

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI
DEPARTAMENTUL DE FIZICĂ**

**LABORATORUL DE OPTICĂ
BN - 120 B**

**DIFRAȚIA LUMINII
DETERMINAREA LUNGIMII DE UNDĂ A RADIAȚIEI LUMINOASE
UTILIZÂND REȚEAUA DE DIFRAȚIE**

2004 - 2005

DIFRAȚIA LUMINII

DETERMINAREA LUNGIMII DE UNDĂ A RADIAȚIEI LUMINOASE UTILIZÂND REȚEAUA DE DIFRAȚIE

1. Scopul lucrării

1.A. Scop calitativ: se evidențiază fenomenul de difracție¹ 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 aparentă a obstacolelor de mici dimensiuni de către lumină, sau altfel spus, în devierile de la legile opticii geometrice.

Rețea de difracție: un sistem de *fante* paralele, egale și 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 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 și interferența² luminii provenite de la toate fantele. La o distanță suficient de mare, *se poate observa* o imagine caracterizată prin *maxime și minime* succesive.

Intensitatea luminii difractate este dată de relația³

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

unde:

¹ Difracția pe o rețea de acest tip este cunoscută sub numele de *difracție Fraunhofer*.

² În esență, atât difracția, cât și interferența, sunt fenomene de *compunere coerentă* a radiației; deosebirea dintre ele este mai mult de natură teoretică și 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 și Pedagogică București, 1983.

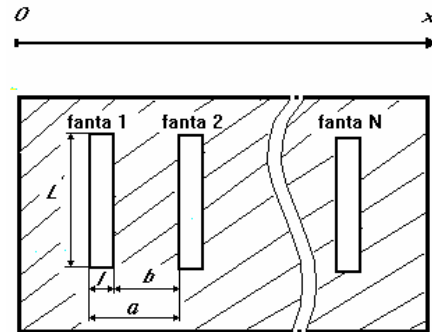


Fig. 1

- I_0 este intensitatea luminii incidente,
- 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

$$\lambda = \frac{a}{n} \sin \alpha_n, \quad (3)$$

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, și dacă se cunoaște constanta rețelei.**

3. Descrierea instalației experimentale

Dispozitivul experimental cuprinde un goniometru prevăzut cu un colimator C și o lunetă L (Fig. 3). În centrul goniometrului, pe o măsută rotundă se găsește 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 găsește 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.

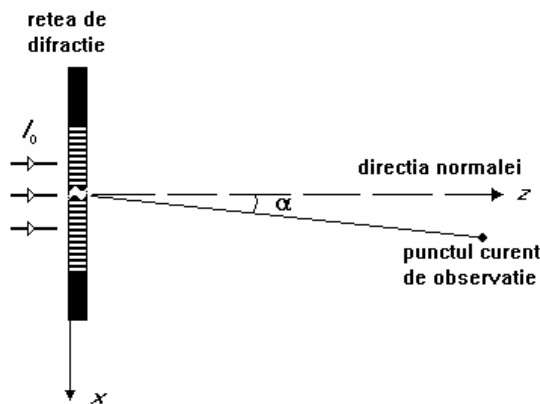


Fig. 2

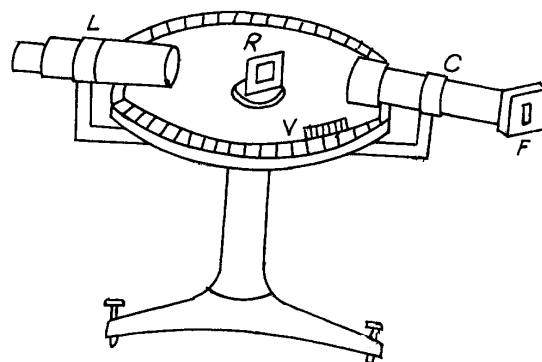


Fig. 3

4. Modul de lucru

a. Studiați cercul gradat și vernierul V al goniometrului și determinați *precizia de citire* a unghiurilor⁴.

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

⁴ Unghiurile se citesc în grade, iar subdiviziunile lor, în funcție de dispozitivul existent în laborator, pot fi fie minutele și secunde de arc, fie zecimile de grad. Fiti atenți la operațiile aritmetice cu aceste unghiuri, precum și la calculul funcției 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 ($n=1,2,3,\dots$), pentru fiecare culoare, sunt dispuse simetric față de maximumul de ordinul zero, ca în Fig.4.

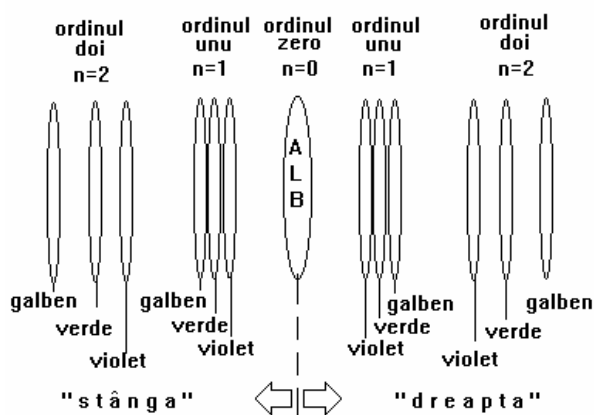


Fig. 4.

c. Măsurarea unghiului α_n se face prin citirea coordonatelor unghiulare (pozițiilor) ale maximumului de același ordin n , atât la dreapta, cât și la stânga maximumului central (de ordinul zero). Astfel, se rotește luneta la dreapta maximumului central și se așează firul său reticular pe centrul liniei a n -a (față de maximumul central), de o anumită culoare, și deci, de o anumită lungime de undă λ și 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 același ordin n al aceleiași lungimi de undă (aceiași culoare), și se notează indicația reperului cu α_n^s .

