ADRIANA GHIŢĂ ANDREI PETRESCU
ANDREEA RODICA STERIAN

FIZICĂ NUCLEARĂ

PROBLEME

pentru elevi şi studenţi

EDITURA
ACADEMIEI OAMENILOR DE ŞTIINŢĂ DIN ROMÂNIA
BUCUREŞTI, 2013

Editura **Academiei Oamenilor de Ştiinţă din România**
Splaiul Independenţei nr. 54, sectorul 5, 050094
Bucureşti, România

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
GHIŢĂ, ADRIANA
Fizică nucleară: probleme pentru elevi şi studenţi / Adriana Ghiţă, Andreea Rodica Sterian, Andrei Petrescu. - Bucureşti : Editura Academiei Oamenilor de Ştiinţă 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

Şef serviciu: ing. Mihai CĂRUȚAŞU
Tehnoredactor: prof. Andrei D. PETRESCU, dr. ing.
Documentarist: ing. Ioan BALINT

Copyright © Editura **Academiei Oamenilor de Ştiinţă din România**
2013

CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE 5

1. FIZICĂ NUCLEARĂ *(Adriana Ghiţă)* 7

Probleme rezolvate 7

Probleme propuse 23

Teste de evaluare 37

2. FIZICĂ ATOMICĂ *(Adriana Ghiţă, Andrei Petrescu)* 39

Probleme rezolvate 39

Probleme propuse 45

3. FIZICĂ NUCLEARĂ ŞI FIZICĂ ATOMICĂ
(Adriana Ghiţă, Andrei Petrescu) 50

Teste de autoevaluare 50

4. BAZELE EXPERIMENTALE ALE MECANICII CUANTICE
(Andreea Rodica Sterian) 60

Probleme rezolvate 60

5. FUNDAMENTELE MECANICII CUANTICE
(Andreea Rodica Sterian) 81

Probleme rezolvate 81

BIBLIOGRAFIE 115

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 sa 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 si 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 $^{208}_{82}Pb$ (52,38% abundenţă naturală), care este considerat unul dintre cele mai stabile nuclee? Dar a celorlalţi izotopi stabili ai plumbului: $^{207}_{82}Pb$ (21,11%), $^{206}_{82}Pb$ (25,15%), $^{201}_{82}Pb$ (1,37%)?

***Rezolvare*:**

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

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

***Rezolvare*:**

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

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

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

***Rezolvare*:**

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

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

Pentru calculul masei unui atom poate fi folosită şi relaţia

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

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

$$M_{n\left(^{107}_{47}Ag\right)} = M_{a\left(^{107}_{47}Ag\right)} - 47 m_e = 179{,}1 \cdot 10^{-27} - 47 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} = 179{,}05 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}.$$

Se remarcă diferenţa foarte mică dintre masa atomului şi masa nucleului de *Ag*.

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

***Rezolvare*:**

Energia de legătură a nucleului este $W_{leg} = [Z \cdot mp + (A - Z)\, m_n - M_{nucleu}]c^2$, astfel încât rezultă $M_{nucleu} = Z\, m_p + (A - Z)\, m_n - \dfrac{W_{leg}}{c^2}$. Dar $M_{atom} = M_{nucleu} + Z\, m_e$; rezultă: $M_{a\left({}^{4}_{2}He\right)} = M_{n\left({}^{4}_{2}He\right)} + Z\, m_e$, adică $M_{a\left({}^{4}_{2}He\right)} = 2\, m_p + 2\, m_n - \dfrac{W_{leg}}{c^2} + 2\, m_e \cong 4{,}0026\,\text{u}$.

1.5. Se ştie că pentru ca un nucleu să fie stabil, energia sa de legătură W_{leg} trebuie să fie pozitivă. Precizaţi dacă nucleul de ${}^{239}_{92}U$ este stabil. Dar cel de ${}^{4}_{2}He$?

Se dau: $m_H = 1{,}007825\,\text{u}$, $m_n = 1{,}008665\,\text{u}$; se consideră 1 u·$c^2$ = 931,5 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 $M_{a\left({}^{239}_{92}U\right)} = 239{,}054\,\text{u}$ şi $M_{a\left({}^{4}_{2}He\right)} = 4{,}002604\,\text{u}$, obţinem:

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

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

***Rezolvare*:**

Folosind relaţia $B = \dfrac{W_{leg}}{A}$ obţinem: $B_{{}^{239}_{92}U} = 7{,}55\,\text{MeV}$ şi $B_{{}^{4}_{2}He} = 7{,}07\,\text{MeV}$.

Dar, făcând apel la modelul în pături al nucleului, se ajunge la concluzia că ${}^{4}_{2}He$ este mai stabil, cu toate că $B_{{}^{4}_{2}He} < B_{{}^{239}_{92}U}$.

1.7. Ştiind 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, stabiliţi care sunt nucleele dublu magice considerate ca fiind cele mai stabile.

***Rezolvare*:**

Ştiind că $A = Z + N$, în urma tuturor combinaţiilor posibile, rezultă că nucleele dublu magice ar putea fi: ${}^{4}_{2}He$, ${}^{16}_{8}O$, ${}^{40}_{20}Ca$, ${}^{48}_{20}Ca$, ${}^{56}_{28}Ni$, ${}^{58}_{28}Ni$, ${}^{108}_{50}Sn$, ${}^{128}_{50}Sn$, ${}^{132}_{50}Sn$, ${}^{204}_{82}Pb$, ${}^{208}_{82}Pb$, ${}^{212}_{82}Pb$ (identificarea se face cu ajutorul tabelului lui **Mendeleev**).

Din acestea, unele prezintă dezintegrare β^- (${}^{128}_{50}Sn$ $T_{½}$ = 59 min şi ${}^{132}_{50}Sn$ $T_{½}$ = 1 min) sau captură electronică, CE (${}^{56}_{28}Ni$ $T_{½}$ = 6,1 zile şi ${}^{108}_{50}Sn$ $T_{½}$ = 9 min), deci nu sunt stabile.

Cele mai stabile nuclee sunt: ${}^{4}_{2}He$ (99,9998%), ${}^{16}_{8}O$ (99,76%), ${}^{40}_{20}Ca$ (96,94%), ${}^{48}_{20}Ca$ (0,2%), ${}^{58}_{28}Ni$ (68,27%), ${}^{208}_{82}Pb$ (52,3%); stabilitatea le este atestată şi de abundenţa lor izotopică (indicată între paranteze).

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

***Rezolvare*:**

În cadrul *modelului păturilor*, nucleonii se găsesc grupaţi 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 şi 2 neutroni.

1.9. Ce proprietăţi ale forţelor nucleare rezultă din constatarea că nucleele sunt stabile şi au formă aproape sferică).

***Rezolvare*:**

1.10. Forţele nucleare sunt forţe de tip *atractiv* şi mult mai *intense* decât cele de tip coulombian; ele au un *caracter de saturaţie* şi acţionează la *distanţe mici*. Ce argumente conduc la compararea nucleului cu o picătură de lichid?

***Rezolvare*:**

Densitatea constantă ($\approx 10^{17}$ kg·m^{-3}) a materiei nucleare, implică incompresibilitatea acesteia. Caracterul de saturaţie al forţelor nucleare, asemănător celui al forţelor intermoleculare, este răspunzător pentru forma aproximativ sferică a nucleului; se constată că $V_{nucleu} = \frac{4}{3}\pi R^3 = KA$, 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 $^{235}_{92}U$ este 200 MeV. Calculaţi:

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 şi N = numărul de nuclee (respectiv atomi) dintr-un kilogram de uraniu, se poate scrie: $W_{total} = N \cdot W_1$; N este dat de relaţia $N = \frac{m\,N_A}{A}$, cu $m = 1\,\text{kg}$, N_A = numărul lui AVOGADRO = $6{,}023 \cdot 10^{26}$ kmol^{-1}, A = 235 kg·kmol^{-1}, 1 MeV =$1{,}6 \cdot 10^{-13}$ J. Numeric, obţinem: $N = 256 \cdot 10^{22}$ nuclee, $W_{tot} = 8{,}2 \cdot 10^{13}\,\text{J}$.

