Subiectul 1
Interferenţă multiplă – lama Lummer-Gehrcke

Dispozitivul interferenţial Lummer-Gehrcke este format dintr-o lamă cu feţe plan-paralele, confecţionată din sticlă cu indicele de refracţie $n=\sqrt{2}$, având grosimea $d=2\ \text{cm}$ şi lungimea $L=45\ \text{cm}$, aflată în aer ($n_{aer}=1$). Un fascicul laser cu lungimea de undă $\lambda=500\ \text{nm}$ pătrunde în lamă prin intermediul unei prisme optice, de dimensiuni mici, confecţionată din acelaşi material ca şi lama. Pentru a reduce pierderile prin reflexie, fasciculul laser este trimis în prismă perpendicular pe faţa de intrare, apoi el suferă pe feţele lamei o serie de reflexii multiple şi refracţii. Fasciculele luminoase părăsesc lama aproape paralel cu feţele acesteia şi au intensităţi aproape identice, fiecare faţă a lamei producând N fascicule succesive.

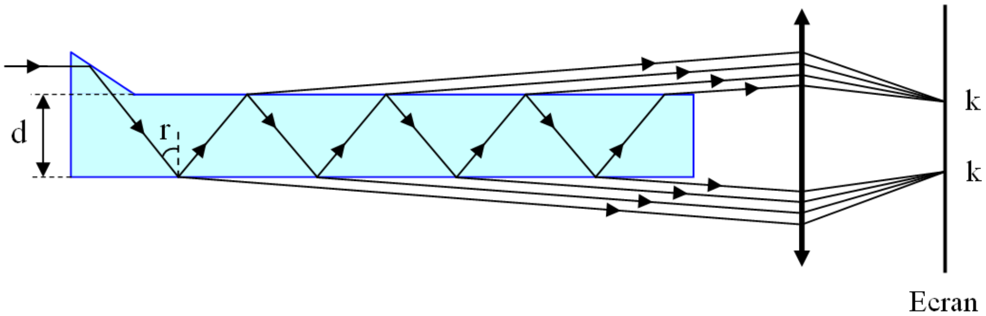

Figura de interferenţă poate fi observată pe un ecran aşezat în planul focal al unei lentile convergente, perpendicular pe axul optic principal al acesteia, ca în figură.
a) Determinaţi valoarea cea mai mică a ordinului k de interferenţă pentru maxime luminoase;
b) Consideraţi că radiaţia laser are o lărgime spectrală $\Delta\lambda=4\cdot10^{-12}\text{m}$ şi că pe acest interval spectral variaţia indicelui de refracţie al lamei cu lungimea de undă este nesemnificativă şi se poate neglija. Determinaţi valoarea pe care ar trebui să o aibă grosimea d a lamei pentru ca, în acelaşi loc de pe ecran, să se suprapună maximul de ordinul k_1 al radiaţiei cu lungimea de undă $(\lambda+\Delta\lambda)$, cu maximul de ordinul (k_1+1) al radiaţiei cu lungimea de undă λ;
c) Determinaţi valoarea pe care ar trebui să o aibă lărgimea spectrală $\Delta\lambda$ a radiaţiei laser, pentru ca la acelaşi ordin k (*cel determinat la punctul a)*), maximul pentru radiaţia cu lungimea de undă $(\lambda+\Delta\lambda)$ să se suprapună cu primul minim adiacent al radiaţiei cu lungimea de undă λ, în situaţia în care grosimea lamei are valoarea $d=2\ \text{cm}$. Consideraţi că pe acest interval spectral variaţia indicelui de refracţie al lamei cu lungimea de undă este nesemnificativă şi se poate neglija.

Intensitatea luminoasă obţinută prin suprapunerea a N fascicule luminoase paralele, de aceeaşi intensitate, egal defazate, poate fi exprimată prin relaţia:

$$I=I_0\left[\frac{\sin\left(\dfrac{N\cdot\Delta\varphi}{2}\right)}{\sin\left(\dfrac{\Delta\varphi}{2}\right)}\right]^2$$

$\Delta\varphi$ *fiind defazajul dintre două fascicule consecutive.*

Subiectul 2
Produsul a două transformări Lorentz

A. Cele trei sisteme de referință: $R(OXYZ)$, $R_0(O_0X_0Y_0Z_0)$ și $R_1(O_1X_1Y_1Z_1)$, reprezentate în desenul din figura 1, au, la momentul inițial, originile comune, axele de coordonate suprapuse, iar ceasornicele din cele trei sisteme sunt sincronizate, toate indicând $t = t_0 = t_1 = 0$.

