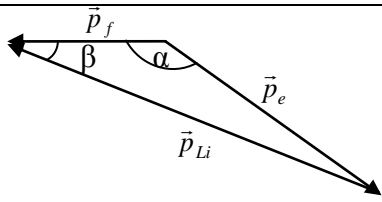




Subiect	Parțial	Punctaj
<b>1.</b> Barem subiect 1		<b>10</b>
<p><b>a)</b></p> $E(t) = E_0 \sin \omega_0 t + E_0 \sin \omega_0 t \cos \omega t = E_0 \sin \omega_0 t + \frac{1}{2} E_0 \sin(\omega_0 - \omega)t + \frac{1}{2} E_0 \sin(\omega_0 + \omega)t$ <p>Prin urmare, radiația incidentă este compusă din trei radiații monocromatice, cu pulsațiile <math>\omega_0</math>, <math>\omega_0 - \omega</math> și <math>\omega_0 + \omega</math>. Energia fiecărui sort de fotoni este</p> $\begin{cases} E_{f,1} = \hbar(\omega_0 - \omega) = 2,32 \text{ eV} \\ E_{f,2} = \hbar\omega_0 = 2,47 \text{ eV} \\ E_{f,3} = \hbar(\omega_0 + \omega) = 2,63 \text{ eV} \end{cases}$ <p>Se observă că doar ultimele două radiații monocromatice au energie suficientă pentru a depăși valoarea lucrului de extracție și a produce efect fotoelectric. Energiile cinetice maxime ale fotoelectronilor extrași de cele două sorturi de fotoni sunt, în acord cu relația lui Einstein</p> $\begin{cases} E_{c,2}^{\max} = E_{f,2} - L_{Li} = 0,08 \text{ eV} \\ E_{c,3}^{\max} = E_{f,3} - L_{Li} = 0,24 \text{ eV} \end{cases}$	<p>1 p.</p> <p>0,50 p.</p> <p>1 p.</p> <p>0,75 p.</p> <p>0,75 p.</p>	<p><b>4 p.</b></p>
<p><b>b) b1)</b></p> <p>Conservarea impulsului se scrie (v. Fig. 1)</p> $\vec{p}_f = \vec{p}_e + \vec{p}_{Li},$ <p>unde impulsul total al fotonilor incidenți este</p> $p_f = \frac{\hbar}{c}(\omega_0 - \omega) + \frac{\hbar}{c}\omega_0 + \frac{\hbar}{c}(\omega_0 + \omega) = 3\frac{\hbar}{c}\omega_0 = 3,96 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m/s},$ <p>iar cel al fotoelectronilor emiși</p> $p_e = \sqrt{2m_e E_{c,2}^{\max}} + \sqrt{2m_e E_{c,3}^{\max}} = (1,53 + 2,65) \cdot 10^{-25} \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 4,18 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$ <p>Prin urmare, aplicând teorema cosinusului în triunghiul impulsurilor, se obține</p> $p_{Li} = \sqrt{p_e^2 + p_f^2 - 2p_e p_f \cos \alpha} = 4,21 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$	 <p>Fig. 1</p> <p>1 p.</p> <p>1 p.</p> <p>1 p.</p> <p>1 p.</p>	<p><b>4 p.</b></p>
<p><b>b2)</b></p> <p>Unghiul dintre impulsul țintei și al fotonilor incidenți este, în acord cu teorema sinusurilor, de exemplu, aplicată triunghiului impulsurilor:</p> $\sin \beta = \frac{p_e}{p_{Li}} \sin \alpha = 0,496 \text{ sau } \beta = 29,7^\circ.$	<p>1 p.</p>	<p><b>1 p.</b></p>
Oficiu		<b>1 p.</b>

- Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
- Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



