

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

**LABORATORUL DE OPTICĂ  
BN 122 A**

**DIFRAȚIA LUMINII  
PE FANTE MULTIPLE ȘI REȚELE**

# DIFRACTIA LUMINII PE FANTE MULTIPLE SI REȚELE

## 1. Scopul lucrării

Punerea în evidență a fenomenului de difracție în lumina monocromatică, în aproximația Fraunhofer (1) pe o fantă și determinarea lărgimii acesteia, (2) pe mai multe fante de aceeași lărgime și determinarea pozițiilor maximului de ordin doi, (3) pe rețele și determinarea lungimii de undă a radiației incidente.

## 2. Principiul lucrării:

În această lucrare se studiază fenomenul de difracție a unei radiații monocromatice provenite de la un laser cu He-Ne și care trece printr-un obiect difractant – o succesiune de porțiuni rectangulare, opace și transparente, ambele cu dimensiuni de ordinul lungimii de undă (Fig. 1). Distribuția de intensitate luminoasă a radiației emergente formează o figură de difracție și este observată pe un ecran. Pentru măsurători cantitative se folosește o camera video (CCD), care convertește semnalul luminos în semnal electric trimis la computer. Cu ajutorul unui soft specializat, se vizualizează pe ecranul computerului distribuția unidimensională de intensitate, ca o secțiune prin figura de difracție, cât și valorile intensității în fiecare pixel al acestei secțiuni.

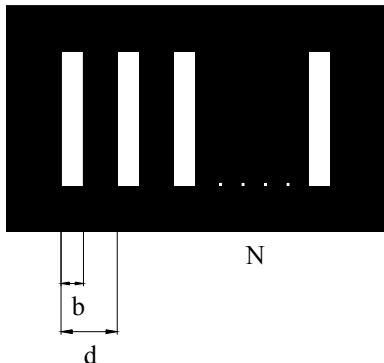


Fig. 1. N fante transparente într-o placuță opacă

Când un fascicul de lumină întâlnește un obiect cu dimensiuni de ordinul lungimii de undă, el își schimbă direcția și intensitatea astfel încât se propaga și în spatele porțiunii opace, producând o figură de difracție caracterizată prin maxime (lumină) și minime (întuneric). Acest fenomen se explică dacă se consideră că lumina este o undă și apare la toate tipurile de unde: (electromagnetice, raze-x, unde sonore, undele ce se formează în apă etc).

Efectele difracției pot fi văzute în viața de zi cu zi, de exemplu, prin apariția unui curcubeu pe un disc CD sau DVD. Acest principiu este folosit în tehnica prin folosirea rețelelor de difracție în spectroscopie; holograma de pe cartile de credit, etichete etc este un alt exemplu. Difracția pe mici particule din atmosferă formează un inel luminos în jurul lunii, de exemplu.

Problema principală a fenomenului de difracție este calcularea distribuției de intensitate în figura de difracție obținută în

- (1) camp apropiat: difractia Fresnel (frontul de unda incident este sferic, iar distanta intre obiectul difractant si ecran este mica) si
- (2) camp departat: difractia Fraunhofer (frontul de unda incident este plan, iar distanta intre obiectul difractant si ecran este mare).

In cazul difractiei Fraunhofer, daca lumina monocromatica cu lungimea de unda  $\lambda$  este incidenta normal pe un obiect difractant cu fante (portiuni transparente) paralele si echidistante atunci intensitatea observata la un unghi  $\alpha$  este de forma:

$$I(\alpha) \propto b^2 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \alpha\right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \alpha\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi}{\lambda} c \sin \alpha\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} c \sin \alpha\right)} \quad (1)$$

unde  $b$  este latimea unei fante,  $c$  este distanta dintre fante,  $N$  este numarul de fante,  $d = b + c$ , constata retelei formata de cele  $N$  fante.

