

LUCRAREA NR. 10

STUDIUL DIFRAȚIEI LUMINII



Tema lucrării:

- 1) Etalonarea tamburului unei fante reglabile. Difracția Fraunhofer
- 2) Studiul difracției Fraunhofer prin mai multe fante paralele.
- 3) Studiul difracției Fresnel.

Aparate:

Goniometru cu ocular micrometric, fantă reglabilă, fante multiple, lampă cu vapori de sodiu, condensor, banc optic.

Considerații teoretice:

În anumite condiții apare lumină în zona de umbră geometrică deoarece legile opticii geometrice nu mai sunt valabile. Fenomenul de ocolire aparentă a obstacolelor de către undă se numește *difracție*. În funcție de tipul fasciculului incident se deosebesc două tipuri de difracție: difracție Fraunhofer (când lumina incidentă este paralelă) și difracție Fresnel (în cazul fasciculelor convergente sau divergente).

Difracția de tip Fresnel

Fenomenul de difracție se explică cu ajutorul principiului lui Huygens-Fresnel, care explică propagarea luminii prin unde. Fie **F** o fantă îngustă, iluminată de un fascicul divergent ce pornește din sursa punctiformă **S**. Figura de difracție se observă pe un paravan **E** așezat la o anumită distanță de fanta **F** (fig. 10.1).

Fiecare punct al suprafeței de undă Σ poate fi considerat ca un izvor luminos care trimite un fascicul divergent de raze în toate direcțiile. Aceste izvoare secundare sunt coerente și în fază cu unda incidentă. Figura de difracție de tip Fresnel, care se obține în cazul unei fante liniare, este formată din franje luminoase și întunecate, cu un maxim sau un minim central, ce depinde de numărul zonelor Fresnel lăsate libere de fantă.

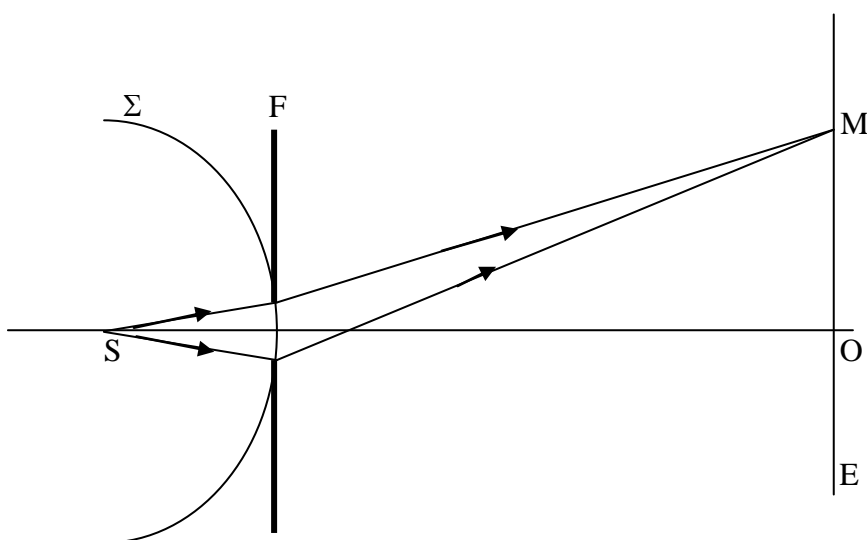


Fig. 10.1. Difracția Fresnel a luminii pe o fantă.

Pentru a calcula efectiv intensitatea luminii în orice punct al paravanului **E**, Fresnel a introdus următoarele două ipoteze:

a) acțiunea sursei **S** într-un punct oarecare al ecranului **E** se poate înlocui cu acțiunea surselor secundare de pe suprafața de undă Σ , care au amplitudini și faze

corespunzătoare.

b) amplitudinea vibrației datorită contribuției unui element de suprafață dS (de pe suprafața de undă Σ) într-un punct situat la distanța r de elementul de suprafață dS , este proporțională cu mărimea elementului, cu un factor de înclinare ($\cos \varphi$) și invers proporțională cu distanța r (fig. 10.2).

