

# STUDIUL DISPERSIEI LUMINII. SPECTROSCOPUL CU PRISMA

## 1. Scopul lucrării

Prin efectuarea lucrării se urmărește, în primul rând, observarea și studiul fenomenului de dispersie a luminii. De asemenea, se va realiza verificarea corectitudinii a aparatului spectral fundamental - spectroscopul cu prismă și a modului de obținere a spectelor de emisie și absorbtie.

## 2. Teoria lucrării

### 2.1. Dispersia luminii

Dispersia luminii constă din dependența indicelui de refracție  $n$  al unei substanțe de pulsării  $\omega$  sau de lungimea de undă  $\lambda$  a luminii. Funcția  $n = n(\lambda) = n(\omega)$  se numește relată de dispersie.

Stabilirea formei explicită a relației de dispersie se poate face în baza modelului clasic al interacției radiatii electromagnetice cu substanța. Lămurirea tuturor aspectelor privind dispersia și absorbtia luminii în mediu dielectric este posibilă numai cu ajutorul modelelor quantum și interacțiune.

Considerăm lumină în undă electromagnetică de pulsărie  $\omega$  și molecule substanțe ca un ansamblu de oscilatori de masă  $m_k$  și frecvență  $\omega_k$ . Campul electric al undii electromagnetice determină oscilații forțate ale oscilatorilor, de elongație  $r_k$ . La nivelul moleculei acest fenomen implica apariția unui moment electric dipolar de mărime  $P_e = \sum_k q_k r_k$ , iar la nivelul întregului corp, considerat omogen și isotrop, o polarizare  $P = N \sum_k q_k r_k$ , unde  $N$  reprezintă numărul moleculilor din unitatea de volum.

Elongațile  $r_k$  se obțin din ecuația de mișcare a oscilatorului  $\ddot{r}_k + 2 f_k \dot{r}_k + \omega_{ok}^2 r_k = \frac{q_k}{m_k} E$

și sunt  $r_k = \frac{q_k E}{m_k} \cdot \frac{1}{\omega_{ok}^2 - \omega^2 + i 2 f_k \omega}$ ,  $\omega_{ok}$  = frecvența proprie de oscilație a oscilatorului  $k$ ,  $f_k$  = constantă de amortizare.

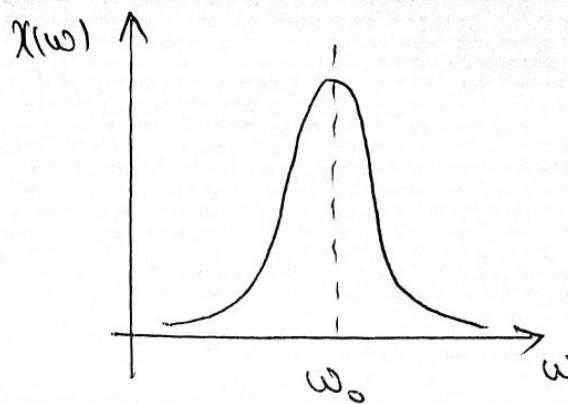
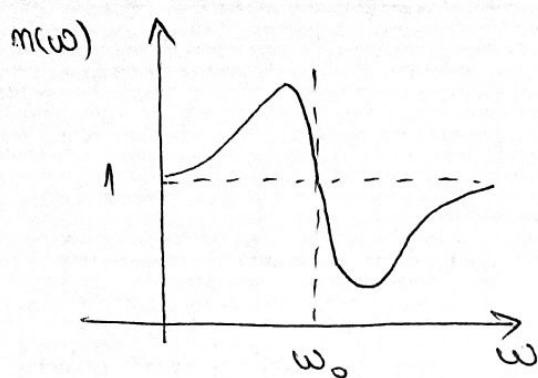
Indicele de refracție  $n$  depinde de permisivitatea relativă a mediului  $\epsilon_r$ , iar acesta și polarizarea  $P$ , prin relația  $n^2 = (m + i \chi)^2 = \epsilon_r$ , respectiv,  $\epsilon_r = 1 + \frac{P}{\epsilon_0 E}$ .

Polarizarea  $P$  este o mareime complexă, deci și permisivitatea  $\epsilon_r$  și indicele de refracție  $n$  vor fi mărimi complexe, notate cu  $\hat{P}$ ,  $\hat{\epsilon}_r$ ,  $\hat{n}$ . În plus, mărimea  $\chi$  caracterizează mediu din punctul de vedere al atenuării undei prin absorbtie.

