

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

**LABORATORUL DE OPTICĂ
BN - 122 A**

**INTENSITATEA ȘI DIFRAȚIA
RADIĂȚIEI LASER**

INTENSITATEA ȘI DIFRACTIA RADIATIEI LASER

1. Scopul lucrării

Lucrarea studiază câteva din caracteristicile fascicului laser și anume:

- distribuția intensității fascicului laser pe o secțiune transversală a sa;
- divergența fascicului laser;
- difracția radiației laser pe diferite obiecte (fir subțire, rețea bidimensională de fire)

2. Teoria lucrării

a) Studiul fascicului laser

Fasciculele laser sunt coerente spațial și temporal, intense, monocromatice și direcționale. Aceste proprietăți pot fi măsurate cel mai comod în cazul fasciculelor laser date de laserul cu mediu-activ format dintr-un amestec gazos cu heliu și neon (laserul He-Ne).

Acest tip de laser emite un fascicul continuu, roșu, cu lungimea de undă $\lambda=0,6328 \mu\text{m}$ și cu puterea de 1 - 5 mW. Dacă laserul are o lungime mai mică de 20 cm și diametru transversal al tubului mai mic de un milimetru, atunci el emite pe un singur mod a cărui distribuție de intensitate după aria secțiunii transversale a fascicului este de tip gaussian:

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{r^2}{\rho^2}\right) \quad (1)$$

unde r este poziția radială a punctului în care se măsoară intensitatea I , ρ este raza efectivă a fascicului, definită ca poziția radială față de centrul fascicului la care intensitatea scade de e ori, față de intensitatea I_0 a fascicului pe axă.

b) Unghiul de divergență al fascicului laser se măsoară dacă se determină raza ρ a razei laser pe un ecran situat la diverse distanțe față de capătul laser (Fig. 1).

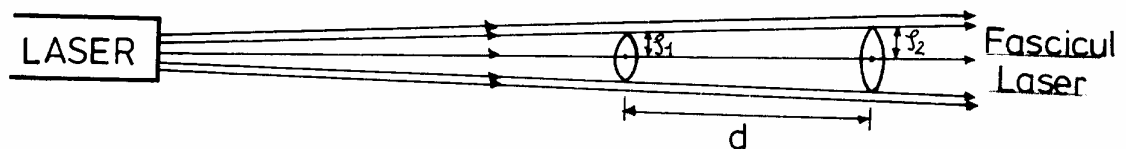


Fig. 1. Două secțiuni transversale prin fasciculul laser situate la distanța d una de alta

Unghiul de divergență θ este evident calculat cu relația

$$\text{tg } \theta \approx \theta = \frac{\rho_2 - \rho_1}{d} \quad (2)$$

Valoarea obținută este exprimată în radiani, care apoi o putem transforma în grade.

c) Difracția fascicului laser pe un fir

Dacă $q(x, y)$ reprezintă funcția de transmisie a unui obiect bidimensional aflat în câmpul unui fascicul laser atunci perturbația în planul de măsură (u, v) este dată de transformata Fourier:

$$\Psi(u, v) = C \iint_{(-\infty, +\infty)} q(x, y) \exp[ik(ux + vy)] dx dy \quad (3)$$

unde C este o constantă de normare, x și y sunt coordonatele unui punct curent din planul obiectului bidimensional, iar u și v coordonatele unui punct curent din planul de măsură (planul imagine).

Deoarece intensitatea într-un punct de măsură este $I = |\Psi|^2$, putem considera că distribuția de intensitate a unui fascicul difractat de la un obiect este dată de transformata Fourier a funcției q definită mai sus. Spre exemplu, un obiect de studiu sub formă de fantă are o funcție de transmisie de forma

$$q(x) = \begin{cases} 1 & \text{pentru } x \in [-a, +a] \\ 0 & \text{pentru } x \in (-\infty, -a) \cup (a, \infty) \end{cases} \quad (4)$$

unde a este lățimea fantei. Distribuția de intensitate obținută în urma difracției de la această fantă este de forma:

$$I = |\Psi(u)|^2 = I_0 \frac{\sin^2 \pi X}{\pi^2 X^2}, \quad (5)$$

în care I_0 este intensitatea fascicului în $X = 0$, $\Psi(u)$ este transformata Fourier a lui $q(x)$ și

$$X = \frac{a}{\lambda} \sin \varphi \quad (6)$$

cu λ lungimea de undă a radiației folosite și φ unghiul de difracție.

Distribuția de intensitate descrisă de formula (5) este reprezentată în figura 2.