$$A = kf(\varphi) \frac{dS}{r}$$

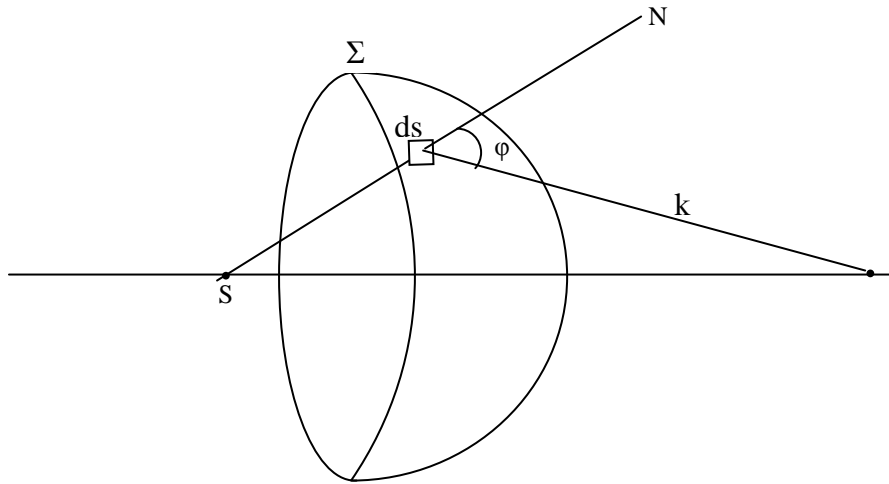


Fig. 10.2

Difracția de tip Fraunhofer

Fie o fantă de lărgime a și lungime infinită, situată într-un plan perpendicular pe planul figurii. Pe fantă cade un fascicul paralel de lumină monocromatică. Considerăm razele de lumină difractate pe o direcție ce face unghiul α cu fasciculul incident. Diferența de drum optic între razele marginale este:

$$\delta = a \cdot \sin \alpha \quad (10.1)$$

căreia îi corespunde diferența de fază

$$\varphi = 2\pi \frac{\delta}{\lambda} \quad (10.2)$$

Amplitudinea rezultată în direcția α este dată de

$$A = A_0 \frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}} = A_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \alpha} \quad (10.3)$$

Din relația (10.3) deducem că în funcție de valoarea unghiului φ se obține o variație periodică a intensității luminoase.

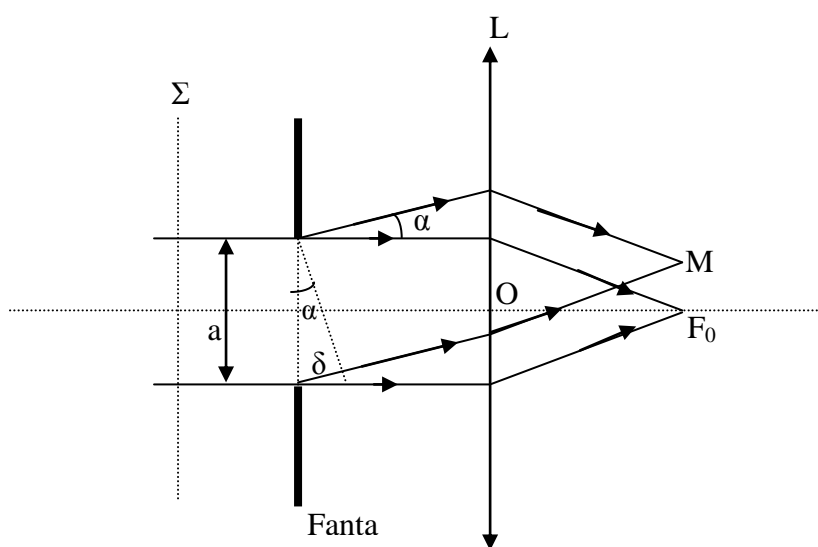


Fig. 10.3 Difrakția Fraunhofer pe o fantă liniară

Se observă că în direcția fascicului incident ($\alpha=0$) pentru care $\varphi = 0$ amplitudinea rezultantă este $A = A_0$.

Deci figura de difracție de tip Fraunhofer are întotdeauna maximul central în direcția fascicului incident.

Se obțin minime de difracție pentru:

$$a \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda, \text{ unde } k = 1, 2, \dots \quad (10.4)$$

Figura de difracție în lumină monocromatică este formată dintr-un maxim central și o serie de maxime secundare de ordin superior cu amplitudini ce descresc din ce în ce mai mult.

Difrakția Fraunhofer prin N fante liniare – rețea de difracție.