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

1.12. Consideraţi reacţia de fuziune $^2_1H + ^2_1H \rightarrow ^4_2He + E$ (E este energia eliberată).

a) Calculaţi în MeV şi în J, energia E, eliberată în această reacţie.

b) Calculaţi energia pe un mol de deuteriu , amintindu-vă că hidrogenul este un gaz diatomic şi comparaţi-o cu puterea calorică (q) a hidrogenului, care are valoarea aproximativă $2{,}9 \cdot 10^5$ J·mol^{-1}.

Se cunosc: masa nucleului de deuteriu, $m_{n\left(^2_1D\right)} = 2{,}0136\,\text{u}$, masa atomului de heliu, $m_{a\left(^4_2He\right)} = 4{,}002604\,u$, masa electronului, $m_e = 0{,}0005486\,\text{u}$.

***Rezolvare*:**

a) $E = \left(m_{n\left(^2_1D\right)} + m_{n\left(^2_1D\right)} - m_{n\left(^4_2He\right)}\right)c^2$, unde $m_{n\left(^4_2He\right)} = m_{^4_2He} - 2\,m_e$; înlocuind, obţinem E = 23,93 MeV = $38{,}33 \cdot 10^{-13}$ J.

b) $E_{1\,\text{mol}\left(^2_1D\right)} = N_A \cdot E$, unde N_A este numărul lui **Avogadro**, $N_A = 6{,}023 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}.

Obţinem: $E_{1\,\text{mol}\left(^2_1D\right)} = 2{,}3 \cdot 10^{12}\,\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$; observăm că $E_{\text{mol}\left(^2_1D\right)} \cong 10^7 \cdot q$.

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

a) viteza iniţială a particulei α;

b) distanţa minimă la care particula α se apropie de nucleu.

***Rezolvare*:**

a) În tratare nerelativistă $(v_\alpha << c)$, energia cinetică a particulei α 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 forţele de respingere electrostatică care acţionează din partea nucleului asupra particulei α este: $L = \frac{Q\,q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{d_{\min}} = \frac{Z_{Au} \cdot Z_\alpha}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{e^2}{d_{\min}}$ şi $L = E_{C\alpha}$; obţinem $d_{\min} = \frac{Z_{Au} \cdot Z_\alpha \cdot e^2}{4\pi\varepsilon_0 E_{C\alpha}}$, adică $d_{\min} = 4{,}55 \cdot 10^{-14}$ m.

1.14. Seria thoriului are ca nuclid iniţial ${}^{232}_{90}Th$ şi ca produs final, izotopul ${}^{208}_{82}Pb$. Calculaţi numărul dezintegrărilor α şi β^- din această serie.

***Rezolvare*:**

Notăm: $Z_1 = 90$, $A_1 = 232$, $Z_2 = 82$, $A_2 = 208$, N_α= numărul dezintegrărilor α şi N_{β^-} = numărul dezintegrărilor β^-. Folosind legile deplasării radioactive, obţinem sistemul de ecuaţii: $\begin{cases} Z_2 = Z_1 - 2\,N_\alpha + N_{\beta^-} \\ A_2 = A_1 - 4\,N_\alpha \end{cases}$ cu soluţia $\begin{cases} N_\alpha = \frac{A_1 - A_2}{4} = 6 \\ N_{\beta^-} = Z_2 - Z_1 + 2\,N_\alpha = 4 \end{cases}$.

1.15. După câte perioade de înjumătăţire, activitatea Λ_0 a unei surse radioactive scade de 10^n ori?

***Rezolvare*:**

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

1.16. Un miligram de radiu emite $3{,}7 \cdot 10^7$ particule α pe secundă. Care este constanta de dezintegrare λ a radiului, ştiind că numărul său de masă este 226?

***Rezolvare*:**

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

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

1.17. Determinaţi vârsta unui obiect de lemn, ştiind că activitatea izotopului ^{14}C pentru acest obiect este $\frac{3}{5}$ din activitatea unui copac tăiat recent. Se dă $T_{1/2}\left(^{14}C\right) = 5\,730$ ani .

***Rezolvare*:**

Se notează cu Λ_0 activitatea copacului tăiat recent, cu t_0 vârsta obiectului şi cu Λ activitatea izotopului ^{14}C. Folosind relaţiile $\Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t}$, $\Lambda = \frac{3}{5}\Lambda_0$ şi $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$, obţinem $\frac{\Lambda}{\Lambda_0} = e^{-\lambda t_0} = \frac{3}{5}$ Logaritmând egalitatea, rezultă: $-\lambda t_0 = \ln\frac{3}{5}$, sau $-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t_0 = -\ln\frac{5}{3}$ de unde rezultă $t_0 = \frac{T_{1/2} \cdot \ln\frac{5}{3}}{\ln 2}$, t_0 = 4 282 ani.

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

***Rezolvare*:**

Din relaţia $I(x) = I(0)e^{-\mu x}$, ţinând seama că $I(x) = \frac{I(0)}{2}$, obţinem 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} m slăbeşte intensitatea unui fascicul de neutroni termici cu 69 %. Care este secţiunea de captură a *Cd* (σ) dacă densitatea acestuia este 8 560 kg·m^{-3}, iar masa molară este A = 112,4 kg·mol^{-1}.

***Rezolvare*:**

Din $I(x) = I(0)\, e^{-n\sigma x}$**,** ţinând seama că $\frac{I(x)}{I(0)} = 69\,\%$, obţinem $\sigma = \frac{1}{nx}\ln\frac{I(0)}{I(x)}$, unde $n = \frac{\rho_{Cd} N_A}{A}$ este numărul nucleelor din unitatea de volum, ρ_{Cd} este densitatea cadmiului, N_A este numărul lui **Avogadro**. Înlocuind, rezultă: $\sigma = \frac{A}{\rho_{Cd} \cdot N_A \cdot x} \cdot \ln\frac{I(0)}{I(x)}$, $\sigma = 8$ bn .

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

***Rezolvare*:**

Ţinând seama de relaţiile:

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

1.21. Care este viteza iniţială calculată nerelativist a unei particule α care formează într-o cameră cu ceaţă 200 000 perechi ioni, dacă energia de ionizare a vaporilor din cameră este de aproximativ 33 eV?

***Rezolvare*:**

Dacă se fac notaţiile: m_α = masa particulei α; v_α = viteza iniţială a particulei α; W_α = energia cinetică a particulei α; W_i = energia de ionizare şi N = numărul perechilor de ioni, se pot scrie relaţiile: $W_\alpha = N W_i$, unde $W_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2$, $m_\alpha = 4u$; înlocuind, rezultă: $v_\alpha = \sqrt{\frac{2\,NW_i}{m_\alpha}} = 1{,}81 \cdot 10^7\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1.22. Ştiind că la un zbor cu avionul pe distanţa Bucureşti–Paris se încasează doza biologică B = 10 μSv, câte zboruri avem voie să facem pe an, astfel încât să nu depăşim doza biologică maxim admisă ($B_{\max}$)?

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

***Rezolvare*:**

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

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

***Rezolvare*:**

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

Se obţine: $v_\alpha = \frac{q_\alpha BR}{m_\alpha}$, unde $q_\alpha = 2\,\text{e}$; $m_\alpha = 4\,\text{u}$, $W_\alpha = \frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2}$ şi, înlocuind, obţinem: $W_\alpha = \frac{q_\alpha^2 B^2 R^2}{2m_\alpha}$ $W_\alpha = 34{,}37\,\text{MeV}$; $v_\alpha = 4 \cdot 10^7\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

1.24. Să se precizeze particulele şi antiparticulele stabile. Care dintre caracteristicile acestora ar putea fi cauza acestei stabilităţi?

***Rezolvare*:**

Electronul e^- şi pozitronul e^+, fotonul γ, neutrinul electronic ν_e şi antineutrinul electronic $\tilde{\nu}_e$, sunt particule stabile. Timpul mediu de viaţă al acestora este, practic, infinit Pentru *foton* şi (poate) pentru *neutrini*, masa de repaus este nulă, e^- şi e^+ sunt cei mai uşori leptoni; aceste caracteristici pot fi cauza stabilităţii particulelor indicate. (*Observaţie:* şi protonul, care este cel mai uşor barion are un timp de viaţă uriaş: $\tau_{proton} \cong 10^{33}\,\mathrm{s}$).

