STUDIUL POLARIZĂRII LUMINII

1. Scopul lucrării

Măsurarea intensității luminii care trece printr-un sistem format dintr-un polarizor şi un analizor în funcție de unghiul φ dintre planele de polarizare ale polarizorului şi respectiv analizorului.

Verificarea legii lui Malus prin reprezentarea grafică în coordonate polare a curbelor intensității obținute experimental şi calculate teoretic în funcție de unghiul φ.

2. Considerații teoretice

În concepția ondulatorie lumina este o undă electromagnetică cu lungimea de undă cuprinsă între 3800-7600 Å. Efectul de "lumină" se datorează componentei electrice a câmpului electromagnetic. Vectorii intensitate a câmpului electric, $\vec{E}$, intensitate a câmpului magnetic, $\vec{H}$ şi viteza de propagare a undei $\vec{v}$, formează un triedru drept aşa cum se vede în Figura 1.

Vibrațiile vectorului – se efectuează într-un plan perpendicular pe viteza de propagare, dar se pot deosebi următoarele trei situații distincte:

- Vibrațiile vectorului $\vec{E}$ au aceeaşi amplitudine în toate direcțiile din planul $\vec{H}$, $\vec{E}$ (Fig. 2a). În acest caz lumina este numită naturală sau nepolarizată. Este cazul luminii emise de soare sau alte surse obişnuite.
- Amplitudinile de vibrație sunt mai mari pe o anumită direcție din planul $(\vec{H},\vec{E})$ decât pe celelalte (Fig.2b). Este cazul luminii parțial polarizate. O astfel de lumină se obține din lumina naturală prin fenomene optice ca reflexie, refracție etc.
- Vibrațiile se efectuează doar pe o singură direcție din planul $(\vec{H},\vec{E})$ aşa cum e reprezentat în Figura 2c. Această lumină se numeşte total polarizată, sau plan polarizată, sau liniar polarizată. Planul determinat de direcția de vibrație a vectorului $\vec{E}$ şi direcția de propagare se numeşte plan de vibrație.

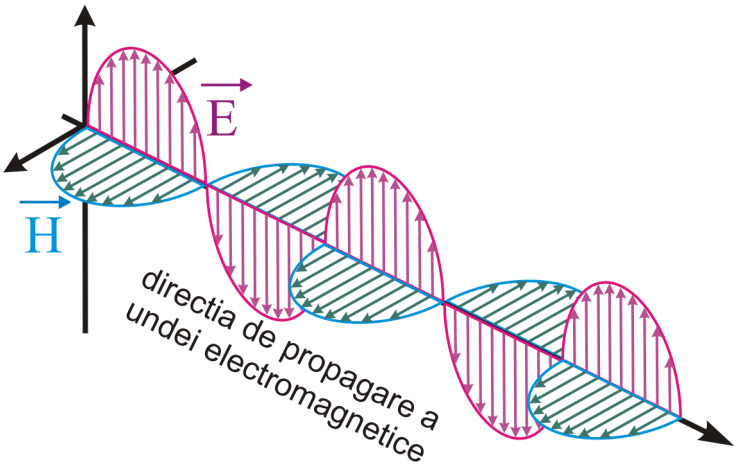

Figura 1.

Lumina polarizată poate fi obținută prin fenomene de: reflexie, refracție (parțial sau total polarizată) sau prin *fenomenul de birefringență* (total polarizată).

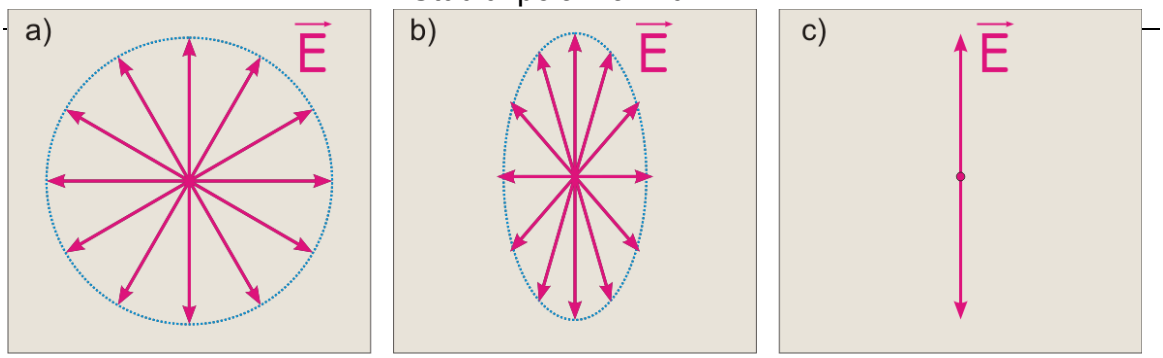

Figura 2.

