

INTERFEROMETRUL MICHELSON

1. Scopul lucrării

- Reglarea montajului optic corespunzător interferometrului Michelson;
- Observarea figurii de interferență pe un ecran, constituită din franje luminoase și întunecoase în formă de cercuri concentrice;
- Determinarea lungimii de undă a luminii monocromatice emise de un laser He-Ne.

2. Introducere

Interferometrul Michelson (inventat de Albert Abraham Michelson - premiul Nobel pentru Fizica, 1907) este un dispozitiv optic a cărui funcționare se bazează pe divizarea fascicului de lumină incident în două fascicule secundare. A fost folosit în anul 1893 pentru definirea metrelui standard ca număr de lungimi de undă ale liniei spectrale roșii din spectrul optic al cadmiului. Este de asemenea cunoscut datorită experimentului Michelson-Morley – experiment ce a demonstrat inexistența presupusului „eter” ca mediu de propagare a undelor electromagnetice. În zilele noastre, versiuni moderne ale interferometrului Michelson sunt folosite pentru măsurători mecanice de precizie, în tehnica de spectroscopie cu transformată Fourier, sau în detectarea undelor gravitaționale (LIGO - Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory).

3. Teoria lucrării

Dacă două unde cu aceeași frecvență unghiulară (sau *pulsație*) ω , dar de amplitudini (a_1 și a_2) și faze (α_1 și α_2) diferite se suprapun într-un anumit punct astfel încât unda rezultantă se scrie:

$$y = a_1 \sin(\omega t - \alpha_1) + a_2 \sin(\omega t - \alpha_2), \quad (1)$$

(cu t - timpul), atunci unda rezultantă mai poate fi scrisă sub forma:

$$y = A \sin(\omega t - \delta), \quad (2)$$

unde amplitudinea A este:

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\delta), \quad (3)$$

cu diferența de fază:

$$\delta = \alpha_1 - \alpha_2. \quad (4)$$

Într-un interferometru Michelson, raza de lumină emisă de o sursă este împărțită în două fascicule de lumină cu ajutorul unui divizor de fascicul (oglindă semi-transparentă); fiecare

fascicul dintre cele două este reflectat de câte o oglindă, trece din nou prin divizorul de fascicul, apoi fasciculele se suprapun la pe un ecran (vezi Fig. 1).

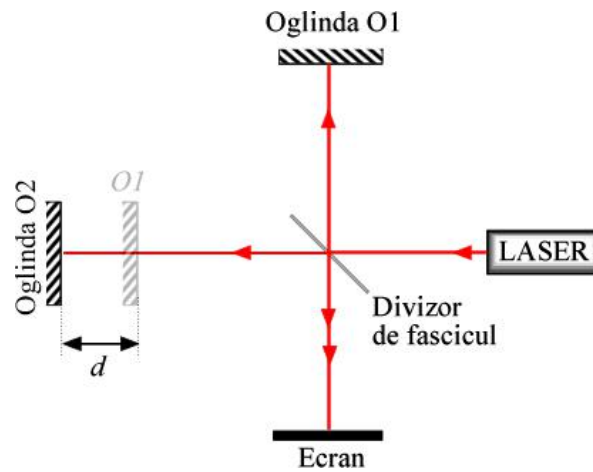


Fig. 1. Schema simplificată a interferometrului Michelson.

În centrul figurii de interferență (când instrumentul este reglat corespunzător, astfel încât figura de interferență apare sub forma unor inele succesiv luminoase și întunecoase concentrice) diferența de fază dintre cele două unde (reflectate de cele două oglinzi) este legată de diferența de drum optic prin relația:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2d , \quad (5)$$

unde λ este lungimea de undă a fasciculului laser utilizat în experiment.

