

2. SPECTROSCOPUL

A. Scopul lucrării: Etalonarea spectroscopului; determinarea dispersiei unghiulare și a dispersiei liniare.

B. Dispozitive și materiale necesare: spectroscop versatil I.O.R., lampă cu vapori de mercur, drosel.

C. Principiul fizic al metodei: Spectroscopul este un dispozitiv optic destinat stabilirii prin observare vizuală a compoziției spectrale a fasciculelor de radiații din domeniul vizibil. Schema optică a unui spectroscop este prezentată în Fig. 1.

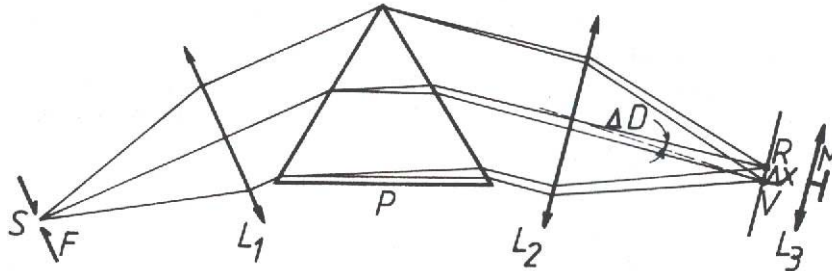


Fig.1

Partea principală a spectroscopului este dispozitivul dispersiv DD, alcătuit din una sau două prisme (sau dintr-o rețea de difracție), având funcția de a descompune lumina albă în componentele monocromatice.

Pentru ca prisma să acționeze în mod identic asupra tuturor razelor din fascicul, se folosesc fascicule de raze paralele.

Fasciculul de raze paralele este obținut cu ajutorul colimatorului, alcătuit din fanta dreptunghiulară F situată în planul focal al lentilei convergente L_1

Fasciculele de raze paralele care ies din prismă sunt analizate cu o lunetă alcătuită din lentilele convergente L_2 și L_3 .

Dacă dispozitivul este iluminat cu o radiație monocromatică (spre exemplu radiația galbenă a sodiului), în planul focal imagine al lentilei L_2 (obiectivul lunetei) se formează imaginea dreptunghiulară a fantei colimatorului. Dacă luneta este reglată pentru infinit, această imagine se formează în planul focal obiect al obiectivului L_3 , astfel că imaginea finală se formează la infinit și poate fi privită cu ochiul neacomodat.

În primă aproximație, indicele de refracție al substanțelor solide, transparente, depinde de lungimea de undă a radiațiilor din domeniul vizibil, în conformitate cu relația empirică stabilită de Cauchy:

$$(1) \quad n^2 = n_0^2 + \frac{A}{\lambda^2} + \frac{B}{\lambda^4}$$

în care n_0 , A și B sunt constante pozitive dependente de natura materialului. Relația (1) ne arată că, în cazul sticlelor optice, indicele de refracție pentru radiația albastră este mai mare decât indicele de refracție pentru radiația roșie.

În lucrarea "Determinarea indicelui de refracție al unei prisme" a fost stabilită relația (2) aplicabilă în cazul în care radiațiile străbat prisma la minim de deviație:

$$(2) \quad n \sin \frac{A}{2} = \sin \frac{A + D_m}{2}$$

În egalitatea (2) n este indicele de refracție al prisme, A unghiul de refracție al prisme, iar D_m unghiul de deviație minimă.

Din (2) rezultă că variația indicelui de refracție cu lungimea de undă determină dependența unghiului de deviație minimă de lungimea de undă, astfel încât o prismă optică este un dispozitiv dispersiv, capabil să descompună un fascicul de lumină albă în componentele lui monocromatice.

În spectroscop prisma optică este astfel utilizată încât radiațiile din mijlocul domeniului vizibil o străbat la minim de deviație.

Derivând relația (2) în raport cu λ , în urma unor calcule simple, obținem:

$$(3) \quad \frac{dDm}{d\lambda} = \frac{2 \sin \frac{A}{2}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \frac{A}{2}}} \frac{dn}{d\lambda}.$$

Mărima $\frac{dDm}{d\lambda}$ se numește dispersie unghiulară și ne arată cu cât diferă unghiul de deviație a două radiații ale căror lungimi de undă diferă cu unitatea (1Å). Dispersia unghiulară se măsoară în rad/Å.

