

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI
DEPARTAMENTUL DE FIZICĂ**

**LABORATORUL DE OPTICĂ
BN 122 A**

**DETERMINAREA LUNGIMII DE UNDĂ
A LUMINII MONOCROMATICE
CU AJUTORUL DISPOZITIVULUI YOUNG**

DETERMINAREA LUNGIMII DE UNDĂ A LUMINII MONOCROMATICE CU AJUTORUL DISPOZITIVULUI YOUNG

1. Scopul lucrării

1.1. Obținerea unor unde luminoase coerente.

1.2. Punerea în evidență a fenomenului de interferență a undelor luminoase.

1.3. Determinarea experimentală a lungimii de undă a unei radiații luminoase monocromatice.

2. Teoria lucrării

2.1. Interferența

Fenomenul de interferență constă în suprapunerea a două sau mai multe unde coerente. În optică fenomenul este materializat prin apariția de franje luminoase ce alternează cu franje întunecoase.

Două unde monocromatice plane cu frecvența unghiulară ω , cu vectorul de undă k , cu amplitudinile a_1 și a_2 și cu fazele inițiale φ_1 și φ_2

$$\begin{aligned}\psi_1 &= a_1 e^{i(\omega t - kr_1 + \varphi_1)} \\ \psi_2 &= a_2 e^{i(\omega t - kr_2 + \varphi_2)}\end{aligned}\tag{1}$$

sunt coerente dacă diferența de fază

$$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = k(r_1 - r_2) + \varphi_2 - \varphi_1 = -k\Delta r + \Delta\varphi\tag{2}$$

se menține constantă în timp.

Într-un punct P funcția de undă rezultantă prin suprapunerea undelor descrise de (1) este

$$\psi(P) = \psi_1(P) + \psi_2(P)\tag{3}$$

Intensitatea undei rezultante are forma

$$I(P) = \psi^*(P)\psi(P) = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\Delta\alpha)\tag{4}$$

Termenul $2a_1a_2\cos(\Delta\alpha)$ se numește termen de interferență.

Trasând graficul $I = f(\Delta\alpha)$ se constată că intensitatea variază între valoarea maximă $I_{max} = (a_1 + a_2)^2$ și valoarea minimă $I_{min} = (a_1 - a_2)^2$ corespunzătoare franjelor de maxim, respectiv de minim. Ca măsură a contrastului franjelor se introduce o mărime numită vizibilitate

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}\tag{5}$$

2.2. Coerența temporală

Conceptul de coerență este legat de posibilitatea de a obține efecte de interferență. Dacă radiația emisă la un moment dat de o sursă de lumină poate interfera cu radiația emisă la un moment ulterior, atunci cele două radiații sunt coerente în timp. Intervalul

maxim de timp pentru care mai are loc interferența se numește timp de coerență. Interferența ca rezultat al timpului de coerență se poate ilustra cu ajutorul interferometrului Michelson (Fig. 1). Acesta, prin intermediul unei oglinzi semitransparente, separă o rază de lumină în două. După ce străbat drumuri individuale de lungimi diferite, cele două unde interferă.

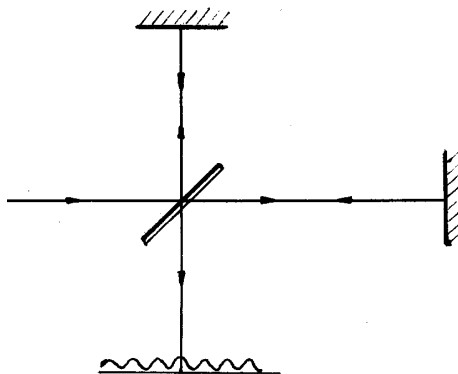


Fig. 1

Vizibilitatea franjelor de interferență scade cu creșterea diferenței de drum. Diferența maximă de drum pentru care franjele mai sunt încă vizibile se numește lungime de coerență l la care corespunde timpul de coerență Δt conform cu relația

$$l = c\Delta t \quad (6)$$

Pentru o radiație cu lărgimea de bandă $\Delta\nu$, relația de incertitudine dintre timp și frecvență conduce la

$$\Delta\nu\Delta t = 1 \quad (7)$$

care arată că monocromaticitate mare ($\Delta\nu$ mic) înseamnă timp de coerență mare.