Distribuția de intensitate (pentru $a_1 = a_2 = a$) va fi:

$$I \sim A^2 = 4a^2 \cdot \cos^2 \left(\frac{\delta}{2} \right) \quad (6)$$

Valoarea maximă a acestei expresii se obține pentru cazul în care δ este multiplu de 2π , ceea ce înseamnă:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2d = N \cdot 2\pi , \text{ unde } N = 1, 2, 3, \dots, \quad (7)$$

iar $2d$ este diferența de drum geometric dintre cele două fascicule. Dacă oglinda O1 (vezi Fig. 1) este poziționată pe aceeași axa cu oglinda O2, păstrându-se însă distanța inițială până la divizorul de fascicul D, se observă o diferență egală cu d între cele două oglinzi. Această distanță este însă parcursă de lumină de două ori (dus-întors) – de unde înmulțirea cu 2. Totodată, trebuie amintit faptul că în relația (7) am considerat valoarea indicelui de refracție al aerului egal cu unitatea, fapt pentru care el nu apare explicit. Așadar,

$$2d = N \cdot \lambda \quad (8)$$

4. Descrierea instalației experimentale

Montajul experimental este ilustrat în Fig. 2.

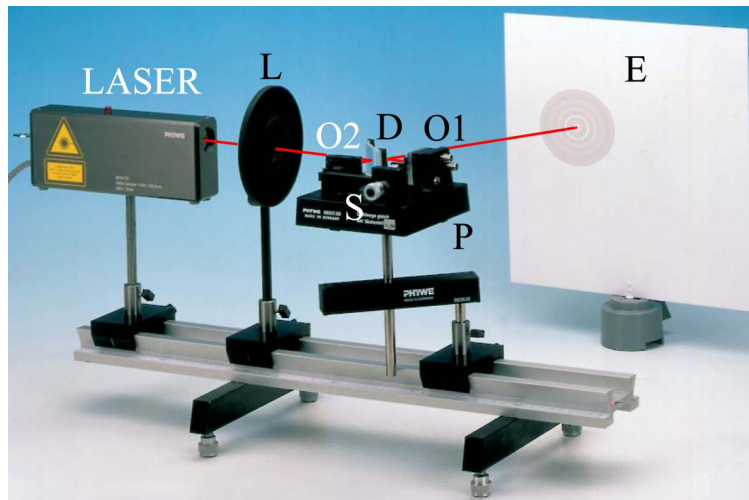


Fig. 2. Montajul experimental.

Oglinzile plane O1 și O2, precum și divizorul de fascicul D sunt fixate pe aceeași platformă P. Poziția oglinzii O1 poate fi ajustată cu ajutorul a două șuruburi folosite pentru a suprapune pe ecran cele două fascicule. Oglinda O2 poate fi deplasată în planul orizontal de-a lungul axei optice a sursei laser. Această deplasare se efectuează cu ajutorul șurubului micrometric S.

O lentilă (L) este plasată între dispozitivul de emisie laser și divizorul de fascicul, având rolul de a lărgi spotul laser pentru a putea observa cu ușurință figura de interferență de pe ecran (E).

Sursa laser, lentila L și platforma P sunt fixate pe același banc optic. Ecranul E poate fi deplasat și poziționat la o distanță convenabilă pe masa de lucru.

Instalația experimentală conține și o cameră video *Moticam* 1SP de 1.3 Mp cu senzor de tip CMOS ce va fi folosită pentru vizualizarea centrului sistemului de franje de interferență.

5. Modul de lucru

5.1. Reglaj optic

În prezența cadrului didactic îndrumător, se conectează sursa laser la rețeaua electrică și se pornește emisia laser prin rotirea cheiței.

**ATENȚIE! NU PRIVIȚI FASCICULUL LASER PE DIRECȚIA ACESTUIA!
EVITAȚI REFLEXIILE ACCIDENTALE!**

ATENȚIE! Elementele optice ale dispozitivului de interferență sunt sensibile, astfel încât se interzice atingerea directă a lentilei, a divizorului de fascicul și a oglinzilor!

