IORDACHE MĂDĂLINA GABRIELA 313CA Moja - Subgrupa 3

STUDIUL INTERFERENȚEI LUMINII CU DISPOZITIVUL LUI YOUNG

1. Scopul lucrării

Studiul interferenței luminii, determinarea lungimii de undă a unei radiații luminoase cvasimonocromatice.

2. Teoria lucrării

Fenomenul de interferență constă în suprapunerea a două sau mai multe unde coerente. În optică, acesta se materializează prin apariția unui sistem de franje luminoase și întunecate.

Să considerăm două unde electromagnetice, monocromatice, plane, caracterizate prin aceeași frecvență unghiulară ω și același vector de undă $K=\frac{2\pi}{\lambda}$. Intensitățile câmpului electric al celor două unde variază în timp și spațiu conform relațiilor:

$$E_1 = E_{01} e^{i\varphi_1} = E_{01} e^{i(Kr_1 - \omega t + \varphi_{01})}, \quad E_2 = E_{02} e^{i\varphi_2} = E_{02} e^{i(Kr_2 - \omega t + \varphi_{02})}$$

E_{01}, E_{02} - amplitudinile constante

φ_1, φ_2 - fazele undelor

Dacă diferența de fază $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ rămâne constantă în timp se spune că undele sunt coerente. Ca rezultat al suprapunerii celor două unde se obține o undă rezultantă caracterizată prin intensitatea câmpului electric

$$E^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02}\cos[K(r_1-r_2)+(\varphi_{01}-\varphi_{02})] = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02}\cos(K\Delta r + \Delta\varphi)$$

Din teoria electromagnetismului se știe că intensitatea I a unei unde, măsurată eventual în W/m^2 este proporțională cu pătratul amplitudinii intensității câmpului electric. Rezultă că intensitatea undei rezultante va fi:

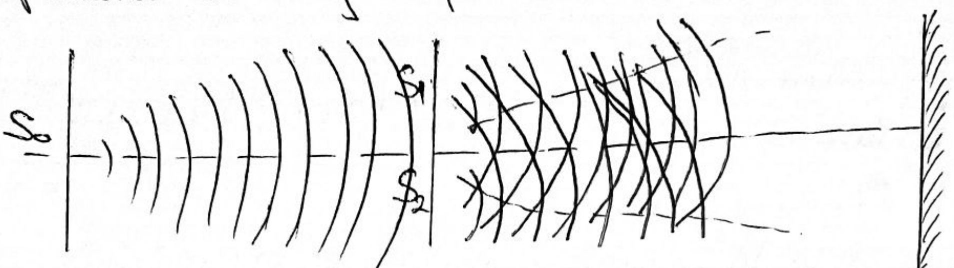
$$I \approx E^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02}\cos(K\Delta r + \Delta\varphi)$$

Termenul $2E_{01}E_{02}\cos(K\Delta r + \Delta\varphi)$ se numește termen de interferență. Existența sa face ca intensitatea observată să ia valori cuprinse între o valoare minimă $I_{min} \approx (E_{01}-E_{02})^2$ și o valoare maximă $I_{max} \approx (E_{01}+E_{02})^2$.

În practică, pentru ca diferența de fază $K\Delta r + \Delta\varphi_0$ să rămână constantă în timp, este necesar ca iluminarea surselor S_1 și S_2 să provină de la o sursă unică S_0. În caz contrar, într-un interval de timp egal cu durata de observare, sunt emise foarte multe trenuri de unde de către sursele S_1 și S_2, astfel încât diferența de fază ia toate valorile posibile, anulând, în medie, termenul de interferență.

IORDACHE MĂDĂLINA GABRIELA 313CA

Una dintre cele mai vechi demonstrații ale faptului că lumina poate produce efecte de interferență a fost făcută în 1800 de către savantul englez Thomas Young. Dispozitivul lui Young este prezentat mai jos.



Lumina monocromatică, provenind de la fanta îngustă S_0 este împărțită în două cu ajutorul unui ecran în care sunt practicate două fante dreptunghiulare, înguste, foarte apropiate, S_1 și S_2. Conform principiului lui Huygens, de la fanta S_0 pornesc unde cilindrice, care ajung la fantele S_1 și S_2 în același timp. Apoi, de la fiecare fantă, va porni câte un tren de unde Huygens; de fantele se comportă ca surse coerente.