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

***Rezolvare*:**

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

1.26. Să se arate că densitatea medie a materiei nucleare ρ, are aproximativ aceeaşi valoare pentru toate nucleele.

a) Care este această valoare?

b) Evaluaţi numărul de nucleoni din unitatea de volum a substanţei nucleare, *n*.

***Rezolvare*:**

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

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

Ţinând seama că $M \cong A \cdot M_H$ (M_H este masa atomului de hidrogen)se poate obţine $\rho = \dfrac{3M_H}{4\pi R_0^3}$; $\rho \cong 10^{17}\,\mathrm{kg \cdot m^{-3}}$.

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

1.27. O radiaţie γ cu energia de 0,5 MeV are grosimea de înjumătăţire în beton $X_{½}$ = 10 cm.

Cunoscând valoarea constantei lui Planck, $h = 6{,}62\cdot10^{-34}$ J·s, să se determine:

a) frecvenţa radiaţiei;

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

Rezolvare:

a) Dacă notează cu W = 0,5 MeV, energia radiaţiei γ, $W = h\nu$, rezultă: $\nu = \frac{W}{h}$; $\nu = 1{,}208\cdot10^{20}$ Hz.

b) Din legea atenuării radiaţiei γ: $I = I_0\, e^{-\mu x}$, în care $I = 25\,\% I_0$; este intensitatea fasciculului γ care trece după ce radiaţia 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 obţine $x = 2X = 20$ cm.

1.28. Două substanţe radioactive au activitatea iniţială Λ_{01}, respectiv Λ_{02} $(\Lambda_{02} < \Lambda_{01})$ şi timpii de înjumătăţire T_1 respectiv T_2.

a) După cât timp activităţile radioactive ale celor două substanţe devin egale?

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

***Rezolvare*:**

a) Dacă se notează: Λ_1 = activitatea primei substanţe după timpul *t*; Λ_2 = activitatea celei de-a doua substanţe după acelaşi timp *t* şi se ţine seama că: $\Lambda_1 = \Lambda_{01}e^{-\lambda_1 t}$, $\Lambda_2 = \Lambda_{02}e^{-\lambda_2 t}$ şi $\Lambda_1 = \Lambda_2$, rezultă $\Lambda_{01}e^{-\lambda_1 t} = \Lambda_{02}e^{-\lambda_2 t}$, din care, după logaritmare, se obţine $t = \frac{\ln\frac{\Lambda_{02}}{\Lambda_{01}}}{\lambda_2 - \lambda_1}$. 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 şi N_2 sunt numerele de nuclee rămase nedezintegrate după timpul *t*, din legea dezintegrării se obţine: $\begin{cases} N_1 = N_{01}e^{-\lambda_1 t} \\ N_2 = N_{02}e^{-\lambda_2 t} \end{cases}$ şi $\begin{cases} \Lambda_{01} = \lambda_1 N_{01} \\ \Lambda_{02} = \lambda_2 N_{02} \end{cases}$; dar $N_1 = N_2$, deci $N_{01}e^{-\lambda_1 t} = N_{02}e^{-\lambda_2 t}$ sau $\frac{\Lambda_{01}}{\lambda_1}e^{-\lambda_2 t} = \frac{\Lambda_{02}}{\lambda_2}e^{-\lambda_2 t}$.

Deoarece $\lambda_{1,2} = \frac{\ln 2}{T_{1,2}}$ se obţine: $T_1 \Lambda_{01} e^{-\lambda_1 t} = T_2 \Lambda_{02} e^{-\lambda_2 t}$ 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 cenuşa unui os găsit într-o săpătură arheologică produce cinci dezintegrări β pe minut. Ştiind că un gram din cenuşa unui os actual produce 15 dezintegrări β pe minut şi că timpul de înjumătăţire al radiocarbonului ${}^{14}_{6}C$ este 5 650 ani, se cere:

a) vârsta osului găsit în săpătură;

b) ecuaţia reacţiei de dezintegrare a ${}^{14}_{6}C$ şi viteza electronului emis, dacă energia cinetică a acestuia este 156 keV.

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

***Rezolvare*:**

a) Se notează: Λ – activitatea unui gram din cenuşa unui os găsit în săpătura arheologică (Λ= 5 dez/min), *N* – numărul de nuclee de ${}^{11}_{6}C$ rămase nedezintegrate din osul vechi (Λ = λ*N*), Λ_0 – activitatea unui os actual (Λ_0 = 15 dez/min), N_0 – numărul de nuclee de ${}^{14}_{6}C$ existente în osul nou ($\Lambda_0 = \lambda N_0$). Din legea dezintegrării, se obţine: $N = N_0 e^{-\lambda t}$ sau $\Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t}$, înlocuind, rezultă $5 = 15\, e^{-\lambda t}$ şi, prin logaritmare în baza naturală *e*, se obţine: $t = \frac{1}{\lambda} \ln 3$, unde $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$, deci $t = T_{1/2} \cdot \frac{\ln 3}{\ln 2}$, $= 5\,650 \text{ ani} \cdot \frac{1,09861}{0,693} = 8\,956{,}9$ ani.

b) Ecuaţia reacţiei: ${}^{14}_{6}C$ este ${}^{14}_{6}C \xrightarrow{\beta^-} {}^{14}_{7}N + 156 \text{ keV}$ (*se admite că* nucleul ${}^{14}_{7}N$ *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 $W_\beta = 156$ keV, adică: $v_{\beta^-} = \sqrt{\frac{2\, W_\beta}{m_e}} = 2{,}355 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

1.30. Particula Λ este un hiperon format din trei quarci: *u*, *d* şi *s*; presupunem că, la un moment dat, aceşti trei quarci au sarcinile de culoare, respectiv, *R*, *G* şi *B*. Quarcii interacţionează prin intermediul gluonilor (particule fără masă, fără sarcină electrică, dar cu sarcini de culoare, anume combinaţia culoare-anticuloare). *De exemplu*, quarcul u_R devine u_G emiţând un gluon virtual

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

Stabiliţi:

a) Cum se poate ajunge de la situaţia iniţială ($u_R\ d_G\ s_B$) la situaţia ($u_B\ d_R\ s_G$) prin emisia şi absorbţia a doi gluoni virtuali.

b) Care va fi configuraţia hiperonului Λ după ce quarcii u, d şi s emit succesiv câte un gluon, anume: $R\overline{B}, G\overline{R}, G\overline{B}$.

c) Care sunt cele şase transformări de culoare T_1 , …, T_6 (inclusiv transformarea identică) pe care le poate suferi hiperonul Λ.

d) Ce rezultate se obţin dacă hiperonul Λ ar suferi succesiv două transformări de culoare T_j şi T_k ($j \neq k$) fie în ordinea $T_j \cdot T_k$, fie în ordinea $T_k \cdot T_j$.

Rezolvare:

a) Quarcul u_R emite un gluon $R\overline{G}$ (absorbit de d_G), apoi s_B emite un gluon $B\overline{G}$ (absorbit de u_G).

b) După emisia gluonului $R\overline{B}$ se ajunge la starea ($u_B\ d_G\ s_R$), după emisia gluonului $G\overline{R}$ se ajunge la ($u_B\ d_R\ s_G$), iar după emisia gluonului $G\overline{B}$ se ajunge la ($u_G\ d_R\ s_B$).

c) $T_1(u_R\ d_G\ s_B)$, $T_2(u_R\ d_B\ s_G)$, $T_3(u_B\ d_G\ s_R)$, $T_4(u_G\ d_R\ s_B)$, $T_5(u_B\ d_R\ s_G)$, $T_6(u_G\ d_B\ s_R)$.

d) 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 şi 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 reacţia ${}^3_2He\left({}^2_1D, X\right){}^4_2He$. Să se afle elementul X, cu ajutorul legilor de conservare a numărului de nucleoni (A) şi a sarcinii electrice (Z). Să se stabilească tipul reacţiei nucleare după energia de reacţie Q.

***Rezolvare*:** Se scrie ecuaţia corespunzătoare notaţiei: ${}^{3}_{2}He + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{4}_{2}He + X$ aplicând legile de conservare, se obţine:

$$Z_X = Z_{{}^{3}_{2}He} + Z_{{}^{2}_{1}D} - Z_{{}^{4}_{2}He} = 2 + 1 - 2 = 1$$

$$A_X = A_{{}^{3}_{2}He} + A_{{}^{2}_{1}D} - A_{{}^{4}_{2}He} = 3 + 2 - 4 = 1$$

de unde ${}^{A}_{Z}X = {}^{1}_{1}H$.