În cazul unui singur oscilator ( $k=1$ ):

$$m(\omega) = 1 + \frac{Ne^2}{2m_0\epsilon_0} \cdot \frac{\omega_{ok}^2 - \omega^2}{(\omega_{ok}^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2}$$

$$\chi(\omega) = \frac{Ne^2}{2m\epsilon_0} \cdot \frac{\gamma\omega}{(\omega_{ok}^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2}$$



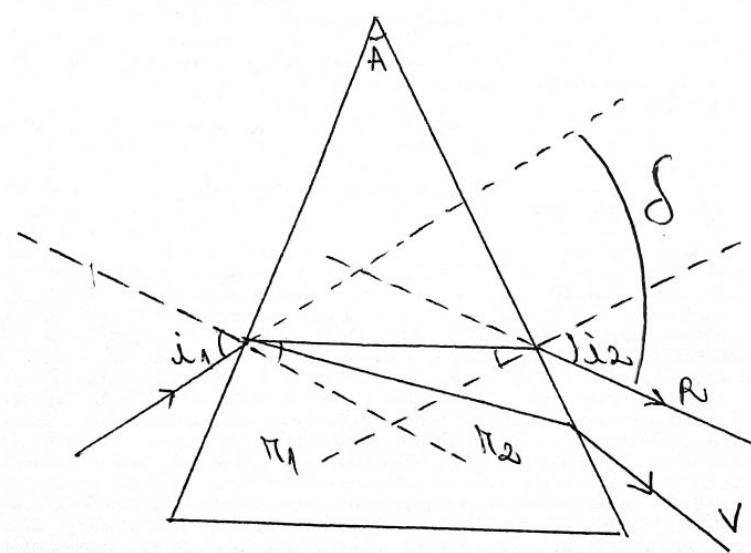
Din graficul celor două relații rezultă că în punctul frecvenții de rezonanță ( $\omega \approx \omega_0$ ) indicele de reflecție superioară rezistenței buzelor, deci indicele de absorție prezintă un maxim pronunțat. Spunem că dispersia că este normală dacă  $\frac{dm}{d\omega} > 0$ . În zonele în care  $\frac{dm}{d\omega} < 0$ , dispersia este anormală.

Frecvențele de rezonanță sunt caracteristice fiecărui atom sau moleculei în parte. Determinarea lor permite identificarea atomului sau moleculei.

Pe baza fenomenului de dispersie, o prismă optică separă componentele monocromatice ale radiației incidente, obținându-se astfel spectrul optic. Cum spectrul radiațiilor emise de substanță este o caracteristică absolută a acesteia, spectrul devine un mijloc foarte sigur de identificare a substanței. Intensitatea unei anumite radiații în spectru depinde de doi factori: posibilitatea cu care are loc o tranziție care duc la emisie radiației respective și numărul sistemelor atomici care emit. Deci, o linie spectrală ne poate furniza informații atât asupra naturii atomului sau moleculei care a emis radiația cât și asupra concentrației acestora în susea de radiații.

Sistemele atomici absorb radiațile a căror frecvență este egală cu frecvența radiuaților pe care pot să le emite. Totalitatea radiației absorbeți de către un sistem atomic constituie spectrul de absorție al acestuia.

Deoarece dispersiei, undele luminoase care alcătuiesc o radiație complexă sunt deviate cu unghiuri diferite la pătrunderea într-un mediu dispersive și astfel pot fi observate separat. Un dispozitiv simplu prin care se obține separarea luminii prin dispersie este prismă optică.



Unghiul de deviație (între raza incidentă și raza emergentă) la trecerea luminii prin prismă este  $\delta = i_1 - r_1 + i_2 - r_2 = i_1 + i_2 - A$ .

Acest unghi este minim pentru  $i_1 = i_2 = i$  și  $r_1 = r_2 = r = A/2$  (raza este în planul paralel cu bază). De asemenea,  $\delta_{\min} = 2i - A$ .

Dacă  $\sin i = \frac{1}{n} \sin r$  și din condiția de  $r = A/2 \Rightarrow \delta_{\min} = 2 \arcsin \left( \frac{1}{n} \sin \frac{A}{2} \right) - A$  căci orată să deviația minimă depinde de indicele de refracție. Se poate arăta că deviația  $\delta$  este funcție de  $i$ .