Fenomenul de birefringență a fost observat pentru prima dată de Fresnel. El a constatat faptul că la trecerea unui fascicul de lumină printr-un cristal de calcit ($CaCO_3$), acesta se separă în două fascicule care sunt incapabile să producă interferență. Young a sugerat o explicație pentru acest fenomen, şi anume a presupus faptul că lumina, este o undă transversală, cele două componente obținute în urma trecerii prin cristalul de calcit având plane de oscilație reciproc perpendiculare. El a numit acest efect ca polarizare plană, iar fenomenul obținerii celor două componente "dublă refracție". Una dintre cele două componente traversează cristalul cu aceeaşi viteză v_o în toate direcțiile, se numeşte undă ordinară şi corespunzător indicele de refracție al cristalului este $n_o = v/v_o$, iar cealaltă componentă traversează cristalul cu o viteză v_e mai mare decât v_o şi se numeşte undă extraordinară. Indicele de refracție corespunzător undei extraordinare este $n_e = v/v_e$ fiind mai mic decât n_o. Există şi alte cristale care manifestă dublă refracție ca: würzitul (ZnS), cuarțul (SiO_2), dolomitul ($CaO.MgO.2CO_2$), etc.

Obținerea luminii total polarizate (liniar polarizate) prin fenomenul de birefringență, s-a realizat pentru prima dată utilizând cristalul de calcit (numit şi spat de Islanda), tăiat într-un plan corespunzător, după anumite reguli cristalografice, în două părți, lipite apoi cu balsam de Canada (Fig.3). Un astfel de dispozitiv se numeşte *nicol.*

Dacă unda luminoasă naturală cade pe una dintre fețele mici ale nicolului sub un unghi mai mic de 33°, se desface în două părți, o undă ordinară u_o şi una extraordinară u_e, ambele total polarizate. Unda extraordinară trece practic nedeviată prin cristal în timp ce unda ordinară este eliminată ca urmare a reflexiei totale ce o suferă pe stratul de balsam de Canada. Astfel nicolul lasă să treacă numai o rază total

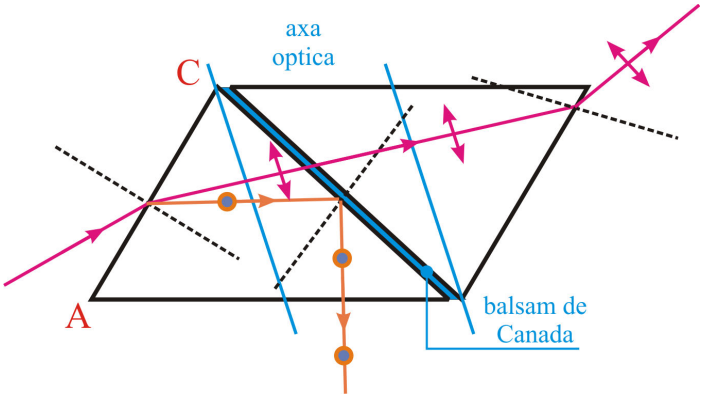

Figura 3.

polarizată. Planul de vibrație al acesteia coincide cu aşa numita secțiune principală (cristalografic determinată) a cristalului. Rotind nicolul în jurul razei incidente, planul secțiunii principale şi odată cu el cel de vibrație se rotesc de asemenea.

Dispozitivele care prin fenomene de reflexie, refracție, birefringentă etc. duc la polarizarea luminii se numesc *polarizori*. Dacă în asemenea dispozitive intră lumină naturală, la ieşire se obține lumină polarizată astfel că odată cu rotirea dispozitivului planul de vibrație se roteşte, dar intensitatea fasciculului rămâne constantă.

Dacă însă lumina incidentă este polarizată, la ieşirea din dispozitiv se obține tot lumină polarizată, dar a cărei intensitate variază în funcție de unghiul dintre planul de vibrație incident şi emergent (variază deci odată cu rotirea dispozitivului). Ca urmare, aceste dispozitive pot fi folosite şi pentru analizarea luminii, numindu-se în acest caz *analizori*.

Dacă un fascicul de lumină naturală trece printr-un polarizor, iar apoi printr-un analizor, intensitatea I a fasciculului emergent este dată de legea lui Malus:

$$I = I_o \cos^2 \alpha \qquad (1)$$

unde α este unghiul dintre planele de vibrație ale luminii înainte şi după analizor, iar I_o intensitatea fasciculului ce intră în analizor.

