

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

LABORATORUL DE TERMODINAMICA SI FIZICA STATISTICA

BN 121

**STUDIUL LUMINII LINIAR POLARIZATE.
VERIFICAREA LEGII LUI MALUS**

STUDIUL LUMINII LINIAR POLARIZATE. VERIFICAREA LEGII LUI MALUS

1. Scopul lucrării

Studiul luminii liniar polarizate, verificarea legii lui Malus.

2. Teoria lucrării

Conform teoriei clasice a electromagnetismului, lumina este o undă transversală în care direcțiile de oscilație ale vectorilor intensității câmpului electric \vec{E} și inducției magnetice \vec{B} sunt reciproc perpendiculare și perpendiculare pe direcția de propagare. Dacă, în plus, oscilațiile vectorului \vec{E} (sau \vec{B}) sunt paralele între ele în orice punct din spațiu unde se propagă unda, ca în figura 1, aceasta este liniar polarizată.

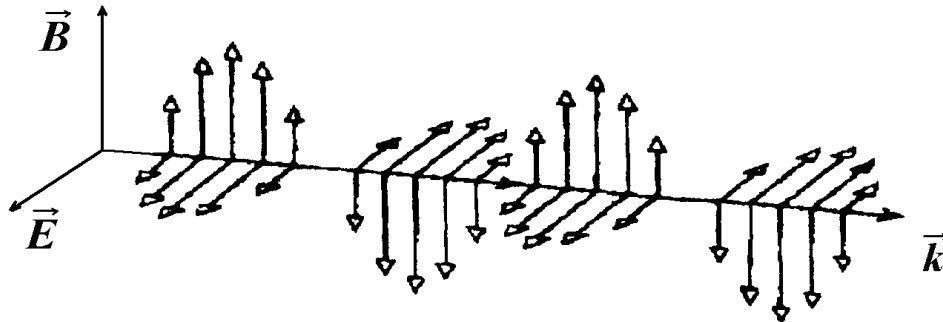


Fig. 1

Planul care conține vectorul \vec{E} și direcția de propagare a unei unde este numit plan de oscilație.

Polarizarea luminii, adică selectarea unor direcții preferențiale de oscilație ale vectorului intensitate câmp electric, se face în diferite moduri, cum ar fi: prin reflexie, refracție, dublă refracție, împrăștiere, etc. În acest material ne vom referi la obținerea luminii liniar polarizate prin dubla refracție. Există o categorie de substanțe, în general cristaline, transparente și omogene, care din punct de vedere al proprietăților optice sunt anizotrope. Aceasta înseamnă că, pentru o direcție de propagare dată, ele prezintă indici de refracție diferiți, în funcție de direcția planului de polarizare a luminii. Astfel de substanțe sunt numite birefringente și, ca exemplu, vom da : calcita (CaCO_3), wurtita (ZnS), cuarțul (SiO_2), turmalina și chiar gheața. Un fascicul de lumina naturală, care cade pe un cristal birefringent va fi împărțit în două fascicule total polarizate, direcțiile de polarizare fiind reciproc perpendiculare (figura 2).

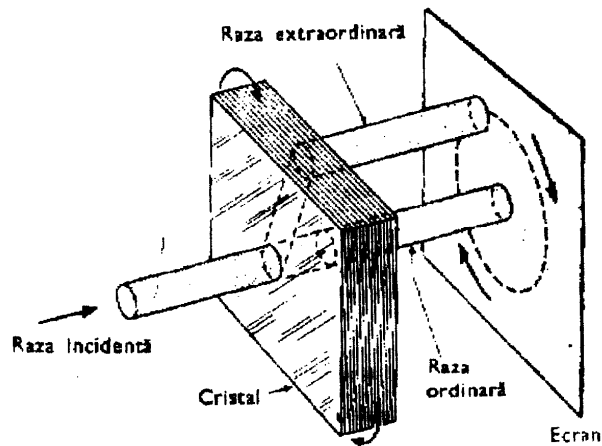


Fig. 2

Construirea unui polarizor, adică a unui dispozitiv care permite obținerea luminii liniar polarizate din lumina naturală, presupune găsirea unei metode de a separa cele două fascicule. În general, s-au construit prisme polarizatoare, care au în alcătuirea lor cristale birefringente combinate ingenios cu alte tipuri de materiale, pentru a obține efectul dorit. Prismele respective sunt cunoscute după numele inventatorilor lor: Nicol, Rochon, Wollaston, Glan, Thomson, Foucault și mulți alții.

