DIFRACȚIA LUMINII
DETERMINAREA LUNGIMII DE UNDĂ A RADIAȚIEI LUMINOASE UTILIZÂND REȚEAUA DE DIFRACȚIE

1. Scopul lucrării

1.A. Scop calitativ: se evidențiaza fenomenul de difracție[1] suferit de un fascicul de lumină la trecerea printr-o *rețea de difracție*.

1.B. Scop cantitativ: se determină experimental lungimea de undă a radiației luminoase.

2. Teoria lucrării

Difracția: un fenomen complex, de *compunere coerentă* a radiației provenita de la mai multe surse din spațiu. În esență ea reprezintă ansamblul fenomenelor datorate naturii ondulatorii a luminii, fenomene care apar la propagarea sa într-un mediu cu caracteristici eterogene foarte pronunțate. În sens restrâns, difracția constă în fenomenul de ocolire aparenta a obstacolelor de mici dimensiuni de către lumină, sau altfel spus, în devierile de la legile opticii geometrice.

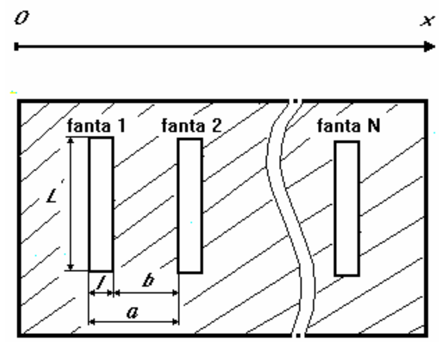

Fig. 1

Rețea de difracție: un sistem de *fante* paralele, egale şi echidistante.

Fantă: o porțiune transparentă pentru lumină, de formă dreptunghiulară, cu lățimea mult mai mică decât lungimea $l \ll L$ (Fig. 1). Direcția de-a lungul căreia este sesizabil fenomenul de difracție este una singură, anume *Ox*; din acest motiv, rețeaua este o rețea *unidimensională*.

Pasul (perioada) rețelei: distanța dintre două fante succesive:

$$a = l + b, \tag{1}$$

unde *b* este este mărimea porțiunii opace, luată, de asemenea, de-a lungul direcției *Ox*.

Dacă pe o rețea de difracție este incidentă o undă *monocromatică*, are loc un fenomen complex: difracția luminii produsă de fiecare fantă şi interferența[2] luminii provenite de la toate fantele. La o distanță suficient de mare, *se poate observa* o imagine caracterizată prin *maxime* şi *minime* succesive.

Intensitatea luminii difractate este dată de relația[3]

$$I(\alpha) \cong I_0 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{1}{2}kl\sin\alpha\right)}{\left(\frac{1}{2}kl\sin\alpha\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{1}{2}Nka\sin\alpha\right)}{\sin^2\left(\frac{1}{2}ka\sin\alpha\right)} \tag{2}$$

unde:

– I_0 este intensitatea luminii incidente,

---

[1] Difracția pe o rețea de acest tip este cunoscută sub numele de *difracțieFraunhofer*, .

[2] În esență, atât difracția, cât şi interferența, sunt fenomene de compunere coerentă a radiației; deosebirea dintre ele este mai mult de natură teoretică şi este dată în principal de întinderea spațială a surselor de la care provine radiația.

[3] Vezi, de exemplu, F. Crawford Jr., *"Unde"*, cursul de fizică Berkeley, vol. III, Ed. Didactică şi Pedagogică Bucureşti, 1983.

– α este unghiul sub care se observa lumina difractată, față de normala la rețea (Fig. 2),

– N este numărul total de fante ale rețelei,

– k este numărul de undă, $k=2\pi/\lambda$, lungimea de undă fiind λ.

Ordinul unui maximum este numărul de ordine al maximumului respectiv, ținând cont că maximumul de ordin zero se formează pe axa de simetrie.

Relația de bază. Pornind de la relația (2) se poate arăta (vezi Anexa) că, dacă poziția unghiulară a unui maximum de ordin n este α_n, atunci există relația

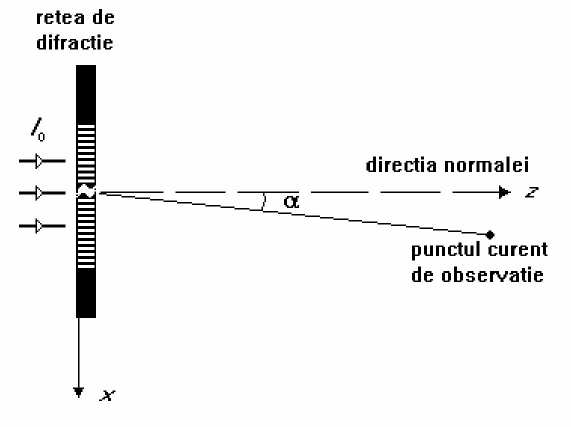

Fig. 2

$$\lambda = \frac{a}{n}\sin\alpha_n , \tag{3}$$

care constituie ***relația de bază*** *a acestei lucrări de laborator, permițând determinarea experimentală a lungimii de undă, dacă se măsoară pozițiile unghiulare ale maximelor observate, şi dacă se cunoaşte constanta rețelei.*

