Subiectul I: Inele de interferență

Imaginea unei surse punctiforme de lumină monocromatică este proiectată cu ajutorul unei lentile convergente în centrul unei diafragme de mici dimensiuni a unui ecran E (figura 1). Fasciculul conic paraxial, simetric față de normala la ecran, se reflectă pe fețele plan-paralele ale unei lame transparente de sticlă P, așezată paralel cu ecranul. Pe ecran se observă franje de interferență de egală înclinare, de forma unor inele concentrice, cu centrul în mijlocul diafragmei. Între două inele întunecate (corespunzătoare unui minim de interferență) de raze $\rho_1 = 20,0$ mm și $\rho_2 = 40,0$ mm se situează un număr $m = 2$ inele intermediare întunecate. Se cunosc: distanța $D = 20,0$ cm dintre ecran și lamă, grosimea $d = 0,36$ mm și indicele de refracție $n = 1,5$ ale lamei.

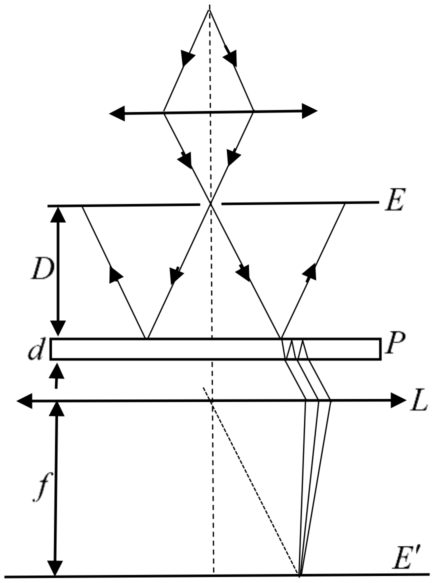

Figura 1

A. Determinați:
  1. Lungimea de undă a radiației luminoase;
  2. Raza celui mai mic inel luminos (corespunzător unui maxim de interferență).

B. De cealaltă parte a lamei și paralel cu aceasta se plasează o lentilă convergentă L cu distanța focală f. Franjele de interferență de egală înclinare, de forma unor inele concentrice, se observă în lumina transmisă, pe un alt ecran E' paralel cu lentila și așezat în planul ei focal. Pentru o anumită lărgime a fasciculului incident, raza celui mai mare inel luminos observat pe ecran este $\rho_1' = 3,0$ cm. Crescând treptat lărgimea fasciculului, la marginea zonei de interferență apar încă $m' = 5$ inele luminoase, ultimul având raza $\rho_2' = 4,5$ cm.

3. Determinați distanța focală a lentilei L și numărul total de franje luminoase formate pe ecranul E' pentru lărgimea inițială a fasciculului incident.
4. Se consideră că, în interiorul lamei, lumina poate suferi un număr foarte mare de reflexii, fiecare fiind caracterizată de coeficientul de reflexie $R = \frac{I_{reflectat}}{I_{incident}} = 0,9$. Neglijând absorbția luminii în mediile traversate, să se determine raportul dintre intensitățile luminoase corespunzătoare unui minim, respectiv unui maxim de interferență.

În calcule se pot folosi relațiile de aproximare: $\sin x \approx x$; $\cos x \approx 1 - \frac{x^2}{2}$; $\frac{1}{1-x} \approx 1 + x$ pentru $x \ll 1$, precum și faptul că $d \ll D$, iar razele inelelor de interferență $\rho \ll D$, $\rho \ll f$.

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 notează de la 0 la 30 puncte. Punctajul final este suma acestora, la care se adaugă 10 puncte din oficiu.

Subiectul II: Un dispozitiv de tip Fizeau

În dispozitivul interferențial reprezentat în figura 2, un fascicul de lumină monocromatică având lungimea de undă $\lambda = 500\,\mathrm{nm}$ este separat de lama semitransparentă L_1 în două fascicule coerente, care trec apoi prin două cuve transparente identice A și B umplute fiecare cu un lichid transparent având indicele de refracție $n = 1{,}6$. Lamele semitransparente L_1 și L_2 sunt identice. Cele două cuve au aceeași lungime $l = 4{,}0\,\mathrm{m}$, sunt paralele și în repaus, fiind așezate pe o masă orizontală. Lichidul din cuva A este menținut tot timpul în repaus, dar lichidul din cuva B poate fi pus în circulație cu viteza constantă u, $u \ll c = 3{,}0 \cdot 10^8\mathrm{m/s}$. Interferometrul este reglat astfel încât pe ecran se observă un sistem de franje de interferență.

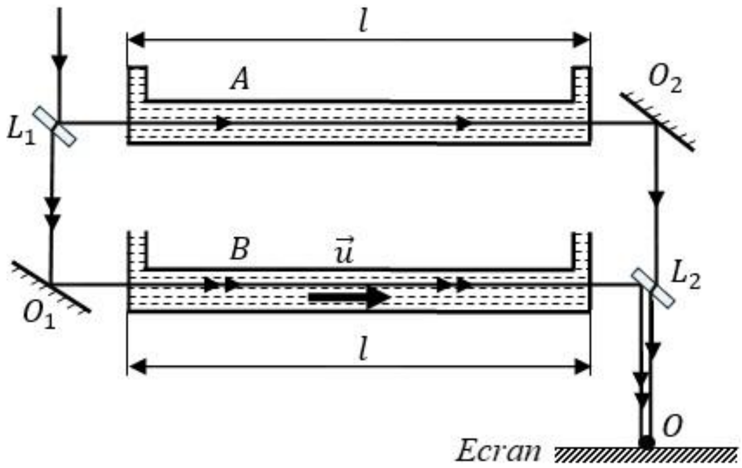

Figura 2

Atunci când lichidul nu curge prin cuva B, cele două unde luminoase care ajung în punctul O de pe ecran sunt în fază, iar aici se observă o franjă centrală luminoasă strălucitoare.