O altă categorie de polarizori care ne interesează în mod direct în lucrarea de față se bazează pe proprietatea de diocrișm a anumitor cristale birefringente, cum ar fi, de exemplu, turmalina. Un cristal dicroic are un comportament preferențial față de cele două componente polarizate, și anume, absoarbe pe una dintre acestea mult mai puternic decât pe cealaltă (figura 3). Astfel, dacă grosimea stratului parcurs este suficient de mare, se poate obține ca una dintre componente să fie complet absorbită, în timp ce cealaltă trece puțin atenuată.

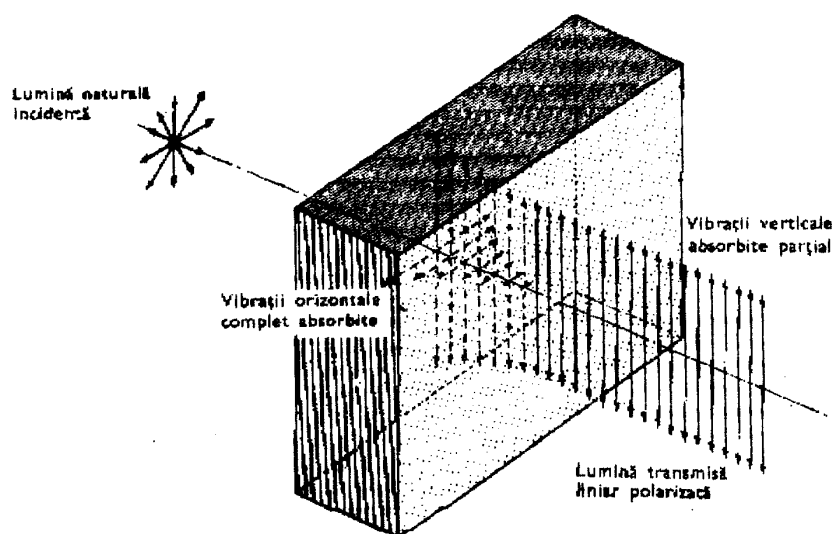


Fig. 3

Cristalele dicroice au fost folosite pentru realizarea unor materiale polarizante, numite comercial polaroizi. Un tip vechi de polaroid constă dintr-un strat subțire de cristale dicroice de herapatit (sulfat de iodochinină), de forma aciculară, cu orientări paralele, introduse într-o matriță de plastic și închise, pentru protecție, între două plăci transparente. Un alt tip de polaroid este format din molecule lungi, polimerizate de alcool polivinilic (PVA), cărora li s-a dat o direcție preferențială prin întindere și care au fost colorate cu o cerneală conținând iodura care produce dicroismul ansamblului de molecule. Stratul de PVA este laminat pe o foaie suport de acetat butiric de celuloză.

Peliculele polaroid moderne au același principiu de fabricație: introducerea unor lanțuri moleculare lungi, aliniat și paralele într-o peliculă flexibilă de material plastic. Dar indiferent de modul de obținere, esențial este că polaroidul transmite numai acele componente ale trenurilor de undă ai căror vectori câmp oscilează paralel cu o direcție preferențială absorbind pe cele care oscilează după direcția perpendiculară (figura 4).

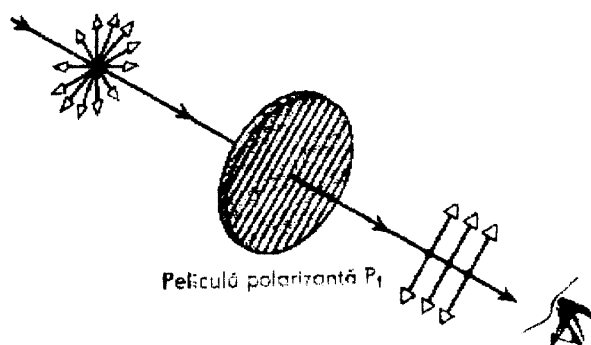


Fig. 4

În figura 5 este reprezentat planul de vibrație al unui tren de undă oarecare incident pe polaroid. Vectorul intensitate câmp electric \vec{E} poate fi înlocuit prin cele două componente ale sale $\vec{E}_x = \vec{i}E \sin \alpha$, perpendiculară pe direcția preferențială, și $\vec{E}_y = \vec{j}E \cos \alpha$, paralelă cu aceasta. Evident, numai componenta a doua va fi transmisă, cealaltă fiind absorbită.