3. Descrierea instalației experimentale

Dispozitivul experimental cuprinde un goniometru prevăzut cu un colimator C şi o lunetă L (Fig. 3). În centrul goniometrului, pe o măsuță rotundă se găseşte fixată rețeaua de difracție R.

Sursa de lumină este fie o lampă cu vapori de mercur, fie un bec electric; în ultimul caz, în colimator se găseşte fixat un filtru monocromatic. Lumina intră în colimator printr-o fantă F de formă dreptunghiulară, verticală, paralelă cu fantele rețelei. Observația se realizează în planul focal al lentilei ocular a lunetei, unde maximele principale de interferență apar sub forma unor linii luminoase, imagini ale fantei F.

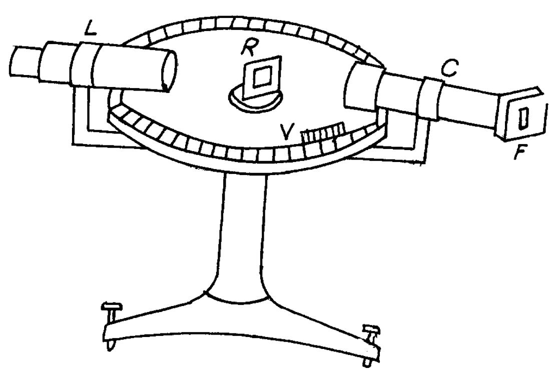

Fig. 3

4. Modul de lucru

a. Studiati cercul gradat şi vernierul V al al goniometrului si determinați *precizia de citire* a unghiurilor[4].

b. Verificați dacă rețeaua este dispusă perpendicular pe direcția fasciculului luminos care iese din colimator. Reglați fanta, astfel încât maximele observate să fie verticale şi cât mai înguste; calitatea imaginii se realizează prin deplasarea ocularului lunetei L.

[4] Unghiurile se citesc în grade, iar subdiviziunile lor, in functie de dispozitivul exustent in laborator, pot fi fie minutele şi secundele de arc, fie zecimile de grad. Fiti atenti la operatiile aritmetice cu aceste unghiuri, precum si la calculul functiei sinus!

În cazul în care sursa luminoasă emite mai multe *linii spectrale* (radiații monocromatice), ca în cazul lămpii cu vapori de mercur, maximumul cel mai intens, de ordinul zero, este de culoare albă; maximele de ordin superior (n=1,2,3,...), pentru fiecare culoare, sunt dispuse simetric față de maximul de ordinul zero, ca în Fig.4.

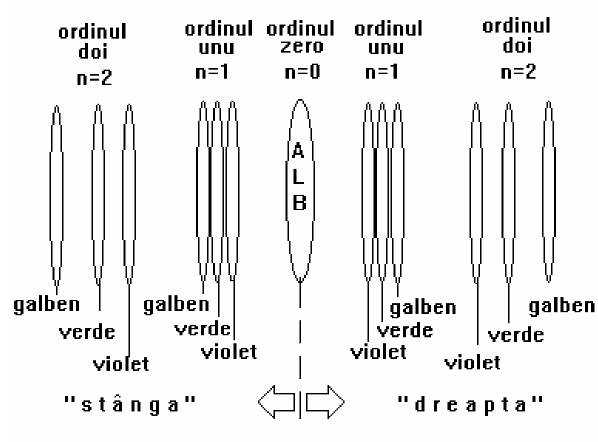

Fig. 4.

c. Măsurarea unghiului α_n se face prin citirea coordonatelor unghiulare (pozițiilor) ale maxi-mumului de *acelaşi* ordin n, atât la dreapta, cât şi la stânga maximumului central (de ordinul zero). Astfel, se roteşte luneta la dreapta maximumului central şi se aşează firul său reticular pe centrul liniei a n-a (față de maximul central), de o anumită culoare, şi deci, de o anumită lungime de undă λ şi se notează cu α_n^d indicația pe discul goniometrului a reperului solidar cu luneta; se deplasează apoi luneta pe linia simetrică din stânga, care reprezintă maximumul de acelaşi ordin n al aceleiaşi lungimi de undă (aceiaşi culoare), şi se notează indicația reperului cu α_n^s.