Subiect	Parțial	Punctaj
<b>2.</b> Barem subiect 2		<b>10</b>
<p><b>a)</b></p> <p>Viteza lui <math>P_1</math> față de <math>P_2</math> este</p> $v_1' = \frac{v_1 - v_2}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}},$ <p>iar cea a lui T față de <math>P_2</math> este</p> $-v_T' = \frac{0 - v_2}{1 - \frac{0 \cdot v_2}{c^2}} = -v_2 \Rightarrow v_T' = v_2,$ <p><math>v_T'</math> fiind modulul vitezei lui T față de <math>P_2</math>. Deoarece <math>v_1' = v_T'</math> (conform enunțului), atunci</p> $v_2 = \frac{c^2}{v_1} \left( 1 \pm \sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}} \right).$ <p>Deoarece <math>v_2 &lt; c</math>, doar soluția cu semnul minus în fața radicalului convine, deci</p> $v_2 = \frac{c^2}{v_1} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}} \right) = \frac{c}{\beta_1} \left( 1 - \sqrt{1 - \beta_1^2} \right) = \frac{c}{\beta_1} \left( 1 - \frac{1}{\gamma_1} \right),$ <p>unde <math>\gamma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta_1^2}}</math>.</p>	<p>1 p.</p> <p>1 p.</p> <p>0,50 p.</p> <p>0,50 p.</p>	<p><b>3 p.</b></p>
<p><b>b)</b></p> <p>Deoarece particulele <math>P_1</math> și <math>P_2</math> ajung la T simultan, în sistemul laboratorului</p> $\frac{P_2 T}{P_1 P_2} = \frac{v_2 \Delta t}{(v_1 - v_2) \Delta t} = \frac{v_2}{v_1 - v_2} = \frac{1}{\frac{v_1}{v_2} - 1} = \frac{1}{\frac{\beta_1^2}{1 - \frac{1}{\gamma_1}} - 1} = \frac{1 - \frac{1}{\gamma_1}}{\frac{1}{\gamma_1} - (1 - \beta_1^2)} = \gamma_1.$ <p>Prin urmare</p> $(P_1 P_2)_{/T} = \frac{(P_2 T)_{/T}}{\gamma_1}.$ <p>Dar, luând în considerare contracția lungimilor</p> $(P_1 P_2)_{/T} = \frac{(P_1 P_2)_{/P_1}}{\gamma_1}.$ <p>Comparând cele două relații de mai sus, rezultă</p> $(P_1 P_2)_{/P_1} = (P_2 T)_{/T}.$	<p>1,50 p.</p> <p>0,25 p.</p> <p>0,50 p.</p> <p>0,50 p.</p>	<p><b>2,75 p.</b></p>

- Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
- Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



<p>c)</p> <p><b>c1) În SR legat de P<sub>2</sub>:</b> În momentul dezintegrării particulei P<sub>1</sub> în punctul A, <math>AP_2 = L_0</math> (din enunț). Dar <math>AT = \frac{L_0}{\gamma} &lt; L_0</math>. Prin urmare, P<sub>2</sub> ajunge la T înainte de emisia fotonului!</p> <p><b>c2) În SR legat de T:</b> În momentul dezintegrării particulei P<sub>1</sub> în punctul A, <math>AP_2 = \frac{L_0}{\gamma}</math>, iar <math>AT = L_0</math>. Prin urmare <math>P_2T = L_0 - \frac{L_0}{\gamma}</math>, dar <math>P_2T = v\Delta t_{p_2}</math>, unde <math>\Delta t_{p_2}</math> este timpul necesar particulei P<sub>2</sub> pentru a ajunge la atomul-țintă T, calculat din momentul emisie fotonului. Prin urmare <math display="block">\Delta t_{p_2} = \frac{L_0}{v} \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) = \frac{L_0}{\beta c} \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right).</math>Dacă fotonul emis ajunge la P<sub>2</sub> în timpul <math>\Delta t_f</math>, atunci <math display="block">c\Delta t_f = AP_2 + v\Delta t_f \Rightarrow \Delta t_f = \frac{L_0}{\gamma c(1-\beta)}.</math>În cazul în care fotonul ar ajunge la P<sub>2</sub> înainte ca P<sub>2</sub> să ajungă la T (<math>\Delta t_f &lt; \Delta t_{p_2}</math>), atunci <math display="block">\frac{\beta}{(1-\beta)} &lt; \gamma - 1 \Rightarrow \gamma &gt; \frac{1}{1-\beta} \Rightarrow \beta &lt; 0,</math>ceea ce este imposibil. Prin urmare și în sistemul de referință al atomului-țintă T, P<sub>2</sub> ajunge la T înaintea fotonului.</p>	<p>0,25 p.</p> <p>0,50 p.</p> <p>0,75 p.</p> <p>0,50 p.</p> <p>0,25 p.</p> <p>0,50 p.</p> <p>0,50 p.</p>	<p>3,25 p.</p> <p>1</p>
Oficiu		1

