

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

LABORATORUL BN 120

**POLARIMETRUL.
DETERMINAREA CONCENTRAȚIEI
SOLUȚILOR OPTIC-ACTIVE
CU AJUTORUL POLARIMETRULUI**

POLARIMETRUL. DETERMINAREA CONCENTRATIEI SOLUTIILOR OPTIC-ACTIVE CU AJUTORUL POLARIMETRULUI

1. Scopul lucrării

Scopul teoretic al acestei lucrări de laborator este acela de a familiariza studentul cu aspecte care tin de proprietati ale undelor electromagnetice (în speta **starea de polarizare** a acestora), cu proprietati pe care le pot manifesta anumite materiale (**anizotropia, activitatea optica**) si cu utilizarea în scopul unor evaluari cantitative a acestor proprietati.

Scopul practic al acestei lucrări este acela de a masura - cu ajutorul unui instrument optic numit polarimetru - concentratia unor solutii optic active, prezente în interiorul tuburilor plasate pe masa de lucru.

2. Teoria lucrării . Notiuni generale despre starea de polarizare a luminii si metode de modificare a acestei stari

Lumina, ca orice radiatie electromagnetica, este - în conformitate cu ecuatiile Maxwell care descriu comportarea oricarui câmp de natura electromagnetica - o **unda transversala**. Asta înseamna ca între directiile de oscilatie ale vectorului intensitate câmp electric \vec{E} , vectorului intensitate câmp magnetic \vec{H} si directia de propagare (respectiv vectorul de unda \vec{k}) se formeaza un triedru drept (vezi figura 1).

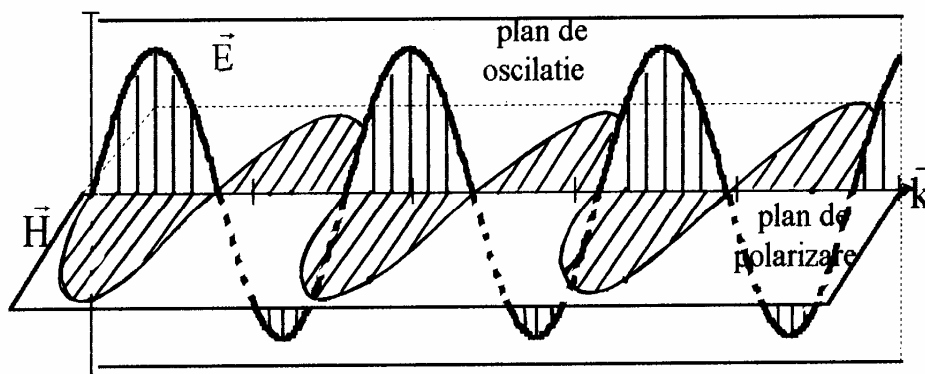


Fig. 1.

Planul format de vectorul \vec{E} si vectorul \vec{k} se numeste plan de oscilatie. Planul format de vectorii \vec{H} si \vec{k} se numeste plan de polarizare. Cele doua plane astfel definite sunt reciproc perpendiculare.

Deoarece toate fenomenele optice , care apar la interactiunea undelor electromagnetice cu substanta, sunt datorate câmpului electric , planul de oscilatie este singurul care prezinta importanta. Astfel, unda al carei plan de oscilatie se mentine (în timp si în spatiu) este o **unda plan (sau liniar) polarizata**.

Atomii surselor conventionale de lumina emit complet necorelat, fiecare unda elementara emisa având o alta stare de polarizare. Prin urmare, **lumina naturala** (efectul prezentei tuturor acestor trenuri de unde) **este nepolarizata**.

Polarizarea luminii naturale se obtine artificial, cu ajutorul unor componente optice numite **polarizori**. La baza transformarii luminii naturale din lumina nepolarizata în lumina polarizata stau urmatoarele fenomene fizice : reflexia si refractia la suprafata de separare a doua medii dielectrice si izotrope, birefringenta si dicroismul.