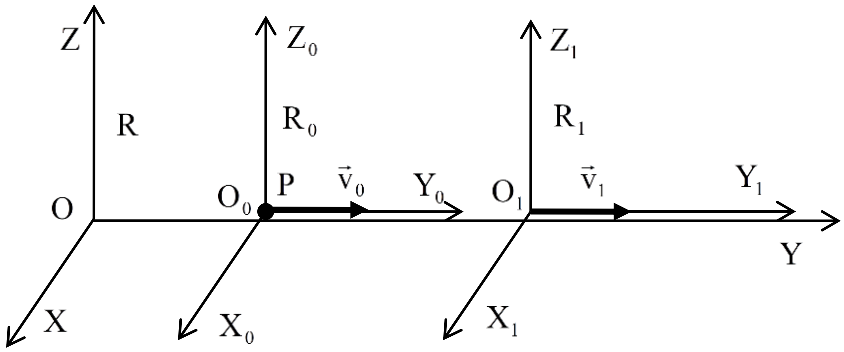

Fig. 1

În originea O_0 a sistemului R_0 se află o particulă instabilă, P, al cărei timp de viață, măsurat în sistemul propriu, R_0, este T_0. Particula P și deci sistemul său propriu, R_0, se deplasează cu viteza constantă $\vec{v}_0$, raportată la sistemul laboratorului, R, în așa fel încât axa O_0Y_0 alunecă de-a lungul axei OY, iar axele O_0X_0 și respectiv O_0Z_0, rămân paralele cu axele OX și respectiv OZ.

Originea O_1 a sistemului R_1 se deplasează cu viteza constantă $\vec{v}_1$, în raport cu sistemul laboratorului, R, în așa fel încât axa O_1Y_1 alunecă de-a lungul axei OY, iar axele O_1X_1 și respectiv O_1Z_1, rămân paralele cu axele OX și respectiv OZ.

a) *Să se determine* timpii de viață, T și respectiv T_1, ai particulei P, măsurați de observatorii aflați în originile O și respectiv O_1, ale sistemelor R și respectiv R_1. Se cunoaște viteza luminii în vid, *c*.

B. Particula P se deplasează acum, cu viteza constantă $\vec{V}$, în raport cu sistemul laboratorului, R, în planul YOZ al acestuia, așa cum indică desenul din figura 2, plecând din originea O a sistemului legat de laborator, R, pe direcția care formează unghiul θ cu axa OY.

Un observator aflat în originea O a sistemului R vede originea O_1 a sistemului R_1 deplasându-se cu viteza constantă $\vec{v}_1$, în așa fel încât axa O_1Y_1 alunecă de-a lungul axei OY, iar axele O_1X_1 și respectiv O_1Z_1, rămân paralele cu axele OX și respectiv OZ.

Un observator aflat în originea O_1 a sistemului R_1, vede originea O_2 a sistemului R_2, deplasându-se cu viteza constantă $\vec{v}_2$, în așa fel încât axa O_2X_2 alunecă de-a lungul axei O_1X_1, iar axele O_2Y_2 și respectiv O_2Z_2, rămân paralele cu axele O_1Y_1 și respectiv O_1Z_1.

La momentul inițial originile celor trei sisteme de referință sunt comune, axele lor de coordonate sunt suprapuse, iar ceasornicele din cele trei sisteme de referință sunt sincronizate, toate indicând $t = t_1 = t_2 = 0$.

b) *Să se determine* vitezele particulei P, $\vec{V}_1$ și respectiv $\vec{V}_2$, în raport cu observatorii O_1 și respectiv O_2, aflați în originile sistemelor R_1 și respectiv R_2.

c) Aplicație numerică: $\theta = 0$; $V = 0{,}99 \cdot c$; $v_1 = v_2 = 0{,}6 \cdot c$.

