

# STRUCTURA FINA SI SPECTRELE ATOMILOR CU UNUL SAU CU DOI ELECTRONI DE VALENTA

## 1. Obiectivele experimentului.

Folosirea unui spectroscop cu prisma sau cu retea de difracție.

Detectarea spectrelor atomilor cu unul sau cu doi electroni de valenta.

Manifestarea spinului electronului: momentul unghiular al electronilor, interacțiunea spin-orbita, multipleti spectrali, reguli de selecție, tranziții interzise.

Nivele de energie, energia de schimb, serii de singleti și de tripleți.

## 2. Principiile lucrării.

Elementele chimice excitate prin încălzire sau prin ciocniri cu electronii dintr-o descarcare electrică devin luminescente, adică emit *linii spectrale* discrete, cu culori bine determinate, specifice fiecărui atom sau ion. Ansamblul acestor linii formează *spectrul* elementului în cauză. Măsurând cu precizie lungimile de undă ale acestor linii spectrale se pot determina elementele chimice din sursa de lumină folosită. Liniile spectrale pot fi separate cu o prisma sau cu o retea de difracție. În ambele situații se folosește același montaj experimental, singura diferență este dată de natura elementului dispersiv.

**Observație.** Aceeași metodă, cu folosirea unor instalații mult mai mari și mai performante, este utilizată pentru cercetările spectrale în astronomie. Suntem convinși că toate corpurile cerești sunt constituite din aceleași elemente ca și Pământul deoarece lumina care provine de la aceste corpuri îndepărtate poate fi atribuită unor atomi sau molecule cunoscute de pe Terra.

### A. Spectroscopul cu prisma

Separarea liniilor spectrale se face trecând lumina emisă de sursă printr-o fanta și apoi printr-o prisma optică. În acest fel se folosește *dependența indicelui de refracție al sticlei de lungimea de undă (dispersia sticlei)*. Legea Snellius-Descartes a refracției la trecerea dintr-un mediu cu indicele de refracție  $n_1$  într-un mediu cu indicele de refracție  $n_2$  se scrie:

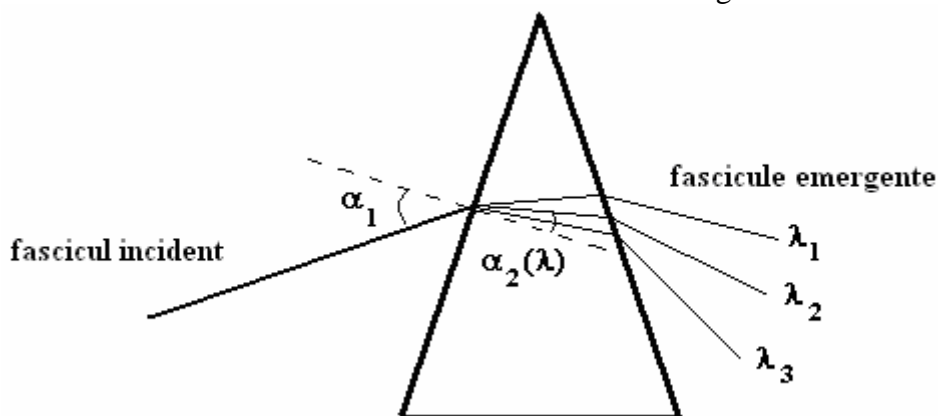
$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \quad (1)$$

unde  $\alpha_1$  și  $\alpha_2$  sunt unghiul de incidență și cel de refracție. Aerul are un indice de refracție practic constant și egal cu unitatea pentru tot spectrul vizibil, așa încât putem scrie  $n_1 = 1$ . Însa sticla este dispersivă, adică indicele ei de refracție depinde de lungimea de undă. Pentru ca relația (1) să continue să fie valabilă, înseamnă că și unghiul de refracție depinde de lungimea de undă. Relația (1) se scrie în acest caz sub forma

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2(\lambda) \sin \alpha_2(\lambda) \quad (1')$$

unde cu  $\lambda$  am notat lungimea de unda.

