

STUDIUL DISPERSIEI LUMINII. SPECTROSCOPUL CU PRISMĂ

1. Scopul lucrării

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

2. Teoria lucrării

2.1. Dispersia luminii

Dispersia luminii constă în dependența indicelui de refracție n al unei substanțe de pulsația ω sau de lungimea de undă λ a luminii. Funcția $n = n(\lambda) = n(\omega)$ se numește relație de dispersie.

Stabilirea formei explicite a relației de dispersie se poate face în baza modelului clasic al interacției radiației electromagnetice cu substanța. Lămurirea tuturor aspectelor privind dispersia și absorbția luminii în medii dielectrice este posibilă numai cu ajutorul modelelor cuantice de interacțiune.

Considerăm lumina ca undă electromagnetică de pulsație ω și molecula substanței ca un ansamblu de k oscilatori de masă m_k și sarcină q_k . Câmpul electric al unde electromagnetice determină oscilații forțate ale oscilatorilor, de elongație r_k . La nivelul moleculei acest fenomen implică apariția unui moment electric dipolar de mărime:

$$p_e = \sum_k q_k r_k ,$$

iar la nivelul întregului corp, considerat omogen și izotrop, o polarizație P :

$$P = N \sum_k q_k r_k , \quad (1)$$

unde N reprezintă numărul moleculelor din unitatea de volum.

Elongațiile r_k se obțin din ecuația de mișcare a oscilatorului:

$$r_k + 2\delta_k r_k + \omega_{0k}^2 r_k = \frac{q_k}{r_k} E$$

și sunt

$$r_k = \frac{q_k E}{m_k} \frac{1}{\omega_{0k}^2 - \omega^2 + i2\delta_k \omega} , \quad (2)$$

unde ω_{0k} este frecvența proprie de oscilație a oscilatorului k iar δ_k este constanta de amortizare.

Indicele de refracție \hat{n} depinde de permitivitatea relativă a mediului ϵ_r , iar aceasta de polarizația P , prin relațiile:

$$\hat{n}^2 = (n + i\chi)^2 = \epsilon_r ,$$

respectiv,

$$\hat{\varepsilon}_r = 1 + \frac{\hat{P}}{\varepsilon_0 E}. \quad (3)$$

Relațiile (3), (2) și (1) permit scrierea expresiilor explicite ale indicelui de refracție n și a indicelui de absorbție χ . Pentru simplificarea interpretării acestora le scriem pentru cazul unui singur oscilator ($k = 1$). Acestea sunt:

$$n(\omega) = 1 + \frac{Ne^2}{2m_0\varepsilon_0} \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\left(\frac{\omega_0^2}{2} - \frac{\omega^2}{2}\right)^2 + \delta^2} \quad (4)$$

respectiv:

$$\chi(\omega) = \frac{Ne^2}{2m\varepsilon_0} \frac{\delta\omega}{\left(\frac{\omega_0^2}{2} - \frac{\omega^2}{2}\right)^2 + \delta^2}. \quad (5)$$

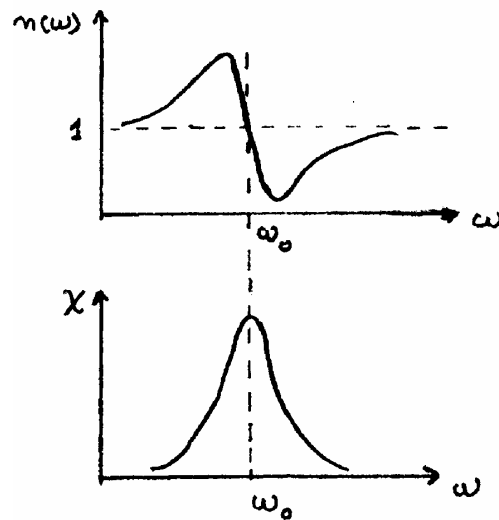


Fig. 1.

Din graficul celor două relații rezultă că în jurul frecvenței de rezonanță, ($\omega \approx \omega_0$), indicele de refracție suferă o variație bruscă, iar indicele de absorbție prezintă un maxim pronunțat. Spunem despre dispersie că este normală dacă $\frac{dn}{d\omega} > 0$. În zonele în care

$\frac{dn}{d\omega} < 0$, dispersia este anomală.