- **a)** Determinați expresia matematică a diferenței de fază dintre cele două unde luminoase care sosesc în punctul O de pe ecran atunci când lichidul circulă prin cuva B cu viteza u în sensul propagării luminii.
- **b)** Determinați numărul de franje cu care se deplasează franja centrală atunci când lichidul circulă prin cuva B cu viteza $u = 10\mathrm{m/s}$ în sensul propagării luminii.
- **c)** Calculați viteza minimă de curgere a lichidului prin cuva B pentru care iluminarea în punctul O este nulă (în acest punct se observă întuneric total).
- **d)** Lichidul din cuva B este menținut în repaus, orificiile cuvei se etanșează, iar cuva B se deplasează orizontal cu viteza constantă u, $u \ll c = 3{,}0 \cdot 10^8\mathrm{m/s}$, de-a lungul fasciculului luminos care o străbate, în sensul propagării luminii.
  Determinați expresia matematică a diferenței de fază dintre cele două unde luminoase care sosesc în punctul O de pe ecran, în această situație.

Notă: Abordați rezolvarea cerințelor problemei în cadrul teoriei relativității restrânse.

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 notează de la 0 la 30 puncte. Punctajul final este suma acestora, la care se adaugă 10 puncte din oficiu.

Subiectul III: Orbită cuantificată într-un câmp central

În 1935, fizicianul japonez Hideki Yukawa a propus un model idealizat pentru descrierea interacțiunii atractive dintre două particule (un proton și un neutron). În acest model, energia potențială de interacțiune are forma:

$$U(r) = -g^2 \frac{e^{-r/\lambda}}{r}$$

unde $\lambda = \hbar/(m_\pi c)$, $m_\pi = 138{,}00\ \mathrm{MeV/c^2}$ este o constantă de masă, r este distanța dintre cele două particule, iar g^2 este o constantă pozitivă ce caracterizează interacțiunea.

Considerăm un proton și un neutron, despre care presupunem că se află în mișcare circulară nerelativistă sub influența potențialului $U(r)$ în jurul centrului lor de masă (CM). Se neglijează toate celelalte interacțiuni. Energia de legătură a sistemului în starea fundamentală este $E_b = 2{,}22\ \mathrm{MeV}$. Protonul și neutronul au mase aproximativ egale $m_p = m_n = 938{,}00\ \mathrm{MeV/c^2}$. Mișcarea lor în sistemul de referință al CM, unde $|\vec{v}_n| = |\vec{v}_p|$, poate fi redusă la mișcarea unei singure particule cu masa $\mu = m_p/2$, având viteza relativă $\vec{v} = \vec{v}_n - \vec{v}_p$. De asemenea, presupunem că în sistemul de referință al CM, momentul cinetic orbital L al sistemului proton-neutron satisface condiția de cuantificare Bohr.

Precizare: Exprimăm valorile numerice ale energiei în MeV, ale lungimii în fm ($1\ \mathrm{fm} = 10^{-15}\ \mathrm{m}$) și ale masei în MeV/c^2 ($1\ \mathrm{MeV}/c^2 = 1{,}80 \cdot 10^{-30}\ \mathrm{kg}$). Se dă: $\hbar c \approx 197{,}33\ \mathrm{MeV \cdot fm}$.

a) Exprimă energia totală E a sistemului în funcție de μ, r, v, g^2 și λ.

b) Folosind expresia energiei potențiale $U(r)$, determină expresia forței de interacțiune dintre cele două particule. Scrie condiția de menținere a orbitei circulare pentru particula de masă redusă μ.

c) Obține expresia pentru al n-lea nivel de energie (E_n) al sistemului în funcție de g^2 și de raza r_n a orbitei circulare corespunzătoare. Precizează modulul momentului cinetic orbital L al sistemului față de CM.

d) Considerăm starea fundamentală a sistemului ($n = 1$). Definim $x_1 = r_1/\lambda$, unde r_1 este raza primei orbite. Obține o ecuație polinomială pentru x_1 care să conțină doar constante fundamentale și E_b. Estimează numeric valoarea lui x_1 și calculează r_1.

e) Determină valoarea numerică a constantei pozitive g^2 în unități de $\mathrm{MeV \cdot fm}$.

Subiectele au fost propuse de:
***prof. Cristian MIU** – Colegiul Național „Ion Minulescu”, Slatina*
***prof. Florin BUTUȘINĂ** – Colegiul Național “Simion Bărnuțiu”, Șimleu Silvaniei*
***prof. Adrian BODNĂRESCU** – Colegiul Național „Eudoxiu Hurmuzachi”, Rădăuți*
***prof. Liviu BLANARIU**, CNCE, București* - coordonator

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 notează de la 0 la 30 puncte. Punctajul final este suma acestora, la care se adaugă 10 puncte din oficiu.