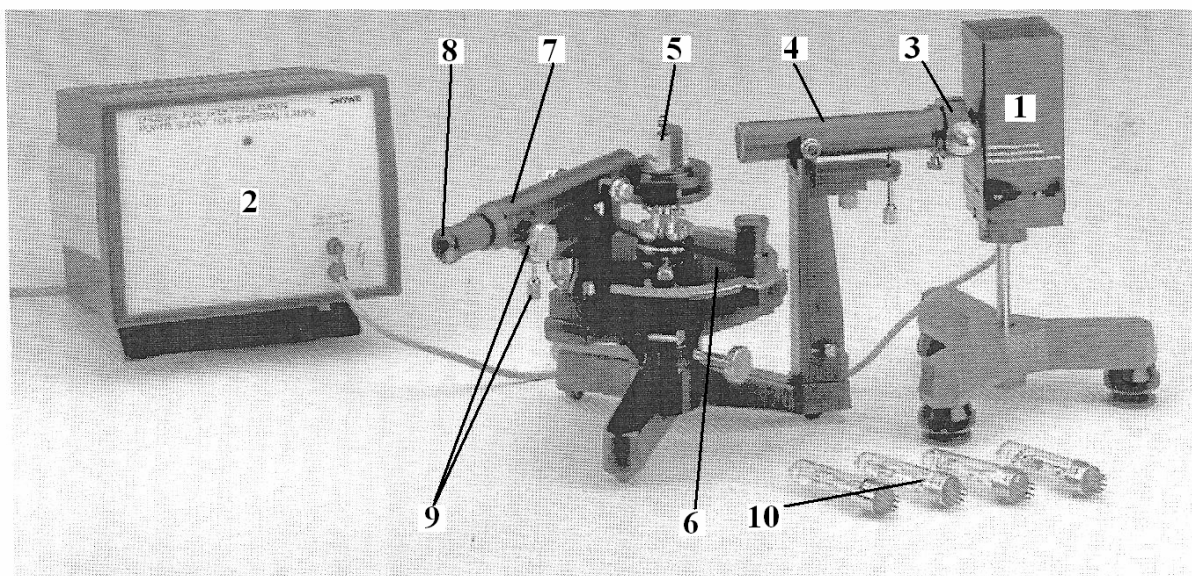
Aceasta inseamna ca fiecare componenta monocromatica – asadar fiecare culoare – este refractata intr-o alta directie. Situatia este schematizata in Fig. 1.



**Fig. 1. Separarea radiatiilor la trecerea printr-o prisma se datoreaza dispersiei sticlei.**

S-a considerat ca  $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ .

La iesirea din prisma un fascicul cu lungime de unda mai mica este deviat mai mult decat altul cu lungime de unda mai mare. Montajul experimental este desenat in figura 2.

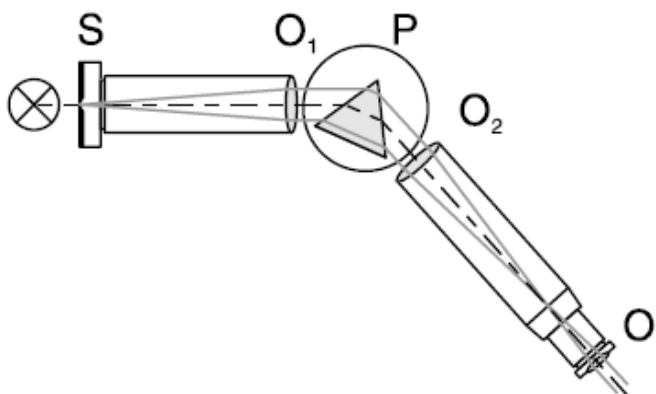


**Fig. 2. Fotografia instalatiei experimentale**

1 – incinta lampii spectrale; 2 – sursa de alimentare a lampii; 3 – fanta reglabila de intrare; 4 – colimator; 5 – prisma (sau retea de difractie); 6 – masa goniometrica cu sistem de citire; 7 – colimator; 8 – ocular cu sistem de pozitionare format din fire reticulare; 9 – suruburi de reglare si de deplasare; 10 – lampi spectrale.