Din relația (3) rezultă că două radiații ale căror lungimi de undă diferă cu 1 Å, vor fi separate printr-un unghi dD cu atât mai mare, cu cât unghiul dispersiv al prisme este mai mare și de asemenea cu cât este mai mare dispersia $\frac{dn}{d\lambda}$ a materialului din care este confecționată prisma.

Creșterea unghiului de refracție al prisme este limitată de apariția fenomenului de reflexie totală la nivelul suprafeței de ieșire din prismă ($A \leq 2I$).

La ieșirea din prisma iluminată cu un fascicul de raze paralele de lumină albă, se obțin fascicule de raze paralele diferit deviate, funcție de lungimea de undă a radiațiilor monocromatice componente.

Totalitatea frecvențelor și intensităților corespunzătoare fasciculelor emergente din prismă determină, în planul focal imagine al obiectivului lunetei, o mulțime de imagini liniare denumite spectrul fasciculului incident.

Distanțele relative dintre liniile spectrale pot fi măsurate cu ajutorul dispozitivului M, prevăzut cu șurub micrometric, atașat lentilei ocular L_3 a lunetei (Fig.1).

Dacă două radiații monocromatice ies din prismă după două direcții ce formează un unghiul dD, iar imaginile corespunzătoare lor se formează în planul focal al lentilei L_2 , la distanța dx, din Fig. 1 se observă că poate fi scrisă relația:

$$(4) \quad dx = f_2 dD.$$

în ipoteza că unghiul dD este foarte mic.

În relația (3) f_2 este distanța focală a lentilei L_2 . Împărțind prin $d\lambda$ ambii membri ai relației (4) se obține:

$$(5) \quad \frac{dx}{d\lambda} = f_2 \frac{dD}{d\lambda}$$

Mărima $\frac{dx}{d\lambda}$ se numește dispersie liniară și reprezintă distanța, măsurată în planul focal al lentilei L_2 , între două linii spectrale ale căror lungimi de undă diferă cu 1 Å.

Din (3) și (5) se obține:

$$(6) \quad \frac{dx}{d\lambda} = f_2 \frac{2 \sin \frac{A}{2}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \frac{A}{2}}} \frac{dn}{d\lambda}$$

Relația (6) arată că dispersia liniară a spectroscopului este direct proporțională cu distanța focală a obiectivului lentilei și cu dispersia materialului prisme. Ea crește cu creșterea unghiului refringent al prisme.

Deci prin creșterea unghiului prisme se poate crește dispersia liniară a spectroscopului, dar posibilitățile sunt limitate de condiția de emergență a radiațiilor din prismă ($A \leq 2I$).

Cunoscând dispersia liniară a spectroscopului și lungimile de undă ale unor linii etalon, se pot determina lungimile de undă ale unor linii necunoscute, utilizând relația:

$$(7) \quad \lambda_2 = \lambda_1 + \frac{d\lambda}{dx} (x_2 - x_1)$$

care presupune o simplă măsurare de distanțe relative între liniile spectrale, în planul focal al lentilei L_2 .

D. Modul de lucru.

Spectroscopul versatil I.O.R. constă din două bancuri optice astfel asamblate încât să se poată modifica unghiul dintre ele. Pe bancul fix se montează, pe suporti reglabili, sursa S, fanta F a colimatorului, lentila L_1 a colimatorului și dispozitivul dispersiv DD (Fig. 1).

Bancul optic mobil conține suporti pentru lentilele L_2 și L_3 ale lunetei. Ocularul lunetei poate fi deplasat lateral prin manevrarea unui tambur micrometric M, cu ajutorul căruia pot fi măsurate distanțele dintre liniile spectrale.

Punerea la punct a spectroscopului constă în următoarele operații:

- reglarea poziției și înălțimii sursei, astfel ca ea să ilumineze corect fanta spectroscopului;
- punerea la punct a colimatorului și reglarea pentru infinit a lunetei;
- alegerea poziției bancului optic mobil pentru care imaginile se formează în lupa L_3 .

