

Subiectul I. Efectul Compton ...**(10 puncte)**

În cadrul unui experiment s-a studiat împrăștierea radiațiilor X, cu lungimea de undă $\lambda = 14,10$ pm, pe o probă de grafit. Radiațiile X reprezintă un flux de fotoni ce interacționează cu electronii slab legați din atomii probei. Se consideră că viteza luminii în vid este $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s, electronul are masa de repaus $m = 9,10 \cdot 10^{-31}$ kg, iar constanta lui Planck este $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Js.

- a. Fotonii incidenți sunt difuzați sub diferite unghiuri θ , față de direcția incidentă.
 - a.1. Să se deducă expresia matematică a lungimii de undă pentru fotonii difuzați în funcție de $(\lambda, \cos \theta, h, m, c)$ și să se determine valoarea maximă a acesteia, justificând răspunsul.
 - a.2. Să se deducă expresia matematică a unghiului de împrăștiere al electronilor de recul în funcție de $(\lambda, \cos \theta, h, m, c)$ și să se determine valoarea acestuia pentru $\theta = 30^\circ$.
- b. Valorile unghiului θ sub care sunt difuzați fotonii incidenți sunt prezentate în tabelul de pe FIȘA DE RĂSPUNS.
 - b.1. Pe FIȘA DE RĂSPUNS, să se completeze tabelul și să se reprezinte grafic dependența lungimii de undă a fotonilor difuzați în funcție de θ .
 - b.2. Unghiul sub care este difuzat un foton și unghiul de împrăștiere al electronului de recul sunt în raportul 2:1. Să se calculeze variația relativă a frecvenței fotonului difuzat știind că direcția de mișcare a acestuia face un unghi $\beta = 90^\circ$ cu direcția de mișcare a electronului de recul.
- c. Se consideră efectul Compton de împrăștiere a fotonilor pe electroni liberi, aflați în mișcare în sens opus fotonilor incidenți. Să se deducă expresia matematică a energiei fotonului împrăștiat sub unghiul $\theta = 180^\circ$ în funcție de $(m, c, \varepsilon_f, E_e)$ și se calculeze această energie dacă energia fotonului incident este $\varepsilon_f = 20,00$ keV, iar energia inițială a electronului este $E_e = 20,00$ GeV.

Observație: Dacă îți este util, poți folosi aproximarea:

$$(1 - x)^n = 1 - nx, \text{ pentru } |x| \ll 1.$$

Subiectul II. Unde sonore ...**(10 puncte)**

O sursă sonoră care emite unde plane se află la distanța d de un perete reflector, situat în plan orizontal. La distanța D de sursă se află un receptor, considerat fix, ce primește atât undele provenite direct de la aceasta, cât și undele reflectate de perete. Receptorul se află pe aceeași dreaptă cu sursa (vezi Figura II.1). Se consideră că sursa sonoră este bine fixată și are forma unui tub deschis la ambele capete, de lungime ℓ , iar viteza de propagare a undelor sonore în aer este c .

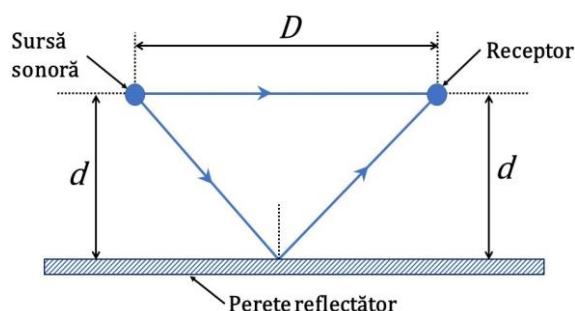


Figura II.1.

- a. Oscilațiile emise de sursă corespund armonicii de ordinul 4, iar amplitudinea rezultantă a undelor care ajung la receptor este jumătate din amplitudinea rezultantă maximă a acestora. Să se determine distanța D . Se neglijează absorbția undelor.

1. Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 10 la 1 (1 punct din oficiu). Punctajul final reprezintă suma acestora.

- b. Se consideră frecvența undelor sonore $\nu = 80$ Hz, densitatea aerului $\rho_0 = 1,3$ kg/m³, viteza de propagare a unei sonore în aer $c = 320$ m/s, amplitudinea rezultantă $A' = 1,0 \cdot 10^{-5}$ m și intensitatea sonoră de referință $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12}$ W/m².
- b.1.** Utilizând parametrii de mai sus, să se deducă expresia matematică a intensității sonore și să se calculeze valoarea acesteia.
- b.2.** Să se calculeze nivelul sonor.
- c. Se înlătură peretele reflectător. Se consideră că sursa sonoră emite sunete cu frecvența $\nu_0 = 100$ Hz, iar viteza de propagare a unei sonore în aer este $c = 320$ m/s.
- c.1.** Dacă sursa sonoră efectuează o mișcare oscilatorie armonică, cu pulsația ω și amplitudinea $A_0 = 32$ mm, de-a lungul dreptei pe care se află și receptorul, banda de frecvență recepționată este $\Delta\nu = 100$ Hz. Să se deducă expresia matematică a pulsației ω și să se calculeze valoarea acesteia.
- c.2.** Sursa sonoră se află în repaus și receptorul este pus în contact cu aceasta. Apoi, sursa sonoră este depărtată de receptor pe o traiectorie rectilinie, cu accelerația constantă $a = 8,0$ m/s². Să se deducă expresia matematică a frecvenței sunetului înregistrată de receptor la momentul de timp $t = 20$ s de la începerea mișcării și să se calculeze valoarea acesteia.