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

$$2\alpha_n = \left| \alpha_n^d - \alpha_n^s \right| \quad (4)$$

d. Rezultatele se trec în următorul tabel:

Tabelul 1.

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

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

e. Întrucât citirea unghiurilor de către fiecare membru al subgrupeii este o operație care poate introduce erori, experimentul necesită și o etapă de estimare a acestora. În acest scop, fiecare dintre membrii subgrupeii de lucru va alege, în cea de-a doua etapă a experimentului, o anumită linie spectrală, corespunzătoare ordinului 2 de difracție, *linie spectrală 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	$(\alpha_2^d)_i$	$(\alpha_2^s)_i$	$(\alpha_2)_i = \frac{1}{2} (\alpha_2^d)_i - (\alpha_2^s)_i $	$\bar{\alpha}_2$	$\sigma_{\bar{\alpha}_2}$	$\bar{\lambda}$ (nm)	$\sigma_{\bar{\lambda}}$ (nm)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

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

$$\bar{\alpha}_2 = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (\alpha_2)_i \quad \sigma_{\bar{\alpha}_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} [(\alpha_2)_i - \bar{\alpha}_2]^2}{10 \cdot (10 - 1)}} \quad (5)$$

$$\bar{\lambda} = \lambda(\bar{\alpha}_2) \quad \sigma_{\bar{\lambda}} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial \lambda}{\partial \alpha} \right) \Big|_{\alpha=\bar{\alpha}_2} \right]^2 \cdot (\sigma_{\bar{\alpha}_2})^2} \quad (6)$$

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

$$\lambda \in (\bar{\lambda} - \sigma_{\bar{\lambda}}, \bar{\lambda} + \sigma_{\bar{\lambda}}) \quad (7)$$

- **Constanta rețelei** $a=0,02$ mm

Întrebări

1. Ce este difracția?
2. De ce, pe axa de simetrie, observați un maximum *de culoare albă* ? De ce acesta este *singurul* maximum de culoare albă care se formează?
3. Comparați eroarea sistematică, datorată aparatului de măsură, cu eroarea asupra mediei, obținută efectiv din măsuratori (relatia (5)); cum interpretați acest lucru? Evaluați eroarea asupra lungimii de undă provenite *numai* din eroarea introdusă de aparatul de măsură și comparați-o cu eroarea efectiv obținută prin propagarea erorii provenite de la măsuratori (relatia (6)). Ce concluzie trageți ?
4. Indicați o altă metodă de măsurare a poziției 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 și prin trasarea dependenței dintre $\sin \alpha_n$ și ordinul maximumului n , a cărei formă teoretică este $\sin \alpha_n = \frac{\lambda}{a} \cdot n$, urmată de măsurarea pantei dreptei aproximante și 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 $F_1 = \frac{\sin^2 \eta}{\eta^2}$ este lent variabilă cu unghiul α , funcția $F_2 = \frac{\sin^2(N\beta)}{\sin^2\beta}$ 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 $F_2(\sin\alpha) = \frac{\sin^2(N\beta)}{\sin^2\beta}$ este reprezentată cu linie continuă în Fig.5. și reprezintă efectul *interferenței multiple* a undelor provenite prin difracție de la *toate* fantele rețelei.

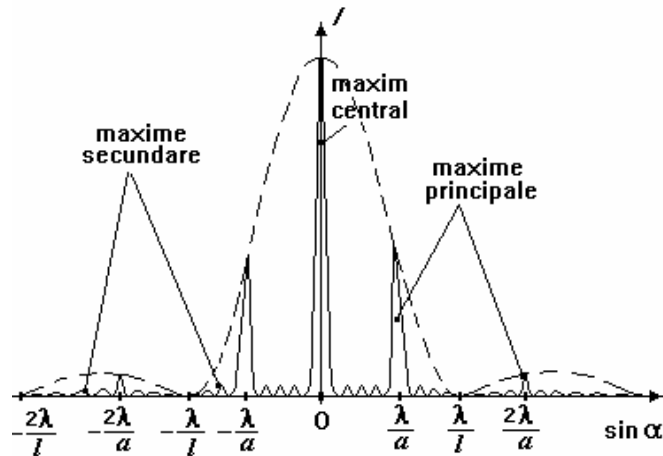


Fig. 5.

Condițiile de extremum conduc la ecuațiile:

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

și

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

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

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

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

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

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

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

sau

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

adică relația fundamentală (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 condiția (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 și 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 și exprimă efectul de difracție produs de o singură fantă. Condiția de extremum conduce la ecuațiile:

$$\sin\eta = 0 \quad (A4)$$

$$\operatorname{tg}\eta = \eta \quad (A4')$$

Soluțiile ecuației (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 modulatorie F_1 scade foarte repede (aspect evidențiat și de Fig.5), la laborator *se vor putea observa numai maximele principale corespunzătoare intervalului* $\left(-\frac{\lambda}{l}, \frac{\lambda}{l}\right)$.