

# Olimpiada Națională de Fizică Târgu Jiu 2017 Proba teoretică



## SUBIECTUL I. Coerență și interferometrie

În cele ce urmează vom studia influența dimensiunii sursei de lumină asupra figurii de interferență observate pe ecranul unui dispozitiv Young. Cele două fante ale dispozitivului Young sunt verticale, identice, considerate infinit de subțiri. Distanța dintre fante este  $a$ , iar distanța de la paravanul cu fante la ecranul pe care se observă figura de interferență este  $D$ .

### Sarcina de lucru nr. I.1

O sursă de lumină cvasimonocromatică necoerentă are forma unui filament liniar considerat infinit de subțire, așezat vertical. Lumina emisă de sursă are lungimea de undă medie  $\lambda$ , iar lărgimea de bandă  $\Delta\lambda$  este neglijabilă. Sursa este plasată la distanță egală față de cele două fante ale dispozitivului Young. În figura 1 este reprezentată o secțiune cu un plan orizontal prin dispozitivul Young astfel obținut. Linia punctată reprezintă intersecția cu planul de simetrie vertical al sistemului. Deoarece fantele sunt infinit de subțiri, putem considera că toate maximele de difracție sunt situate în zona centrală a primului maxim de difracție. Iluminarea unei suprafețe este egală cu valoarea medie în timp de o perioadă a energiei care ajunge în unitatea de timp pe unitatea de suprafață.

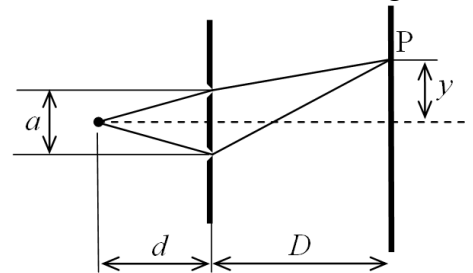


Figura 1

**I.1.1.** Deduceți expresia iluminării produse într-un punct P de pe ecran în funcție de distanța  $y$  ( $y \ll D$ ) la care se află acesta față de planul de simetrie vertical al dispozitivului Young.

### Sarcina de lucru nr. I.2

Se înlocuiește sursa de lumină anterioară cu un ansamblu de  $2n+1$  surse identice de lumină cvasimonocromatică, necoerente, fiecare având forma unui filament liniar considerat infinit de subțire, așezat vertical. Cele  $2n+1$  surse de lumină sunt echidistante și foarte apropiate între ele, distanța dintre două surse alăturate fiind  $\frac{b}{2n}$ . Sursele se află într-un plan paralel cu planul fantelor, distanța dintre aceste plane fiind  $d$ . Centrul ansamblului de surse se află în planul de simetrie vertical al dispozitivului Young. Lumina emisă de fiecare dintre cele  $2n+1$  surse are lungimea de undă medie  $\lambda$  și lărgimea de bandă,  $\Delta\lambda$ , neglijabilă.

**I.2.1.** Deduceți expresia iluminării produse într-un punct P de pe ecran în funcție de distanța  $y$  ( $y \ll D$ ) la care se află acesta față de planul de simetrie vertical al dispozitivului Young.

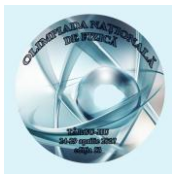
Dacă vei considera necesar, poți folosi faptul că: 
$$\sum_{i=1}^n \cos(i\alpha) = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin\left(\frac{2n+1}{2}\alpha\right)}{\sin\frac{\alpha}{2}} - 1 \right].$$

### Sarcina de lucru nr. I.3

Se înlocuiește ansamblul de surse de lumină cu o sursă de lumină cvasimonocromatică, necoerentă, dreptunghiulară, având lățimea  $b$  și lungimea  $\ell \gg b$ . Sursa este așezată într-un plan paralel cu planul fantelor, la distanța  $d$  față de acesta, lungimea fiind paralelă cu fantele. Centrul sursei se află în planul de simetrie vertical al dispozitivului Young.

**I.3.1.** Deduceți expresia iluminării produse într-un punct P de pe ecran în funcție de distanța  $y$  ( $y \ll D$ ) la care se află acesta față de planul de simetrie vertical al dispozitivului Young.

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 cerințele.
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.



# Olimpiada Națională de Fizică Târgu Jiu 2017 Proba teoretică



**I.3.2.** Se definește vizibilitatea figurii de interferență ca fiind  $V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$ , unde  $I_{\max}$  și  $I_{\min}$  sunt

iluminările corespunzând maximului și minimului adiacent din sistemul de franje. Deduceți expresia vizibilității figurii de interferență obținute în funcție de  $a$ ,  $b$ ,  $d$  și  $\lambda$ .