Energia de reacţie Q, se calculează cu relaţia:

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

deci reacţia este exotermă.

Observaţie:

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

1.32. Se dă reacţia nucleară: ${}^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \rightarrow 2\ {}^{4}_{2}He.$ Să se calculeze energia de reacţie (Q), cu ajutorul energiilor de legătură pe nucleon:

$$B_{{}^{7}_{3}Li} = 5{,}61\,\text{MeV},\ B_{{}^{4}_{2}He} = 7{,}06\,\text{MeV}.$$

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

$$W_{\text{leg}{}^{7}_{3}Li} = 7 \cdot B_{{}^{7}_{3}Li}\ ,\ W_{\text{leg}{}^{4}_{2}He} = 4\,B_{{}^{4}_{2}He}\,.$$

Energia de reacţie Q se calculează cu relaţia:

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

Ştiind că $W_{\text{leg Li}} = (7\,m_H + 4\,m_n - m_{Li})\,c^2$, se obţine:

$$m_{Li} = 7\,m_H + 4\,m_n - \frac{W_{\text{leg}\,Li}}{c^2};$$

analog se obţine: $m_{He} = 4\,m_H - 2\,m_n - \dfrac{W_{\text{leg}\,He}}{c^2}$; înlocuind, rezultă:

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

1.33. Verificaţi stabilitatea produsului de reacţie în reacţia nucleară:

$${}^{6}_{3}Li + {}^{2}_{1}H = 2\ {}^{4}_{2}He.$$

***Rezolvare*:**

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

$$W_{\text{leg}\,{}^4_2He} = \left(2\,m_H + 2\,m_n - m_{{}^4_2He}\right)c^2 \text{ şi se obţine } W_{\text{leg}\,{}^4_2He} = 28{,}29\,\text{MeV};$$

$W_{\text{leg}} > 0$, rezultă că produsul de reacţie ${}^4_2He$ este stabil.

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

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

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

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

înlocuind, se obţine:

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

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

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

***Rezolvare*.**

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

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

1.36. Să se determine „vârsta“ unui obiect de lemn, ştiind că activitatea izotopului ^{14}C pentru acest obiect este $\frac{3}{5}$ din activitatea unui copac tăiat recent. Se dă: $T_{\frac{1}{2}}\left(^{14}C\right) = 5\,730\,\text{ani}$.

***Rezolvare*:**

Se notează Λ_0 = activitatea copacului tăiat recent; t = vârsta obiectului; Λ = activitatea izotopului ^{14}C. Din relaţia $\Lambda = \Lambda_0\, e^{-\lambda t}$, $\Lambda = \frac{3}{5}\Lambda_0$ şi $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}$ se obţine $\frac{\Lambda}{\Lambda_0} = e^{-\lambda t} = \frac{3}{5}$.

Logaritmând, se obţine: $-\lambda\, t = \ln\frac{3}{5}$ sau $-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}\cdot t = -\ln\frac{5}{3}$, de unde: t = 4 282 ani.

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

***Rezolvare*:**

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

1.38. O placă de cadmiu cu grosimea de 10^{-4} m slăbeşte intensitatea unui fascicul de neutroni termici cu 69 %. Care este secţiunea de captură a $Cd(\sigma)$ dacă densitatea acestuia este 8 560 kg m^{-3}, iar masa molară A = 112,4 kg · mol $^{-1}$.

***Rezolvare*:**

Din relaţia: $I(x) = I(0)\, e^{-n\sigma x}$ şi ţinând seama că $\frac{I(x)}{I(0)} = 69\,\%$, prin logaritmare, se obţine $\sigma = \frac{1}{n\,x}\ln\frac{I(0)}{I(x)}$ unde $n = \frac{\rho_{cd} N_A}{A}$, n este numărul de nuclee din unitatea de volum, N_A – numărul lui Avogadro; ρ_{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 iniţială calculată nerelativist a unei particule α care formează într-o cameră cu ceaţă 200 000 perechi ioni, dacă energia de ionizare a vaporilor din cameră este de aproximativ 33 eV)?

***Rezolvare*:**
Dacă se fac notaţiile: m_α = masa particulei α; V_α = viteza iniţială a particulei α; W_α = energia cinetică a particulei α; W_i = energia de ionizare şi N = numărul perechilor de ioni, se pot scrie relaţiile: $W_\alpha = NW_i$, unde $W_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha V_\alpha^2$, $m_\alpha = 4\,u$, înlocuind, rezultă $v_\alpha = \sqrt{\frac{2\,NW_i}{m_\alpha}} = 1{,}81 \cdot 10^7\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

1.40. Ştiind că la un zbor cu avionul pe distanţa România – Franţa se încasează doza biologică B = 10 μSv, câte zboruri avem voie să facem pe an, astfel încât să nu depăşim doza biologică maxim admisă (B_{max})?
Se presupune că nu mai suferim iradieri din alte surse.

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

1.41. Să se calculeze energia şi viteza particulelor α ce ies dintr-un ciclotron dacă raza maximă a orbitei de accelerare este R = 0,5 m.
Inducţia magnetică este B = 1,7 T.

***Rezolvare*:**
Fie W_α = energia cinetică nerelativistă a particulei α.

Forţa Lorentz care acţionează asupra particulei α, joacă rol de forţă centripetă, deci:

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

se obţine:

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

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

deci înlocuind, obţinem:

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

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

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

Probleme propuse

1.42. Să se arate că densitatea medie a materiei nucleare (ρ) are aproximativ aceeaşi valoare pentru toate nucleele.

a) Care este această valoare?

b) Să se evalueze de asemenea, numărul de nucleoni din unitatea de volum a substanţei 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 obţine $V = \frac{4}{3}\pi R_0{}^3 A$; $V \sim A$. Considerăm masa nucleului dată de relaţia $M = \rho V$, rezultă $\rho = \frac{M}{V}$. Ţinând seama că $M \cong A \cdot M_H$, M_H = masa atomului de hidrogen, se obţine $\rho = \frac{3M_H}{4\pi R_0^3}$; $\rho \cong 10^{17}\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$.

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

1.43. Două substanţe radioactive au activitatea iniţială Λ_{01}, respectiv Λ_{02} $(\Lambda_{01} > \Lambda_{02})$ şi timpii de înjumătăţire T_1, respectiv T_2.

a) După cât timp activităţile radioactive ale celor două substanţe devin egale?

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

***Răspuns*:** a) Dacă se notează: Λ_1 = activitatea primei substanţe după timpul t; Λ_2 = activitatea celei de-a doua substanţe după acelaşi timp t şi ţinând seama că:

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

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

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

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

b) Dacă N_1, N_2 sunt numerele de nuclee rămase nedezintegrate, după timpul *t*; din legea dezintegrării se obţine:

$$\begin{matrix} N_1 = N_{01}\, e^{-\lambda_1 t} \\ N_2 = N_{02}\, e^{-\lambda_2 t} \end{matrix} \quad \text{şi} \quad \begin{matrix} \Lambda_{01} = \lambda_1\, N_{01} \\ \Lambda_{02} = \lambda_2\, N_{02} \end{matrix};$$

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

Ţinând seama că $\lambda_1 = \dfrac{\ln 2}{T_1}$, $\lambda_2 = \dfrac{\ln 2}{T_2}$, se obţine:

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

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

1.44. O radiaţie γ cu energia de 0,5 MeV are grosimea de înjumătăţire în beton X = 10 cm. Să se determine:

a) frecvenţa radiaţiei;

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

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

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

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

Se poate scrie $\mu = \dfrac{\ln 2}{X}$; $\dfrac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$, care prin logaritmare în baza *e* devine: $\ln \dfrac{I}{I_0} = -\mu x$, $\ln \dfrac{1}{4} = -\dfrac{\ln 2}{X} x$, se obţine $x = 2\,X = 20$ cm.