Subiect	Parțial	Punctaj
<b>3. Barem subiect 3</b>		<b>10</b>
<p>a)</p> <p>Pentru o radiație cu lungimea de undă <math>\lambda</math>, interfranța este <math>i = \frac{\lambda D}{a}</math>. Unghiul sub care vede experimentatorul interfranța de la nivelul planului fantelor (în aproximația unghiurilor mici) este <math>\theta = \frac{i}{D} = \frac{\lambda}{a}</math>. Pentru a putea vedea distinct franjele trebuie ca: <math display="block">\theta \geq \theta_0 = \frac{\pi}{180 \cdot 60} = 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ rad}.</math>Prin urmare <math>\lambda \geq a\theta_0 = 291 \text{ nm}</math>, ce corespunde unei radiații din UV. Rezultă că alegerea experimentatorului este una adecvată.</p>	<p>0,25 p.</p> <p>0,25 p.</p> <p>0,25 p.</p> <p>0,25 p.</p>	<p>1 p.</p>
<p>b)</p> <p>Condiția de suprapunere a maximelor: <math display="block">\frac{\delta_1 D}{a} = \frac{\delta_2 D}{a} \Rightarrow K_1 \lambda_1 = K_2 \lambda_2 \Rightarrow \frac{K_1}{K_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{675}{450} = \frac{3}{2}</math></p>	<p>0,25 p.</p>	

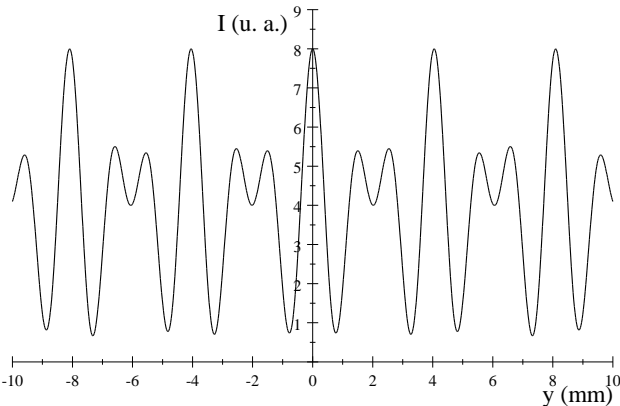
1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