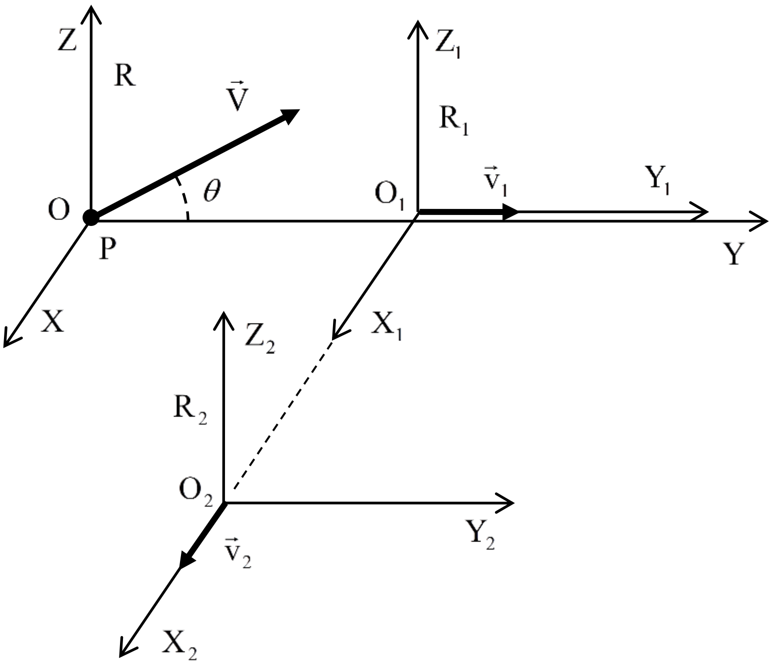

Fig. 2

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 în orice ordine cerinţele a, b, c etc.
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.

Subiectul 3
Modele atomice

În modelul atomic planetar clasic (Rutherford) al atomului de hidrogen, electronul, care se rotește nerelativist în jurul nucleului, pierde în unitatea de timp energia dată de relația $\frac{dE}{dt} = -\frac{\mu_0 e^2 a^2}{6\pi c}$, unde a reprezintă accelerația electronului.
Considerând că $r_{atom} = 0{,}5 \cdot 10^{-10}\text{m}$ și $r_{nucleu} = 1{,}0 \cdot 10^{-15}\text{m}$, determinați:

a. timpul după care electronul ar cădea pe nucleu;

Indicație: *Pentru a simplifica rezolvarea presupuneți că traiectoria electronului pe durata unei rotații poate fi aproximată cu un cerc.*

b. între ce limite este cuprinsă frecvența radiației emise de electron pe durata căderii pe nucleu;

c. expresia frecvenței radiației emise de electron în funcție de energia acestuia.

Considerați acum că electronul și protonul se rotesc nerelativist în jurul centrului de masă al sistemului. Folosind condiția de staționaritate a undelor asociate (de Broglie):

d. Determinați expresia energiei nivelurilor permise;

e. Calculați, folosindu-vă de rezultatul găsit anterior, numărul de undă corespunzător primei linii spectrale din seria Balmer;

f. Determinați expresia frecvenței radiației emise de electron la tranziția dintre două niveluri energetice permise consecutive caracterizate de numere cuantice mari și comparați rezultatul obținut cu cel de la punctul **c** (*principiul de corespondență*).

Se știe că: $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{C}$, $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$, $\varepsilon_0 = 8{,}8 \cdot 10^{-12}\text{F/m}$, $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s}$, $m_p = M = 1{,}6 \cdot 10^{-27}\text{kg}$, $(1+x)^\alpha \cong 1 + \alpha x$, dacă $x \ll 1$.

Subiect propus de:
prof. Florin BUTUȘINĂ – Colegiul Național „Simion Bărnuțiu”, *Șimleu-Silvaniei*
prof. Petrică PLITAN – Colegiul Naţional „Gh. Şincai”, *Baia Mare*
prof. dr. Mihail SANDU – Liceul Tehnologic de Turism, *Călimăneşti*
prof. Constantin GAVRILĂ – Colegiul Național „Sfântul Sava”, *București*
prof.dr. Leonaș DUMITRAȘCU – Liceul „Ștefan Procopiu”, *Vaslui*

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 în orice ordine cerinţele a, b, c etc.
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.