Reamintim ca - la trecerea luminii printr-un mediu optic anizotrop - fasciculul incident pe un asemenea mediu este , în general , descompus în doua fascicule dintre care unul (fasciculul ordinar) se propaga în conformitate cu legile opticii geometrice iar celalalt (fasciculul

extraordinar) nu respecta aceste legi. Ambele fascicule obtinute în aceste conditii sunt polarizate liniar total, în planuri perpendiculare. Acest fenomen, numit **birefringenta** (sau dubla refractie) apare la un numar mare de substante (cristaline sau amorfe) omogene, care sunt anizotrope pentru fenomenele luminoase. Dintre numeroasele cristale birefringente, cel mai cunoscut este carbonatul de calciu (CaCO_3) cristalizat (calcit), cunoscut sub numele de **spat de Islanda** (cristal izotrop uniax).

Prin lipirea (cu balsam de Canada) a doua jumatați de spat de Islanda, taiate la un anumit unghi, se obtine o **prisma Nicol**. Avantajul pe care îl prezinta utilizarea acestui dispozitiv în ansamblul unui montaj optic, este dat de faptul ca prisma Nicol lasa sa treaca mai departe doar un fascicul total polarizat liniar în planul sectiunii principale a nicolului (fasciculul extraordinar / raza extraordinara).

Montajul experimental contine doua prisme Nicol, una în scopul de a lucra cu lumina polarizata liniar (**polarizor**) iar cealalta în scopul de a analiza rezultatul obtinut (**analizor**).

Daca între doi nicoli, unul polarizor si celalalt analizor, care lucreaza în **extinctie** (au axele optice perpendiculare, deci ce trece de primul este total absorbit de celalalt) se introduce o lamela de cuarț taiata perpendicular pe axa sa optica, se observa aparitia luminii în câmpul nicolului analizor. Daca însa se roteste analizorul cu un unghi α , se constata ca se regaseste situatia de extinctie. Aceasta observatie dovedeste ca lamela de cuarț a rotit planul de oscilatie al luminii liniar polarizate cu exact acel unghi α descoperit experimental. Fenomenul de rotire a planului de oscilatie al luminii liniar polarizate poarta numele de **polarizare rotatorie** (vezi figura 2) sau **activitate optica**.

Substantele care produc acest fenomen se numesc substante **optic active**.

Exemple de substante optic active sunt : unele cristale anizotrope (precum cuarțul), diversi compusi organici (lactoza, zaharoza) si evident solutiile ale acestora precum si unele gaze.

Unele din aceste substante rotesc planul de oscilatie spre stânga ; ele se numesc **levogire**. Daca efectul consta în rotirea planului de oscilatie spre dreapta, substantele optic active corespunzatoare se numesc **dextrogire**.

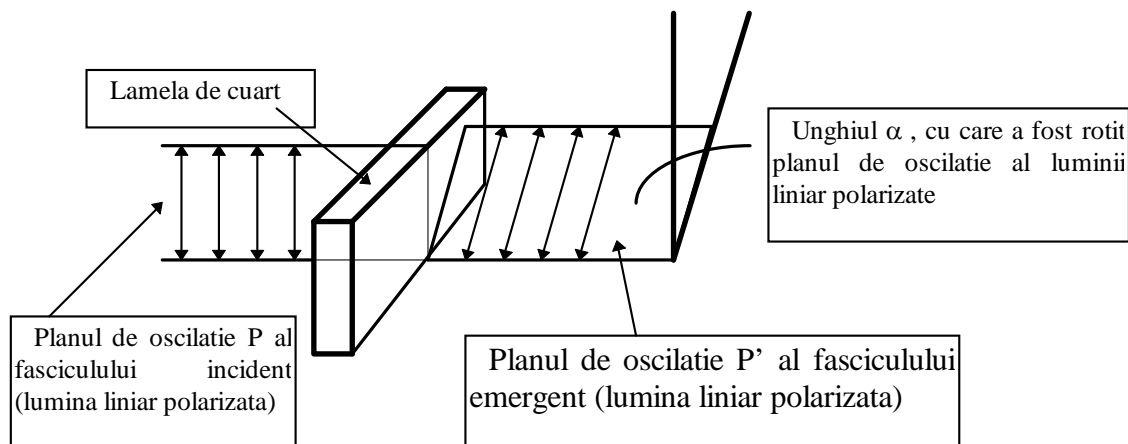


Fig. 2.

În cazul solutiilor optic active, valoarea unghiului de rotatie al planului de oscilatie este dependenta de concentratia acestora. Unghiul de rotatie α depinde - de asemenea - de distanta l pe care lumina polarizata o are de parcurs prin solutie, este invers proportional cu lungimea de unda λ a radiatiei incidente (fenomen care se numeste **dispersie rotatorie**) si este influentat de temperatura de lucru.

