Studiul polarizării luminii

Considerații teoretice

Lumina vizibilă este formată din unde electromagnetice cu lungimea de undă cuprinsă între 3800 Å şi 7600 Å (380 nm -760 nm; 1Å=10^{-10}m, 1nm=10^{-9}m). Efectul de "lumină" este creat de acțiunea componentei electrice a câmpului electromagnetic asupra anumitor substanțe aflate în celulele de pe retina ochiului.

Direcția de propagare a undei este perpendiculară pe planul în care se află intensitatea câmpului electric ***E*** şi intensitatea câmpului magnetic ***H***. Din această cauză vectorii ***E***, ***H*** şi ***v*** (viteza de propagare a undei) formează un triedru drept, aşa cum se vede în figura 1.

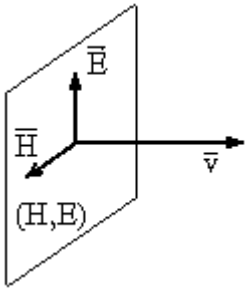

Figura 1. Câmpul electric şi cel magnetic al unei unde electromagnetice oscilează într-un plan perpendicular pe direcția de propagare.

În funcție de modul în care vectorul ***E*** oscilează în planul perpendicular pe viteza de propagare, se pot deosebi următoarele trei situații distincte:

1. *Lumina nepolarizată* (*naturală*), când vibrațiile vectorului ***E*** au aceeaşi amplitudine pe toate direcțiile din planul (***E***, ***H***) (figura 2a). Este cazul luminii emise de Soare sau de alte surse de lumină uzuale.
2. *Lumina parțial polarizată*, când amplitudinile de vibrație sunt mai mari pe o anumită direcție din planul (***E***, ***H***) decât pe celelalte direcții (figura 2b). O astfel de lumină se obține din cea naturală prin fenomene optice de reflexie, refracție, etc. Tipică pentru această situație este lumina reflectată pe suprafața apei sau a sticlei de geam.
3. *Lumina total polarizată* (*plan polarizată* sau *liniar polarizată*), când vectorul ***E*** oscilează doar pe o singură direcție din planul (***E***, ***H***) (figura 2c). Planul determinat de direcția de vibrație a lui ***E*** şi direcția de propagare se numeşte *plan de vibrație*. Lumina total polarizată se obține prin fenomenul de **birefringență** (dublă refracție sau anizotropie optică), ce apare în substanțe în care viteza de propagare a luminii depinde de direcția de propagare. Cea mai cunoscută substanță birefringentă este *spatul de Islanda* (calcit–o variantă de cristalizare a carbonatului de calciu, $CaCO_3$–chimic similară cu creta).

Figura 2a. Lumina naturală (nepolarizată)

Figura 2b. Lumina parțial polarizată

Figura 2c. Lumina liniar polarizată

Unele cristale birefringente prezintă fenomenul de *dicroism*; adică, una dintre componentele polarizate este absorbită mai mult decât cealaltă. Dacă un astfel de cristal este tăiat la grosimea potrivită, una dintre componente este practic stinsă prin absorbție, pe când cealaltă este transmisă în cantitate apreciabilă. Turmalina este un exemplu de cristal dicroic, dar se comportă similar şi substanțele formate din molecule lungi prin polimerizare, cărora li s-a dat o direcție preferențială prin întindere, ca alcoolul polivinilic (PVA), chiar şi celofanul (obținut din celuloză).

Dispozitivele care prin fenomene de reflexie, refracție, birefringență, dicroism, difuzie etc. duc la polarizarea luminii se numesc ***polarizori***. Dacă într-un astfel de dispozitiv intră *lumină naturală*, la ieşire se obține lumină polarizată. Rotind dispozitivul planul de vibrație se roteşte, dar *intensitatea fascicolului rămâne constantă*.

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

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

$$I = I_o \cdot \cos^2\alpha$$

unde α este unghiul dintre planele de vibrație ale luminii înainte şi după analizor, iar I_o este intensitatea fascicolului ce intră în analizor. Relația a fost descoperită experimental de Etienne Louis Malus în 1809. Rotind fie analizorul, fie polarizorul, intensitatea fascicolului variază cu unghiul α, conform formulei lui Malus.