La efectuarea acestor operații trebuie avută în vedere păstrarea aceleași înălțimi pentru toate piesele de pe bancurile optice. Se cunosc distanța focală a lentile colimatorului, $f_1 = 60$ cm și distanța focală a obiectivului lunetei, $f_2 = 100$ cm.

Etalonarea spectroscopului constă în stabilirea relației grafice dintre pozițiile liniilor spectrale (în planul focal al lentilei L_2) citite pe tamburul (atașat lupei L_3) și lungimile de undă ale acestora.

Pentru etalonare se aleg de obicei surse cu linii spectrale uniform distribuite în spectru și cu lungimi de undă cunoscute. În laboratorul nostru se utilizează o sursă cu descărcare în vapori de mercur, având lungimile de undă ale liniilor spectrale din vizibil prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1

Lungimile de undă și intensitățile relative ale unor linii spectrale pentru mercur

$\lambda(\text{\AA})$	Culoarea	Intensitatea relativă
6907,16	Roșu	125
6234,37	Roșu	15
6125,27	Roșu	15
5790,65	Galben	1000
5769,59	Galben	200
5460,74	Verde-galben	2000
4916,04	Verde	50
4358,35	Verde-albastru	500
4347,50	Albastru	50
4339,24	Albastru	20
4077,81	Violet	150
4046,56	Violet	300

Distanțele relative dintre linii se măsoară astfel: se aduce șurubul micrometric la poziția zero și se mișcă bancul optic până când linia violetă ajunge pe firele reticulare. Bancul optic rămâne în poziția fixă și deplasând ocularul cu ajutorul tamburului micrometric, se aduc pe rând, între firele reticulare, diversele radiații, notând pentru fiecare diviziunile de pe instrumentul de măsură.

Rezultatele măsurătorilor se trece în tabelul cu date experimentale.

Dacă spectrul este întins pe o distanță mare, mai mare decât scala șurubului micrometric, se readuce instrumentul de măsură la zero; se mișcă bancul optic până când între firele reticulare ajunge ultima linie măsurată și se continuă măsurătorile. Se face apoi translația cuvenită, astfel încât să se păstreze originea pe ultima linie violetă a spectrului (4046,56 \AA).

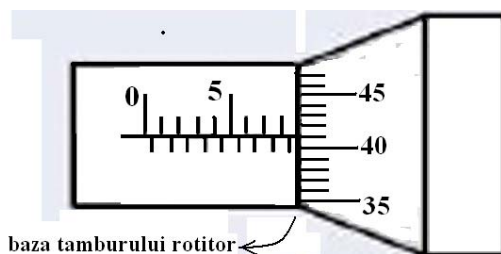
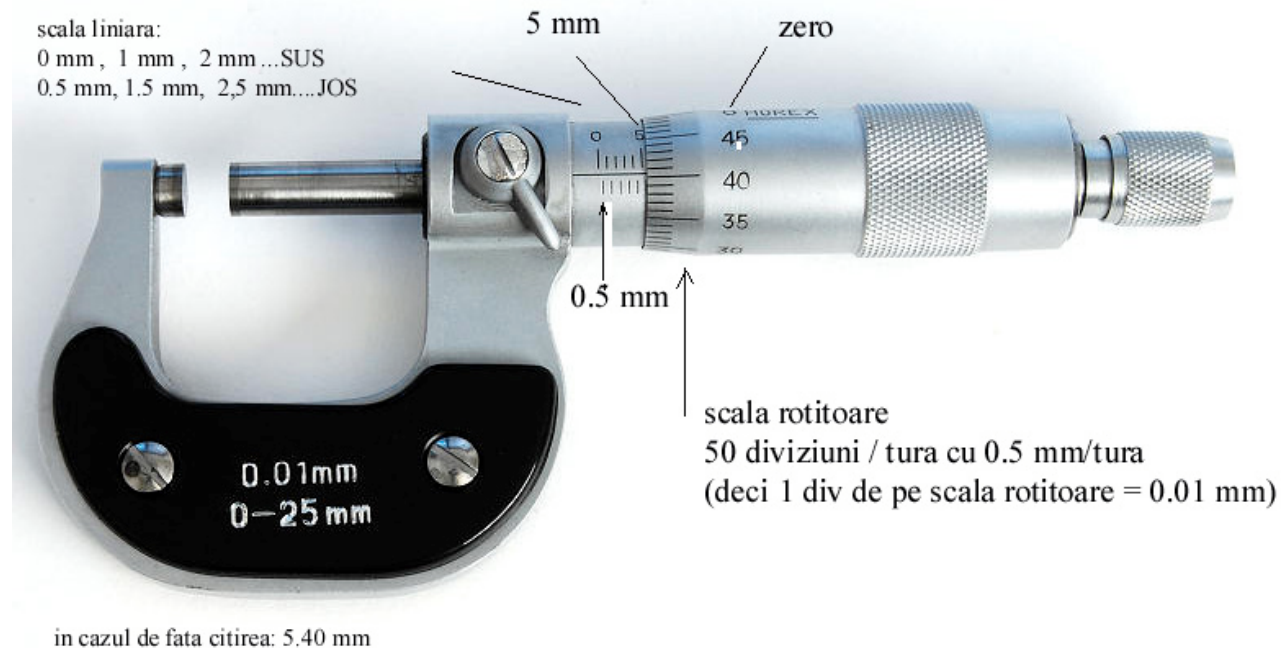
Se trasează graficul de etalonare al spectroscopului, reprezentând distanța relativă dintre liniile spectrale pe ordonată și lungimea de undă corespunzătoare pe abscisă.