Relatia care înglobeaza toate aceste observatii este :

$$\alpha = [\alpha]_D^\lambda \cdot c \cdot l \quad (1)$$

unde marimile care intervin au urmatoarele semnificatii :

- c este concentratia solutiei optic active ;
- l este lungimea stratului de solutie strabatut ;
- $[\alpha]_T^\lambda$ se numeste **putere rotatorie** sau **rotatie specifica** si reprezinta marimea unghiului de rotatie atunci când c si l sunt egale cu unitatea. Aceasta notatie este folosita pentru a desemna o constanta de material, dependenta de lungimea de unda în vid si de temperatura T .

Din relatia (1) se poate exprima concentratia solutiei optic active (c) care, exprimata în procente , este :

$$c = \frac{100}{[\alpha]_T^\lambda \cdot l} \cdot \alpha \quad (2)$$

Proportionalitatea dintre unghiul de rotatie α al solutiei si concentratia acesteia permite determinarea comoda a concentratiei oricaror solutii optic active. Metoda utilizata are la baza masuratori ale unghiului α cu care a fost rotit planul în care oscileaza vectorul \vec{E} si poarta numele de **metoda polarimetrice**. Aparatul optic corespunzator se numeste **polarimetru**.

În aceasta lucrare se vor determina concentratiile necunoscute pentru câteva solutii slabe de zahar în apa si se va demonstra experimental proportionalitatea dintre unghiurile citite experimental si valorile calculate ale lui c , atunci când se folosesc tuburi având aceeasi lungime. De asemenea se va pune în evidenta si dependenta liniara dintre α si l (atunci când se constata ca pentru trei tuburi de lungimi diferite se gaseste numeric o aceeasi valoare a concentratiei - deci solutiile din interior sunt identice).

3. Descrierea dispozitivului experimental.

Pentru a evidenta calitativ aspectele discutate teoretic si pentru a face evaluari concrete în ceea ce priveste valoarea numerica a concentratiei mai multor solutii optic active (introduse în tuburile aflate pe masa de lucru) se foloseste un dispozitiv special, numit **polarimetru circular**. Schema optica a acestuia este prezentata în figura 3.

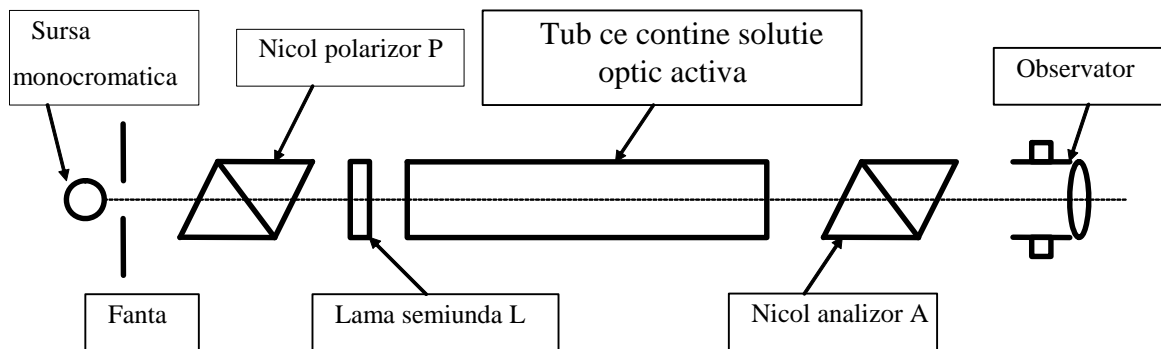


Fig. 3.

Sursa de lumina monocromatica este o lampa cu descarcare în vapori de sodiu sau un bec cu incandescenta prevazut cu un filtru rosu. Ea emite lumina nepolarizata. Fanta F are rolul de a selecta un fascicul foarte îngust, centrat pe axul de simetrie al nicolului polarizor.

Polarizorul P lasa sa treaca numai undele al caror vector intensitate a câmpului electric \vec{E} oscileaza în planul sectiunii sale principale. Amplitudinea si directia undei luminoase, emergente din polarizorul P , este indicata în figura 4 prin notatia OP .