Fie un sistem de **N** fante liniare de lărgime **a** așezate la distanța **b** una de alta. Perpendicular pe planul fantelor rețelei cade un fascicul de lumină, paralel și monocromatic. Figura de difracție se studiază într-o direcție care face un unghi α cu direcția fascicului incident. Diferența de drum optic dintre razele corespunzătoare a două fante învecinate este:

$$\delta = (a + b) \sin \alpha = d \sin \alpha \quad (10.5)$$

unde $d = a + b$ este constanta rețelei de difracție (fig. 10.4 a).

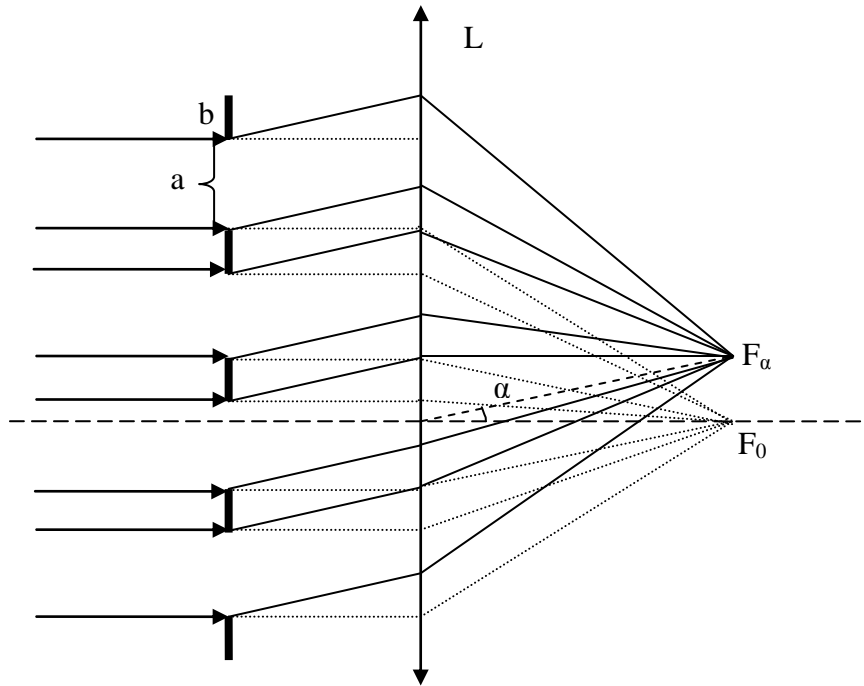


Fig 10.4. Difrakția pe fante multiple.

Amplitudinea rezultată în direcția α este:

$$A = A_0 \frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}} = A_0 \frac{\sin(\frac{\pi \cdot a}{\lambda} \sin \alpha)}{\frac{\pi \cdot a}{\lambda} \sin \alpha} \cdot \frac{\sin(\frac{N \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \sin \alpha)}{\sin(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \sin \alpha)} \quad (10.6)$$

Amplitudinea rezultată este produsul a doi factori: primul este datorat difracției, iar al doilea este factorul de interferență.

Minime de difracție se obțin în direcțiile în care termenul de difracție din relația (10.6) se anulează, adică

$$a \sin \alpha_k = k\lambda, \quad k = 1, 2,$$

(se observă că relația este identică cu relația (10.4) care ne dă minimele de difracție în cazul unei singure fante)

Minime de interferență se obțin în direcțiile determinate de condiția:

$$\sin(\frac{N \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \sin \alpha) = 0 \quad (10.7)$$

adică

$$\sin \alpha = \frac{m \cdot \lambda}{N \cdot d} \quad (10.8)$$

unde $m = 1, 2, \dots$ cu $m \neq N$

Maximele principale se obțin în direcția pentru care avem îndeplinită condiția:

$$\sin\left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \sin \alpha\right) = 0 \quad (10.9)$$

Adică

$$\sin \alpha = \frac{k \cdot \lambda}{d} \quad (10.10)$$

unde $k = 0, 1, 2, \dots$ (**k** este ordinul maximului)

Dacă numărul fantelor este **N**, între două maxime principale se găsesc **N-2** maxime secundare și **N-1** minime.

În lumina monocromatică figura care se obține este formată dintr-un maxim de ordin zero de aceeași culoare ca și lumina incidentă și o serie de spectre de diferite ordine cu roșul mai deviat decât albastrul.

Dacă se compară relațiile (10.4) și (10.10) se observă că dacă **a** și **d** sunt proporționale, atunci pentru anumite ordine, peste un maxim de interferență se suprapune un minim de difracție. În acest caz maximele respective vor lipsi din figura de interferență.