Diferența $\alpha_n^d - \alpha_n^s$ reprezintă *dublul* unghiului α_n, adică :

$$2\alpha_n = \left|\alpha_n^d - \alpha_n^s\right| \tag{4}$$

d. Rezultatele se trec în următorul tabel:

Tabelul 1.

n	Linie spectrala (culoare)	α_n^d	α_n^s	$\alpha_n = \frac{1}{2}\left\|\alpha_n^d - \alpha_n^s\right\|$	sin α_n (cu 4 zecimale)	λ_n (nm)
1	Violet					
	Verde					
	Galben					
2	Violet					
	Verde					
	Galben					
3	Violet					
	Verde					
	Galben					

Verificați dacă valorile detrminate experimental pentru lungimea de unda se găsesc într-adevăr în domeniul spectral corespunzator culorii observate!

e. Întrucât citirea unghiurilor de către fiecare membru al subgrupei este o operație care poate introduce erori, experimentul necesită şi o etapă de estimare a acestora. În acest scop, *fiecare* dintre membrii subgrupei de lucru va alege, în cea de-a doua etapă a experimentului, o anume linie spectrală, corespunzătoare ordinului 2 de difracție, *linie spectrala pentru care va face **zece citiri de unghiuri***. Astfel, fiecare student va completa Tabelul 2 (cu valori *personale*, de această dată!).

Tabelul 2 (n = 2) Linia spectrală (culoarea): ....

Nr. crt. i	$\left(\alpha_2^d\right)_i$	$\left(\alpha_2^s\right)_i$	$\left(\alpha_2\right)_i = \frac{1}{2}\left|\left(\alpha_2^d\right)_i - \left(\alpha_2^s\right)_i\right|$	$\overline{\alpha}_2$	$\sigma_{\overline{\alpha}_2}$	$\overline{\lambda}$ (nm)	$\sigma_{\overline{\lambda}}$ (nm)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

- Pentru linia spectrală pentru care aţi făcut cele zece determinări, calculaţi atât valoarea medie a lungimii de undă, cât şi eroarea standard (eroarea pătratică medie):

$$\overline{\alpha}_2 = \frac{1}{10}\sum_{i=1}^{10}\left(\alpha_2\right)_i \qquad \sigma_{\overline{\alpha}_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}\left[\left(\alpha_2\right)_i - \overline{\alpha}_2\right]^2}{10\cdot(10-1)}} \tag{5}$$

$$\overline{\lambda} = \lambda\left(\overline{\alpha}_2\right) \qquad \sigma_{\overline{\lambda}} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial\lambda}{\partial\alpha}\right)\Bigg|_{\alpha=\overline{\alpha}_2}\right]^2\cdot\left(\sigma_{\overline{\alpha}_2}\right)^2} \tag{6}$$

Rezultatul determinării lungimii de undă se va da sub forma *intervalului de încredere*

$$\lambda \in \left(\overline{\lambda} - \sigma_{\overline{\lambda}}, \overline{\lambda} + \sigma_{\overline{\lambda}}\right) \tag{7}$$

- ***Constanta retelei*** ***a* = 0,02 mm**

Întrebări

1. Ce este difracţia?
2. De ce, pe axa de simetrie, observaţi un maximum *de culoare albă* ? De ce acesta este *singurul* maximum de culoare albă care se formează?
3. Comparaţi eroarea sistematică, datorată aparatului de măsură, cu eroarea asupra mediei, obţinută efectiv din măsuratori (relatia (5)); cum interpretaţi acest lucru? Evaluaţi eroarea asupra lungimii de undă provenite *numai* din eroarea introdusă de aparatul de măsură şi comparaţi-o cu eroarea efectiv obţinută prin propagarea erorii provenite de la măsuratori (relatia (6)). Ce concluzie trageţi ?
4. Indicaţi o altă metodă de măsurare a poziţiei unghiulare a maximelor. Este metoda găsită de dumneavoastră mai precisă decât cea folosită în lucrare ?
5. Pentru *una* dintre liniile spectrale, determinarea lungimii de undă se poate face şi prin trasarea dependenţei dintre sinα_ν şi ordinul maximumului n, a cărei formă teoretică este $\sin\alpha_n = \frac{\lambda}{a}\cdot n$, urmată de măsurarea pantei dreptei aproximante şi identificarea ei cu λ/a.

   Este aceasta metodă mai precisă?