Sa urmarim mersul luminii prin spectroscopul cu prisma folosind Fig. 3. Lumina emisa de lampa se propaga divergent prin fanta verticala S, cu largime si inaltime variabile

și cade pe obiectivul  $O_1$  așezat față de fanta la o distanță egală cu distanța sa focală. Fanta S și lentila  $O_1$  formează un colimator. Lumina cade pe prisma ca un fascicul paralel, incident sub un unghi unic. Prisma P refractă fasciculul și separă componentele spectrale datorită dispersiei sticlei.



**Fig. 3. Sistemul optic al spectroscopului cu prisma**

S – fanta de intrare;  $O_1$  – obiectiv care transformă fasciculul divergent într-unul cu raze paralele;  
P – prisma așezată pe masută goniometrică;  $O_2$  – obiectiv;  $O'$  – ocular cu fire reticulare de poziționare.

Un al doilea obiectiv  $O_2$  focalizează în planul focal toate razele paralele cu o anumită lungime de undă într-o singură imagine a fantei inițiale S. Spectrul de linii poate fi observat prin ocularul  $O'$ , care împreună cu obiectivul  $O_2$  formează un telescop focalizat la infinit.

Prisma este așezată în poziția de deviație minimă, unde mersul razelor este simetric, iar rezoluția spectrală este maximă. Telescopul este montat pe un brat pivotabil pentru a putea măsura unghiul de deviere a fiecărei componente. Acest unghi se măsoară cu precizie de un minut prin folosirea unui vernier unghiular.

Indicele de refracție al sticlei nu depinde liniar de lungimea de undă. Pentru a putea determina lungimile de undă corespunzătoare spectrului unei surse necunoscute, spectrometrul trebuie mai întâi calibrat. Aceasta se face folosind spectrul cunoscut al unei lampi care emite în tot domeniul vizibil, și anume spectrul Heliului. Folosindu-se interpolarea pe curba de calibrare obținută se pot determina lungimile de undă ale liniilor emise de alte surse necunoscute (sodiu, Na, mercur, Hg, cadmiu, Cd și zinc, Zn).

### 3. Desfășurarea lucrării

#### a) Fixarea prismei în poziția de deviație minimă.

Se montează lampa de He în soclul special din incinta lampilor (*operatie făcută numai de către cadrul didactic îndrumător*). Se porneste alimentarea lampii fixând tensiunea la 6 V (*nu depășiți niciodată 8 V*). Lampile spectrale își ating intensitatea maximă de iluminare după ce se încălzesc timp de aproximativ 5 minute. Corpul lampii

trebuie ajustat astfel incat sa poata circula aerul prin gaurile de aerisire, evitandu-se supraincalzirea.

Se ilumineaza fanta asezand lampa pe axa optica a colimatorului.

Se aseaza prisma pe masuta si se aliniaza telescopul in asa fel incat lumina de la fanta sa treaca prin prisma, iar spectrul sa se observe in telescop (ca in Fig. 3). Fanta nu trebuie deschisa prea mult.

Rezolutia masuratorilor este maxima daca prisma se fixeaza in pozitia de *deviatie minima*. Pentru aceasta pozitionare se procedeaza astfel. Se roteste incet masa cu prisma si se observa prin telescop devierea liniilor spectrale pana cand o linie centrala (de exemplu linia galbena cu  $\lambda = 587,6$  nm) trece printr-un punct in care isi inverseaza deplasarea. Se fixeaza masa si telescopul cu suruburile de fixare.

### **b) Calibrarea spectrometrului folosind spectrul Heliului.**

Se aliniaza telescopul astfel incat firul reticular vertical sa coincida cu una din liniile marginale ale Heliului, de exemplu cu linia rosie.

Se roteste cercul gradat inspre liniile de  $0^\circ$  si de  $180^\circ$  ale vernierelor si se blocheaza cercul in aceasta pozitie.

**Nota:** Spectrometrul are doua verniere fixate in opozitie. Pentru a minimiza erorile de citire si a compensa excentricitatea eventuala a gradatiilor cititi ambele valori si folositi media citirilor.