Prima suprapunere (după $K = 0$ ) se realizează la maximele $K_1 = 3$ și $K_2 = 2$ .	0,25 p.	<b>2 p.</b>
Coordonata punctului de pe ecran unde se realizează suprapunerea:		
$y_{(3,2)} = K_1 \lambda_1 \frac{D}{a} = K_2 \lambda_2 \frac{D}{a} \Rightarrow y_{(3,2)} = 4,05 \text{ mm}$	0,25 p.	
Interfranțele pentru cele două radiații:		
$\begin{cases} i_1 = \frac{\lambda_1 D}{a} \\ i_2 = \frac{\lambda_2 D}{a} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i_1 = 1,35 \text{ mm} \\ i_2 = 2,03 \text{ mm} \end{cases}$	0,25 p.	
<b>Teoretic, distribuția pe ecran este următoarea:</b>		
- În centrul ecranului, ambele radiații au maxim de interferență ( $\delta_1 = \delta_2 = 0$ ) – rezultând o zonă intens luminată (de culoare violetă) cu o lărgime ceva mai mică decât interfranța radiației cu $\lambda_2$ ( $\sim 2 \text{ mm}$ ).	0,25 p.	
- Maximele de interferență suprapuse se produc simetric de o parte și de alta a maximului central, la perechi de ordine de interferență (3; 2), (6; 4), (9; 6)...( $3n$ ; $2n$ ), $n$ număr natural și au caracteristici similare maximului central. Distanța dintre centrele a două suprapuneri succesive de maxime este $3i_1 = 2i_2 = y_{(3,2)} = 4,05 \text{ mm}$ .	0,25 p.	
- Între suprapunerile succesive ale maximelor celor două radiații, radiația cu $\lambda_1$ are două maxime, iar radiația cu $\lambda_2$ un maxim. Grupul acestor 3 maxime „intermediare” este plasat simetric între două suprapuneri succesive de maxime și se extinde pe o distanță ceva mai mică decât dublul interfranței radiației cu $\lambda_1$ ( $\sim 2 \text{ mm}$ ).	0,25 p.	
<b>Practic, pe ecran va exista o iluminare aproape uniformă peste tot, cu unele zone mai intens luminate (violet), distanțate la aproximativ 4 mm. Nu există minime absolute deoarece nu există <math>K_1</math> și <math>K_2</math> numere întregi care să satisfacă relația</b>	0,25 p.	
$\frac{2K_1 + 1}{2K_2 + 1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{3}{2}$		
<b>de franje aparținând celor două radiații (nu se produce o „rezolvare” suficientă a acestora).</b>		
<b>Notă:</b>		
Concluziile anterioare se pot observa și reprezentând grafic intensitatea energetică pe ecran în funcție de coordonata $y$ .		
Considerând pentru simplitate $I_{01} = I_{02} = I_0 = 1 \text{ u. a.}$ (unitate arbitrară), funcția:		
$I = 4I_0 [\cos^2(2.33y) + \cos^2(1.55y)]$		
se reprezintă grafic astfel:		

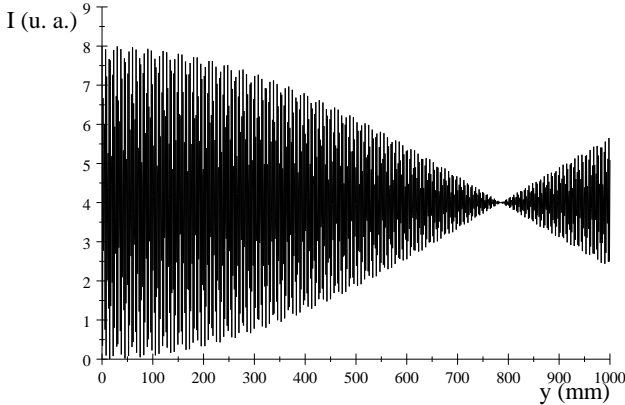
1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