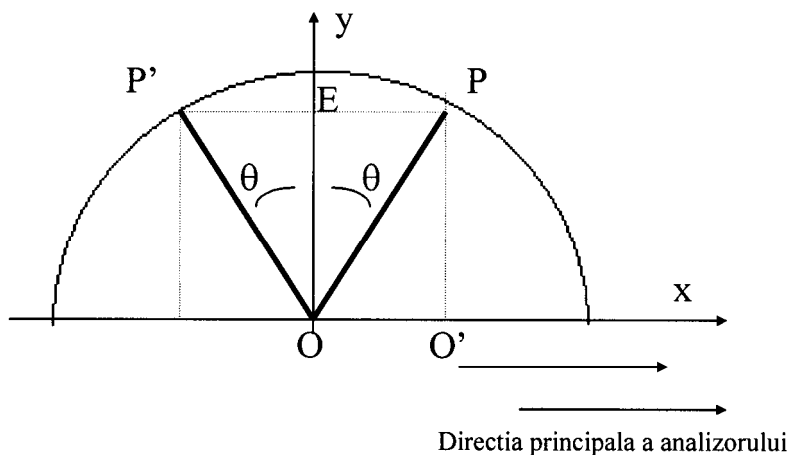


Fig. 4.

Regiunea centrala a fasciculului de lumina trece - mai departe - prin lama semiunda L , realizata dintr-un material birefringent. Pentru aceasta lama , directiile neutre sunt directiile celor doua axe care apar în figura 4, anume axele Ox si Oy. Lama descompune lumina polarizata pe directia OP în doua unde cu amplitudini diferite: OO' este amplitudinea unei ordinare iar OE este amplitudinea unei extraordinare. Grosimea lamei este astfel aleasa încât diferenta de drum optic între cele doua unde este un multiplu impar de $\lambda/2$. **Prin compunerea celor doua unde, la iesirea din lama se obtine tot o unda linear polarizata, având directia de vibratie OP' , simetrica cu cea a unei incidente.**

Lama semiunda acopera - asa cum s-a mai spus - numai partea centrala a fasciculului luminos, prezentându-se - în câmpul vizual - sub forma unei benzi (vezi figura 5).

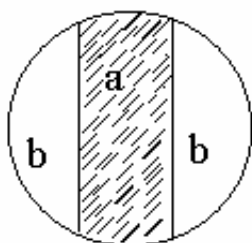


Fig. 5

Prin urmare, în zona notata ca **a** lumina are directia si amplitudinea data de segmentul OP' (din figura 4) , în timp ce pentru cele doua zone laterale notate cu **b** fasciculul luminos are amplitudinea si directia desemnate de segmentul OP.

În cazul în care mediul activ optic (tubul cu solutie) lipseste, cele doua fascicule intra, cu amplitudinile si având directiile specificate mai sus, în prisma Nicol ce joaca rolul de analizor.

Daca directia principala a analizorului coincide cu directia Ox (si **în absenta mediului optic activ**) , **observatorul va percepe cele doua zone ale câmpului vizual ca având aceeași stare de iluminare.** Acest lucru se

explica prin faptul ca proiectiile amplitudinilor OP si OP' (egale si simetrice fata de axa Oy) pe directia principala a analizorului (axa Ox) au aceeași valoare ; prin urmare si patratele acestor proiectii (care sunt proportionale cu intensitatea luminii) sunt , de asemenea, egale.

Atunci când **se introduce mediul optic activ** (tubul T umplut cu o solutie de zahar în apa), aceasta rotește cu unul si același unghi α planul de oscilatie atât pentru lumina care trece prin lama (având amplitudinea OP' - zona **a**) cât si pentru lumina care trece pe lângă lama (de amplitudine OP - cele doua zone **b**).

Configuratia amplitudinilor rotate fata de directia principala a analizorului este indicata în figura 6.

Se observa ca - în aceasta situatie - proiectia OP₁ a amplitudinii OP pe directia principala a nicolului analizor (axa Ox) este diferita (mai mare) decât proiectia OP'₁ a amplitudinii OP'. Prin urmare **zonele a si b vor avea stari de iluminare diferite.**

Pentru a aduce cele doua zone la aceeași stare de iluminare este necesar sa se faca o rotatie a directiei principale a analizorului cu un unghi care este - asa cum se vede din

figura 7 - exact unghiul α (unghiul cu care substanta optic activa a rotit planul de oscilatie al luminii incidente pe tub).