Fie d distanța dintre fante și P un punct pe ecranul de observare, într-o direcție care formează un unghi θ cu axa sistemului. Cercul cu centrul în P, având raza PS_2 intersectează PS_1 în B. Dacă distanța R de la fante la ecran este mare în comparație cu distanța de dintre fante, arcul S_2B poate fi considerat o dreaptă ce formează unghiuri drepte cu PS_2, PA și PS_1. Atunci triunghiul BS_1S_2 este un triunghi dreptunghic asemenea cu POA, iar distanța S_1B este egală cu $d\sin\theta$. Această distanță este diferența de drum dintre undele de la cele două fante, care ajung în P. care se propagă din S_1 și S_2 pornesc în concordanță de fază, dar pot să nu mai fie în fază în P, datorită diferenței de drum. În punctul P se va obține un maxim dacă diferența de drum a celor două unde este egală cu un număr întreg de lungimi de undă, $m\lambda$

$d\sin\theta = m\lambda$, unde $m = 0, 1, 2, 3$.

Franja centrală luminoasă din punctul O corespunde unei diferențe de drum nule adică $\sin\theta = 0$. Distanța y_m dintre franja de ordinul zero și punctul P aflat în centrul celei de-a m-a franje este $y_m = R\,tg\,\theta_m$ deoarece pentru toate valorile lui m unghiul θ este foarte mic, $tg\,\theta_m \approx \sin\theta_m$ și rezultă $y_m = R\sin\theta_m = R\dfrac{m\lambda}{d}$.

Știind că interfranja este distanța dintre două maxime (sau minime) consecutive rezultă că $i = y_{m+1} - y_m = \dfrac{\lambda R}{d}$

3. Dispozitivul experimental

Dispozitivul experimental cuprinde un bec electric O alimentat direct de la rețea și următoarele subansamble – fixate pe suporți, care pot culisa pe bancul optic B.O.:

- fanta F_0 dreptunghiulară, cu deschidere reglabilă (joacă rolul sursei S_0)
- fantele F_1 și F_2 dreptunghiulare, verticale și paralele cu deschidere fixă, realizate sub forma a două trăsături transparente pe o placă de sticlă înnegrită.
- subansamblul pentru măsurarea interfranjei, alcătuit dintr-un filtru optic F, o lupă L de observare a sistemului de franje, un șurub micrometric M de care este atașat solidar tamburul gradat T și un fir reticular.

4. Modul de lucru

Se iluminează fanta F care este relativ deschisă (1-2 mm). Se reglează pozițiile fantelor F_1 și F_2 și poziția lupei, aducându-se în linie dreaptă cu fanta F, la aceeași înălțime, utilizând eventual, o foaie de hârtie drept ecran. Privind prin lupă, se micșorează deschiderea fantei F, astfel încât franjele de interferență să fie clare. Se măsoară distanța R.

Se potrivește firul reticular pe centrul unei franje și se notează poziția x_1 a indicatorului riglei și poziția y_1 a indicatorului tamburului. Se rotește tamburul trecând cu firul reticular peste un număr N de franje (5-8) după care se notează N și noile poziții ale indicatoarelor x_2 și y_2.

Pentru a evita pasul mort al șurubului, se recomandă ca aducerea firului reticular la poziția inițială să se facă în același sens în care urmează să se facă ulterior parcurgerea franjelor.

IORDACHE MĂDĂLINA GABRIELA 313CA

5. Prelucrarea datelor experimentale

Nr. crt	R (cm)	x_1 (mm)	x_2 (mm)	N	i (mm)	$\bar{i}$ (mm)	$\sigma_{\bar{i}}$ (µm)	$\bar{\lambda}$ (nm)	$\sigma_{\bar{\lambda}}$ (nm)
1	36,7	31,14	33,39	5	0,45	0,451	1,162	614,44	61,44
2		32,49	34,73		0,448				
3		34,27	36,54		0,454				
4		35,18	37,46		0,456				
5		36,08	38,34		0,452				
6		37,00	39,22		0,444				
7		37,89	40,14		0,45				
8		38,76	41,04		0,456				
9		39,67	41,93		0,452				
10		41,49	43,74		0,45				

$$i = \frac{x_2 - x_1}{N}$$

$$\bar{i} = \frac{\sum i}{10} = \frac{0,45+0,448+0,454+0,456+0,452+0,444+0,45+0,456+0,452+0,45}{10} = \frac{4,512}{10}$$

$$\Rightarrow \bar{i} = 0,4512 \simeq 0,451 \text{ mm}$$

$$\bar{i} = \frac{\lambda R}{d} \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\bar{i}\cdot d}{R} = \frac{0,451\cdot 10^{-3}\cdot 0,5\cdot 10^{-3}}{36,7\cdot 10^{-2}} = \frac{0,2255\cdot 10^{-6}\cdot 10^{2}}{36,7} = \frac{0,2255\cdot 10^{-4}}{36,7}$$