1.45. Un gram din cenuşa unui os găsit într-o săpătură arheologică produce cinci dezintegrări β pe minut. Ştiind că un gram din cenuşa unui os actual produce 15 dezintegrări β pe minut şi că timpul de înjumătăţire al radiocarbonului ${}^{14}_{6}C$ este 5 650 ani se cere:
a) vârsta osului găsit în săpătură;
b) ecuaţia reacţiei de dezintegrare a ${}^{14}_{6}C$ şi viteza electronului emis, fiind dată energia cinetică a acestuia, de 156 KeV.
Se neglijează variaţia relativistă a masei cu viteza. Se dau: $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$ kg.

***Răspuns*:** a) Notăm: Λ activitatea unui gram din cenuşa unui os găsit în săpătura arheologică (Λ = 5 dez/min); Λ_0 = activitatea unui os actual ($\Lambda_0 = 15$ dez / min), $\Lambda = \lambda N$, $\Lambda_0 = \lambda N_0$, N = numărul de nuclee de ${}^{11}_{6}C$ rămase nedezintegrate din osul vechi; N_0 = numărul de nuclee de ${}^{14}_{6}C$ existente în osul nou. Din legea dezintegrării: $N = N_0 e^{-\lambda t}$ sau $\Lambda = \Lambda_0\, e^{-\lambda t}$; rezultă $5 = 15\, e^{-\lambda t}$ şi, logaritmând, obţinem $t = \frac{1}{\lambda} \ln 3$; unde $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$, deci $t = 5\,650 \text{ ani} \cdot \frac{1,09861}{0,693}$; $t = 8\,956{,}9$ ani.

b) ecuaţia de dezintegrare a ${}^{14}_{6}C$ este ${}^{14}_{6}C \xrightarrow{\beta^-} {}^{14}_{7}N + 156\,\text{KeV}$ (se admite că nucleul de ${}^{14}_{7}N$ 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 $W_\beta = 156$ keV, deci rezultă: $V_{\beta^-} = \sqrt{\frac{2W_\beta}{m_e}}$; $V_{\beta^-} = 2{,}355 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

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

***Răspuns*:** Energia de legătură a nucleului de ${}^{10}_{5}B$ este:

$$W_{\text{leg}} = [Z \cdot M_H + (A - Z)\, m_n - M_{{}^{10}_{5}B}] \cdot c^2$$

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

Energia de legătură pe nucleon a nucleului de ${}^{10}_{5}B$ este:

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

1.47. Prin bombardarea izotopului ${}^{7}_{3}Li$ cu protoni se obţin două particule α, fiecare având energia de 9,15 MeV. Să se determine energia cinetică a protonilor

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

***Răspuns*:** Se scrie reacţia nucleară: ${}_3^7 Li + {}_1^1 p \rightarrow 2\,{}_2^4\alpha$.

Defectul de masă este: $\Delta M = M_{N_3^7 Li} + m_p - 2\,m_\alpha$; $M_{N_3^7 Li} = M_{{}_3^7 Li} - 3\,m_e$; $M_{N_2^4\alpha} = M_{N_2^4\alpha} - 2\,m_e$, deci $\Delta M = M_{N_3^7 Li} + M_H - 2\,M_{{}_2^4\alpha}$; $\Delta M = 0{,}0186234\text{u}$. Energia de reacţie $Q = \Delta M \cdot c^2$; $Q = 17{,}34\,\text{MeV}$ dar $Q = 2\,E_{c\alpha} - E_{cp}$, $E_{c_3^7 Li} = 0$ (nucleu ţintă în repaus), rezultă $E_{cp} = 2E_{c\alpha} - Q$; $E_{cp} = 0{,}96\,\text{MeV}$.

1.48. Cât de mare este raza nucleului de ${}_{13}^{27}Al$?
***Răspuns*:** $R = 4{,}35\cdot 10^{-15}$ m = 4,35 fm.

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

***Răspuns*:** $M_{a\left({}_{29}^{63}Cu\right)} = 104{,}59\cdot 10^{-27}$ kg; $M_{n\left({}_{29}^{63}Cu\right)} = 104{,}57\cdot 10^{-27}$ kg.

1.50. Să se deducă relaţia utilizată pentru calculul energii de legătură a unui nucleu (W_{leg})în funcţie de masa atomului corespunzător şi de masa atomului de hidrogen.

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

1.51. Care sunt vitezele particulei α şi nucleului de ${}_{82}^{206}Pb$ produs la dezintegrarea unui atom de ${}_{84}^{210}Po$? (Calculul se va face nerelativist, pornind de la conservarea energiei totale şi 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 ${}_4^7Be$ suferă o captură electronică, transformându-se în ${}_3^7Li$. Se dau masele atomice: $M_{Be} = 7{,}016931\,\text{u}$, $M_{Li} = 7{,}016005\,\text{u}$ şi $1\,\text{u}\cdot c^2 = 931{,}5\,\text{MeV}$. Cu ce energie va fi emis neutrinul ?

Răspuns: $E_\nu = 862\,\text{KeV}$.

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

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

1.54. În sângele unui pacient a fost injectată o soluţie de $^{24}_{11}Na$ având activitatea $\Lambda_0 = 2\cdot 10^3\,\frac{\text{dez}}{\text{s}}$. Dacă după 5 ore activitatea unui 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 soluţiei este neglijabil faţă de volumul sângelui, care nu variază din alte cauze în cele 5 ore de experienţă. Se cunoaşte: $T_{1/2}\left(^{24}_{11}Na\right) = 15\text{ h}$.

Răspuns: $V = 6\ \ell$.

1.55. Prin trecerea unui fascicul monoenergetic de neutroni termici printr-un filtru de cadmiu cu grosime de $6\cdot 10^{-5}$ m, intensitatea fasciculului de neutroni scade la jumătate. Să se calculeze secţiunea de absorbţie σ pentru aceşti neutroni.

Se dau: $A_{Cd} = 112{,}4\text{ kg}\cdot 10^{-3}\text{mol}^{-1}$ şi $\rho_{Cd} = 8\,560\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Răspuns: $\sigma = \dfrac{A\cdot \ln 2}{\rho N_A\cdot x} = 2\,490\text{ bn}$.

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

a) dezintegrarea α; **b)** dezintegrarea β^-; **c)** fisiunea; **d)** fuziunea.

Răspuns: Interacţiunea tare în procesele a, c, d; interacţiunea slabă în procesul b.

1.57. Dacă în procesul de anihilare electron–pozitron (consideraţi practic în repaus), se produc doi fotoni γ, determinaţi: energia, frecvenţa şi lungimea de undă a fiecăruia.

Răspuns: $\varepsilon_f = m_0c^2 = 511\text{ keV}$; $\nu = \dfrac{m_0\,c^2}{h} = 1{,}24\cdot 10^{20}\text{Hz}$; $\lambda = \dfrac{c}{\nu} = \dfrac{h}{m_0c^2} = \Lambda$;

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

1.58. Să se găsească legătura dintre „frecvenţa” unghiulară ω a unei particule cu sarcina electrică q şi masa de repaus m_0, care se deplasează pe orbita de accelerare a unui accelerator, câmpul magnetic cu inducţia B şi energia cinetică (E_c). Orbita de accelerare se consideră staţionară.

Răspuns: $\omega = \dfrac{qBc^2}{E_c + m_0c^2}$ (în tratare relativistă).

1.59. Cum trebuie să se schimbe faţă de ℓ_1, lungimea ℓ_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 frecvenţa generatorului care alimentează cilindrii este 10^8 Hz.

***Răspuns*:** $\ell = \frac{v}{2\nu}$; $v = \frac{c\sqrt{x(x+2)}}{x+1}$; $x = \frac{E_c}{m_0c^2}$; ℓ_1 = 98,2 mm, ℓ_2 = 371,8 mm, deci lungimea cilindrului de accelerare trebuie să crească cu $\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1$; $\Delta\ell = 273{,}6$ mm.

1.60. Indicaţi o lege de conservare specifică interacţiunilor nucleare tari.

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

1.61. Care sunt legile de conservare în reacţiile nucleare şi care este importanţa lor?

Răspuns: Legile conservării: *energiei*, *impulsului*, *momentului cinetic*, *sarcinii electrice*, *numărului barionic*, *numărului leptonic* (în interacţiunile electromagnetice, slabe şi tari), *stranietăţii*, *parităţii* (în interacţiunile electromagnetice şi tari), *izospinului* (în interacţiunile tari).

