$ ; acest izotop se dezintegrează alfa; constanta radioactivă fiind  $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ .

a. Calculați numărul atomic și numărul de masă al elementului care se obține în urma dezintegrării.

b. Determinați timpul de înjumătățire al izotopului considerat ( $\ln 2 = 0,693$ ).

**Rezolvare:** a.  $Z' = 84$ ,  $A' = 218$ ; b.  $3,3 \cdot 10^5 \text{ s}$ .

**1.119.** Considerăm un ansamblu de nuclee de oxigen ( $^{17}_8\text{O}$ ). Cinci studenți determină unele mărimi caracteristice acestor nuclee; rezultatele obținute de aceștia sunt indicate în tabelul următor:

| Numele studentului:                 | Adriana | Bogdan                | Carmen                | Daniela               | Eugen                 |
|-------------------------------------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Numărul de nucleoni:                | 1       | 8                     | 9                     | 17                    | 25                    |
| Raza nucleului (fm):                | 1,45    | 2,90                  | 3,73                  | 4,12                  | 5,97                  |
| Sarcina electrică a nucleului (C) : | 0       | $1,60 \cdot 10^{-19}$ | $1,28 \cdot 10^{-18}$ | $1,44 \cdot 10^{-18}$ | $2,72 \cdot 10^{-18}$ |
| Energia de legătură/nucleon (MeV):  | 131,76  | 16,47                 | 14,64                 | 7,75                  | 5,27                  |

**a.** Definiți energia de legătură a unui nucleu și energia de legătură pe nucleon, apoi scrieți relațiile de definiție ale acestor mărimi. Arătați ce este electronvoltul, precizând dacă această unitate *face* sau *nu face parte* din Sistemului Internațional de unități de măsură (S.I.).

**b.** Scrieți numele studenților care au indicat corect câte una dintre cele patru mărimi fizice cuprinse în tabel, justificând de fiecare dată alegerea pe care ați făcut-o. Considerați cunoscute: raza nucleului de hidrogen ( $^1_1\text{H}$ ):  $1,45 \cdot 10^{-15}$  m, energia de legătură a nucleului de oxigen ( $^{17}_8\text{O}$ ): 131,76 MeV, sarcina elementară:  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C, 1 fm (femtometru) =  $10^{-15}$  m.

**Rezolvare: a.**  $W_{\text{leg}} = [Zm_p + (A-Z)m_n - M_N]c^2$ ;  $B = \frac{W_{\text{leg}}}{A}$ ; eV *nu* este u.m. a S.I.;

**b.**  $N = 17$  (Daniela);  $R = R_H A^{\frac{1}{3}} = 3,73$  fm (Carmen);  $Q = Ze = 1,28 \cdot 10^{-18}$  C (Carmen).

**1.120.** Un nucleu de  $^7_3\text{Li}$  interacționează cu un proton  $^1_1p$  dând naștere la două nuclee de  $^4_2\text{He}$ . Se cunosc energia de legătură medie pe nucleon a nucleului de litiu  $B_{\text{Li}} = 5,6 \frac{\text{MeV}}{\text{nucleon}}$  și a nucleului de heliu  $B_{\text{He}} = 7,06 \frac{\text{MeV}}{\text{nucleon}}$

**a.** Scrieți simbolic această reacție în două moduri diferite.

**b.** Calculați energia de legătură a nucleelor de  $^7_3\text{Li}$  și de  $^4_2\text{He}$ , scrieți expresiile de definiție ale energiei de legătură a acestor nuclee și expresia energiei de reacție  $Q$  în procesul indicat, apoi calculați în MeV această energie.

**Rezolvare: a.**  $^7_3\text{Li} + ^1_1p \rightarrow ^4_2\text{He} + ^4_2\text{He}$ ,  $^7_3\text{Li} (^1_1p, ^4_2\text{He}) ^4_2\text{He}$  (sau  $^4_2\alpha$ ).