(POLARIMETRU)

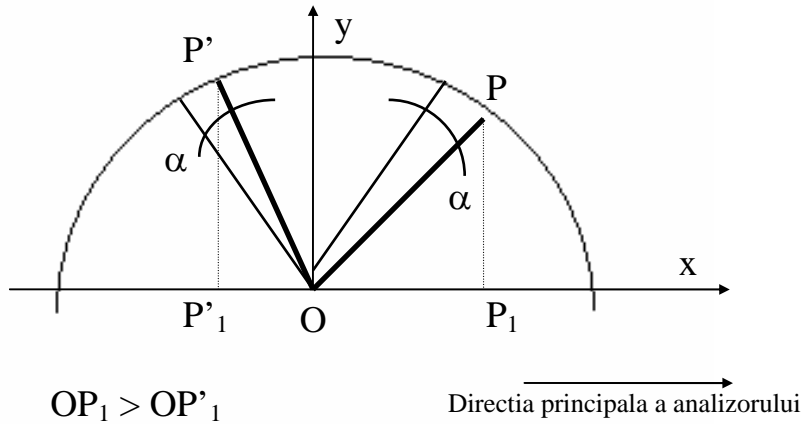


Fig. 6

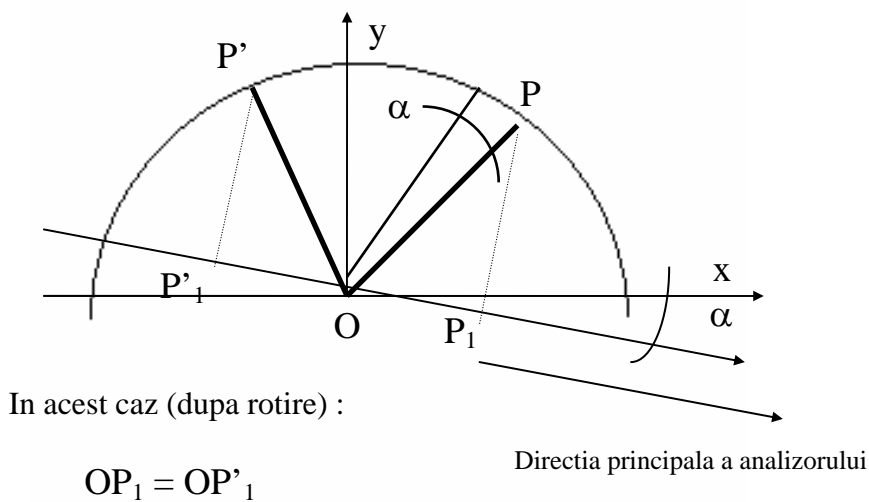


Fig. 7

Atunci când se rotește direcția principală a analizorului cu unghiul α (asa cum se observa în figura 7) , proiecțiile amplitudinilor OP și OP' (anume OP_1 și OP'_1) redevin egale și, prin urmare, **zonele a și b prezintă** - din nou - **aceeași stare de iluminare**. Valoarea acestui unghi, evident egală cu valoarea unghiului care măsoară rotația planului de oscilație al luminii provocată de către substanța optic activă din tub, se citește direct pe discul gradat cu care este prevăzut polarimetrul.

Observație. Polarimetrul funcționează la fel și dacă direcția principală a analizorului coincide cu direcția neutră Oy a lamei birefringente. Deoarece, prin construcția aparatului , se asigură o apropiere mai mare a amplitudinii OP de axa Oy (decât de Ox), valoarea iluminării la egalizarea celor două zone **a** și **b** este mai mare în cazul în care direcția principală a analizorului este paralelă cu axa Oy (față de cazul anterior discutat, cel al paralelismului cu axa Ox). În primul caz (paralelismul cu Oy) se vorbește de **egalizare de maxim** iar în cel de-al doilea caz de **egalizare de minim**.

Se recomanda sa se lucreze la egalizarea de minim, deoarece ochiul poate sesiza variatii ale iluminarii mult mai mici la iluminari mici decât la iluminari mari.

4. Modul de lucru

4.1. Se alimenteaza lampa cu vapori de sodiu sau becul cu incandescenta la retea, prin introducerea cablului alimentator în priză (la tensiunea 220 V c.a.).

4.2. Se verifica daca tuburile de pe masa de lucru sunt **complet umplute**. In cazul în care se observa prezenta unor bule de aer în solutia din interiorul tuburilor, se va cere personalului de laborator sa le umple complet (aerul este puternic absorbant) .