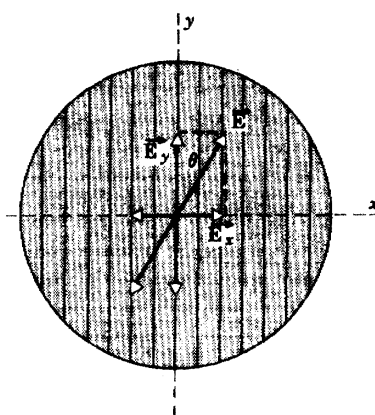


Fig. 5

Pentru a pune în evidență proprietatea de polarizare a luminii transmise de un polarizor, trebuie folosit un al doilea polarizor, care de obicei este numit analizor, așezat față de primul ca în figura 6.

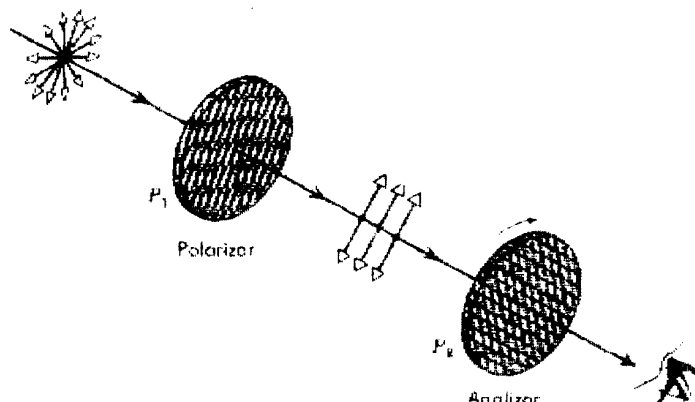


Fig. 6

Dacă se rotește analizorul în jurul direcției de propagare, se vor constata variații ale intensității luminii transmise, de la o valoare maximă (când direcțiile de polarizare ale celor doi polarizori sunt paralele) până la o valoare minimă, nulă sau foarte mică (când polarizorul și analizorul sunt încrucișați). Se pot face măsurători cantitative corecte dacă în sistemul reprezentat în figura 6 se înlocuiește ochiul observatorului cu o fotocelulă cuplată la un microampermetru. Fotocelula va da un curent electric proporțional cu intensitatea luminii incidente pe ea. Notând cu I_{\max} și I_{\min} valorile maximă și minimă ale intensității luminii detectate, se definește gradul de polarizare a luminii incidente, exprimat în procente:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100. \quad (1)$$

P ia valori cuprinse între 0 (corespunzător **luminii naturale**) și 1 (corespunzător **luminii total polarizate**). Când P este subunitar, lumina este numită **parțial polarizată**.

Dacă unghiul dintre direcțiile de oscilație ale celor două pelicule polarizare este α , atunci analizorul va lăsa să treacă numai componenta paralelă cu axa sa de oscilație $E_m \cos \alpha$, unde E_m este amplitudinea luminii liniar polarizate ce cade pe analizor. Deoarece intensitatea luminii este proporțională cu pătratul amplitudinii, rezultă că intensitatea fascicului luminos transmis de sistemul polarizor - analizor va depinde de α după legea:

$$I = I_{\max} \cos^2 \alpha. \quad (2)$$

Relația (2) exprimă legea lui Malus, descoperită de Etienne Malus în 1809, în urma efectuării unor experiențe de polarizare prin reflexie a luminii.

În lucrarea de față se verifică experimental legea lui Malus - relația (2) și se calculează, cu ajutorul relației (1) gradul de polarizare al luminii incidente. De asemenea, se

măsoară transmitanțele polarizorului și analizorului. Transmitanța unui polarizor este o mărime care ne arată ce fracțiune din intensitatea luminii incidente este lăsată să treacă de acesta. Pentru polarizor și, respectiv, analizor, ea se definește conform relațiilor:

$$t_p = \frac{I^P_{emergent}}{I^P_{incident}}, t_a = \frac{I^a_{emergent}}{I^a_{incident}}. \quad (3)$$

Este evident că întotdeauna intensitatea luminii emergente va fi mai mică decât cea incidentă, datorită unor fenomene cum ar fi absorbția și împrăștierea.

3. Dispozitivul experimental cuprinde o sursă de lumină naturală (bec electric B) care se conectează la rețeaua de 220V, dispusă la capătul unui banc optic pe care se află doi polaroizi P și A (polarizor și analizor) și o celulă fotoelectrică F alimentată prin intermediul unui redresor cu o tensiune continuă de 80 V (figura 7). Curentul fotoelectric obținut datorită incidenței luminii pe fotocelulă este măsurat cu ajutorul unui galvanometru cu spot luminos.