## 2.2. Spectre de emisie și spectre de absorție

Un sistem microscopic (atom, molecule, nucleu etc.) se caracterizează prin faptul că poate exista numai în anumite stări, numite stări statice, corespunzătoare unei mulțimi discrete de valori ale energiei.

Orică variatia a energiei sistemului microscopic se face pînă o tranziție dintre o stare statioană în altă. De intervalele tranziției radiative, cînd sistemul emite sau absorbe un foton. Astfel, la trecerea sistemului din starea cu energia  $E_m$  în starea cu energie  $E_m' (E_m > E_m')$  și emite un foton cu energie  $h\nu = E_m - E_m'$ . La absorția unui foton cu energie  $h\nu = E_m - E_m'$ , sistemul trece din starea cu energia mai mică  $E_m$  în starea cu energie mai mare  $E_m'$ .

Totalitatea radiatiilor emise de un sistem microscopic constituie spectrul de emisie al sistemului.

Pentru atomi sunt caracteristice spectrele discrete care sunt formate din linii (radiatii monocromatice) izolate. Denumirea de linii spectrale vine de la faptul că mitalele experimentale sau la observarea radiatiilor monocromatice ca imagini ale unei fante înguste (linii spectrale corespunzătoare teoriei radiatiilor monocromatice se frecventă) (lungime de undă  $\lambda$ ). În realitate, linile spectrale nu sunt riguroz monocromatice, și prezintă o anumită largime  $\Delta\lambda$ . Există o largime naturală a liniei spectrale care este un efect suantic. Lărgimea liniei și datează și altor fenomene (efect Doppler, interacția dintre particule etc.). Intensitățile linilor spectrale depind de probabilitățile cu care au loc tranziții corespunzătoare și de numărul sistemelor microscopic din diferite stări.

Pentru molecule sunt caracteristice spectrele formate din benti discrete. Tranzițiiile cu loc între grupuri de nivele de energie alcătuite din molecule foarte apropiate.

Dacă o radiată care are un spectru continuu trece pînă o substanță absorbantă, spectrul continuu va apărea brăzdat de linii sau benti întunecate. Acestea constituie un spectru de absorție.

Specificitatea spectrelor optice permite identificarea atomilor și moleculelor (analiza calitativă). Dacă se măsoară intensitățile linilor sau bentilor spectrale se poate determina concentrația atomilor și moleculelor (analiza cantitativă).

2.3. Unde și rezonanță

Dacă o undă luminosă de frecvență dată este incidentă pe un material ai cărui atomi au electroni se vibrează în aceeași frecvență, atunci acestia vor absorbi energie undei incidente și o va transforma în mișcare de vibrație. În timpul vibrației, electronii interacționează cu atomii vecini transformând energiea să vibratională în energie termică. Astfel, putem spune că undă luminosă incidentă a fost absorbită de material. Această absorbție este selectivă și depinde de frecvențele de rezonanță ale materialelor.

În cazul în care frecvențele de rezonanță ale atomilor și moleculelor se aliniază materialul nu corespunde frecvențelor undelor de lumină incidente, apoi fenomenele de reflexie și transmisie. Când o undă de undă, având frecvență diferită de cea de rezonanță a atomului, este incidentă pe un material, electronii din atom încep să vibreze. Dacă materialul este transparent, vibrația electronilor este decăzută atât timp cât până la volumul de material pînă când ajunge și fata opusă a acestuia și este reemisă sub formă de lumină. Dacă materialul este opac, vibrația electronilor nu se transmite la atomii vecini, ea fiind reemisă sub formă de lumină după o scurtă perioadă de timp.

Lumina vizibilă are un spectru continuu format dintr-un domeniu de frecvențe, fiecare conținând unei anumite culori. Când aceasta este incidentă pe un obiect, anumite frecvențe specifice acestuia vor fi absorbite și nu vor mai ajunge percepute la ochiul nostru. Lumina naturală conține toate frecvențele și este cunoscută sub numele de lumină albă, descompusă de următoarele componente: R(roz), O(portocaliu), G(galben), V(verde), A(albastru), I(îndigo), V(violet).

3. Descrierea instalației experimentale

Instalația experimentală este formată dintr-un spectroscop, două becuri cu incandescentă și surse speciale cu alimentarea adecvată.