Se aliniaza firul reticular vertical in coincidenta cu fiecare linie a He folosind butonul de deplasare. Se citesc valorile corespunzatoare ale telescopului si se trec intr-un tabel, indicand culoarea si pozitia unghiulara. Cu ajutorul datelor din tabel se construiesc – pe hartie milimetrica sau cu ajutorul unui program de calcul – graficul deviatiei unghiulare in functie de lungimea de unda. Lungimile de unda se gasesc in tabelul alaturat :

$\lambda_{\text{teoretic}} \text{ (nm)}$	culoare
706.5	rosu
667.8	rosu
587.6	galben
501.6	verde
492.2	verde-albastrui
471.3	albastru
447.1	violet

**Observatie:** Se poate intampla sa se observe si alte linii spectrale de intensitate mica. Acestea sunt emise de gaze reziduale aflate in lampa cu He, de exemplu argonul (Ar).

Acesta este *graficul de etalonare* al spectroscopului cu prisma. Cu ajutorul lui putem determina lungimile de unda ale altor linii spectrale.

**c) Masurarea pozitiei liniilor spectrale ale altor lampi.**

Se stinge lampa de He si se lasa sa se raceasca cel putin 10 minute.

**ATENTIE ! CAPACUL LAMPIL ESTE FIERBINT !**

*Cadrul didactic indrumator schimba lampa de He cu una din celelalte lampi.*

Se aliniaza firul reticular vertical in coincidenta cu fiecare din liniile spectrale ale lampii, asa cum s-a procedat si pentru lampa cu Helium. Se masoara pozitiiile corespunzatoare pe goniometru asa cum s-a procedat la punctul b). Se noteaza aceste pozitii intr-un tabel, indicand culoarea si pozitia unghiulara. Folosind curba de etalonare se determina lungimile de unda ale acestor linii spectrale.

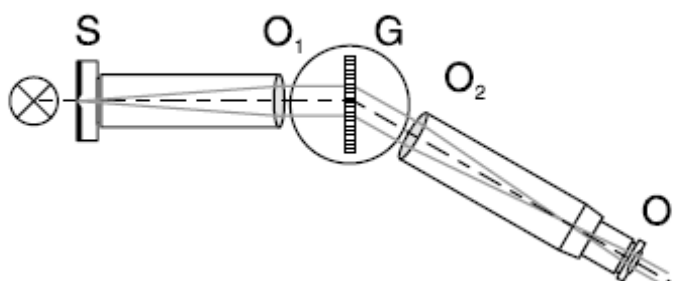
Se repeta procedura anterioara pentru o alta lampa spectrala.

**ATENTIE !: LAMPILE SE SCHIMBA NUMAI DE CATRE CADRUL DIDACTIC !**

**B. Spectroscopul cu retea**

Se utilizeaza acelasi spectroscop ca la punctul A, singura deosebire fiind inlocuirea prisme cu o *retea de difractie*. Reteaua de difractie este formata din foarte multe fante paralele (numarul total este de ordinul  $10^5 - 10^7$  fante). Acestea sunt iluminate de sistemul fanta-colimator cu un fascicul paralel de radiatie. Reteaua difracteaza fasciculul, fiecare lungime de unda (culoare) fiind deviata la un alt unghi. Telescopul strange liniile astfel difractate in ocularul O' (Fig. 3).

Relatia dintre lungimea de unda si sinusul unghiului de difractie este liniara:  $\sin \alpha \propto \lambda$ . De aceea nu mai este necesara calibrarea spectrometrului. Diversele linii spectrale de difractie se pot asocia in mod univoc cu lungimile de unda corespunzatoare. Prin comparatie cu un tabel de referinta se poate determina sursa de lumina, adica se pot preciza atomii care emit radiatia.



**Fig. 4. Sistemul optic al spectroscopului cu retea de difractie**

S – fanta de intrare; O<sub>1</sub> – obiectiv care transforma fasciculul divergent intr-unul cu raze paralele;  
G – retea de difractie asezata pe masuta goniometrica; O<sub>2</sub> – obiectiv; O' – ocular cu fire reticulare de pozitionare.

In general, puterea de rezolutie a spectrometrelor cu retea este mult mai mare decat a celor cu prisma. De aceea, se pot vedea mai multe linii spectrale separate. Insa acestea sunt de obicei mai putin luminoase.

### 3'. Desfasurarea lucrarii

#### a) Fixarea retelei de difractie.

Se monteaza lampa de He in soclul special din incinta lampilor (*operatie facuta numai de catre cadrul didactic indrumator*). Se porneste alimentarea lampii.