Sursele de lumină obișnuite au coerență temporală mică, adică timp și lungime de coerență mici.

2.3. Coerența spațială

Dacă două raze care provin din puncte diferite ale unei surse interferă, atunci sursa are coerență spațială. Întinderea spațială a coerenței corespunde la distanța maximă între două puncte ale sursei pentru care se mai obține interferență. Pentru a măsura coerența spațială se folosește un dispozitiv Young ce constă dintr-un paravan cu două fante, care se pune în dreptul sursei, și un ecran pe care se proiectează franjele de interferență. Mărind distanța dintre fante până la o valoare maximă pentru care mai sunt vizibile franjele de interferență, se determină întinderea de coerență spațială (suprafața pe care faza unei nu se modifică).

Sursele de lumină obișnuite au coerență spațială slabă, lucru dovedit de faptul că la o experiență de tip Young distanța dintre fante este limitată la o valoare mică.

2.4. Dispozitivul Young

Pentru a obține două unde luminoase coerente, adică cu diferența de fază $\Delta\alpha$ constantă în timp, este necesar ca cele două unde să provină dintr-o undă unică prin intermediul unui anume dispozitiv. În caz contrar, când undele provin de la surse diferite,

nu se obține interferență staționară deoarece, în timpul de observare, cele două surse emit independent un număr foarte mare de trenuri de undă, astfel încât diferența de fază $\Delta\alpha$ ia toate valorile posibile anulând în medie termenul de interferență. Unul din dispozitivele cu care se obțin unde coerente este dispozitivul Young.

Schema de principiu a dispozitivului Young este reprezentată în figura 2.

S este o sursă de lumină care iluminează un ecran cu două deschideri înguste (fante) pe rol de surse secundare coerente S_1 și S_2 . Coerența celor două surse secundare se menține atâta timp cât distanța dintre fante d nu este prea mare (depinde de coerența spațială a sursei S). Pe ecranul E se obțin franje de interferență sub formă de benzi luminoase ce alternează cu benzi întunecoase. Deoarece sursele secundare S_1 și S_2 provin din același front de undă (care vine de la S), fazele inițiale sunt egale $\varphi_1 = \varphi_2$ și termenul de interferență $2a_1a_2\cos(k\Delta r)$ este determinat, în fiecare punct P al planului E , de diferența de drum Δr .

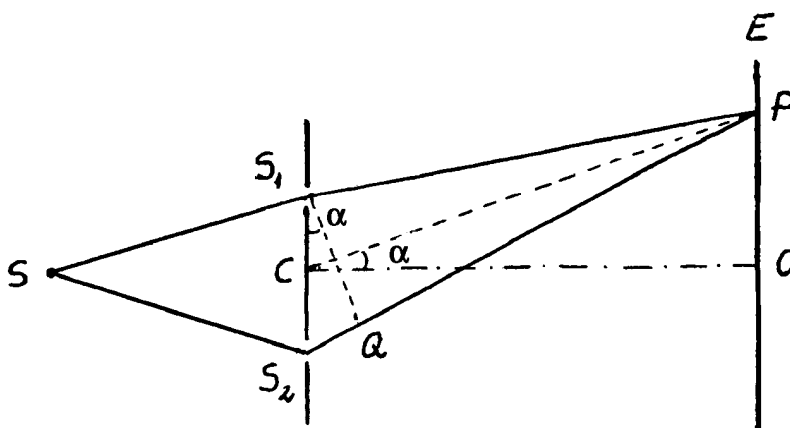


Fig. 2

Coerența temporală este asigurată deoarece diferența de drum, corespunzătoare franjelor de interferență, este mai mică decât lungimea de coerență chiar pentru surse cu lărgime de bandă mare.