1.62. Care sunt legile de conservare valabile pentru toate tipurile de interacţiuni? Ce legi nu se respectă în interacţiunile slabe?

Răspuns: Revezi noţiunile teoretice.

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

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

1.64. Să se scrie expresia înălţimii maxime a barierei de potenţial care împiedică intrarea unei particule α într-un nucleu de oxigen, cunoscând suma razelor celor două nuclee (R).

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

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

Răspuns: E_{max} = 782 keV.

1.66. Se ştie că la fisiunea unui nucleu de ^{235}U se eliberează energia de 200 MeV. Câte nuclee de ^{235}U trebuie să fisioneze într-o secundă pentru a produce într-un reactor puterea de 3 200 W (1 eV = $1{,}6\cdot10^{-19}$ J).

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

1.67. Ştiind că la o radiografie pulmonară, doza biologică primită este B = 20 μSv, aflaţi câte radiografii avem voie să facem toată viaţa, astfel încât să nu depăşim doza biologică maxim admisă pe viaţă B_{max} = 1 mSv? (Presupunem că nu mai suferim iradieri din alte surse). Exprimaţi doza biologică maxim admisă B_{max} precum şi doza biologică B în rem.

Răspuns: 50 radiografii! Deci, se recomandă multă atenţie! (s-a ţinut seama de relaţiile B_{max} = 0,1 rem/an şi B = 0,002 rem/radiografie.

1.68. Ce poziţia va ocupa în tabelul periodic al elementelor (Mendeleev) un nucleu rezultat în urma unei dezintegrări α, β, respectiv γ.
Să se scrie reacţiile nucleare corespunzătoare fiecărei dezintegrări.
Prin ce se deosebeşte radiaţia γ de radiaţia neutrinică?
Prin ce tip de dezintegrare se obţin nucleele izobare?
Care radiaţii nucleare prezintă spectru energetic continuu? Dar discret?
Care din radiaţiile nucleare este cea mai periculoasă pentru organismele vii, datorită puterii mari de pătrundere în ţesut, dacă toate radiaţiile au aceeaşi energie?
Indicaţie: *Revezi noţiunile teoretice*.

1.69. Prin câte dezintegrări α şi câte β^- trece nuclidul $^{238}_{92}U$ în nuclidul $^{206}_{82}Pb$?

Răspuns: 8 dezintegrări α şi 6 dezintegrări β^-.

1.70. Constanta radioactivă a radonului este $2{,}1\cdot10^{-6}\cdot s^{-1}$. Care va fi perioada de înjumătăţire $T_{1/2}$ a acestuia?

Răspuns: $T_{1/2}$ = 91,8 h.

1.71. Perioada de înjumătăţire a izotopului ^{14}C este 5 740 ani. Activitatea unei mase m din acest izotop este 1 Ci.
Care este valoarea masei m?
Răspuns: m = 0,2 mg.

1.72. Doi nuclizi radioactivi au perioadele de înjumătăţire $T_1 = T_0$ şi $T_2 = 2T_0$; 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 $^{238}_{92}U$, cu timpul de înjumătăţire $T_{1/2} = 4{,}5\cdot10^9$ ani, dezintegrate în decursul vremii dintr-un mol de uraniu conţinut în roca radioactivă este $n = 2{,}23\cdot10^{22}$.
Răspuns: $t = 2{,}5\cdot10^8$ ani.

1.74. Radiaţia γ monocromatică emisă de radioizotopul $^{198}_{79}Au$ având energia 0,411 MeV este studiată cu ajutorul unui filtru din Cu cu grosimea de 0,02 m. Să se calculeze coeficientul de atenuare liniară, ştiind că filtrul micşorează intensitatea cuantelor γ incidente de 5 ori.
Răspuns: $\mu = 0{,}1116\ cm^{-1}$.

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

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

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

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

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

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, aşezate perpendicular pe direcţia fasciculului de radiaţii, contorul (menţinut în aceeaşi poziţie) înregistrează R_n pulsuri, într-un interval de timp τ.

Cunoscând R_1 = 2 300, R_2 = 800, R_3 = 300, stabiliţi:

a) câte pulsuri F va înregistra contorul, într-un interval de timp τ, în absenţa sursei radioactive;

b) câte pulsuri R_0 va înregistra contorul într-un interval de timp τ (dacă este menţinut în aceeaşi poziţie) în absenţa blocurilor de ecranare;

c) numărul minim blocuri de ecranare $N_{\min}$ astfel încât numărul pulsurilor înregistrate într-un interval de timp τ, $R_{N\,min}$ să fie cu mai puţin de 10% mai mare decât F?

Răspuns: **a)** $F = \dfrac{R_1R_3 - R_2^2}{R_1 + R_3 - 2R_2} = 50$; **b)** $R_0 = \dfrac{(R_1 - F)^2}{R_2 - F} + F = 6800$; **c)** $N_{\min}$ = 7.

1.78. Un mezon este format dintr-un cuarc u_R şi anticuarcul respectiv, $\bar{u}_{\bar{R}}$.

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 şi absorbit de cuarc, pentru ca mezonul considerat iniţial ($u_R\bar{u}_{\bar{R}}$) să devină ($u_B\bar{u}_{\bar{B}}$)?

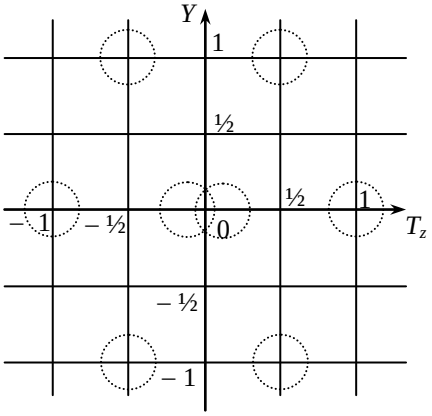
Răspuns: **a)** $u_G\bar{u}_{\bar{G}}$; **b)** $B\bar{R}$.

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

a) Precizaţi semnificaţia mărimilor fizice indicate şi completaţi tabelul.

b) Indicaţi locul fiecărui hadron în diagrama din figura alăturată.

c) Considerând că ultimul hadron din tabel (Ξ^-) ar trebui să ocupe locul rămas liber din diagramă, stabiliţi structura sa de cuarci.



Particula	*B*	*S*	$\frac{Q}{e} = Z$	$Y = B + S$	$T_z = Z - \frac{Y}{2}$
u	$1/3$	0	$2/3$		
d	$1/3$	0	$-1/3$		
s	$1/3$	– 1	$-1/3$		
p (uud)					
n (udd)					
Λ *(uds)*					
Σ^+ *(uus)*					
Σ^- *(dds)*					
Σ° *(uds)*					
Ξ° *(uss)*					
Ξ^- *(???)*					

Răspuns: **a)** Revezi teoria. **b)** Σ^- n Λ, Σ° p Σ^+ . **c)** Ξ^- *(dss)*.
Ξ^- Ξ°

1.80. Hiperonul Ω^- este format din trei quarci *s*. Calculaţi valorile numărului barionic, stranietăţii, sarcinii electrice, hipersarcinii şi proiecţiei izospinului pe axa *Oz*.

Răspuns: 1, –3, – *e*, –2, 0.

1.81. Care sunt vitezele particulei α şi ale 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 şi a impulsului).

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

1.82. Nucleul ${}^{7}_{4}Be$ suferă o captură electronică, transformându-se în ${}^{7}_{3}Li$. Se dau masele atomice: $M_{Be} = 7{,}016931u$; $M_{Li} = 7{,}016005u$; $1u \cdot c^2 = 931{,}5\,\text{MeV}$.

Cu ce energie va fi emis neutrinul ?

Răspuns: $E_{\nu} = 862\,\text{KeV}$.

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

Specificaţi ce fel de reacţie este aceasta, *endoenergetică* sau *exoenergetică*?

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

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

1.84. Calculaţi energia de reacţie în reacţiile următoare:

a) ${}^{15}_{7}N + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{12}_{6}C$; b) ${}^{15}_{7}N + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{1}_{0}n + {}^{11}_{6}C$.

Care reacţie este exoenergetică? Calculaţi energia de prag pentru reacţiile endoenergetice.