Din condiția de extremum pentru funcția (5) se obțin maxime de difracție de ordinul 1, 2, și 3 dacă avem, respectiv, condițiile [1]:

$$\begin{aligned} a \sin \varphi_1 &= \pm 1,43\lambda \\ a \sin \varphi_2 &= \pm 2,46\lambda \\ a \sin \varphi_3 &= \pm 3,47\lambda \end{aligned} \quad (7)$$

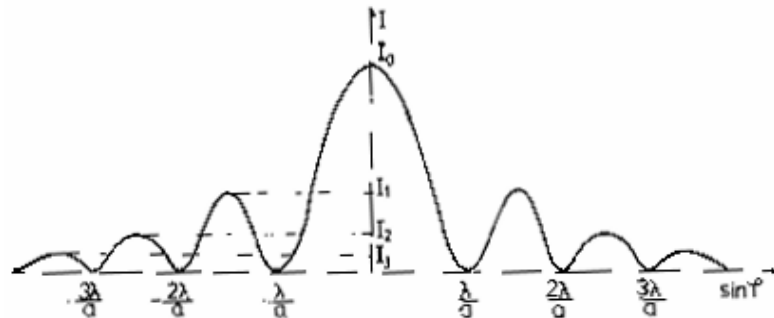


Fig. 2. Distribuția de intensitate a difracției laser pe o fantă de lățime a

Din ecuația (5) rezultă că valorile intensităților maximelor de difracție satisfac relațiile:

$$I_0 : I_1 : I_2 : \dots : I_n = 1 : \left(\frac{2}{3\pi}\right)^2 : \left(\frac{2}{5\pi}\right)^2 : \dots : \left(\frac{2}{(2n+1)\pi}\right)^2 = 1 : 0,045 : 0,016 : 0,0008 \dots \quad (8)$$

Distribuția de intensitate pentru difracție pe un fir este asemănătoare cu cea obținută la difracția pe o fantă cu excepția punctului $X = 0$ (se presupune că firul are diametrul a egal cu deschiderea fantei).

d) Difracția laser pe o rețea dreptunghiulară și bidimensională (sită).

În conformitate cu teoria Fourier [1], intensitatea radiației monocromatice difractate de la o astfel de rețea are o distribuție în planul de măsură (u, v) de tipul celei prezente în tabelul 1

Tabelul 1.

Coordonatele punctului de măsură		Intensitatea (unități relative)
u	v	
$\pm \frac{(2n+1)\pi}{2A}$	0	$4\pi^2 / (2n+1)^2$
0	$\pm \frac{(2m+1)\pi}{2B}$	$4\pi^2 / (2m+1)^2$
$\pm \frac{(2n+1)\pi}{2A}$	$\pm \frac{(2m+1)\pi}{2B}$	$16 / (2n+1)^2 (2m+1)^2$

unde $4A$ și $4B$ sunt dimensiunile ochurilor sitei după cele două direcții perpendiculare u și v , n și m fiind numere întregi.

3. Dispozitivul experimental

Pe bancul de lucru B se află: un laser cu He-Ne (L) alimentat de la o sursă de curent (S_1), o fotorezistență (F) legată la o sursă stabilizată de curent continuu (S_2); o rezistență (R) după care se culege semnalul indicat de voltmetru (V și un suport (P) pentru prinderea lentilei sau a obiectelor difractate (fir, sită) (Fig.3).

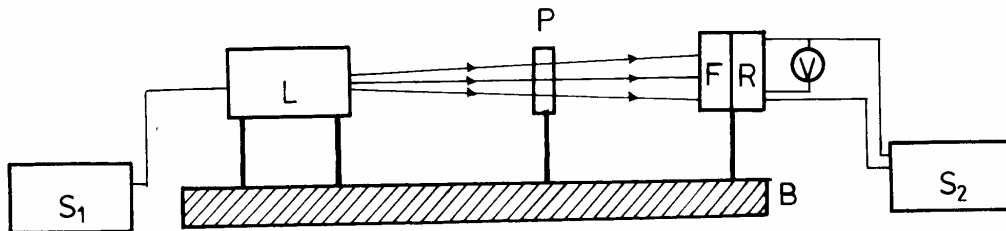


Fig. 3.

4. Modul de lucru

1. Se alimentează laserul prin introducerea stecherului în priza de 220 V și se acționează comutatorul sursei S_1 .

Se alimentează fotorezistența de la sursa S_2 cu aproximativ 20V și se observă deviația acului voltmetrului V.

2. Pentru realizarea corecției de intensitate datorată luminii înconjurătoare (fondul) se obturează fasciculul laser și se citește indicația voltmetrului. Valoarea obținută va constitui valoarea fondului de radiații luminoase, U_g .

3. Pentru a determina distribuția de intensitate din fascicul se poziționează lentila în fasciculul laser pentru expandarea acestuia și se măsoară intensitatea acestuia în diferite puncte ale spotului.

Citirile se vor face din milimetru în milimetru pe orizontală și apoi pe verticală.

Se va reprezenta grafic tensiunea măsurată de voltmetru (corectată cu valoarea de fond) funcție de poziția fotorezistenței, atât pentru direcția orizontală cât și pentru cea verticală. Știind că indicațiile voltmetrului sunt proporționale cu intensitatea radiației

incidente pe fotorezistența (F), cele două grafice vor reprezenta distribuția de intensitate din fascicul pentru cele două direcții, orizontală și verticală.