In difractia Fraunhofer, lumina difractata de o singura fanta formeaza o figura de difractie cu maxime si minime pe care le vom numi principale, pe cand lumina difractata de mai multe fante formeaza o figura de difractie mai complicata cu maxime si minime secundare intre doua maxime principale.

Daca avem un element difractiv cu **o singura fanta**, formula (1) devine:

$$I(\alpha) \propto b^2 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \alpha\right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \alpha\right)^2} \quad (2)$$

In acest caz se vor forma **minime** de intensitate cand numarul devine zero:

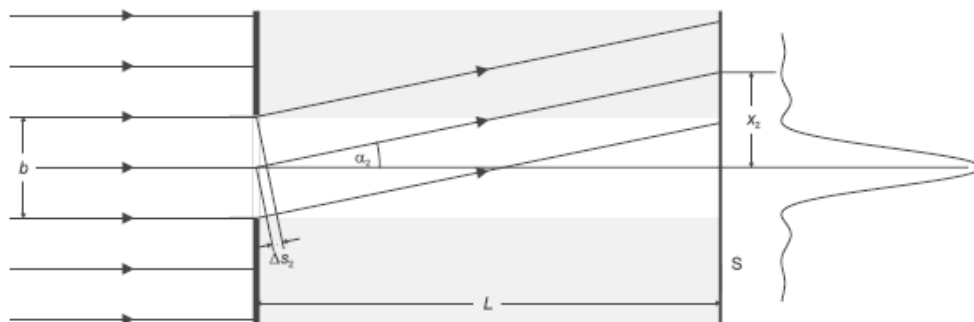
$$\sin \alpha_k = \frac{k\lambda}{b}, \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Iar maximele de intensitate se obtin din conditiile de extremum pentru functia definita in (2) si respecta riguros relatiile:

$$b \sin \varphi_1 = \pm 1,43\lambda \quad b \sin \varphi_2 = \pm 2,46\lambda \quad b \sin \varphi_3 = \pm 3,47\lambda \quad (4)$$

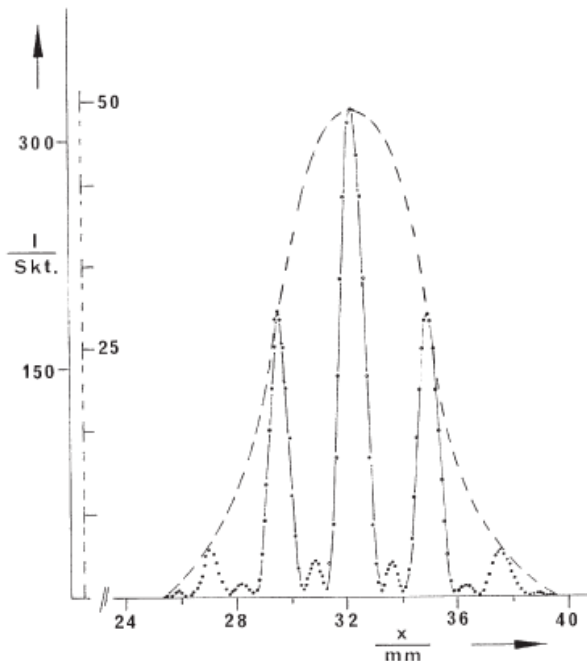
$$\text{sau aproximativ } \sin \varphi_{k^*} = \frac{2k^* + 1}{2} \frac{\lambda}{b}, \quad k^* = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

unde unghiul  $\varphi$  se masoara la fel ca  $\alpha$  dar corespunde pozitiiilor maximelor de difractie.