		
<p><b>c)</b> Diferența dintre interfranjele celor două radiații este foarte mică:</p> $\begin{cases} i_1 = \frac{\lambda_1 D}{a} \\ i_2 = \frac{\lambda_2 D}{a} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i_1 = 1,767 \text{ mm} \\ i_2 = 1,769 \text{ mm} \end{cases} \Rightarrow i_2 - i_1 = (\lambda_2 - \lambda_1) \frac{D}{a} = 1,8 \mu\text{m}.$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- În centrul ecranului, ambele radiații dau maxim de interferență (<math>\delta_1 = \delta_2 = 0</math>) – rezultând o zonă intens luminată (de culoare galbenă) cu o lărgime <math>i_1 \cong i_2</math>.</li> <li>- Având în vedere diferența foarte mică dintre interfranje, rezultă că până la distanțe relativ foarte mari de maximul central, maximele și minimele celor două sisteme de franje generate de cele două radiații sunt practic suprapuse și pe ecran se rezolvă foarte bine un sistem aparent unic de franje luminoase (de culoare galbenă) și întunecate (cu o foarte bună aproximație „absolute”), cu o interfranjă <math>i_1 \cong i_2</math>.</li> <li>- Maximele radiației cu lungimea de undă puțin mai mare se decalază treptat față de maximele celeilalte radiații pe măsură ce ne îndepărtăm de maximul central – „câștigând” <math>1,8 \mu\text{m}</math> la fiecare maxim de interferență.</li> <li>- Decalajul dintre cele două sisteme de franje va determina, la o distanță relativ foarte mare de maximul central, ca <b>maximul</b> de ordin <math>K</math> al radiației cu lungimea de undă puțin mai mare să se suprapună peste <b>minimul</b> de <b>același ordin</b> <math>K</math> al celeilalte radiații. Prima suprapunere maxim-minim se realizează la:</li> </ul> $\delta_{2,\max} = \delta_{1,\min} \Rightarrow 2K \frac{\lambda_2}{2} = (2K + 1) \frac{\lambda_1}{2} \Rightarrow K = \left[ \frac{\lambda_1}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] = \left[ \frac{\lambda_1}{2\Delta\lambda} \right] \Rightarrow K = 490$ $y = \frac{D\delta_{2,\max}}{a} \Rightarrow y = \frac{KD\lambda_2}{a} \Rightarrow y = 86,6 \text{ cm (de fiecare parte a max. central)}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- În concluzie, pe o regiune relativ foarte mare de o parte și de alta a maximului central (chiar și jumătatea distanței calculate anterior depășește cu mult lărgimile pe care se fac în mod obișnuit observațiile în practică), figura de interferență va fi clară, cu suficiente maxime și minime nete, bine decalate, rezultate din suprapunerile sistemelor de franje generate de cele două radiații.</li> <li>- În ipoteza că sistemul de franje ar fi vizibil la distanțe foarte mari de maximul central, în zona învecinată punctului de suprapunere maxim-minim calculat mai sus, figura de interferență devine estompată, cu o iluminare relativ uniformă a</li> </ul>	<p>0,25 p.</p> <p>0,25 p.</p> <p>0,50 p.</p> <p>0,25 p.</p> <p>0,25 p.</p> <p>0,50 p.</p>	<p><b>3 p.</b></p>

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



<p>ecranului, fără a fi posibilă decelarea maximelor și minimelor.</p> <p>- La distanțe și mai mari de maximul central, figura de interferență se rezolvă treptat din nou și revine la claritatea din vecinătatea maximului central spre punctul în care radiația cu lungimea de undă puțin mai mare „câștigă” încă o jumătate din interfranța celeilalte radiații – adică la suprapunerea <b>maximului</b> de ordin <math>2K</math> al radiației cu <math>\lambda_2</math> peste <b>maximul</b> de ordin <math>2K + 1</math> al radiației cu <math>\lambda_1</math> – unde <math>K = 490</math>, deci <math>2K = 980</math>.</p> <p><b>Notă:</b></p> <p>(1) Ordinul maxim de interferență – rezultat din condiția necesară ca diferența de drum să fie mai mică decât lungimea de coerență – este 981 pentru intervalul spectral considerat (<math>K_{\max} = [\lambda_1 / \Delta\lambda]</math>) – ceea ce înseamnă că, teoretic, se poate obține maximul de la <math>2K = 980</math> unde se revine practic la starea de la maximul central. Însă dincolo de acest maxim, undele care sosesc de la cele două fante nu mai dau interferență staționară (diferența de drum depășește lungimea de coerență).</p> <p>(2) Concluziile anterioare se pot observa reprezentând grafic intensitatea energetică pe ecran în funcție de coordonata <math>y</math>.</p> <p>Considerând pentru simplitate <math>I_{01} = I_{02} = I_0 = 1</math> u. a. (unitate arbitrară), funcția:</p> $I = 4I_0 [\cos^2(1.778 y) + \cos^2(1.776 y)]$ <p>se reprezintă grafic astfel:</p> 	<p>0,50 p.</p>	
<p><b>d)</b></p> <p>Energia care trece în unitatea de timp prin unitatea de arie printr-o suprafață închisă oarecare în jurul sursei punctiforme (S) se poate exprima pe baza vectorului Poynting (<math>W/m^2</math>):</p> $\begin{cases} \vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \\ \vec{E} = \vec{B} \times \vec{c} \end{cases} \Rightarrow S = \epsilon_0 c E^2 \text{ în care am folosit faptul că } c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ <p>Valoarea medie pe un interval de timp suficient de lung a modulului vectorului Poynting (<math>W/m^2</math>) pe o suprafață închisă sferică de rază <math>R</math> cu centrul în sursa (S) care emite uniform în toate direcțiile cu puterea <math>P</math> (W) se poate exprima astfel:</p>	<p>0,25 p.</p>	<p><b>3 p.</b></p>