Se verifică poziționarea lentilei L astfel încât fasciculul laser să treacă prin centrul acesteia. Lentila se fixează apoi la o distanță de aproximativ 20 mm de ieșirea laserului. Se îndepărtează capacul de protecție a dispozitivului interferometric care protejează platforma P. Platforma P poate fi poziționată la o înălțime convenabilă și orientarea ei poate fi reglată în planul orizontal. În prezența cadrului didactic îndrumător se reglează poziția platformei P astfel încât fasciculul laser care iese din lentila L să ajungă în centrul divizorului de fascicul D, după care platforma se rotește pentru a direcționa cele două fascicule (reflectate de oglinzile O1 și O2) pe suprafața ecranului E. Cu ajutorul celor două șuruburi fine din spatele oglinzii O1 se reglează poziția oglinzii O1 astfel încât spotul razei laser care se reflectă de pe O1 să se suprapună cu spotul razei laser reflectate de oglinda O2 (se observă mișcarea spotului laser pe ecran). Pentru început, cele două spoturi de lumină nu se suprapun (Fig 3a). Se deplasează (cu ajutorul celor două șuruburi ale oglinzii O1) spotul razei reflectate de O1 până se suprapune peste spotul razei reflectate de O2. Chiar dacă aparent cele două raze de lumină se suprapun, este foarte posibil ca franjele de interferență să nu fie încă vizibile (Fig. 3.b). De aceea, la acest pas sunt necesare ajustări fine pentru obținerea figurii de interferență până când apar primele franje de interferență (Fig. 3c). Se continuă ajustările fine efectuate din șuruburile oglinzii O1 până când începe să se vadă centrul cercurilor concentrice (reprezentând franjele luminoase de interferență – Fig.3d), care va fi poziționat în centrul figurii de interferență (Fig. 3e).

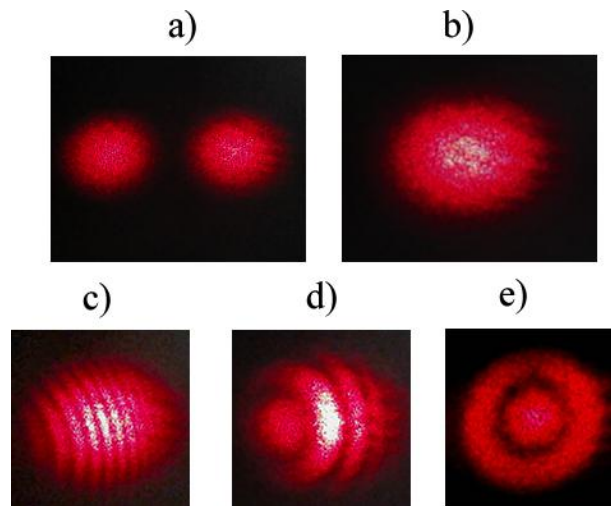


Fig. 3. Figuri observate pe ecran în timpul reglajului optic; a) când montajul optic este nealiniat, pe ecran se văd două spoturi laser care corespund reflexiilor de pe cele două oglinzi O1 și O2; b) în urma reglajului poziției oglinzii O1, cele două spoturi ajung să se suprapună; c) în urma reglajelor foarte fine, încep să apară franjele de interferență; d) ajustările fine conduc la apariția centrului cercurilor concentrice (reprezentând franjele luminoase de interferență); e) punctul din centru este poziționat în centrul figurii de interferență.

Odată obținută figura de interferență, se rotește fin șurubul micrometric care deplasează oglinda O2 și se observă schimbarea figurii prin modificările succesive „luminos”-„întunecos” ale cercurilor concentrice (Fig. 4).

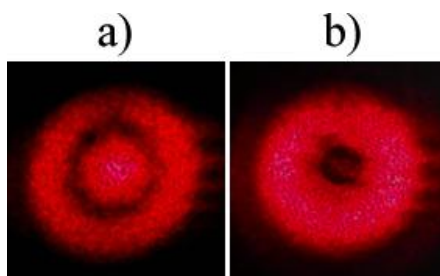


Fig. 4. În funcție de poziționarea oglinzii O2 (care poate fi deplasată antrenând șurubul micrometric S), centrul figurii de interferență poate fi a) luminos; b) întunecos.