Dispersia liniară $\frac{dx}{d\lambda}$ se determină din grafic, pe domenii spectrale restrânse.

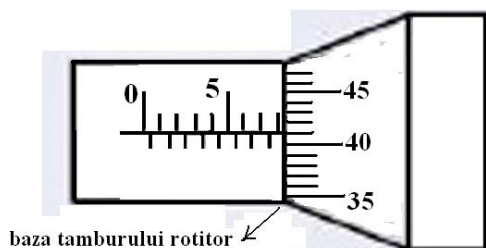
Utilizând relația (5) și cunoscând distanța focală a obiectivului lunetei spectroscopului, $f = 1000 \text{ mm}$, se determină dispersia unghiulară $\frac{dD}{d\lambda}$.

E. Tabel cu date experimentale

Nr. det.	Culoarea	$\lambda(\text{\AA})$	x(mm)	$\frac{dx}{d\lambda}$	$\frac{dD}{d\lambda} \left(\frac{\text{rad}}{\text{\AA}} \right)$
1.					
2.					



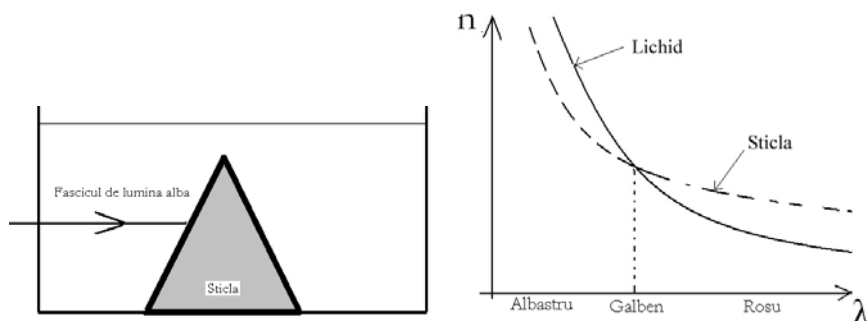
citire: baza tamburului rotitor a trecut de 8 mm (SUS) => 8 mm +.....
baza tamburului rotitor a trecut chiar de 8.5 mm => 8 mm + 0.50 mm +.....
baza tamburului rotitor intersecteaza scala liniara la div 41 => 8.91 mm



citire: baza tamburului rotitor a trecut de 8 mm (SUS) => 8 mm +.....
baza tamburului rotitor NU NU a trecut de 8.5 mm => 8 mm +
baza tamburului rotitor intersecteaza scala liniara la div 41 => 8.41 mm