Rezultatul obținut se va compara cu distribuția teoretică care se trasează grafic cu ajutorul ecuației (1) (în care $\rho = 0,7r_{\max}$).

4. Pentru determinarea divergenței fasciculului laser se îndepărtează lentila din drumul fasciculului laser. Se măsoară coordonatele pentru două puncte situate pe același diametru al spotului laser pentru care tensiunea indicată de voltmetru este minimă (vezi figura 4). Se repetă aceeași măsurare pentru un spot laser situat la o distanță L față de precedentul. Astfel în conformitate cu figura 4, unghiul θ de divergență a fasciculului este dat de ecuația)

$$\operatorname{tg} \theta \approx \theta = \frac{x_2 - x_1 - x'_2 + x'_1}{2L} \quad (9)$$

în care L este distanța dintre cele două poziții ale lui (F) la care se fac măsurătorile, iar x_1, x_2, x'_1 și x'_2 coordonatele punctelor extreme ale spotului la care lumina laser este practic nulă. (Nu folosim relația (2) deoarece este dificil de măsurat ρ).

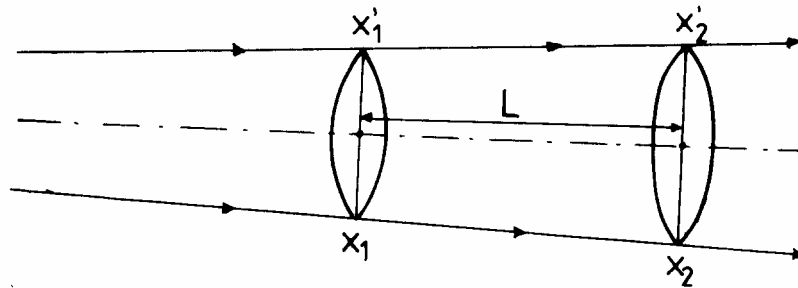


Fig. 4. Două spoturi din fasciculul laser situate la distanța L unul de altul

5. Pentru realizarea studiului de distribuție spațială a intensității laser difractată de fir se fixează (F) la capătul bancului optic și se poziționează cadrul cu fir în fasciculul laser, în apropierea laserului.

Imaginea de difracție se observă pe un ecran în fața fotorezistenței. Aceasta trebuie să fie simetrică cu maxime și minime (figura 2).

Pentru a se obține această situație se va regla firul până când el împartă spotul fasciculului în două părți egale. Odată obținută imaginea de difracție simetrică pe ecran, se înlătură ecranul și se deplasează fotorezistența F în lungul imaginii de difracție în pași de 1 mm. Tensiunile citite la voltmetru pentru aceste poziții ale fotorezistenței sunt corectate cu valoarea de fond și reprezentate grafic. Graficul obținut se compară cu cel obținut din ecuația (5) și reprezentat în figura 2.

Din condițiile (7) care dau maximele de difracție se va determina grosimea firului, având în vedere că

$$\sin \varphi_i = \frac{y_i}{L} \quad (10)$$

unde y_i este distanța de la centrul maximului de ordinul $i = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ până la centrul maximului de ordinul zero, L este distanța dintre firul de studiat și planul fotorezistenței (se consideră $\lambda = 0,6328 \mu m$). Măsurătorile se vor face la fel și pentru un al doilea fir.

6. Pentru rețeaua bidimensională se va măsura distribuția intensității în planul fotorezistenței (F) și rezultatele obținute se vor compara cu datele din tabelul 1.

Din măsurarea coordonatelor x_i, y_i ale diferitelor maxime de difracție date de sita dreptunghiulară putem determina dimensiunile A și B ale ochiurilor sitei folosind relațiile [1]:

$$4A = \frac{\lambda\sqrt{L^2 + y_j^2}}{y_j} \text{ și } 4B = \frac{\lambda\sqrt{L^2 + x_j^2}}{x_j} \quad (11)$$

unde L este distanța de la rețea la fotorezistență iar i, j indică ordinul maximului măsurat în cele 2 direcții perpendiculare ($i = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$).

Se vor calcula dimensiunile ochiurilor pentru cel puțin 5 maxime și rezultatele vor fi mediate.

În cazul în care fotorezistența F , sau aparatele din montajul său, nu permit măsurarea intensităților se poate utiliza un ecran alb pe care se măsoară cu rigla pozițiile maximelor de difracție, care se vor introduce în relațiile maximelor de difracție, care se vor introduce în relațiile (7) (10) și (11) pentru a determina dimensiunile obiectelor difractante.

Întrebări

- 1). Puteți să realizați imagini de difracție laser și pe alte obiecte personale?
- 2). Care este condiția ca difracția laser să fie semnificativă de la un obiect difractant?
- 3). Prezentați pe scurt câteva aplicații ale difracției laser în domeniul în care vă specializați.