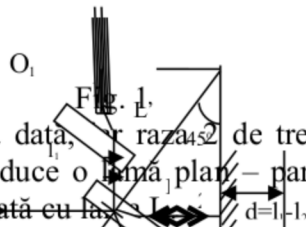


Determinarea indicelui de refracție al aerului cu ajutorul interferometrului lui Michelson

Teorie

În fig.1 se prezintă schema de funcționare a interferometrului lui Michelson . El constă din lama plan – paralelă L, semiargintată pe o față și oglinzile O_1 și O_2 depărtate față de L la distanțele l_1 și l_2 . La intrarea în lama L are loc divizarea amplitudinii unde incidente prin reflexie – refracție.



Raza 1 parcurge lama L o singură dată, iar raza 2 de trei ori. Pentru a înlătura acest neajuns, în drumul razei 1 se introduce o lamă plan – paralelă suplimentară L', având aceeași grosime și fiind paralelă și așezată cu lama L.

Dacă oglinzile O_1 și O_2 fac fiecare un unghi diedru de 45° cu lama L, razele 1 și 2 sunt paralele între ele și interferează în focalul obiectivului lunetei de observație. Franjele de interferență sunt în acest caz de egală înclinare, având forma de cercuri concentrice. Observatorul vede însă arce din aceste cercuri. Totul se întâmplă ca și cum ar avea loc interferența în lama plan – paralelă de aer cuprinsă între O_2 și imaginea O_1' a lui O_1 . Aplicând relația

$$\delta = 2d n \cos \hat{i} - \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

cazului de față ($n=1$), găsim că diferența de drum optic între raza 1 și 2 este:

$$\delta = 2d \cos \hat{i} - \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

unde \hat{i} este unghiul de incidență al razelor pe oglinzi iar $d=l_2-l_1$. Termenul suplimentar $\lambda/2$ apare datorită faptului că raza 1 suferă o reflexie pe lama L.

Relația (2) arată ca dacă $d=0$, ($l_1=l_2$), $\delta=\lambda/2$, adică se observă un câmp uniform întunecat, indiferent de valoarea lui \hat{i} . Creșterea lui d provocată de deplasarea uneia dintre oglinzi atrage creșterea lui δ și deci apariția franjelor. Pentru a avea același δ , când d crește, trebuie ca \hat{i} să crească. Cu alte cuvinte, tabloul de franje se deplasează dinspre centru spre exterior, din centrul figurii ieșind treptat noi franje pe măsură ce δ crește cu câte un λ .

Să introducem în drumul razei 2 un tub de sticlă închis la cele două capete cu câte o lamă plan paralelă . Pentru compensarea efectelor acestor lame introducem și în brațul 1 al interferometrului două lamele de microscop, identice cu cele folosite la închiderea tubului. Astfel tabloul de interferență nu se modifică. Atașând tubului umplut cu aer o seringă medicală se poate modifica volumul și astfel presiunea, respectiv densitatea aerului închis în tub, ceea ce atrage după sine modificarea indicelui de refracție. Ca rezultat vom observa apariția noilor inele în centrul figurii de interferență. Acest lucru se explică în modul următor:

În condiții inițiale, în apropierea centrului figurii de interferență cosinusul unghiului de incidență se poate aproxima cu 1 și putem scrie pentru diferența drumurilor optice ale razelor din cele două brațe ale interferometrului expresia

$$\delta = 2n_0(l_1 - l_2) - \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

(n_0 fiind indice de refracție al aerului la temperatura și presiunea camerei) căreia îi corespunde în centrul figurii de interferență un maxim de ordinul k_0 , determinat de relația:

$$\delta = k_0 \lambda \quad (4)$$

În urma modificării presiunii aerului din tub se modifică și diferența de drum, care va avea expresia:

$$\delta' = 2n_0 l_1 - [2n_0(l_2 - L) + 2n_1 L] - \frac{\lambda}{2} = \delta + 2L(n_0 - n_1) = \delta + 2L\Delta n \quad (5)$$

Deci diferența de drum optic suplimentar ce apare în urma modificării presiunii gazului este

$$\delta' - \delta = 2L\Delta n \quad (6)$$

căreia i se datorează apariția (dispariția) în cazul destinderii (comprimării) aerului din tub a k inele în centrul figurii de interferență. Având în vedere că apariției (dispariției) unui inel îi corespunde o diferență de drum optic suplimentar λ , putem scrie:

$$2L\Delta n = k\lambda \quad (7)$$

de unde

$$\Delta n = \frac{k\lambda}{2L} \quad (8)$$

Conform relației Lorentz–Lorenz din teoria clasică a dispersiei luminii, indice de refracție satisface relația