**b.**  $W_{\text{Li}} = 7 \cdot B_{\text{Li}} = 39,2$  MeV,  $W_{\text{He}} = 4 \cdot B_{\text{He}} = 28,24$  MeV,  $Q = 2 B_{\text{He}} - B_{\text{Li}} = 17,28$  MeV.

## 2. FIZICĂ ATOMICĂ

### Probleme rezolvate

**2.1.** Masa ionului de hidrogen este 1,0073 u. Calculați, în unități ale S.I., raportul dintre sarcina și masa acestui ion.

**Rezolvare:**

Raportul cerut se numește *sarcină specifică* a ionului de hidrogen și se notează cu  $q'_H$ . Valoarea sarcinii specifice a ionului de hidrogen este:

$$q'_H = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{1,0073 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}} \frac{\text{C}}{\text{kg}} = 9,5687 \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

**2.2.** Considerați un atom aflat pe poziția  $Z$  în tabelul periodic al elementelor. Presupunând că acest atom este descris de modelul THOMSON, calculați raportul dintre valoarea sarcinii pozitive și volumul atomului, dacă diametrul acestui atom este  $d$ . Aplicație numerică:  $Z=1$ ,  $d=0,106$  nm.

**Rezolvare:**

Raportul cerut se numește densitatea volumică de sarcină; relația de definiție este  $\rho = \frac{Q}{V}$ , iar unitatea de măsură în S.I. este:  $[\rho]_{\text{S.I.}} = \frac{\text{C}}{\text{m}^3} = \text{C m}^{-3}$ .

Deoarece sarcina pozitivă a atomului este  $Q_+ = Ze = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , iar volumul său este  $V = \frac{\pi d^3}{6}$ , rezultă  $\rho = \frac{Q_+}{V} = \frac{6Ze}{\pi d^3}$ .

Pentru aplicația numerică:  $\rho = 2,57 \cdot 10^{11} \text{ C m}^{-3}$ .

**2.3.** Considerați că atomul de hidrogen ar fi descris de modelul lui THOMSON. Reprezentați grafic dependența de distanța până la centrul atomului a forței de interacțiune dintre electron și sarcina pozitivă a acestui atom.

**Rezolvare:**

Expresia proiecției forței exercitate asupra electronului din partea sarcinii pozitive a atomului va fi:

$$F_r = -\frac{eq(r)}{4\pi\epsilon_0 r^2} = -\frac{e\rho\frac{4\pi}{3}r^3}{4\pi\epsilon_0 r^2} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R_H^3} r, \text{ dacă } r \leq R_H$$

$$\text{și } F_r = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \text{ dacă } r > R_H.$$

Valoarea maximă a forței este  $F_{\max} = 8,2 \cdot 10^{-8}$  N (pentru  $r = R_H = 0,053$  nm).

Graficul cerut va fi cel din fig. 7.3.

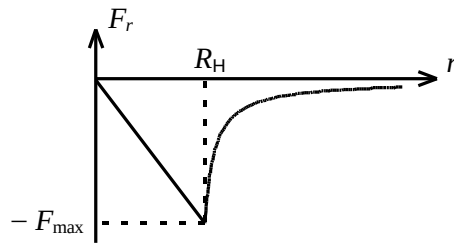


Fig. 7.3

**2.4.** Considerați că atomul de hidrogen ar fi descris de modelul lui THOMSON. Calculați frecvența mișcării electronului din atom, utilizând relația

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

care leagă *frecvența* mișcării oscilatorii armonice de *constanta elastică* și de *masa* electronului. Se cunoaște raza atomului de hidrogen:  $R_H = 53$  pm.

**Rezolvare:**

Conform problemei 7.3., constanta elastică are expresia  $k = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R_H^3}$ . Rezultă:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e R_H^3}}. \text{ Numeric: } \nu = 6,56 \cdot 10^{15} \text{ Hz.}$$

**2.5.** Presupunem că  $2n + 1$  ioni monovalenți pozitivi și  $2n$  ioni monovalenți negativi formează un lanț liniar, ionii alternând conform schemei din fig. 7.5.



Distanța dintre doi ioni vecini este  $a = 1$  nm.