$$= \frac{22550\cdot 10^{-9}}{36,7} = 614,44\cdot 10^{-9} \text{ m} = 614,44 \text{ nm}$$

$$\sigma_{\bar{i}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{m}(i_k-\bar{i})^2}{m(m-1)}} = \sqrt{\frac{10^{-6}(1^2+3^2+3^2+5^2+1^2+7^2+1^2+5^2+1^2+1^2)}{10\cdot 9}} = \sqrt{\frac{10^{-6}\cdot 122}{10\cdot 9}}$$

$$= 10^{-3}\sqrt{\frac{122}{90}} = 10^{-3}\sqrt{1,3555} = 10^{-3}\cdot 1,164259 \text{ m} =$$

$$= 0,00116242 \text{ mm} = 1,162\cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,162 \text{ µm}$$

IORDACHE MĂDĂLINA GABRIELA 313CA

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{i}\,d}{R}$$

$$\frac{\partial \bar{\lambda}}{\partial i} = \frac{d}{R} \Rightarrow \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \bar{i}}\right)^2 = \left(\frac{d}{R}\right)^2$$

$$\sigma_{\bar{i}} = 1{,}162\,\mu m$$

$$\sigma_{\bar{R}} = \sigma_R = \frac{1\,mm}{2} = 0{,}5\ mm = 5\cdot 10^{-4}\,m$$

$$\sigma_{\bar{d}} = \sigma_d = \frac{0{,}1\,mm}{2} = 5\cdot 10^{-5}\,m$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial d} = \frac{\bar{i}}{R} \Rightarrow \left(\frac{\partial \lambda}{\partial d}\right)^2 = \left(\frac{\bar{i}}{R}\right)^2$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial R} = -\frac{\bar{i}d}{R^2} \Rightarrow \left(\frac{\partial \lambda}{\partial R}\right)^2 = \left(\frac{\bar{i}d}{R^2}\right)^2$$

$$\sigma_\lambda^2 = \left(\frac{d}{R}\right)^2 \sigma_i^2 + \left(\frac{\bar{i}}{R}\right)^2 \sigma_d^2 + \left(\frac{\bar{i}d}{R^2}\right)^2 \sigma_R^2$$

$$\sigma_\lambda^2 = \left(\frac{5\cdot 10^{-4}}{36{,}7\cdot 10^{-2}}\right)^2 \cdot (1{,}162\cdot 10^{-6})^2 + \left(\frac{0{,}451\cdot 10^{-3}}{36{,}7\cdot 10^{-2}}\right)^2 \cdot (5\cdot 10^{-5})^2 + \left(-\frac{0{,}451\cdot 10^{-6}\cdot 5\cdot 10^{-4}}{36{,}7^2\cdot 10^{-4}}\right)^2 \cdot (5\cdot 10^{-4})^2 =$$

$$= \frac{1}{36{,}7^2\cdot 10^{-4}}\left(25\cdot 10^{-8}\cdot 1{,}35\cdot 10^{-12} + 0{,}203\cdot 10^{-6}\cdot 25\cdot 10^{-10} + \frac{0{,}203\cdot 25\cdot 10^{-20}}{36{,}7^2\cdot 10^{-4}}\cdot 25\cdot 10^{-8}\right) =$$

$$= \frac{25\cdot 10^{-16}}{36{,}7^2\cdot 10^{-4}}\left(1{,}35\cdot 10^{-4} + 0{,}203 + \frac{0{,}203\cdot 25\cdot 10^{-12}}{36{,}7^2\cdot 10^{-4}}\right) =$$

$$= \frac{25\cdot 10^{-12}}{36{,}7^2}\left(1{,}35\cdot 10^{-4} + 0{,}203 + 0{,}00376\cdot 10^{-8}\right) =$$

$$= \frac{25\cdot 10^{-12}}{36{,}7^2}\left(0{,}00135 + 0{,}203 + 0{,}00376\cdot 10^{-8}\right) =$$

$$= \frac{25\cdot 10^{-12}}{36{,}7^2}\cdot 0{,}204$$

$$\Rightarrow \sigma_\lambda = \sqrt{\frac{25\cdot 10^{-12}}{36{,}7^2}\cdot 0{,}204} = \frac{5\cdot 10^{-6}}{36{,}7}\cdot 0{,}451 = 0{,}06144\cdot 10^{-6} = 61{,}44\cdot 10^{-9}\,m$$

$$\Rightarrow \sigma_\lambda = 61{,}44\ nm$$