Descrierea aparaturii

Studiul difracției se face cu ajutorul goniometrului care este compus dintr-un colimator (ce paralelizează fasciculul incident) și o lunetă de observație.

Ocularul este prevăzut cu o scală divizată din **0,5** în **0,5 mm**. Tamburul șurubului micrometric are **50** diviziuni, fiecare diviziune corespunzând la **0,01 mm**.

Mersul lucrării

1) Etalonarea tamburului unei fante reglabile. Difracția Fraunhofer

Se conectează lampa cu vapori de sodiu și se iluminează fanta colimatorului.

Se deplasează tubul ocularului până când imaginea firelor reticulare și a scalei se văd clar (fig. 10.5).

Poziția intersecției firelor reticulare este indicată de două liniuțe verticale, care se deplasează solidar cu firele reticulare.

Se rotește tamburul fantei reglabile până când intersecția firelor reticulare ajunge în dreptul diviziunii **2** (aflată în centrul ocularului).

Se reglează luneta până când imaginea fantei de intrare se vede clar.

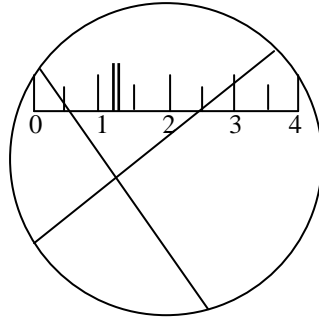


Fig. 10.5 Câmpul vizual al ocularului

Se reglează poziția lunetei în planul orizontal până când imaginea fantei se suprapune cu intersecția firelor reticulare.

Se așează fanta reglabilă pe măsura goniometrului în suport.

Se închide fanta cu ajutorul tamburului, apoi se deschide foarte încet. Prima măsurătoare se efectuează atunci când apar primele franje.

Fie d diviziunea corespunzătoare citită de pe rigla verticală și tamburul fantei (rigla este divizată din $0,5$ în $0,5$ diviziuni iar tamburul în sutimi de diviziuni). Se deschide în continuare fanta (modificând tamburul fantei reglabile din 20 în 20 de diviziuni, deci diviziunea d crește cu $0,2$ la fiecare deschidere) și se repetă măsurătorile până când figura de difracție devine difuză. Se vor efectua măsurătorile pentru cel puțin șase valori ale deschiderii fantei.

Măsurătorile se efectuează în felul următor: se deplasează spre stânga firele reticulare ale ocularului până când depășesc minimul de ordin $k = 3$, apoi se suprapune intersecția firelor reticulare peste minimul de ordin 3 , deplasând firele reticulare de la stânga la dreapta, se citește poziția minimului $x_{3\text{ st}}$. Se deplasează în continuare (*în același sens*) firele reticulare ale ocularului și se suprapune intersecția lor peste minimul de ordin $k = 2$, respectiv de ordinul $k = 1$ din stânga maximumului central citind pozițiile $x_{2\text{ st}}$ și $x_{1\text{ st}}$.

Se continuă deplasarea firelor reticulare în același sens și se citește poziția $x_{k\text{ dr}}$ corespunzătoare minimelor de ordin $k=1$, $k=2$ și $k=3$ din dreapta maximumului central.

Se calculează distanța de la minimul de ordinul k la mijlocul maximumului central.

$$x_k = \frac{x_{k\text{ dr}} - x_{k\text{ st}}}{2} \quad (10.11)$$

Cunoscând distanța focală f a obiectului lunetei (măsurată în laborator) se calculează unghiul de difracție corespunzător minimului de ordin k .

$$\alpha_k = \frac{x_k}{f} \quad (10.12)$$

Deoarece unghiurile sunt mici, din relația (10.4) se obține următoarea legătură între unghiul de difracție α_k , lărgimea fantei a și ordinul de difracție k :

$$\alpha_k = \frac{k\lambda}{a} \quad (10.13)$$

Lungimea de undă a radiației galbenea sodiului este $\lambda = 589,3 \text{ nm}$.

Cu ajutorul relației (10.12) se vor calcula valorile unghiurilor de difracție α_k .

Cunoscând unghiul de difracție α_k pentru franja de ordinul k se calculează lărgimea fantei a :

$$a = \frac{k\lambda}{\alpha_k} \quad (10.14)$$

Rezultatele experimentale se trec în tabelul 10.1.