Se dau: $m_p = 1{,}00727$ u, $M\,{}^{15}_{7}N = 15{,}000108\text{u}$,

$m_n = 1{,}008665\text{u}$, $M\,{}^{11}_{6}C = 11{,}011431\text{u}$,

$M\,{}^{12}_{6}C = 12{,}0\,\text{u}$, $m\,{}^{4}_{2}\alpha = 4{,}002604\text{u}$.

Răspuns: a) $Q = 5{,}746$ MeV, $Q > 0$, deci reacţia este exoenergetică;
b) $Q = -12{,}973$ MeV, $Q < 0$, deci reacţia este endoenergetică. $E^{\text{SL}}_{\text{prag}} = 13{,}845\,\text{MeV}$.

1.85. După cât timp se vor dezintegra p % din numărul iniţial de nuclee radioactive dintr-un nuclid ce are constanta radioactivă λ?

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

1.86. În sângele unui om a fost injectată o rezolvare de ${}^{24}_{11}Na$ cu activitatea $\Lambda_0 = 2 \cdot 10^3\,\text{dez/s}$. Dacă după 5 ore activitatea unui cm^3 de sânge este $\Lambda = 16\,\text{dez/min} \cdot \text{cm}^3$, găsiţi volumul de sânge al persoanei respective. Consideraţi că volumul soluţiei este neglijabil faţă de volumul sângelui şi că acest volum nu variază din alte cauze în cele 5 ore de experienţă. Se cunoaşte: $T_{\frac{1}{2}}\,{}^{24}_{11}Na = 15\,\text{h}$.

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 secţiunea de absorbţie (σ) pentru aceşti neutroni.
Se dau: $A_{cd} = 112{,}4\,\mathrm{kg} \cdot 10^{-3}\,\mathrm{mol}^{-1}$ şi $\rho_{cd} = 8\,560\,\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3}$.

***Răspuns*:** $\sigma = \dfrac{A \cdot \ln 2}{\rho\, N_A \cdot x} = 2\,490\,\mathrm{bn}$.

1.88. Să se stabilească tipul interacţiunii ce se realizează în următoarele procese: a) dezintegrarea α; b) dezintegrarea β^-; c) fisiunea; d) fuziunea.

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

1.89. Dacă în procesul de anihilare electron – pozitron, (consideraţi practic în repaus) se produc doi fotoni gamma, determinaţi: energia, frecvenţa şi lungimea de undă a fiecăruia.

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

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

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

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

1.91. Cum trebuie să se schimbe lungimea ℓ_1 a unui cilindru de accelerare într-un accelerator liniar pentru a accelera protoni de la energia cinetică $E_{c_1} = 2$ MeV la $E_{c_2} = 30\,\mathrm{MeV}$, dacă frecvenţa generatorului ce alimentează cilindrii este 10^8 Hz.

***Răspuns*:** $l = \dfrac{v}{2\nu}$; $v = \dfrac{c\sqrt{x\,(x+2)}}{x+1}$; $x = \dfrac{E_c}{m_0 c^2}$; l_1 = 98,2 mm, l_2 = 371,8 mm, deci lungimea cilindrului de accelerare trebuie să crească cu $\Delta l = l_2 - l_1$; $\Delta\, l = 273{,}6$ mm.

1.92. Ce lege de conservare este specifică interacţiunilor nucleare? Dar pentru interacţiunile slabe?

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

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

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

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

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

1.95. Să se deducă relaţia utilizată pentru energia de legătură a unui nucleu (W_{leg}), din cea binecunoscută.

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

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

Indicaţie: *Revezi legile de conservare în reacţiile nucleare*.

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

a) $^{14}_{7}N\,(\alpha, p)\,X$; b) $^{12}_{6}C\,(X, \alpha)\,^{8}_{4}Be$;

c) $^{3}_{1}T\left(^{2}_{1}D, X\right)^{4}_{2}He$, d) $X\,(p, n)\,^{37}_{18}Ar$.

***Răspuns*:** a) $X = {}^{17}_{8}0$; b) $X = \text{foton}$, c) $X = {}^{1}_{0}n$; d) $X = {}^{37}_{17}Cl$.

1.98. Stabiliţi care din reacţiile nucleare din problema 33. sunt exoterme şi care sunt endoterme, calculând energia de reacţie (Q).
Ştiind că $W_{\text{leg}} = -Q$, stabiliţi care din reacţii determină dezintegrarea spontană a nucleului ţintă.
Se consideră 1 u $\cdot\, c^2$ = 931,5 MeV.

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

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

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

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

1.99. Calculaţi energia de prag necesară producerii reacţiei:

$$n + {}^{12}_{6}C \rightarrow 3\,\alpha + n.$$

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

1.100. Să se afle ce particulă X este împrăştiată în următoarea reacţie şi dacă nucleele sunt stabile faţă de această dezintegrare: ${}^{21}_{10}Ne \rightarrow {}^{20}_{10}Ne + X$.

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

1.101. Să se calculeze expresia înălţimii maxime a barierei de potenţial care împiedică intrarea unei particule α într-un nucleu de oxigen, cunoscând suma razelor celor două nuclee (R).

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

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

***Răspuns*:** E_{max} = 782 KeV.

1.103. Se ştie 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 3 200 W (1 eV = 1,6· 10^{-19} 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 reacţiile termonucleare din stelele reci este următorul:

$${}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{2}_{1}H + e^{+} + \nu\,;\ {}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + \gamma\,;\ {}^{3}_{2}He + {}^{3}_{2}He \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H\,.$$

Să se calculeze energia totală eliberată.

***Răspuns*:** Q = 24,7 MeV.

1.105. Ştiind că la o radiografie pulmonară, doza biologică primită este B = 20 μSv, aflaţi câte radiografii avem voie să facem toată viaţa, astfel încât să nu depăşim doza biologică maxim admisă pe viaţă B_{max} = 1 mSv? (Presupunem că nu mai încasăm nici o doză din alte surse).

Exprimaţi doza biologică maxim admisă B_{max} precum şi doza biologică B în rem.

***Răspuns*:** 50 radiografii, deci atenţie! (s-a ţinut seama de relaţiile B_{max} = 0,1 rem / an şi B = 0,002 rem / radiografie).

1.106. Prin ce se deosebeşte radiaţia γ de radiaţia neutrinică?

Indicaţie Revezi „*Dezintegrarea β şi γ*“.

1.107. Prin ce tip de dezintegrare se obţin nucleele izobare?

Indicaţie Revezi „*Legile dezintegrării radioactive*“.

1.108. Care radiaţii nucleare prezintă spectru energetic continuu? Dar discret?
Indicaţie Revezi „*Radiaţii nucleare*“.

1.109. Care din radiaţiile nucleare este cea mai periculoasă pentru organismele vii, datorită puterii mari de pătrundere în ţesut, dacă toate radiaţiile au aceeaşi energie?
Indicaţie Revezi „*Doza biologică*“ .

1.110. Constanta radioactivă a radonului este $2{,}1\cdot10^{-6}$ s^{-1}. Calculaţi perioada de înjumătăţire?
Răspuns: $T_{\frac{1}{2}} = 91{,}8$ h .

1.111. Perioada de înjumătăţire a izotopului ^{14}C este 5740 ani. Activitatea unei mase *m* din acest izotop este 1 Ci. Care este valoarea masei *m*?
Răspuns: *m* = 0,2 mg.

1.112. Doi nuclizi radioactivi au perioadele de înjumătăţire $T_1 = T_0$ şi $T_2 = 2T_0$; 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 $^{238}_{92}U$, cu timpul de înjumătăţire $T_{\frac{1}{2}} = 4{,}5\cdot10^{9}$ ani, dezintegrate în decursul vremii dintr-un mol de uraniu conţinut în roca radioactivă este $n = 2{,}23\cdot10^{22}$.
Răspuns: $t = 2{,}5\cdot10^{8}$ ani.

1.114. Radiaţia γ monocromatică a radioizotopului $^{198}_{79}Au$ cu energie de 0,411 MeV este studiată cu ajutorul unui filtru din *Cu* cu grosimea de 0,02 m. Să se calculeze coeficientul de atenuare liniară, ştiind că filtrul micşorează intensitatea cuantelor γ incidente de 5 ori.
Răspuns: $\mu = 0{,}1116$ cm^{-1}.