Pe masa de lucru trebuie sa se gaseasca **cinci tuburi** umplute cu solutie de zahar. Trei tuburi au aceeasi lungime, concentratia de zahar în solutie fiind diferita. De asemenea , trei dintre cele cinci tuburi au lungimi diferite, dar contin solutie cu aceeasi concentratie (acest lucru se va constata experimental).

4.3. Se verifica **etalonarea polarimetrului**. Pentru aceasta, se aduce discul gradat astfel încât zeroul scarii (citit pe cercul mobil interior) sa coincidă cu zeroul vernierului (ce se găsește pe discul gradat exterior, care este fix). Privind prin ocularul O cu ajutorul unui manson M se stabilește claritatea imaginii și se constată egalitatea de iluminare a zonelor **a** și **b** , obținută la minim (egalitate având luminozitate foarte redusă) . Acționarea mansonului M permite deplasarea unei lentile în scopul de a obține claritatea imaginii observate (deci adaptarea imaginii la particularitățile ochiului observatorului : miopie, presbitism, etc.).

Observatie : Acest experiment poate fi efectuat (fara ochelari) chiar si de cei care acuza probleme de vedere, acestia având singura obligatie de a gasi acea pozitie a lentilei ce este confortabila (adaptata) defectului lor de vedere.

4.4. Se introduce primul tub în locul polarimetrului (prevăzut în acest scop). Datorită modificării drumului optic, imaginea nu mai este clară. După ce se reglează din nou claritatea, se rotește discul gradat mobil interior (prin intermediul surubului de reglaj plasat în dreapta, în exteriorul celor două discuri gradate) până ce se obține - din nou - egalizarea de minim a iluminării celor două zone.

Se citește - în dreptul indicației de zero de pe discul exterior - valoarea întreaga a unghiului de pe discul mobil interior. (De exemplu, dacă zeroul de pe discul exterior cade între diviziunile 6 și 7 de pe discul interior, valoarea citită și înregistrată va fi valoarea de 6° . Este evident că - de fapt - unghiul corespunzător acestei situații nu este **exact** 6° ci 6° și încă ceva. Acest "ceva" , în realitate partea zecimală a valorii precise a acestui unghi, poate fi citită cu ajutorul unei mici lupe, fie pe partea dreaptă, fie pe partea stângă a mansonului polarimetrului, în zona în care este practicat în metal un mic decupaj circular. Maniera în care se citește partea zecimală este aceeași cu maniera în care s-a citit partea întreagă și anume : se caută indicația întreagă depășită care apare în dreptul zeroului de pe micul cerculeț exterior fix . La polarimetrul pe care îl folosim în această lucrare, cifra astfel citită reprezintă valoarea zecimilor de grad. Să spunem că - de exemplu, în zona decupată zeroul de pe cerculețul exterior fix cade între cifrele 7 și 8 de pe cerculețul interior mobil. Vom citi : $0,7^{\circ}$. Prin urmare, valoarea totală a unghiului ce corespunde cazului propus este $\alpha = 6,7^{\circ}$.)

Observatii :

A. Pentru a găsi corect condiția de egalizare de minim - după introducerea tubului - **se pleacă întotdeauna de la poziția corespunzătoare situației de "zero pe zero" fara tub și se rotește cu foarte multă grijă, extrem de fin**, surubul care acționează discul gradat mobil interior al polarimetrului. **Unghiul pe care îl cautăm este un unghi de valoare mica : câteva grade, cel mult 20°** . Prin urmare, trebuie multă atenție pentru a nu-l depăși . Condiția de minim (datorită simetriei problemei) se regăsește cu o periodicitate de 180° , dar este greșit să citim, în loc de 8° , 188° . O astfel de citire poate conduce la erori foarte mari în calculul concentrației.

B. Soluțiile de zahar în apa sunt - din punct de vedere al activității optice - substanțe **levogire**. Prin urmare, odată identificat sensul corect în care trebuie rotit surubul pentru a găsi cea mai mică valoare a unghiului pentru care se îndeplinește condiția de egalizare de minim, acest sens trebuie memorat și utilizat pentru toate tuburile cu care se fac experimentari (plecând de fiecare dată, la fiecare citire - chiar dacă este vorba despre același tub - de la poziția de “zero pe zero”).