Spectroscopul este format din pîsme optică P, colimatorul C<sub>1</sub>, care constă într-o lentă divergențială reglabilă F, plasată în focalul unei lentile L<sub>1</sub>, lunață L și ajutorul căreia se face observarea spectrului și colimatorul C<sub>2</sub> format dintr-o scară micrometrică și o lentilă L<sub>4</sub> care proiectază imaginea scarării micrometrice pe o fază a pîsmei P, iar acesta se reflectă în campul vizual al lunetei.

Busele speciale conțin elementele, în stare atomică, ale căror spectre de emisie se vor studia (Hg în bîcul su vaporii de mercur; He și Ne în cele două becuri de disipație). Excitația atomelor pe mișcările superioare de energie se face prin sincronizare cu electronii accelerati în câmp electric. Dezexcitația atomelor duc la emisie unor spectre de radiații caracteristice.

Pentru observarea spectrului de absorție al moleculei de permanganat de potasiu se folosește o soluție de permanganat de potasiu și un lucru cu un concentrație.

## Etalajarea Spectroscopului folosind spectrul mercurului

Nr ct	Liniile speciale	Intensitatea	$\lambda$ (nm)	
1.	Roșu	Intens	6	612,3
2.	Portocaliu	Foarte slab	9,5	585,9
3.	Galben	Foarte intens	10,5	579,0
4.	Galben	Foarte intens	11,0	574,0
5.	Verde	Slab	18,0	535,4
6.	Verde - albastru	Foarte slab	24,0	496,0
7.	Verde - albastru	Slab	28,0	491,6
8.	Albastru	Intens	47,0	435,8
9.	Violet	Intens	60,0	404,8
10.	Violet	Intens	64,0	404,4

## Spectru Heliului

Nr ct	Liniile speciale (culese)	Intensitatea	$\lambda$ (nm)	
1.	Galben	Intens	9,5	585,9
2.	Verde	Foarte intens	24	504,2
3.	Albastru	Intens	33,5	471,9
4.	Albastru	Slab	42	445
5.	Violet	Intens	45,5	438

## Spectru Neonului

Nr ct	Liniile speciale (culese)	Intensitatea	$\lambda$ (nm)	
1.	Roșu - portocaliu	Intens	5,5	616,5
2.	Portocaliu	Slab	8	600
3.	Galben	Foarte intens	9,5	585,9
4.	Verde	Slab	18,5	511
5.	Albastru	Intens	29,5	486

4. Absorbție KMnO<sub>4</sub>

$$\Delta x = (20; 22) \text{ div}$$

Pentru  $x = 20 \text{ div}$ ,  $\lambda_1 = 527 \text{ mm}$

Pentru  $x = 22 \text{ div}$ ,  $\lambda_2 = 514 \text{ mm}$

$$\Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = 527 \text{ mm} - 514 \text{ mm} \Rightarrow \Delta \lambda = 10 \text{ mm}$$

5. Calculați dispersia liniară a spectroscopului  $D = \left| \frac{dx}{d\lambda} \right|$  la univarsul punctei tangentei la curba de etalonare între punctele corespunzătoare lungimilor de undă  $\lambda = 420 \text{ mm}$ ,  $\lambda = 500 \text{ mm}$  și  $\lambda = 580 \text{ mm}$ .

- $\lambda = 420 \text{ mm}$

Tangenta la curba de etalonare trase prin punctele: A(54, 420), B(60,5, 405)

$$D = \left| \frac{dx}{d\lambda} \right| = \left| \frac{60,5 - 54}{405 - 420} \right| = \left| \frac{6,5}{-15} \right| = 0,43 \frac{\text{div}}{\text{mm}}$$

- $\lambda = 500 \text{ mm}$

Tangenta la curba de etalonare trase prin punctele: A(26, 500), B(35, 462)

$$D = \left| \frac{dx}{d\lambda} \right| = \left| \frac{35 - 26}{462 - 500} \right| = \left| \frac{9}{-38} \right| = 0,123 \frac{\text{div}}{\text{mm}}$$

- $\lambda = 580 \text{ nm}$

Tangenta la curba de etalonare trase prin punctele A(10,5, 580), B(15, 545)

$$D = \left| \frac{dx}{d\lambda} \right| = \left| \frac{15 - 10,5}{545 - 580} \right| = \left| \frac{4,5}{-35} \right| = 0,13 \frac{\text{div}}{\text{nm}}$$