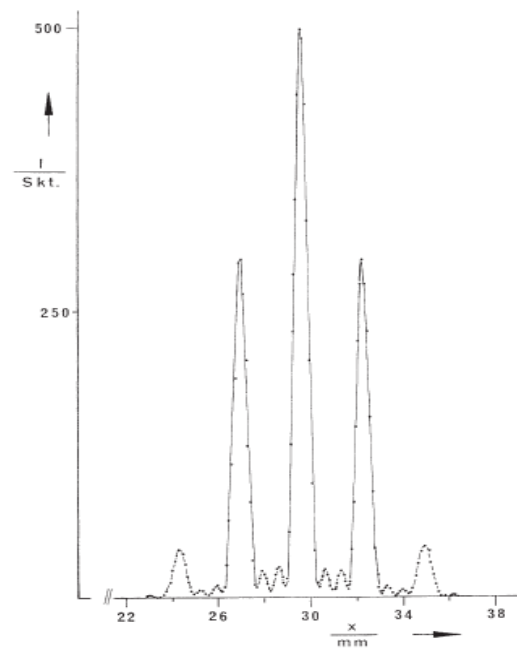


**Fig. 2** Difractia luminii pe o fanta si distributia de intensitate pe un ecran aflat la distanta  $L$

Daca difractia se petrece pe mai multe fante, minimul corespunzator unei singure fante, ramane mereu. Dar suplimentar apar si minimele secundare cand al doilea factor din formula (1) devine zero.



**Fig. 3** Intensitatea in figura de difractie in functie de pozitia  $x$  (pe ecran) pentru o retea cu trei fante,  $b=0.1\text{mm}$ ,  $d=0.25\text{mm}$ . Distanța între elementul difractiv și ecran este  $L=107\text{cm}$ . Cu linie punctată este intensitatea in figura de difractie provenita de la o singura fanta  $b=0,1\text{mm}$



**Fig. 4** Intensitatea in figura de difractie ca functie de pozitie pentru un element difractiv cu patru fante  $b=0,1\text{mm}$   $d=0,25\text{mm}$

Urmatoarea relatie este adevarata pentru intensitatea  $I$  corespunzatoare maximelor secundare:  $I \propto N^2$  (6)

Maximele secundare au intensitati mai mari cu cat numarul de fante creste. Intre maximele principale sunt  $N-2$  maxime secundare cu intensitati mult mai mici.

In Fig. 3 este graficul intensitatii  $I$  pentru un element difractiv format din trei fante ca functie de pozitia  $x$  in figura de difractie. Distanța dintre elementul difractiv și CCD este  $L=107\text{cm}$ . Pentru comparare, pe aceeasi figura s-a prezentat și figura de difractie de la o singura fanta, ca o anvelopa, dar la o alta scala.

Minimul din cazul unei singure fante ramane și când difractia se realizează pe mai multe fante. Pentru acestea, se obține  $b = 0.0967 \text{ mm}$  din formula (2) cu distanța  $2\Delta x = 14\text{mm}$  între cele două minime principale ( $\sin \varphi \cong \tan \varphi$ ,  $L=107\text{cm}$ ,  $\lambda=632,8\text{nm}$ ). Numarul maximelor secundare pentru o retea de difractie cu trei fante este  $N-2=1$ .

In Fig. 4 este reprezentata intensitatea in figura de difractie obtinuta de la o retea cu patru fante. In acest caz, numarul de maxime secundare este  $N-2=2$ .

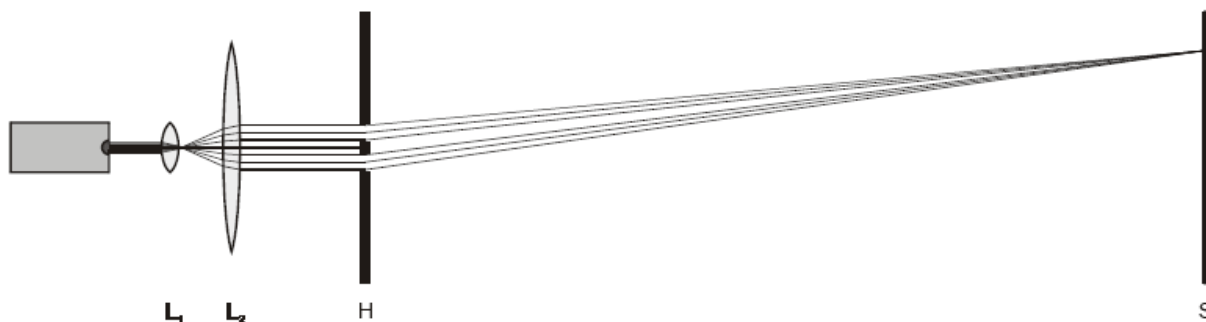
Cand lumina este difractata de o **retea de difractie** prin transmisie, cu constanta retelei  $d$ , unghiurile de difractie  $\varphi$  ale **maximelor** principale satisfac urmatoarea ecuatie:

$$\sin \varphi_m = \frac{m\lambda}{d} \quad m=0, 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

iar minimele corespunzatoare apar la unghiurile ce satisfac relatia:

$$d \sin \alpha_m = \lambda(m + 1/2) \quad (8)$$

### 3. Montajul experimental



**Fig. 5** Montajul experimental

Montajul experimental (Fig. 5) este format din laserul cu He-Ne ( $\lambda = 632,8nm$ ) liniar polarizat, doua lentile  $L_1$  si  $L_2$  (cu distantele focale de 5mm si 50mm, respectiv) care formeaza un sistem telescopic cu scopul de a expanda fascicolul laser, pastrand acelasi diametru pe o distanta mare (conditie pentru obtinerea frontului de unda paralel in difractia Fraunhofer). Acesta este incident normal pe placutele  $H$  cu diferite obiecte difractante. Pentru obiecte difractante cu  $b$  si  $d$  mici (fascicolul acopera in intergime obiectul), se poate folosi direct fascicolul laser (fara lentilele  $L_1$  si  $L_2$ ). Figura de difractie se observa pe ecranul  $S$ , apoi se indeparteaza acesta si se introduce senzorul CCD. Daca maximele de difractie sunt la unghiuri ce depasesc senzorul CCD se introduce dupa  $H$ , o lentila  $L_3$  (cu distanta focala 500mm) pentru focalizare pe CCD.

**Atentie: Nu se priveste direct in fascicolul laser**

Intensitatea luminoasa din figura de difractie inregistrata de senzorul CCD, este transformata in semnal electric, transmisa la computer si vizualizata sub forma unui grafic cu ajutorul softului specializat „Videocom Intensities”. Tastele de pe primul rand sunt:

1. „clear measurements” daca se apasa cu ajutorul mouse-ului, apare o fereastră cu optiunea pentru salvare. Se apasa „No”
2. „open measurements”
3. „save measurements” – in „student E”, directorul „numele facultatii”, directorul „numarul grupei”, fisier „numele studentilor din subgrupa de lucru si data”

**Atentie: Nu se salveaza peste un exemplu deja salvat sau unul din teorie**

4. „print diagram or table” – nu exista imprimanta
5. „recording with 256 pixels” inregistreaza cu rezolutia de 256 pixeli
6. „recording with 2048 pixels” inregistreaza cu rezolutia de 2048 pixeli
7. efectueaza media
8. micsoareaza fereastra de timp in care se colecteaza informatia
9. mareste fereastra de timp in care se colecteaza informatia
10. calibrari si compararea cu teoria

#### **4. Efectuarea masuratorilor folosind un soft specializat**

Se pune in functiune laserul prin invartirea cheitei si camera video prin apasarea butonului pornit/oprit. Se efectueaza alinierea intre laser,  $L_1$ ,  $L_2$ , H,  $L_3$ , CCD (maximele figurii de difractie sa cada pe senzorul CCD). Intre  $L_1$  si  $L_2$  distanta este de aproximativ 55mm, H cat mai aproape de  $L_2$ , CCD in dreptul diviziunii 98cm, iar distanta intre CCD si  $L_3$  este de 500mm (daca  $L_3$  se plaseaza in montaj). Se deschide computerul si se apeleaza programul „Videocom Intensities”. Pentru vizualizarea distributiei de intensitate, se apasa cu mouse stanga, tasta a cincea (a sasea) din primul rand de butoane sau F8 (F9) pentru inregistrarea cu 256 (2048) pixeli. Pe ecranul monitorului va apare un grafic unidimensional cu un maxim central si maxime si minime secundare aproximativ simetrice (in caz contrar, se verifica alinierea), iar in stanga este o fereastra cu valorile intensitatilor in fiecare punct. Asimetria si curba „zgomotoasa” se datoreaza fondului de lumina exterior.