Se ilumineaza fanta asezand lampa pe axa optica a colimatorului.

Se aseaza retea pe masuta si se aliniaza telescopul in asa fel incat lumina de la fanta sa treaca prin retea, iar spectrul sa se observe in telescop (ca in Fig. 4). Pentru a face masuratori cat mai precise, retea se aseaza pe axa de rotatie a telescopului, perpendicular pe axa optica a colimatorului, dupa cum se vede in Fig. 4. Rezolutia masuratorilor creste odata cu ingustarea fantei  $S$ . Insa in acest fel scade si intensitatea liniilor spectrale. Largimea fantei se alege facand un compromis intre cele doua tendinte.

#### b) Calibrarea spectrometrului folosind spectrul Heliului.

Se aliniaza telescopul astfel incat firul reticular vertical sa coincida cu fiecare din liniile Heliului, in acelasi ordin de difractie, de fiecare parte a maximului central. Se citesc valorile corespunzatoare ale pozitiei telescopului folosind vernierul si sistemele de marire si se noteaza intr-un tabel.

*Nota:* spectrometrul are doua verniere fixate in opozitie. Pentru a minimiza erorile de citire si a compensa excentricitatea eventuala a gradatiilor cititi ambele valori si folositi media citirilor.

Relatia dintre lungimea de unda  $\lambda$  si diferenta unghiulara dintre aceeasi linie spectrala reperata la stanga si la dreapta fata de maximul central  $\Delta\alpha$  este:

$$\lambda = \frac{\sin \frac{\Delta\alpha}{2}}{n \cdot N} \quad (2)$$

unde  $n$  este ordinul de difractie, iar  $N$  este *constanta retelei de difractie*, adica numarul de fante ale retelei pe fiecare mm; in cazul nostru,  $N = 570,6 \text{ mm}^{-1}$ .

Definitia unghiului  $\Delta\alpha$  este explicata in Fig. 5 de mai jos:

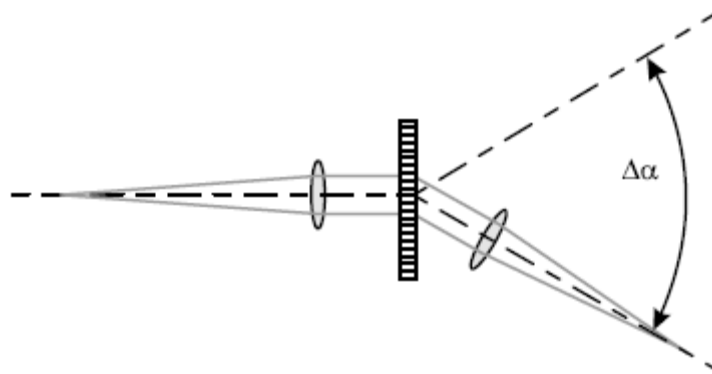


Fig. 5. Definirea unghiului  $\Delta\alpha$ .

Daca masuratorile au fost facute cu atentie, valorile obtinute coincid cu cele din tabele cu erori de ordinul 1‰.

**c) Determinarea intervalului de structura fina pentru linia galbena a Na.**

Se stinge lampa de He si se lasa sa se raceasca cel putin 10 minute.

**ATENTIE ! CAPACUL LAMPIL ESTE FIERBINTE !**

*Cadrul didactic indrumator schimba lampa de He cu lampa de Na.*

Se ilumineaza fanta S cu lampa de sodium asezata pe axa optica a colimatorului.

Se cauta dubletul galben al Na, numit de obicei *dublet D*, in primul ordin de difractie. Se aliniaza firul reticular vertical pe fiecare din cele doua linii spectrale si se inregistreaza pozitiile unghiulare pe referat.

Se repeta masuratorile pentru al doilea ordin de difractie.

Folosind relatia (2) se calculeaza lungimile de unda ale liniilor dubletului D al sodiului.

**Referatul** trebuie sa cuprinda:

- un rezumat al teoriei
- modul de lucru
- tabelele cu rezultatele experimentale
- graficul curbei de etalonare a spectroscopului cu prisma
- calculul lungimilor de unda.