2.2. Culoarele și vederea

Dacă o undă luminoasă de o frecvență dată este incidentă pe un material ai cărui atomi au electroni ce vibrează cu aceeași frecvență, atunci aceștia vor absorbi energia undei incidente și o vor transforma în mișcare de vibrație. În timpul vibrației, electronii interacționează cu atomii vecini transformând energia sa vibrațională în energie termică. Astfel, putem spune că unda luminoasă incidentă a fost absorbită de material. Această absorbție este selectivă și depinde de frecvențele de rezonanță ale materialului respectiv (vezi ecuațiile (4,5)). Deoarece atomii și moleculele ce alcătuiesc diversele materiale au frecvențe de vibrație diferite, ele vor absorbi frecvențe diferite din lumina vizibilă incidentă.

În cazul în care frecvențele de rezonanță ale atomilor și moleculelor ce alcătuiesc materialul nu corespund frecvențelor undelor de lumină incidente, apar fenomenele de reflexie și transmisie. Când o astfel de undă, având frecvența diferită de cea de rezonanță a atomului, este incidentă pe un material, electronii din atom încep să vibreze. Fenomenul de rezonanță neproducându-se, electronii vor vibra pe perioade scurte, cu amplitudini mici, în final energia fiind reemisă sub formă de undă luminoasă. Dacă materialul este transparent, vibrația electronilor este trecută atomilor vecini prin volumul de material până când ajunge pe fața opusă a acestuia și este reemisă sub formă de lumină. În acest caz, spunem că unda incidentă a fost transmisă. Dacă materialul este opac, vibrația electronilor nu se transmite la atomii vecini, ea fiind reemisă sub formă de undă luminoasă după o scurtă perioadă de timp. În acest caz, spunem că unda luminoasă a fost reflectată.

Culoarea obiectelor pe care le vedem se datorează modului în care lumina interacționează cu acestea, fiind reflectată sau transmisă ochilor noștri. Deci culoarea unui obiect nu este o proprietate intrinsecă a acestuia, ci mai degrabă a luminii reflectate sau transmise de acel obiect ochilor noștri.

Lumina vizibilă are un spectru continuu format dintr-un domeniu de frecvențe, fiecare corespunzând unei anumite culori. Când aceasta este incidentă pe un obiect, anumite frecvențe specifice acestuia vor fi absorbite și nu vor mai ajunge niciodată la ochiul nostru. Numai radiația transmisă sau reflectată care ajunge la ochi va determina culoarea atribuită obiectului. Astfel, un obiect care este capabil să absoarbă toate frecvențele luminii incidente se va “vedea” negru, iar unul care nu absoarbe nimic, va avea aceeași culoare cu lumina incidentă.

Lumina naturală conține toate frecvențele și este cunoscută sub numele de lumină albă. Ținând cont de notația culorilor fundamentale, lumina albă este descrisă de următoarele componente: **R** (roșu), **O** (portocaliu), **G** (galben), **V** (verde), **A** (albastru), **I** (indigo), **V** (violet).

3. Descrierea instalației experimentale

Instalația experimentală este formată dintr-un spectroscop, două becuri cu incandescență și surse spectrale (cu alimentatoare adecvate).

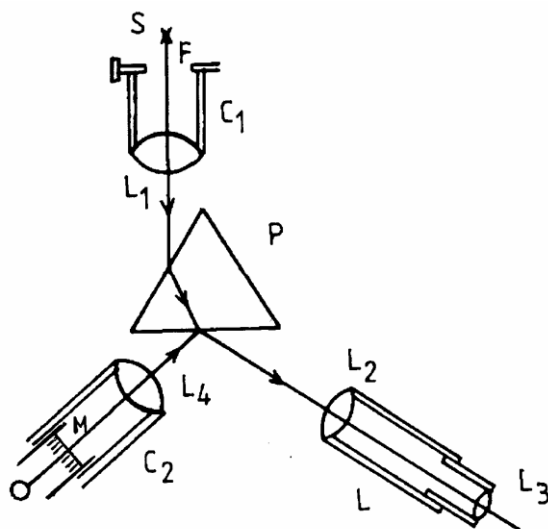


Fig. 3.