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



$\begin{cases} \langle S \rangle = \epsilon_0 c \langle E^2 \rangle \\ \langle S \rangle = \frac{P}{4\pi R^2} \end{cases} \Rightarrow \epsilon_0 c \langle E^2 \rangle = \frac{P}{4\pi R^2}$ <p>Media pătratului câmpului electric din unda electromagnetică ce ajunge la fiecare fantă, considerând că ambele fante sunt pe suprafața sferei de rază <math>R</math> cu centrul în sursa (S):</p> $\langle E^2 \rangle = \frac{P}{4\pi \epsilon_0 R^2 c}$	0,25 p.	
<p>În ipoteza undelor plane în spațiul din spatele fantelor și cu rezultatul obținut anterior, aproximăm pentru estimarea cerută:</p> $\langle E^2 \rangle = \frac{1}{2} E_0^2, \text{ unde } E_0 \text{ este amplitudinea câmpului electric la nivelul fiecărei fante, iar factorul numeric } 1/2 \text{ rezultă din medierea pe un interval de timp suficient de lung a funcției } \sin^2(\omega t + \varphi).$ <p>Amplitudinea câmpului electric din unda electromagnetică la nivelul fiecărei fante este:</p>	0,25 p.	
$E_0 = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{2P}{4\pi \epsilon_0 c}}$ <p>În ipoteza că în spațiul dintre planul fantelor și ecran undele sunt plane, amplitudinea acestora <math>E_0</math> rămâne constantă (spre deosebire de situația din spațiul din fața fantelor, unde amplitudinea undei sferice s-a diminuat proporțional cu <math>1/R</math> de la sursa (S) la fante).</p> <p>Considerăm oscilațiile la cele două fante în fază. Într-un punct <math>M</math> oarecare de pe ecran, suprapunerea undelor coerente de amplitudini egale și diferență de drum <math>\delta</math> sosite de la cele două fante dau un câmp electric cu amplitudinea <math>E_M</math>:</p>	0,25 p.	
$E_M^2 = 4E_0^2 \cos^2 \frac{\pi \delta}{\lambda}$ <p>Intensitatea energetică (<math>\text{W/m}^2</math>) în vecinătatea punctului <math>M</math> considerat se poate estima folosind din nou valoarea medie pe un interval de timp suficient de lung a modulului vectorului Poynting (<math>\text{W/m}^2</math>) și rezultatul obținut pentru amplitudinea câmpului electric la nivelul fantelor:</p> $I = \langle S \rangle = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_M^2 \Rightarrow I = 2\epsilon_0 c E_0^2 \cos^2 \frac{\pi \delta}{\lambda} \Rightarrow I = \frac{P}{\pi R^2} \cos^2 \frac{\pi \delta}{\lambda}$	0,50 p.	
<p>Presupunem punctul <math>M</math> la coordonata <math>y \approx 4,00 \text{ mm}</math>:</p> $\delta = \frac{ya}{D} \Rightarrow \delta = \frac{4}{3} \mu\text{m} \Rightarrow \frac{\delta}{\lambda} \cong 5,93$	0,25 p.	
<p>Rezultă că în apropierea coordonatei considerate este situat maximul de ordin 3 pentru radiația <math>\lambda</math>. Atunci pentru poziția respectivă putem aproxima:</p> $\cos^2 \frac{\pi \delta}{\lambda} \cong 1 \Rightarrow I \cong \frac{P}{\pi R^2} \Rightarrow I \cong 127 \text{ W/m}^2$	0,25 p.	0,50 p.