Urmeaza calibrarea prin folosirea tastei a 10-a sau F5. In fereastra care se deschide, se introduce la rubrica „Effective focal length” distanta dintre obiectul F si CCD (daca nu este nicio lentila in montaj) sau distanta focala efectiva a lentilelor din sistem. In aceeasi fereastra se translateaza axa verticala astfel incat originea sa corespunda intensitatii maxime si axa orizontala pentru scaderea valorilor fondului de lumina din exterior (prin apasarea butoanelor respective si apoi butonul „OK”). Daca apare o saturare a senzorului CCD, se introduce un polarizor dupa H si se roteste, pana cand maximul central are o forma gaussiana.

Folosind mouse-ul, se pozitioneaza cursorul pe maximele de ordin  $\pm 1$ ,  $\pm 2$  si se citeste in fereastra din stanga, atat pozitia (unghiul - in grade) cat si intensitatea corespunzatoare, folosind urmatoarele obiecte difractante:

1. placuta pentru difractia pe o fanta (se muta placuta incat fascicolul sa fie incident pe rand pe fante cu diferite largimi)
2. placuta cu 2, 3, 4, 5 fante cu acelasi  $b$  si  $d$
3. retelele cu 20, 40, 80 trasaturi/mm

In componenta trusei este si o retea bidimensionala (sita) care se poate pune ca obiect difractant, dar imaginea de difractie bidimensionala se poate observa doar pe ecran, camera avand doar un senzor unidimensional.

Apasand „mouse dreapta” pe figura va apare o fereastra cu optiuni pentru

1. Afisarea coordonatelor stanga jos: marcat campul: „Display Coordinates
2. marirea unei portiuni de interes din figura prin apelarea optiunii „Zoom” si apoi selectarea portiunii de figura
3. fitarea unei curbe cu „mult zgomot” prin apelarea optiunii „Fit Function” si apoi plimbarea mouse-ului pe curba (aceasta se albastreste)

4. aflarea pozitiei maximului local prin apelarea optiunii „Calculate Peak Center” si apoi ca la punctul 3.
5. afisarea pe grafic a coordonatelor sau a parametrilor fitarilor prin apelarea optiunii „Set Marker-text”
6. masurarea distantei intre doua puncte dorite ale figurii prin apelarea optiunii „Set Marker ---Measure Difference ”
7. renuntarea la ultimele evaluari sau la toate evaluarile – ultimele doua optiuni

## **5. Prelucrarea datelor**

1. Pentru **o singură fantă dreptunghiulară** se citeste pe axa x a graficului, poziția primelor doua minime de intensitate fata de maximul central, iar această valoare este folosită pentru **a calcula lățimea fantei b**, folosind formula (3), unde sinusul unghiului se aproximeaza cu valoarea sa in radiani pentru unghiuri mai mici de 5rad. Se repeta pentru mai multe valori ale lui b.
2. Pentru difractia pe **fante multiple** (2, 3, 4, 5) se citeste pe axa x a graficului **distanța dintre maximele principale vecine**. Pentru ca fantele au acelasi  $b$  si  $d$ , atunci aceste distante trebuie sa fie aproximativ de aceeasi valoare
3. Pentru placuta H cu **retelele** cu 20, 40, 80 trasaturi/mm se citeste unghiul corespunzator maximelor principale si cunoscand constantele retelelor, **se determina lungimea de unda** cu formula (6)