**I.3.3.** Calculați lățimea minimă a sursei pentru care franjele din figura de interferență observată pe ecran dispar.

## Sarcina de lucru nr. I.4

Pe 13 decembrie 1920, Betelgeuse ( $\alpha$  Orion) a devenit prima stea din afara Sistemului Solar pentru care s-a măsurat dimensiunea unghiulară, folosind interferometrul reprezentat schematic în figura 2 (interferometrul stelar Michelson). Două oglinzi mobile,  $O_1$  și  $O_2$ , depărtate una de alta, colectează razele provenite de la o stea foarte îndepărtată. Prin intermediul oglinzilor  $O_3$  și  $O_4$  lumina este transmisă apoi către un dispozitiv Young. Drumul optic  $O_1O_3S_1$  este egal cu drumul optic  $O_2O_4S_2$ . S-a observat că distanța minimă dintre oglinzile  $O_1$  și  $O_2$  pentru care franjele formate prin interferență dispar este  $h = 308$  cm.

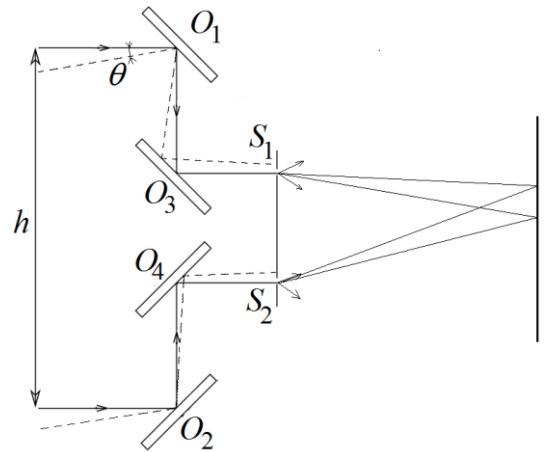


Figura 2

**I.4.1.** Estimați diametrul stelei, cunoscând că observația a fost făcută pentru lungimea de undă  $\lambda = 570$  nm și considerând că distanța până la această stea este  $d = 3,8 \cdot 10^{15}$  km.

*Observație legată de influența formei sursei de lumină:* Atunci când sursa de lumină are forma unui disc așezat la o astfel de distanță încât diametrul este observat sub unghiul  $\theta$ , franjele din figura de interferență observată pe ecran dispar pentru o valoare a distanței dintre fante de 1,22 ori mai mare decât în situația în care se utilizează o sursă de lumină dreptunghiulară a cărei lățime este observată sub același unghi  $\theta$ .

## SUBIECTUL II. Ansamblu de particule în mișcare ...

Un sistem de referință inerțial  $K'$  „mobil” se deplasează rectiliniu și uniform față de un sistem de referință inerțial  $K$  „fix” cu viteza  $u < c$ , orientată de-a lungul axei  $Ox$ . La momentul  $t = t' = 0$  originile  $O$  și  $O'$  ale celor două referențiale coincid, iar axele  $Ox$  și  $O'x'$  sunt suprapuse. Considerăm un ansamblu de particule identice care se deplasează rectiliniu și uniform față de sistemul de referință  $K'$ , de-a lungul axei  $O'x'$ , mișcarea lor fiind descrisă de ecuațiile parametrice:

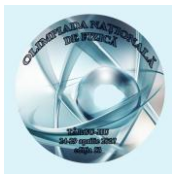
$$\begin{cases} x' = \alpha \cdot c \cdot t' \\ y' = \alpha \cdot a \\ z' = 0 \end{cases}$$

În aceste relații  $\alpha$  este un parametru cu modulul subunitar,  $\alpha \in (-1, +1)$ , asociat în mod unic fiecărei particule și care diferă de la o particulă la alta,  $a$  este o constantă pozitivă, iar  $c$  este viteza luminii în vid.

## Sarcina de lucru nr. II.1

**II.1.1.** Determinați ecuația curbei pe care se află ansamblul de particule la un moment oarecare de timp în sistemul de referință  $K'$ , respectiv în sistemul de referință  $K$ . Reprezentați grafic această curbă în fiecare din cele două sisteme de referință.

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 cerințele.
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.



# Olimpiada Națională de Fizică Târgu Jiu 2017 Proba teoretică



**II.1.2.** Determinați componentele vitezei fiecărei particule, pe axele de coordonate, în sistemele  $K'$ , respectiv  $K$ .

## Sarcina de lucru nr. II.2

O particulă relativistă cu masa de repaus  $m$  pătrunde cu viteza  $v_0 < c$  într-un câmp potențial cu simetrie centrală. Energia potențială de interacțiune particulă-câmp este  $U(r) = -\frac{k}{r}$ , unde  $k > 0$ .

**II.2.1.** Deduceți condiția pentru mărimea momentului cinetic al particulei astfel încât să fie posibile orbite circulare.

**II.2.2.** Deduceți expresia razei orbitei circulare pentru un moment cinetic al particulei  $L = \frac{k\sqrt{2}}{c}$ .

## Sarcina de lucru nr. II.3

O particulă cu masa  $m$  pătrunde cu viteza  $v_0 < c$  într-un câmp potențial cu simetrie centrală.

Energia potențială de interacțiune particulă-câmp este  $U(r) = \frac{k}{r^2}$ ,

unde  $k > 0$ . În figura 3 este reprezentată traiectoria particulei, unde  $b$  este parametrul de ciocnire.