Distanța i dintre centrele a două franje luminoase sau întunecoase consecutive se numește interfranță.

Franjele se numerează începând cu franja de ordinul 0 situată în centrul O al ecranului. Considerăm că în punctul P este realizată franja luminoasă (de maxim de interferență) de ordinul n . Se pune condiția de maxim, prin care diferența de drum optic să fie un număr întreg de lungimi de undă.

$$\Delta r = n\lambda \quad (8)$$

Pentru ordine nu prea mari unghiurile S_2S_1Q și PCO sunt mici și se pot considera aproximativ egale ($S_2S_1Q \approx PCO = \alpha$), iar unghiul $S_1QS_2 \approx 90^\circ$. Din triunghiurile S_1QS_2 și POC rezultă

$$\sin \alpha = \frac{S_2Q}{S_1S_2} = \frac{\Delta r}{d} = \frac{n\lambda}{d} \quad (9)$$

$$\sin \alpha \approx \text{tg} \alpha = \frac{OP}{OC} = \frac{x_n}{l} \quad (10)$$

unde x_n este poziția franjei de ordin n , iar l distanța de la dispozitivul cu fante până la ecran. Din (9) și (10) obținem pentru poziția franjei de maxim de ordin n

$$x_n = n \frac{\lambda l}{d} \quad (11)$$

În mod analog, pentru poziția franjei de maxim de ordin $n + 1$, avem

$$x_{n+1} = (n + 1) \frac{\lambda l}{d} \quad (12)$$

Scăzând (11) din (12) rezultă pentru interfranță

$$i = x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda l}{d} \quad (13)$$

Dacă se măsoară experimental interfranța atunci se poate calcula lungimea de undă din

$$\lambda = \frac{di}{l} \quad (14)$$

3. Descrierea instalației experimentale

Dispozitivul experimental (Fig. 3) cuprinde un bec electric C și următoarele subsansamble prinse de suporturi care pot culisa pe un banc optic BO :

- fanta F verticală și reglabilă în rolul sursei S ;
- fantele F_1 și F_2 verticale și paralele (în rolul surselor S_1 și S_2), realizate sub forma a două trăsături pe o placă de sticlă înnegrită, având notată alăturat distanța d ;
- subsansamblul pentru măsurarea interfranjei alcătuit dintr-o lupă L , un șurub micrometric M (la care sunt atașate o rigletă R și un tambur gradat T) și un fir reticular vertical.

Becul emite lumină albă. La diferitele componente monocromatice ale luminii corespund diferite sisteme de franje ce nu coincid între ele. Pentru a selecta o singură radiație monocromatică cu care se obține un singur sistem de franje, pe care se pot face măsurători, lupa a fost prevăzută cu un filtru optic constând într-o sticlă colorată.

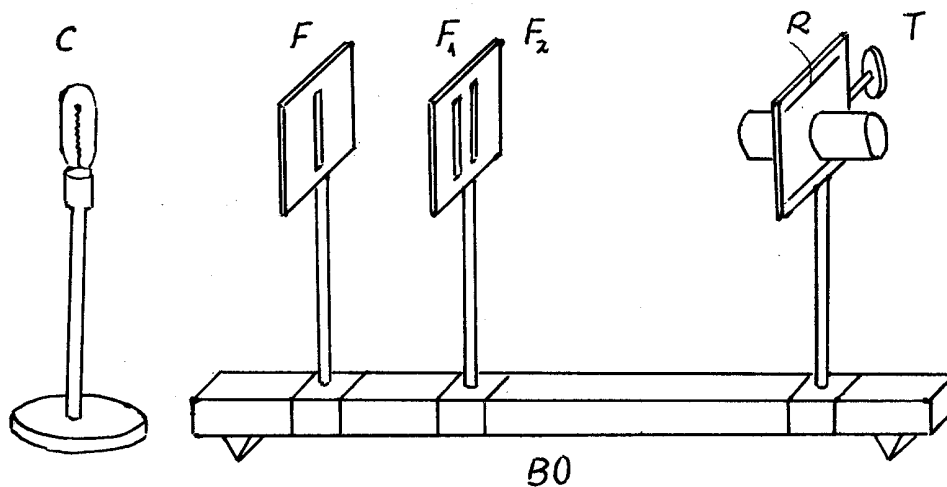


Fig. 3

4. Modul de lucru

Se iluminează fanta F care este relativ deschisă (lățimea sa fiind ~ 1 mm).