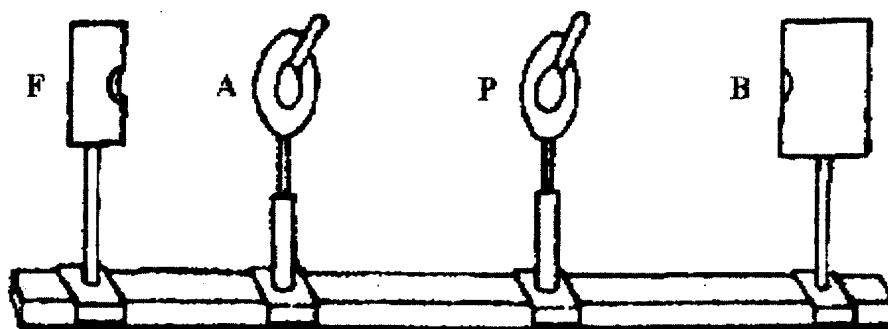


Fig. 7

4. Modul de lucru

Sub supravegherea asistentului universitar se alimentează la rețea becul, redresorul și galvanometrul. Se rotesc cei doi polaroizi până când unghiul dintre ei devine 0° (axele de polarizare sunt paralele). Menținând polarizorul în poziție fixă, se rotește analizorul din 5° în 5° , în intervalul cuprins între 0° și 180° și se citesc pe galvanometru valorile curentului fotoelectric, exprimate în diviziuni.

Scoțând apoi, pe rând, analizorul și polarizorul se măsoară intensitățile necesare pentru calculul transmitanțelor.

La o valoare fixată a unghiului dintre polarizor și analizor se repetă de 10 ori măsurarea intensității curentului, pentru a putea estima erorile care afectează rezultatele experimentale obținute.

Datele obținute se trec într-un tabel de forma:

Nr. crt.	$\alpha(\text{grd})$	$\cos(\alpha)$	$\cos^2(\alpha)$	I(div)
0	1.	2.	3.	4.
1	0	1	1	
2	5	0.99619	0.9924	
3	10	0.98481	0.9698	
4	15	0.96593	0.9330	
5	20	0.93969	0.8830	
6	25	0.90631	0.8214	
7	30	0.86603	0.7500	
8	35	0.81915	0.6710	
9	40	0.76604	0.5868	
10	45	0.70711	0.5000	
11	50	0.64279	0.4132	
12	55	0.57358	0.3290	
13	60	0.5	0.25	
14	65	0.42262	0.1786	
15	70	0.34202	0.1170	
16	75	0.25882	0.0670	
17	80	0.17365	0.0302	
18	85	0.08716	0.0076	
19	90	0	0	
20	95	-0.08716	0.0076	
21	100	-0.17365	0.0302	
22	105	-0.25882	0.0670	
23	110	-0.34202	0.1170	
24	115	-0.42262	0.1786	
25	120	-0.5	0.25	
26	125	-0.57358	0.3290	
27	130	-0.64279	0.4132	
28	135	-0.70711	0.5000	
29	140	-0.76604	0.5868	
30	145	-0.81915	0.6710	
31	150	-0.86603	0.7500	
32	155	-0.90631	0.8214	
33	160	-0.93969	0.8830	
34	165	-0.96593	0.9330	
35	170	-0.98481	0.9698	
36	175	-0.99619	0.9924	
37	180	-1	1	

5. Prelucrarea datelor experimentale

1). Se completează toate coloanele tabelului, apoi se trasează graficele $I = I(\alpha)$ și $I = I(\cos^2(\alpha))$.

2). Se calculează gradul de polarizare al luminii incidente, folosind formula (1).
Datele necesare se obțin din tabel.

3). Se calculează transmitanțele polarizorilor utilizați.

4). Se calculează abaterea pătratică medie $\sigma_{\bar{I}}$ folosind relația:

$$\sigma_{\bar{I}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (I_k - \bar{I})^2}{n(n-1)}},$$

unde I_k sunt rezultatele obținute prin repetarea de un număr de $n = 10$ ori a măsurării fotocurentului care este proporțional cu intensitatea luminii transmise de sistemul polarizor - analizor, în condițiile în care unghiul dintre axele optice este fixat, iar \bar{I} este media aritmetică a acestor rezultate.

Întrebări

- 1). Un fascicul de lumină naturală cade pe doi polaroizi dispuși astfel încât să nu transmită deloc lumina. Dacă se introduce între ei un al treilea polaroid, se va putea transmite lumina?
- 2). Calculați unghiul dintre axele de polarizare ale unui sistem de doi polaroizi, astfel încât intensitatea luminii transmise să fie jumătate din intensitatea maximă și apoi verificați experimental rezultatul obținut.
- 3). Imaginați un mod de a afla direcția de polarizare a unei pelicule polarizante.