1.115. Cadmiul are secţiunea de captură la neutroni termici egală cu 2 500 bn. De câte ori este atenuat fluxul de neutroni termici după străbaterea unei foiţe de cadmiu cu grosimea de $6\cdot10^{-4}$ m? Se dau: densitatea $\rho_{cd} = 8\,560\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, masa molară $\mu_{cd} = 112{,}4$ kg · mol^{-1} 1 bn = 10^{-28} m^2.

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

1.116. Fie următoarele reacţii în care *x* şi *y* sunt particule elementare necunoscute:

1) $x \to p + e^- + y$; 2) $x \to n + y + \nu$; 3) $e^- + x \to 2\gamma$. Identificaţi *x* şi *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 radiaţii alfa, cu energiile cinetice de 6,25 MeV şi 9 MeV. Fasciculul de particule alfa intră într-un spectrograf de masă cu deviere de 90°, în care acţionează perpendicular pe viteza particulelor un câmp magnetic omogen, cu inducţia magnetică de 1 *T*. Să se calculeze:

a. vitezele celor două tipuri de particule α;

b. razele traiectoriilor lor în câmpul magnetic;

c. cu cât se vor separa cele două tipuri de particule pe placa fotografică înregistratoare aşezată paralel faţă de direcţia 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 $q = 2e$, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$C, viteza luminii în vid $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, 1 MeV = $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ J.

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

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

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

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

1.118. Consideraţi o anumită cantitate de radon $^{222}_{86}\text{Rn}$; acest izotop se dezintegrează alfa; constanta radioactivă fiind $2{,}1.10^{-6}\ \text{s}^{-1}$.

a. Calculaţi numărul atomic şi numărul de masă al elementului care se obţine în urma dezintegrării.

b. Determinaţi timpul de înjumătăţire al izotopului considerat (ln 2 = 0,693).

Rezolvare: **a.** *Z*' = 84, *A*' = 218; **b.** $3{,}3.10^5$ s.

1.119. Considerăm un ansamblu de nuclee de oxigen ($^{17}_{8}\mathrm{O}$). Cinci studenţi determină unele mărimi caracteristice acestor nuclee; rezultatele obţinute de aceştia 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	$1{,}60.10^{-19}$	$1{,}28.10^{-18}$	$1{,}44.10^{-18}$	$2{,}72.10^{-18}$
Energia de legătură/nucleon (MeV):	131,76	16,47	14,64	7,75	5,27

a. Definiţi energia de legătură a unui nucleu şi energia de legătură pe nucleon, apoi scrieţi relaţiile de definiţie ale acestor mărimi. Arătaţi ce este electronvoltul, precizând dacă această unitate *face* sau *nu face parte* din Sistemului Internaţional de unităţi de măsură (S.I.).

b. Scrieţi numele studenţilor care au indicat corect câte una dintre cele patru mărimi fizice cuprinse în tabel, justificând de fiecare dată alegerea pe care aţi făcut-o. Consideraţi cunoscute: raza nucleului de hidrogen $\left(^{1}_{1}\mathrm{H}\right)$: $1{,}45.10^{-15}$ m, energia de legătură a nucleului de oxigen $\left(^{17}_{8}\mathrm{O}\right)$: 131,76 MeV, sarcina elementară: $1{,}6.10^{-19}$ C, 1 fm (femtometru) = 10^{-15} m.

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

b. $N = 17$ (*Daniela*); $R = R_H A^{\frac{1}{3}} =$ 3,73 fm (*Carmen*); $Q = Ze = 1{,}28.10^{-18}$ C (*Carmen*).

1.120. Un nucleu de $^{7}_{3}Li$ interacţionează cu un proton $^{1}_{1}p$ dând naştere la două nuclee de $^{4}_{2}\mathrm{He}$. Se cunosc energia de legătură medie pe nucleon a nucleului de litiu $B_{\mathrm{Li}} = 5{,}6\ \dfrac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{nucleon}}$ şi a nucleului de heliu $B_{\mathrm{He}} = 7{,}06\dfrac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{nucleon}}$

a. Scrieţi simbolic această reacţie în două moduri diferite.

b. Calculaţi energia de legătură a nucleelor de $^{7}_{3}\mathrm{Li}$ şi de $^{4}_{2}\mathrm{He}$, scrieţi expresiile de definiţie ale energiei de legătură a acestor nuclee şi expresia energiei de reacţie Q în procesul indicat, apoi calculaţi în MeV această energie.

Rezolvare: **a.** $^{7}_{3}\mathrm{Li} + ^{1}_{1}p \rightarrow ^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{4}_{2}\mathrm{He}$, $^{7}_{3}\mathrm{Li}(^{1}_{1}p, ^{4}_{2}\mathrm{He})^{4}_{2}\mathrm{He}$ (sau $^{4}_{2}\alpha$).

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

2. FIZICĂ ATOMICĂ

Probleme rezolvate

2.1. Masa ionului de hidrogen este 1,0073 u. Calculaţi, în unităţi ale S.I., raportul dintre sarcina şi masa acestui ion.

Rezolvare:

Raportul cerut se numeşte *sarcină specifică* a ionului de hidrogen şi se notează cu $q_H^{'}$ .Valoarea sarcinii specifice a ionului de hidrogen este:

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

2.2. Consideraţi un atom aflat pe poziţia Z în tabelul periodic al elementelor. Presupunând că acest atom este descris de modelul THOMSON, calculaţi raportul dintre valoarea sarcinii pozitive şi volumul atomului, dacă diametrul acestui atom este d. Aplicaţie numerică: Z= 1, d = 0,106 nm.

Rezolvare:

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

Deoarece sarcina pozitivă a atomului este $Q_+ = Ze = 1{,}6.10^{-19}$ C, iar volumul său este $V = \frac{\pi d^3}{6}$, rezultă $\rho = \frac{Q_+}{V} = \frac{6Ze}{\pi d^3}$.

Pentru aplicaţia numerică: $\rho = 2{,}57.10^{11}$ $\mathrm{Cm^{-3}}$.

2.3. Consideraţi că atomul de hidrogen ar fi descris de modelul lui THOMSON. Reprezentaţi grafic dependenţa de distanţa până la centrul atomului a forţei de interacţiune dintre electron şi sarcina pozitivă a acestui atom.

Rezolvare:

Expresia proiecţiei forţei exercitate asupra electronului din partea sarcinii pozitive a atomului va fi:

$$F_r = -\frac{eq(r)}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = -\frac{e\rho\frac{4\pi}{3}r^3}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 R_H^3}r \text{, dacă } r \le R_\text{H}$$

$$\text{şi } F_r = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\text{, dacă } r > R_\text{H}.$$

Valoarea maximă a forţei este $F_{\max} = 8{,}2.10^{-8}$ N (pentru $r = R_\text{H} = 0{,}053$ nm).

Graficul cerut va fi cel din fig. 7.3.

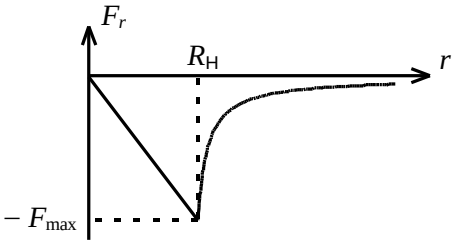


Fig. 7.3

2.4. Consideraţi că atomul de hidrogen ar fi descris de modelul lui THOMSON. Calculaţi frecvenţa mişcării electronului din atom, utilizând relaţia

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

care leagă *frecvenţa* mişcării oscilatorii armonice de *constanta elastică* şi de *masa* electronului. Se cunoaşte raza atomului de hidrogen: $R_\text{H} = 53$ pm.

Rezolvare:

Conform problemei 7.3., constanta elastică are expresia $k = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 R_H^3}$. Rezultă: $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_\text{e} R_\text{H}^3}}$. Numeric: $\nu = 6{,}56.10^{15}$ Hz.

2.5. Presupunem că $2n + 1$ ioni monovalenţi pozitivi şi $2n$ ioni monovalenţi negativi formează un lanţ liniar, ionii alternând conform schemei din fig. 7.5.

$$\oplus \quad \ominus \quad \cdots \quad \oplus \quad \ominus \quad \oplus \quad \ominus \quad \oplus \quad \ominus \quad \oplus \quad \ominus \quad \oplus \quad \cdots \quad \ominus \quad \oplus$$

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