5.2. Camera video Moticam 1SP

În prezența cadrului didactic se îndepărtează ecranul E și se montează în locul lui camera video Moticam 1SP. Se verifică conexiunea camerei la unitatea PC și se pornește PC-ul. De pe desktop se pornește programul *Motic Images Plus 2.0*. Din meniul programului se apasă butonul „Capture” și cu ajutorul mouse-ului se dezactivează opțiunea de auto-ajustare a timpului de expunere, după care se reglează timpul de expunere (Exposure) la minim.

Se îndepărtează capacul de protecție al camerei video și în continuare se reglează poziția camerei astfel încât să se poată observa pe ecranul monitorului centrul figurii de interferență (care poate fi luminos sau întunecos).

Atenție! Este interzisă atingerea senzorului CMOS al camerei video! După efectuarea măsurătorilor este obligatorie montarea (cu grijă) a capacului de protecție!

5.3. Procedura de lucru

Pentru determinarea lungimii de undă a sursei laser, se va folosi următoarea procedură. Se ține cont de faptul că pasul șurubului micrometric este de 0.5 mm, iar tamburul rotativ al șurubului are 50 de diviziuni, ceea ce înseamnă că valoarea unei diviziuni pe scara tamburului este de 0.01 mm. O pârghie 1:10 leagă oglinda O2 de șurubul micrometric, astfel încât o deplasare a șurubului micrometric Δx [mm] înseamnă o deplasare a oglinzii O2 de $\Delta x/10$ [mm]. De asemenea, unei deplasări a șurubului micrometric Δx îi corespunde un număr N de modificări succesive a centrului figurii din luminos în întunecos (sau invers) – vezi Fig. 4.

Se pornește de la o poziție a șurubului micrometric cât mai apropiată de poziția 0. Se rotește șurubul micrometric cu finețe, timp în care se numără apariția succesivă a unui număr de $N = 10$ ori a figurii de interferență având centrul întunecos (se urmărește centrul figurii de interferență de pe ecranul PC-ului), după care se citește poziția x_N pe șurubul micrometric. Se continuă rotirea șurubului micrometric și se numără apariția succesivă a încă unui număr de $N = 10$ ori a figurii de interferență cu centrul întunecos și se notează noua poziție x_N de pe șurubul micrometric. Se efectuează un număr de 10 astfel de măsurători.

Se completează următorul tabel (atenție la unitățile de măsură – submultiplii!):

TABEL 1

N	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
x_0 [mm]										
x_N [mm]										
$\Delta x = x_N - x_0$ [mm]										
$d = \Delta x/10$ [μm]										

Se ține cont de faptul că deplasarea oglinzii O2 este determinată de pârghia 1:10, așadar deplasarea reală a oglinzii se calculează prin împărțirea la 10 a deplasării Δx a șurubului micrometric.

Avându-se în vedere relația (8), se reprezintă grafic funcția $d = f(N)$. Din panta dreptei rezultate se calculează lungimea de undă.

Rezultatul obținut se compară cu valoarea lungimii de undă a sursei laser înscrisă pe dispozitiv. Se cere să se enumere posibile surse de erori.

*După finalizarea măsurătorilor, se închide programul Motic Images Plus 2.0 și se închide PC-ul. De asemenea, se rotește cheia laserului în poziția **Oprit**, se acoperă platforma P a dispozitivului de interferență cu capacul de protecție aferent și se montează și capacul de protecție a senzorului CMOS al camerei video.*

Referatul lucrării va conține: Scopul lucrării, teoria lucrării, schema experimentală, tabelul 1 completat, graficul $d = f(N)$, calculul pantei și al lungimii de undă, precum și o listă scurtă cu posibilele surse de erori.