Tabelul 10.1

λ	f	d	k	$x_{k \text{ st}}$	$x_{k \text{ dr}}$	x_k	α_k	a	\bar{a}	d_0
nm	mm	div		mm	mm	mm	rad	mm	mm	mm

Se reprezintă grafic curba de etalonare $\bar{a} = \bar{a}(d)$.

Prin extrapolarea curbei de etalonare, se determină diviziunea d_0 a tamburului la care se închide complet fanta ($a = 0$).

2) Studiul difracției Fraunhofer prin mai multe fante paralele

În locul fantei reglabile se așează o fantă dublă în suportul goniometrului. Se determină distanța x_k a maximelor principale față de maximul central, măsurând pozițiile $x_{k \text{ st}}$ și $x_{k \text{ dr}}$ ca mai sus.

Se calculează unghiul corespunzător α_k , din relația (10.12). Dacă se utilizează expresia simplificată a formulei (10.10) se poate calcula constanta d .

$$d = \frac{k\lambda}{\alpha_k} \quad (10.15)$$

Pentru diferite valori ale lui k se calculează valoarea medie \bar{d} .

Se notează ordinul k^* al primului maxim care lipsește (dacă este cazul). Acesta este egal cu valoarea raportului dintre d și a (relație dedusă prin compararea relațiilor (10.14) și (10.15)).

$$k_1^* = \frac{d}{a} \quad (10.16)$$

Din relația (10.16) se poate calcula lățimea **a** a fantelor.

Măsurătorile se repetă și pentru fantele multiple urmărindu-se felul cum variază figura de difracție.

Rezultatele experimentale se trec în tabelul 10.2.

Tabelul 10.2

λ	f	N	k	$x_{k \text{ st}}$	$x_{k \text{ dr}}$	x_k	d	\bar{d}	k^*	a
nm	mm			mm	mm	mm	mm	mm		mm

3) Studiul difracției Fresnel

Se deșurubează atât obiectivul colimatorului cât și cel al lunetei.

Se așează din nou fanta reglabilă pe măsura goniometrului. Se închide fanta reglabilă complet și apoi se deschide încet.

Se studiază cum variază intensitatea luminoasă în centrul figurii de difracție. Pe măsură ce se deschide fanta, intensitatea luminoasă din centrul figurii de difracție crește până la o valoare maximă (**k=1**). În acest caz deschiderea fantei corespunde la *prima zonă Fresnel*.

(*Observație*: Primul maxim se reperează greu, motiv pentru care nu se citește diviziunea corespunzătoare.)

Dacă se deschide mai departe fanta, în centrul figurii de difracție se obține un minim (**k=2**). În acest caz deschiderea fantei corespunde *zonei Fresnel de ordinul doi*.

Se citește diviziunea **d** (de pe riglă, respectiv de pe tamburul fantei reglabile). Deschizând în continuare fanta, deci mărirind numărul zonelor Fresnel, în centrul figurii de difracție se obțin alternativ maxime (**k - impar**) și minime (**k-par**), corespunzând zonelor Fresnel de ordin **k**.

Se citește diviziunea **d** a fantei reglabile corespunzătoare maximelor și minimelor centrale.

Măsurătorile se fac de cel puțin trei ori pentru fiecare valoare a lui **k** cuprinsă între **2** și **5**, închizând de fiecare dată fanta și apoi deschizând-o încet și urmărind centrul figurii de difracție.

De pe curba de etalonare se determină valoarea **a_{k exp}**, exprimată în milimetri, a deschiderii fantei în funcție de diviziunile \bar{d} obținute.

Lărgimea fantei **a_{k calc}** se determina cu ajutorul relației:

$$a_{k \text{ calc}} = 2\sqrt{k \cdot b \cdot \lambda} \quad (10.17)$$

unde b este distanța de la fanta reglabilă la planul ocularului (firelor reticulare) și se măsoară experimental.

Se compară largimea calculată a fantei ($a_{k \text{ calc}}$) cu largimea fantei obținută cu ajutorul determinărilor experimentale și a curbei de etalonare ($a_{k \text{ exp}}$).

Datele experimentale se trec în tabelul 10.3.

Tabelul 10.3

λ	b	k	d_k	\bar{d}	$a_{k \text{ exp}}$	$a_{k \text{ calc}}$
nm	mm		div	div	mm	mm