Spectroscopul este format din următoarele elemente (Fig. 3): prisma optică P, colimatorul C₁ care constă dintr-o fantă dreptunghiulară reglabilă F, plasată în focarul unei lentile L₁, luneta L cu ajutorul căreia se face observarea spectrului și colimatorul C₂ format dintr-o scară micrometrică și o lentilă L₄ care proiectează imaginea scării micrometrice pe o față a prisme P iar aceasta o reflectă în câmpul vizual al lunetei.

Din colimatorul C₁ iese un fascicul de lumină având secțiunea transversală identică la modul ideal cu secțiunea fantei. Acest fascicul, la trecerea prin prisma P, datorită fenomenului de dispersie, este desfăcut în atâtea componente câte radiații monocromatice conține lumina care intră în colimator prin fanta F. Fiecare componentă apare ca o imagine monocromatică a fantei de intrare.

Determinarea poziției unei linii spectrale se face pe scara micrometrică, a cărei imagine se suprapune peste spectrul optic.

Sursele spectrale conțin elementele, în stare atomică, ale căror spectre de emisie se vor studia (Hg în becul cu vapori de mercur; He și Ne în cele două tuburi de descărcare). Excitarea atomilor pe niveluri superioare de energie se face prin ciocniri cu electroni accelerați în câmp electric. Dezexcitarea atomilor duce la emisia unor spectre de radiații caracteristice.

Pentru observarea spectrului de absorbție al moleculei de permanganat de potasiu se folosește o soluție de permanganat de potasiu (aflată într-o sticlă) și un bec cu incandescență.

4. Modul de lucru

4.1. Deplasând luneta L se observă și se notează poziția x (exprimată în diviziuni) a fiecărei linii din spectrul Hg. Rezultatele se trec în următorul tabel:

Etalonarea Spectroscopului folosind spectrul mercurului

Culoare	Intensitate	Lambda (nm)	x (div)
rosu	intens	612.7	296.37
rosu	intens	607.3	296.81
galben	foarte intens	579	297.24
galben	foarte intens	585.9	297.29
verde	foarte intens	546.1	297.62
albastru-verde	foarte slab	496	298.39
albastru-verde	slab	491.6	298.5
albastru	foarte intens	435.8	299.77
violet	intens	407.8	301.87
violet	foarte intens	404.7	301.92

4.2. Se conectează lampa UV și se determină diviziunile culorilor in următorul tabel

Culoare	Lambda (nm)	x (div)
rosu	?	296.53
verde	?	297.92
albastru - verde	?	298.59
albastru	?	298.88
violet	?	298.96

4.3. Cu datele din primul tabel (referitor la spectrul mercurului) se trasează curba de etalonare a spectroscopului $\lambda = f(x)$.

4.4. Se determină din curba de etalonare, considerând pozițiile măsurate, lungimile de undă corespunzătoare liniilor spectrale ale heliului și neoului și marginilor benzilor de absorbție ale permanganatului de potasiu. Valorile găsite se trec în tabele prezentate mai sus.

4.5. Se calculează dispersia liniară a spectroscopului

$$D = \left| \frac{dx}{d\lambda} \right| \quad (11)$$

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Datele de lungime de undă și pozițiile măsurate
lungimi_unda = [612.7, 607.3, 579, 585.9, 546.1, 496, 491.6, 435.8, 407.8, 404.7]
divizuni = [296.37, 296.81, 297.24, 297.29, 297.62, 298.39, 298.5, 299.77, 301.87, 301.92]
divizuni2 = [296.53, 297.92, 298.59, 298.88, 298.96]
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.scatter(divizuni, lungimi_unda, color='red', label='Puncte măsurate')
np.polyfit(divizuni, lungimi_unda, deg: 2)

div_fit = np.linspace(min(divizuni), max(divizuni), num: 100)
div_fit_2 = np.linspace(min(divizuni2), max(divizuni2), num: 100)
lungimi_unda_fit = np.polyval(np.polyfit(divizuni, lungimi_unda, deg: 2), div_fit)
plt.plot(*args: div_fit, lungimi_unda_fit, label='Curba de etalonare')
lungimi_unda_fit_2 = np.polyval(np.polyfit(divizuni, lungimi_unda, deg: 2), divizuni2)
plt.scatter(divizuni2, lungimi_unda_fit_2, label='Puncte lampa UV')
for lun in lungimi_unda_fit_2:
    print(lun)
plt.xlabel('Poziții măsurate')
plt.ylabel('Lungimi de undă')
plt.title('Curba de etalonare a spectroscopului')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

```