**II.3.1.** Deduceți expresia distanței minime la care se apropie particula de centrul de împrăștiere  $O$  pentru o anumită valoare, diferită de zero, a parametrului  $b$ .

**II.3.2.** Deduceți expresia lui  $b$  pentru un unghi de împrăștiere  $\theta = 90^\circ$ .

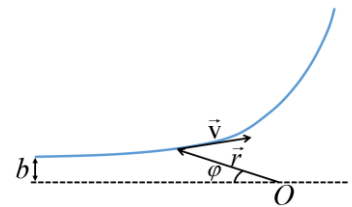


Figura 3

*Dacă îți este necesar ține seama de următoarele:*

- În studiul mișcării de rotație a unei particule în jurul unei axe, în locul impulsului,  $\vec{p}$ , se utilizează momentul acestuia față de axa de rotație: momentul cinetic  $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ , unde  $\vec{r}$  este vectorul de poziție al particulei.
- $\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x \Big|_{x_1}^{x_2}$ .

## SUBIECTUL III. Cozonacul cu stafide

În anul 1904 J. J. Thomson a propus un model pentru atom în care a considerat că materia pozitivă (cu sarcina  $+Ze$ ) este uniform distribuită într-un volum sferic cu raza  $R$ , iar cei  $Z$  electroni (cu sarcina  $-e$ ) sunt particule punctiforme situate în interiorul sferei pozitive și care se pot mișca fără frecare.

Notă:

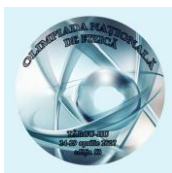
*Asupra unui electron aflat la distanța  $r < R$  față de centrul atomului acționează o forță electrostatică de atracție egală cu cea datorată unei sarcini electrice pozitive, punctiforme, situată în centrul atomului, egală cu sarcina din sfera de rază  $r$ , concentrică cu atomul. Considerați că permitivitatea electrică a materiei pozitive este egală cu cea a vidului.*

### Sarcina de lucru nr. III.1. Atomul de hidrogen

În cazul atomului de hidrogen  $Z = 1$ .

**III.1.1.** Deduceți expresia  $\vec{F}(\vec{r})$  a forței ce acționează asupra electronului dacă acesta se găsește la o distanță  $r < R$  de centrul sferei.

- 
1. Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează. Pagina 3 din 4
  2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve în orice ordine cerințele.
  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.



# Olimpiada Națională de Fizică

## Târgu Jiu 2017

### Proba teoretică



**III.1.2.** Deduceți expresia frecvenței mișcării oscilatorii efectuate de electron.

**III.1.3.** Orice particulă încărcată cu sarcină electrică aflată în mișcare oscilatorie emite în spațiu o radiație electromagnetică cu frecvența egală cu frecvența sa de oscilație. Estimați raza atomului luând în considerare cea mai intensă linie spectrală a hidrogenului care are lungimea de undă  $\lambda = 121,46 \text{ nm}$ .

**III.1.4.** Determinați o altă valoare posibilă pentru raza atomului de hidrogen utilizând valoarea energiei de ionizare a acestuia  $W_{\text{ionizare}} = 13,6 \text{ eV}$ .

**III.1.5.** Dacă acceptăm că electronul este o sferă în repaus, uniform electrizată în volum, cu sarcina totală  $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , iar energia potențială electrostatică a sferei este egală cu energia de repaus a electronului, estimează raza electronului  $R_e$ . Comparați valoarea razei electronului cu cele ale atomului estimate anterior.

#### Sarcina de lucru nr. III.2. Atomul cu mai mulți electroni

**III.2.1.** Atomul de heliu are  $Z = 2$ . Exprimați distanța  $d_2$  dintre electronii aflați la echilibru în funcție de raza  $R_2$  a atomului.

**III.2.2.** Pentru atomul de litu, care are  $Z = 3$ , echilibrul se stabilește atunci când electronii se află în vârfurile unui triunghi echilateral. Exprimați lungimea  $d_3$  a laturii acestui triunghi în funcție de raza  $R_3$  a atomului.

**III.2.3.** În cazul atomului de beriliu,  $Z = 4$ , una dintre configurațiile posibile este aceea în care electronii se găsesc în vârfurile unui tetraedru regulat. Exprimați lungimea  $d_4$  a laturii tetraedrului în funcție de raza  $R_4$  a atomului.

*Se consideră cunoscute: sarcina electronului  $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , masa electronului  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,*

$$\text{viteza luminii în vid } c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ și } \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cong 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}, \text{ unde } \epsilon_0 \text{ este}$$

*permitivitatea electrică a vidului.*

*Subiecte propuse de:*

*prof. Liviu BLANARIU – Centrul Național de Evaluare și Examinare, București*  
*prof. Florin BUTUȘINĂ – Colegiul Național „Simion Bărnuțiu”, Șimleu-Silvaniei*

*prof. Gabriel FLORIAN, Colegiul Național „Carol I”, Craiova*  
*prof. Viorel SOLSCHI, Colegiul Național „Mihai Eminescu”, Satu-Mare*

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 cerințele.
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.