Se reglează pozițiile fantelor F_1 și F_2 și a lupei astfel încât să fie pe aceeași direcție și la aceeași înălțime cu fanta F . În acest scop se poate folosi eventual o foaie albă drept ecran.

Privind prin lupă se micșorează deschiderea fantei F , astfel încât franjele de interferență să fie clare.

Se măsoară distanța l .

În una din extremitățile tabloului de franje, prin rotirea tamburului T , se potrivește firul reticular pe centrul unei franje luminoase și se notează poziția a_1 a indicatorului rigletei R și poziția b_1 a indicatorului tamburului T . Se rotește tamburul trecând firul reticular peste un număr N de franje cât mai mare posibil (> 5) după care se notează N și noile poziții a_2 și b_2 ale indicatoarelor. Pentru evitarea pasului mort al șurubului micrometric se recomandă ca aducerea firului reticular la poziția inițială să se facă în același sens în care urmează a se face ulterior parcurgerea franjelor.

Lăsând neschimbat l se repetă de 10 ori determinarea de mai sus notând de fiecare dată a_1 , b_1 , a_2 , b_2 și N . Se deplasează lupa în alte poziții și se fac pentru fiecare din acestea mai multe determinări. Datele se trec într-un tabel de forma:

Nr. crt.	l (mm)	a_1 (div)	b_1 (div)	a_2 (div)	b_2 (div)	x_1 (mm)	x_2 (mm)	N	I (mm)	i (mm)	λ (nm)

5. Indicații pentru prelucrarea datelor experimentale

5.1. Determinarea interfranței

O diviziune de pe rigleta R are 0,5 mm. Deoarece pasul șurubului micrometric este de 0,5 mm, iar pe tamburul T sunt 50 diviziuni rezultă că o diviziune a tamburului are 0,01 mm. Cunoscând pozițiile a și b ale indicatorilor de pe rigletă și tambur, se determină poziția x a franjei cu formula

$$x = (0,5 \cdot a + 0,01 \cdot b) \text{ mm} \quad (15)$$

I este distanța corespunzătoare la N franje și se calculează cu

$$I = x_2 - x_1 \quad (16)$$

Pentru calculul interfranței se folosește formula

$$i = \frac{I}{N} \quad (17)$$

5.2. Calculul lungimii de undă

Se utilizează relația (14). Se calculează lungimea de undă pentru toate determinările și valorile obținute se trec în tabel.

5.3. Calculul erorilor

Pentru cele 10 determinări cu l fixat, se consideră valorile lungimii de undă și se calculează eroarea pătratică medie (eroarea standard) cu formula

$$\sigma_{\bar{\lambda}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n(n-1)}} \quad (18)$$

unde $n = 10$ determinări. Rezultatul determinării lungimii de undă se va da sub forma intervalului de încredere

$$\lambda = (\bar{\lambda} \pm \sigma_{\bar{\lambda}}) \text{ nm} \quad (19)$$

6. Întrebări

- 6.1. Explicați de ce micșorarea fantei F duce la îmbunătățirea contrastului franjelor?
- 6.2. De ce este nevoie de filtru? Nu se pot face măsurători în lumină albă?
- 6.3. Explicați de ce este justificată repetarea măsurătorilor?
- 6.4. De ce, la calculul erorilor, nu se ia în considerație eroarea aparatului de măsură (șurubul micrometric)? Incercați să determinați eroarea lungimii de undă provenită din eroarea introdusă de aparatul de măsură.