C. Datorită erorilor de apreciere care pot să apară este obligatoriu ca - în acest experiment - să se aplice teoria erorilor.

4.5. Se măsoară fiecare tub cu soluție optic activă de **8 ori**. Se recomandă ca studenții să efectueze această lucrare simultan, să-și distribuie în mod egal obligația de a citi unghiurile, chiar și pentru același tub. Dacă grupul care efectuează această lucrare are 3 membri, primul student va face 2 citiri, al doilea 3 citiri și al treilea 3 citiri, astfel încât erorile de interpretare a situației de “egalizare de minim” să fie cât mai egal distribuite.

Rezultatele măsurătorilor se trec într-un tabel de forma (tabelul 1) :

Tabelul 1.

Nr.tub	l [dm]	Nr. experiment t	$\alpha_{\text{măsurat}}$ [$^{\circ}$]	α_{mediu} [$^{\circ}$]	c_{calculat} [%]	c_{mediu} [%]	$\sigma_{c \text{ mediu}}$ [%]
1		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
		7					
		8					
		1					

5. Prelucrarea datelor experimentale

5.1. Cu ajutorul relației 2 se calculează concentrația pentru fiecare tub, completându-se valoarea corespunzătoare în tabelul 1. Puterea rotatorie a zahărului în soluție, pentru temperatura medie din laborator ($\approx 20^{\circ}$) și lungimea de undă a radiației monocromatice folosite ($\approx 5893 \text{ \AA}$) are valoarea $[\alpha]_{\lambda}^T = 66,5^{\circ}$. Prin urmare, formula explicită de calcul este :

$$c = \frac{100}{66,5^{\circ} \cdot l} \cdot \alpha \quad (3)$$

Este obligatoriu ca lungimea tubului (măsurată cu ajutorul unei rigle, între cele două geamuri transparente care delimitează conținutul soluției din tub) **să fie introdusă** (în relația 3) **având ca unitate de măsură decimetrul**.

5.2. Se reprezintă grafic valorile medii ale lui α în funcție de valorile medii ale concentrației c calculate, **pentru tuburile care au aceeași lungime**. Se verifică plasarea celor trei perechi de puncte pe o dreaptă, ținându-se - de altfel - cont de dependența liniară $\alpha = f(c)$, exprimată de relația (3).

5.3. Dacă se reprezintă grafic valorile medii ale unghiului α în funcție de lungimea tubului, pentru cele trei tuburi de lungimi diferite care - în urma calculelor - rezulta a fi umplute cu soluții având aceeași concentrație de zahăr, se obține tot o dreaptă. Astfel se verifică și dependența liniară a valorii unghiului cu care este rotit planul de oscilație al luminii de parcursul acesteia în mediul optic activ (vezi relația (1)).

Referatul va conține o prezentare sumară a teoriei lucrării, schița polarimetrului, schița ce explică fenomenele fizice ce sunt folosite pentru a permite măsurarea concentrației unor soluții optice active, tabelul cu date experimentale (completat, cu toate calculele făcute), cele două grafice și un exemplu de calcul al valorii medii și al abaterii pătratice medii corespunzătoare.

6. Intrebări

6.1. Ce este o prismă Nicol, ce proprietăți optice prezintă și cum se justifică utilizarea ei în cadrul acestui montaj optic? Ce alt tip de materiale ați mai folosit (în cadrul acestui laborator) pentru a obține lumina liniar polarizată?

6.2. Care este rolul lamelei de cuarț în cadrul acestui experiment? S-ar putea renunța la utilizarea ei? Care ar fi efectele?

6.3. De ce s-a făcut afirmația (în cadrul acestui referat) că unghiul ce asigură egalizarea iluminărilor celor două zone prezintă o periodicitate de 180° ?

6.4. Puteți indica o altă schemă optică experimentală care să conducă la obținerea aceluși rezultat? De exemplu: componentele optice utilizate pot fi amplasate spațial diferit (în altă ordine)?

6.5. Ce alte tipuri de soluții ar putea fi măsurate (din punctul de vedere al concentrației acestora) cu ajutorul polarimetrului? Care credeți că este utilitatea industrială a acestui instrument optic?

7. Bibliografie

[1], [2] Colectivul Catedrei de Fizică, “Lucrări practice de fizică. Indrumar de laborator. Volumul I”, Tipografia U.P.B., 1981 / 1984