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho} = r \quad (9)$$

unde ρ este densitatea substanței și r refracția specifică, care are o valoare constantă, independentă de starea de agregare a substanței. Relația de mai sus se poate scrie și sub forma:

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = r\rho \quad (10)$$

Având în vedere că indicele de refracție a aerului se modifică foarte puțin cu modificarea presiunii, respectiv densității, partea stângă a ecuației de mai sus, notată cu

$$f(n) = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \quad (11)$$

se poate dezvolta în serie în jurul valorii n_0 , unde cu n_0 am notat valoarea inițială a indicelui de refracție. Astfel obținem:

$$f(n_0 + \Delta n) = f(n_0) + \left(\frac{df}{dn} \right)_{n=n_0} \Delta n \quad (12)$$

Înlocuind acest rezultat în relația (10), obținem:

$$\frac{n_0^2 - 1}{n_0^2 + 2} + \frac{6n_0}{(n_0^2 + 2)^2} \cdot \Delta n = r\rho_0 + r\Delta\rho \quad (13)$$

Ținând cont că se poate scrie, conform relației (10), că

$$\frac{n_0^2 - 1}{n_0^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho_0} = r$$

obținem:

$$\frac{6n_0}{(n_0^2 + 2)^2} \cdot \Delta n = \frac{n_0^2 - 1}{n_0^2 + 2} \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_0} \quad (14)$$

Dacă folosim acum că pentru aer

$$\rho = \frac{p\mu}{RT} \quad (15)$$

unde R este constanta generală a gazelor și T temperatura absolută, relația (14) se poate scrie sub forma:

$$\Delta n = \frac{(n_0^2 - 1) \cdot (n_0^2 + 2)}{6n_0} \cdot \frac{\Delta p}{p_0}, \quad (16)$$

care indică o dependență liniară între Δn și $\Delta p/p_0$. Cu ajutorul relației (8) se determină experimental Δn , ținând cont că lungimea tubului este de 8 cm și lungimea de undă a luminii laserului He-Ne este de 632,8 nm și din relația transformării izoterme

$$pV = p_0V_0 \quad (17)$$

valoarea raportului $\Delta p/p_0$. Se reprezintă grafic

$$\Delta n = f(\Delta p/p_0) \quad (18)$$

de unde se determină panta dreptei

$$A = \frac{(n_0^2 - 1) \cdot (n_0^2 + 2)}{6n_0} \quad (19)$$

care permite calcularea indicelui de refracție a aerului în condițiile inițiale.

Mersul lucrării:

Cu mișcări foarte fine ale șuruburilor de reglaj ale oglinzii dinspre observator a interferometrului se reglează figura de interferență până se obțin franje centrale aproximativ circulare în centrul figurii. Franjele de interferență se deplasează pe orizontală cu șurubul superior, iar cu cel inferior pe verticală. Se trage încet pistonul seringii medicale și se numără câte franje noi apar în centrul figurii de interferență, simultan se citește și poziția pistonului, determinându-se astfel volumul gazului prin adăugarea la volumul inițial de 22,6 cm³ numărul de cm³ indicați de poziția pistonului. Se reprezintă grafic Δn în funcție de $\Delta p/p_0$ și se determină panta A a dreptei.

Observație: Se poate proceda și invers. Se mărește inițial volumul gazului prin tragerea înspre afară a pistonului și se micșorează treptat volumul urmărind câte franje dispar în centrul figurii de interferență.

Atenție: În timpul lucrului să nu se tragă acul seringii medicale din dopul care astupă deschiderea tubului care conține aerul.

Prelucrarea datelor experimentale

Având în vedere că indice de refracție al aerului depinde numai la a patra zecimală de unitatea, la prelucrarea datelor experimentale vom considera

$$n_0 = 1 + y$$

unde $y \ll 1$, fiind de ordinul 10^{-4} . Ținând cont că și A este de același ordin, în relația (19) se pot neglija termenii începând cu y^2 și produsul yA , obținând rezultatul extrem de simplu:

$$y = A$$

și deci

$$n_0 = 1 + A$$