În această lucrare, lumina naturală provenind de la un bec S este trecută succesiv printr-un polarizor şi apoi printr-un analizor – bazat pe fenomenul de dicroism (substanța lasă să treacă undele cu o anumită orientare a planului de oscilație şi atenuează, absoarbe celelalte unde) – şi cade pe o fotorezistență (un rezistor a cărui

rezistență care variază aproximativ invers proporțional cu intensitatea luminii incidente *I*). Rezultă că:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{R_0}{R}$$

unde R_0 este rezistența minimă a fotorezistenței când $\alpha = 0$. În lucrarea de față vrem să verificăm legea lui Malus, adică faptul că:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{R_0}{R} = \cos^2 \alpha$$

Metoda experimentală

Dispozitivul experimental

Fascicolul de lumină de la sursa de lumină S (un bec, figura 3) traversează polarizorul P (lumina devine polarizată), iar apoi analizorul A şi în final cade pe fotorezistența FR. Polarizorul şi analizorul se pot roti unul față de celălalt, având posibilitatea de a măsura unghiul de rotație. Alimentarea becului se poate regla cu autotransformatorul AT, care determină tensiunea în primarul transformatorului T care reduce tensiunea rețelei sub 12V. Valoarea rezistenței electrice a fotorezistorului se măsoară cu un ohmetru.

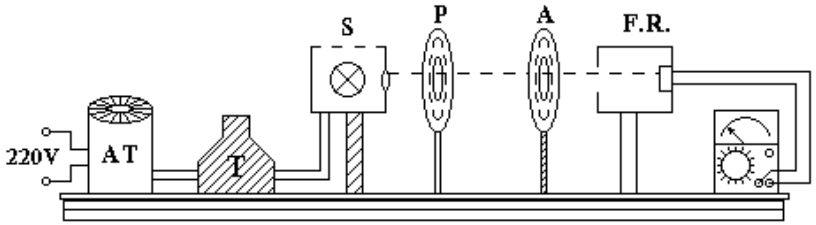

Figura 3. Dispozitivul experimental

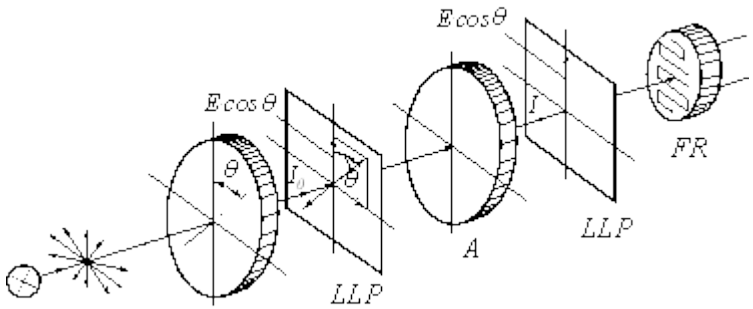

Figura 4. Evidențierea transformărilor suferite de fascilolul de lumină

OBSERVAȚIE! Valoarea fotorezistenței este maximă când intensitatea luminii este minimă, adică la $\alpha = 90°$– atunci analizorul şi polarizorul sunt în cruce. Valoarea fotorezistenței este minimă (R_o) când intensitatea luminii este maximă, adică la $\alpha = 0°$ sau 180°– atunci analizorul şi polarizorul sunt cu orientare paralelă sau antiparalelă.

Modul de lucru

1. Se alimentează sursa de lumină.
2. Se roteşte analizorul în poziția în care este paralel cu polarizorul (rezistența măsurată este minimă).
3. Se roteşte analizorul cu câte 15° până la 180° şi se citeşte valoarea rezistenței, trecând valorile în tabelul de date.

Tabelul pentru date experimentale

α (º)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
R(Ω)													
R_0/R													
$\cos^2\alpha$													
eroare													

Prelucrarea datelor experimentale

Determinarea mărimilor fizice şi trasarea graficelor

1. Valoarea maximă a intensității luminii I_o corespunde valorii minime a rezistenței electrice măsurate R_o. Se vor calcula conform legii lui Malus valorile teoretice $I/I_o = \cos^2\alpha$ şi valorile experimentale $I/I_o = R_o/R$, pentru fiecare unghi α realizat în lucrare.
2. Se reprezintă pe același grafic valoarea experimentală R_o/R şi valoarea teoretică $\cos^2\alpha$ în funcție de unghiul α (grafic în coordonate polare sau rectangulare).

Calculul erorilor

Se determină erorile absolute: $\left|\frac{R_0}{R} - \cos^2 \alpha\right|$

după care se determină valoarea maximă a acestora.

APLICAȚIE: Afişajul cu cristale lichide (LCD)