Subiectul III. Semnal luminos emis de pe o rachetă cosmică

(10 puncte)

O rachetă cosmică, lansată de pe Pământ, se depărtează de acesta, cu viteza constantă \vec{u} , a cărei direcție este perpendiculară pe o oglindă plană rămasă fixă pe Pământ, așa cum indică desenul din Figura III.1. Momentul inițial este considerat atunci când originile O și respectiv O' , ale sistemelor inerțiale S și respectiv S' , solidare cu Pământul și respectiv cu racheta cosmică coincid, iar ceasornicele celor doi observatori, aflați față în față, sunt sincronizate, indicând $t = t' = 0$.

În timpul zborului rachetei cosmice, din originea O' a sistemului S' , la momentul t'_1 indicat de ceasornicul din rachetă, un semnal luminos monocromatic cu frecvența ν'_0 este emis

spre oglinda plană aflată în originea O a sistemului fix S . Observatorul terestru, O , din sistemul inerțial fix, S , notează sosirea acestui semnal luminos de la racheta cosmică, folosind ceasornicul propriu ca fiind la ora $t = t_0$. Ulterior, semnalul luminos reflectat este recepționat în rachetă la momentul t'_2 indicat de ceasornicul din sistemul O' .

Se folosesc următoarele notații:

- intervalul de timp dintre momentul emisie semnalului luminos și până în momentul reflexiei sale se notează cu: $(\Delta t)_{\text{dus}}$ măsurată pe Pământ (sistemul S), respectiv $(\Delta t')_{\text{dus}}$ măsurat cu ceasornicul din rachetă (solidar cu sistemul S');

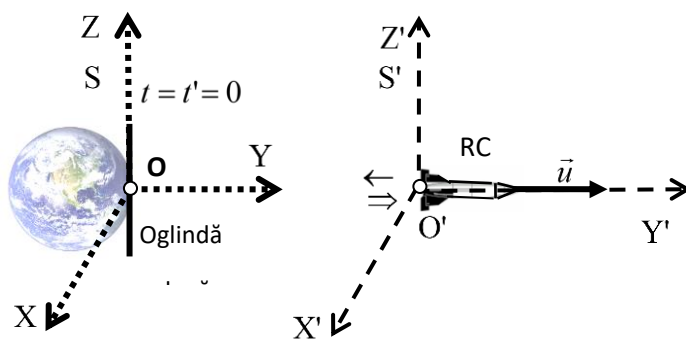


Figura III.1

1. Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 10 la 1 (1 punct din oficiu). Punctajul final reprezintă suma acestora.



- intervalul de timp dintre momentul reflexiei semnalului luminos și recepția sa în rachetă se notează cu: $(\Delta t)_{\text{retur}}$ măsurată pe Pământ (sistemul S), respectiv $(\Delta t')_{\text{retur}}$ măsurat cu ceasornicul din rachetă (solidar cu sistemul S');

- intervalul de timp dintre momentul emisie semnalului luminos din rachetă și până în momentul recepției în rachetă a semnalului reflectat se notează cu: $(\Delta t)_{\text{dus-întors}}$ măsurată pe Pământ (sistemul S), respectiv $(\Delta t')_{\text{dus-întors}}$ măsurat cu ceasornicul din rachetă (solidar cu sistemul S');

Se cunosc următoarele valori: t_0 – momentul măsurat pe Pământ la care se produce reflexia semnalului luminos pe oglinda de pe Pământ, valoarea vitezei rachetei u și valoarea vitezei luminii în vid c , frecvența semnalului luminos ν'_0 măsurată în rachetă (în sistemul S').

a. Să se determine, în funcție de t_0 și $\beta = \frac{u}{c}$, folosind notațiile indicate în problemă, coordonatele spațiale și temporale, în sistemele de referință inerțiale, S și respectiv S', ale următoarelor evenimente:

- evenimentul E - reflexia semnalului luminos pe suprafața oglinzii plane;

- evenimentul E₁ - emisia semnalului luminos din rachetă (originea O' a sistemului mobil, S');

- evenimentul E₂ - recepția semnalului luminos de către observatorul din rachetă O', din sistemul S', revenit după reflexia semnalului pe oglinda de pe Pământ din originea O.

b. Să se stabilească relația dintre t'_1 , t'_2 și t_0 ;

c. Folosind t_0 și $\beta = \frac{u}{c}$, să se calculeze $\left(\frac{\Delta t}{\Delta t'}\right)_{\text{dus}}$, $\left(\frac{\Delta t}{\Delta t'}\right)_{\text{retur}}$ și $\left(\frac{\Delta t}{\Delta t'}\right)_{\text{dus-întors}}$ și să se compare astfel valorile duratelor fiecărui fenomen măsurate în cele două sisteme de referință. Analizați cazul la limită $u \ll c$.

d. Știind frecvența semnalului emis de pe racheta cosmică, ν'_0 , măsurat de O', să se determine frecvența semnalului întors după reflexia acestuia pe suprafața oglinzii O și recepționat de observatorul O', măsurat tot de O'. Presupunem că reflexia pe oglindă se produce normal pe aceasta și fără modificarea frecvenței semnalului.

Subiectele au fost propuse de:

Prof. Dr. Gabriel FLORIAN, Colegiul Național „Carol I”, Craiova

Prof. Dr. Luciu ALEXANDRESCU, Colegiul Național „Dr. Ioan Meșotă”, Brașov

Prof. Dr. Mihail SANDU, Liceul Tehnologic de Turism, Călimănești

Prof. Sorin TROCARU, Liceul Teoretic „Aurel Vlaicu”, Breaza

1. Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 10 la 1 (1 punct din oficiu). Punctajul final reprezintă suma acestora.