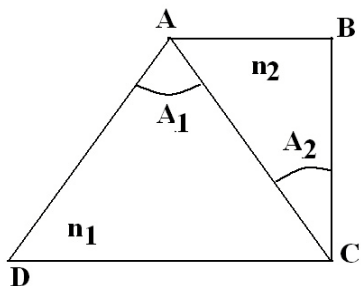
F. Întrebări :

1. Cine a realizat pentru prima dată descompunerea radiației solare în componente monocromatice, utilizând o prismă?
2. În domeniul de absorbție relația lui Cauchy nu mai este satisfăcută, iar indicii de refracție măsurat într-un astfel de domeniu spectral crește cu scăderea lungimii de undă. Cum vor fi deviate radiațiile roșii și cele violete de o prismă care ar fi confecționată dintr-un material care ar absorbe (cu factor de transmisie 50%) toate radiațiile din vizibil?
3. Calculați, din datele experimentale obținute dispersia de material $\frac{dn}{d\lambda}$ a prisme spectroscopului, dacă $A = 60^\circ$ și $n = 1,62$.
4. Desenați spectrul mercurului prin segmente de dreaptă verticale, paralele, ale căror lungimi să fie proporționale cu intensitățile luminoase ale liniilor spectrale (aproximate vizual prin strălucirile liniilor spectrale), iar distanțele dintre linii să fie proporționale cu cele măsurate în laborator.
5. Ce deosebiri există între un spectru obținut cu un spectroscop având ca dispozitiv prisma optică și cel obținut cu un aparat spectral având în calitate de dispozitiv dispersiv o rețea de difracție?
6. Într-un vas paralelipipedic umplut cu un lichid transparent se introduce o prismă de sticlă ca în figura de mai jos. Curbele de variație ale indicilor de refracție cu lungimea de undă a radiațiilor optice pentru lichid și pentru sticlă sunt reprezentate grafic alăturat.
 - (a) ce acțiune va avea prismă asupra unui fascicul de raze paralele de lumină albă care patrunde în vas și ajunge pe prismă după o direcție paralelă cu baza prisme?
 - (b) să se indice calitativ drumul razelor pentru radiațiile galbene, albastre și roșii



7. Două prisme optice cu unghiurile de refracție $A_1=60^\circ$ și $A_2=30^\circ$ sunt lipite ca în figura astfel încât unghiul $DCB=90^\circ$. Indicii de refracție ai prismelor depind de lungimea de undă prin relațiile :

$$n_1 = a_1 + b_1/(\lambda^2) \quad \text{și} \quad n_2 = a_2 + b_2/(\lambda^2) \quad \text{în care} \quad a_1=1.1, \quad b_1=10^5 \text{ nm}^2, \quad a_2=1.3 \quad \text{și} \quad b_2=5 \cdot 10^4 \text{ nm}^2.$$



Să se calculeze:

- (a) lungimea de undă λ_0 a radiațiilor incidente pe fața AD pentru care lumina trece prin sistemul de prisme fără să se reflecte pe latura AC indiferent de unghiul de incidență pe latura AD
- (b) valorile indicilor de refracție n_1 și n_2 corespunzatori lungimii de undă λ_0
- (c) unghiul de deviație minimă prin sistemul de prisme dacă radiația incidentă are lungimea de undă λ_0 .
- (d) Lungimea de undă a radiației incidente pe fața AD după o direcție paralelă cu latura DC pentru care radiația emergentă (pe fața BC) este paralelă cu cea incidentă.

8. Un fascicul de raze paralele emis de o lampa cu vapori de sodiu ajunge pe fata unei prisme cu unghiul de refractie $A=60^\circ$. Liniile spectrale se obtin in planul focal al unei lentile convergente cu distanta focala $f=50$ cm. Sa se determine la ce distanta sunt situate una fata de cealalta cele doua componente ale radiatiei galbene daca pentru una din ele indicele de refractie al prisme este $n=1.48810$ iar pentru cea de a doua cu $\Delta n=10^{-5}$ mai mare. Prisma se afla situata la minim de deviatie.