3. Aplicații

Lumina polarizată este folosită în ştiință şi tehnică. În ştiință este folosită la: i) determinarea spinului nucleului pe cale polarimetrică; ii) studiul efectelor Stark, Zeeman; Faraday; iii) studiul structurii moleculare prin rotație optică; iv) în astrofizică la studiul stării de polarizare a luminii primite de la diferite nebuloase. În tehnică lumina polarizată este folosită la: i) analiza prin metoda fotoelasticității a tensiunilor produse în piese sub acțiunea forțelor exterioare; ii) măsurători de rotație unghiulară şi de deplasări liniare sau unghiulare (telemetrie); în metrologie este folosită la: i) modulări de fluxuri luminoase; ii) la filtre optice cu proprietăți variate şi cu aplicații diverse, etc.

4. Metodica experimentală

În lucrarea de față, lumina naturală provenind de la un bec este trecută printr-un nicol având rolul de polarizor, apoi cade pe o placă reflectantă cu rol de analizor. Unghiul α din (1) va fi unghiul făcut de direcția secțiunii principale a nicolului cu perpendiculara pe planul de incidență al oglinzii (aceasta fiind direcția preferențială la polarizarea prin reflexie). În timpul lucrării oglinda şi direcția razei incidente pe ea rămân fixe. Nicolul este montat într-un tub şi rotit odată cu acesta. Din această cauză unghiul α variază şi se creează posibilitatea verificării legii lui Malus.

4.1 Montajul experimental

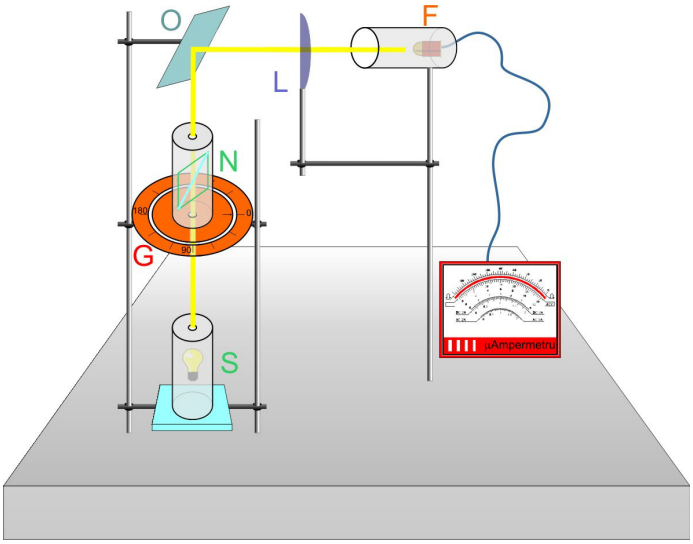

Figura 4.

Dispozitivul folosit este schițat în Figura 4. De la becul S lumina ajunge la nicolul N (polarizor). Trecând prin nicol lumina devine total polarizată. Nicolul este montat într-un dispozitiv ce poate fi rotit, având posibilitatea de a măsura unghiul de rotație cu ajutorul unui sistem goniometric G. Fasciculul ce părăseşte nicolul ajunge pe placa reflectantă P.

Intensitatea razei reflectate este măsurată cu o fotocelulă F. Aceasta, funcționând pe baza efectului fotoelectric, generează curenți proporționali cu intensitatea fluxului luminos ce cade pe catodul ei. Fotocelula este aşezată în focarul unei lentile L, iar curentul generat se măsoară cu un microampermetru µA.

4.2 Modul de lucru

1. Se identifică părțile componente ale dispozitivului experimental conform schemei din figura 4.
2. Se alimentează sursa de lumină.
3. Se roteşte tubul cu nicol cu câte 30^o de la 0^o la 360^o şi se măsoară intensitatea curentului corespunzătoare fiecărei poziții a nicolului, trecând rezultatele în tabelul de mai jos.

Tabelul 1.

φ (grade)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$I_e(\varphi)$ (µA)													
$I_t(\varphi)$ (µA)													

5. Prelucrarea datelor experimentale

5.1 Determinarea mărimilor fizice şi trasarea graficelor

1. Cu datele obținute se va trasa variația $I = f(\varphi)$ în coordonate polare.
2. Valoarea maximă obținută a curentului notată cu I_{max}, se va utiliza pentru calculul valorilor teoretice, conform legii lui Malus,

$$I_t = I_{max} \cos^2 \varphi \quad (2)$$

pentru fiecare unghi φ considerat experimental.

3. Se reprezintă alături de curba experimentală, curba teoretică $I_t = f(\varphi)$.

5.2. Calculul erorilor

1. Privind graficul se alege direcția pe care diferența $|I - I_t|$ este maximă şi se citeşte valoarea abaterii maxime

$$\Delta I = |I - I_t| \quad (3)$$

2. Se determină eroarea relativă maximă

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{|I - I_t|}{I_t} 100 \ (\%) \quad (4)$$