A N E X A

Dacă, în relația (2), notăm $2\beta=ka\sin\alpha$, $2\eta=kl\sin\alpha$, se observă că, în timp ce funcția $F_1=\dfrac{\sin^2\eta}{\eta^2}$ este lent variabilă cu unghiul α, funcția $F_2=\dfrac{\sin^2(N\beta)}{\sin^2\beta}$ are o variație rapidă cu acesta. Din acest motiv, se spune că funcția F_1 (efectul de difracție printr-o fantă) are rolul de *a modula* intensitatea luminii obținute prin interferența undelor provenite de la cele N fante ale rețelei.

Repartiția intensității $I=I(\alpha)$ depinde de cele două funcții F_1 și F_2.

Influența factorului F_2

Funcția $F_2(\sin\alpha)=\dfrac{\sin^2(N\beta)}{\sin^2\beta}$ este reprezentată cu linie continuă în Fig.5. și reprezintă efectul *interferenței multiple* a undelor provenite prin difracție de la *toate* fantele rețelei.

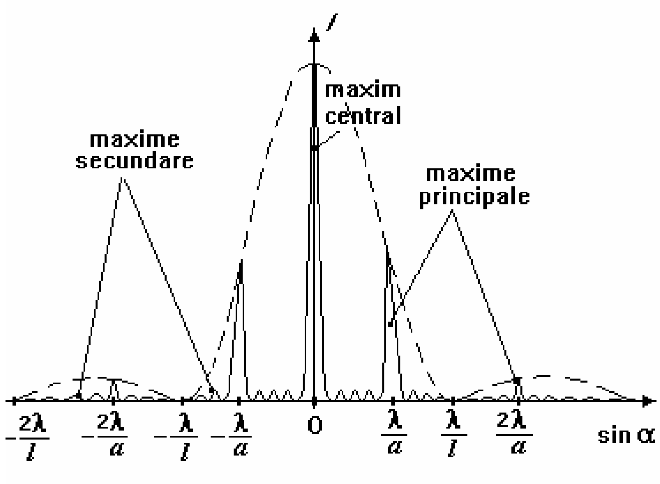

Fig. 5.

Condițiile de extremum conduc la ecuațiile:

$$\sin(N\beta)=0 \tag{A1}$$

și

$$N\text{tg}\beta=\text{tg}(N\beta) \tag{A1'}$$

Prin urmare, *există două feluri de extreme* de tip *maximum* local.

a. *Maximele principale.* Din ecuația (A1) rezultă pentru β valorile

$$\beta=\frac{m}{N}\pi\ ,\ m\in\mathbb{Z}. \tag{A2}$$

Valorile lui m pentru care raportul $\dfrac{m}{N}$ *este un număr întreg* dau ***maximele principale*** de interferență, (v. Fig.6).

Valorile corespunzătoare ale lui sinα sunt obținute din (2), unde am ținut cont că $\frac{m}{N} = n$, $n \in$ Z:

$$\sin\alpha = \frac{2\beta}{ka} = \frac{2n\pi}{ka}, \quad n \in \mathrm{Z},$$

sau

$$\sin\alpha_n = n\frac{\lambda}{a} \quad , \tag{A3}$$

adică relația fundamentala* (3) *din lucrarea de laborator.

Celelalte valori ale lui *m*, pentru care raportul $\frac{m}{N}$ ***nu*** *este un număr întreg*, dar care îndeplinesc în continuare conditia (A1) dau *minimele (nule)* de interferență.

b. ***Maximele secundare.*** Soluțiile ecuației (A1') oferă pozițiile unghiulare ale *maximelor secundare* de interferență, a căror intensitate este mult mai mică decât a maximelor principale. Acestea sunt *invizibile* în experimentul nostru şi sunt localizate în punctele pentru care

$$\sin\alpha = \frac{(2m+1)\pi}{Nka} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{Na}.$$

Influența factorului F_1

Această funcție este reprezentată punctat în Fig.5 şi exprimă efectul de difracție produs de o singură fantă. Condiția de extremum conduce la ecuațiile:

$$\sin\eta = 0 \tag{A4}$$

$$\mathrm{tg}\,\eta = \eta \tag{A4'}$$

Soluțiile ecuații (A4) dau poziția minimelor nule de difracție (printr-o fantă), iar soluțiile ecuației (A4') oferă poziția maximelor de difracție (de asemenea printr-o fantă).

Deoarece intensitatea relativă a două maxime succesive de difracție ale funcției modulatoare F_1 scade foarte repede (aspect evidențiat şi de Fig.5), la laborator *se vor putea observa numai maximele principale corespunzătoare intervalului* $\left(-\frac{\lambda}{l}, \frac{\lambda}{l}\right)$.