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.



Soluție alternativă:	SAU	
<p>Calculul energetic se poate realiza și fără utilizarea modului vectorului Poynting, pornind de la densitățile de energie din unda electromagnetică.</p>		
<p>Densitatea de energie a unei electromagnetice (<math>J/m^3</math>) este:</p>		
$w = w_{el} + w_{mg} = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0} = \frac{\epsilon_0 E_0^2}{2} = \frac{B_0^2}{2\mu_0}, \text{ unde } \begin{cases} E = E_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) \\ B = B_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) \end{cases}$		
<p>și <math>E_0 = \frac{B_0}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = c B_0</math>, unde <math>c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}</math></p>		
<p>Prin urmare:</p>		
$w = \frac{\epsilon_0 E_0^2}{2} \sin^2(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) + \frac{B_0^2}{2\mu_0} \sin^2(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) = \epsilon_0 E_0^2 \sin^2(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) = \epsilon_0 E^2$	0,25 p.	
<p>Rezultă pentru densitatea medie a energiei pentru un interval de timp lung:</p>		
$\langle w \rangle = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2, \text{ deoarece } \langle \sin^2(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) \rangle = \frac{1}{2}$	0,25 p.	
<p>Energia medie transportată de unda electromagnetică printr-o suprafață oarecare de arie <math>\Delta A</math>, orientată normal pe direcția de propagare, în intervalul de timp <math>\Delta t</math>, este egală cu densitatea volumică medie de energie, calculată mai sus, înmulțită cu volumul paralelipipedului cu aria bazei <math>\Delta A</math> și înălțimea <math>c\Delta t</math>:</p>		
$\langle \Delta W \rangle = \langle w \rangle \Delta V = \langle w \rangle c \Delta t \Delta A = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \Delta t \Delta A$		
<p>Puterea (fluxul de energie (<math>W</math>)) este:</p>		
$P = \frac{\langle \Delta W \rangle}{\Delta t} = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \Delta A$	0,25 p.	
<p>iar intensitatea (densitatea fluxului de energie (<math>W/m^2</math>)) este:</p>		
$I = \frac{P}{\Delta A} = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_0^2$		
<p>Din această relație reiese că, la nivelul fantelor, amplitudinea intensității câmpului electric al undei este:</p>		
$E_0 = \sqrt{\frac{2P}{4\pi\epsilon_0 c R^2}} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{2P}{4\pi\epsilon_0 c}} \text{ etc.}$	0,25 p.	
<p><b>Notă:</b></p>		
<p>Cu toate că modelul utilizat include aproximații relativ drastice, totuși rezultatul teoretic <math>I \sim P/R^2</math> oferă o bună justificare a necesității de a utiliza o sursă puternică pentru iluminarea fantelor, plasată relativ aproape de acestea, pentru a obține o bună vizibilitate a maximelor de interferență (de exemplu, în experimentele sale, Young a utilizat ca sursă primară de lumină o fantă iluminată intens prin concentrarea luminii provenite de la Soare cu o lentilă convergentă).</p>		
<p>Oficiu</p>		1

*Subiect propus de  
conf. univ. dr. Sebastian POPESCU, Facultatea de Fizică, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași,  
prof. Florina STAN, Colegiul Național de Informatică „Tudor Vianu” – București,  
prof. Gabriel Octavian NEGREA, Colegiul Național „Gheorghe Lazăr” – Sibiu*

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.