

17. DIFRACTIA LUMINII

CUPRINS

Nr. crt.	TEMA	Pagina
1.	Obiective	470
2.	Organizarea sarcinilor de lucru	470
3.	<i>Topicul 1</i> Interferența luminii. Lungime de interferență Condiții de maxim și minim la interferență	471
4.	Exemplu ilustrativ 1	475
5.	<i>Topicul 2</i> Interferometria	485
6.	Exemplu ilustrativ 2	486
7.	<i>Topicul 3</i> Difracția undelor	488
8.	Exemplu ilustrativ 3	489
9.	TEST DE AUTOEVALUARE	496
10.	REZUMAT	497
11.	Rezultate așteptate	498
12.	Termeni esențiali	498
13.	Recomandări bibliografice suplimentare	499
14.	TEST DE EVALUARE	500

OBIECTIVE

Obiectivele acestui curs sunt:

- Să definească fenomenul de interferență.
- Să-și însușească condițiile de maxim și de minim la interferență.
- Să cunoască aplicațiile interferenței.
- Să înțeleagă interferometria.
- Să-și însușească fenomenul de difracție a undelor.
- Să cunoască și să diferențieze fenomenul de difracție observat în locuri diferite.

Organizarea sarcinilor de lucru

- ✓ Parcurgeți cele trei topice ale cursului.
- ✓ La fiecare topic urmăriți exemplele ilustrative.
- ✓ Fixați principalele idei ale cursului, prezentate în rezumat.
- ✓ Completați testul de autoevaluare.
- ✓ Timpul de lucru pentru parcurgerea testului de evaluare este de 15 minute.

TOPICUL 1

Interferența luminii. Lungime de interferență Condiții de maxim și minim la interferență



Interferența luminii. Lungime de interferență

Definiție: Fenomenul de compunere a două sau mai multe unde coerente care se întâlnesc într-un punct din spațiu cu producerea de maxime și minime de intensitate luminoasă se numește **interferența luminii**.

Condiției de coerență a undelor electromagnetice este întâlnită și l undele mecanice îi trebuie adăugată și condiția ca diferență de drum dintre undele luminoase care interferă să nu depășească o anumită valoare, numită și lungime de interferență. Acest lucru se poate explica prin faptul că radiația luminoasă nu are loc în mod continuu, ci în așa numitele trenuri de unde cu durata de aproximativ 10^{-9} s. Fiecare undă electromagnetică luminoasă este formată dintr-o succesiune de asemenea trenuri de unde. Procesul de emisie a undelor electromagnetice luminoase fiind aleatoriu, interferența nu poate fi realizată cu unde provenite de la surse independente [1,6].

Lungimea unui tren de unde sau **lungimea de interferență** se poate calcula ținând cont de durata de emisie este:

$$t \cong 10^{-9} \text{ s} \quad (17.1)$$

iar viteza de propagare a acestor trenuri de unde este egală cu viteza luminii în vid:

$$c \cong 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \quad (17.2)$$

de unde lungimea de interferență este:

$$l = c \cdot t = 0.3 m \quad (17.3)$$

Dacă diferența de drum între două unde luminoase coerente care se suprapun este mai mare decât lungimea de interferență, atunci cele două unde elementare emise de atom într-un act de emisie nu mai interferă.

Condiții de maxim și minim la interferență

Așa cum se observă și din definiție, fenomenul de interferență poate fi pus în evidență prin observarea schimbărilor în intensitatea luminii de-a lungul anumitor regiuni din spațiu. Se mai știe că lumina este acea undă electromagnetică care produce senzația de vedere prin intermediul câmpului electric care formează câmpul electromagnetic din unda electromagnetică [26]. În capitolul 8 s-a arătat că intensitatea luminii este proporțională cu pătratul intensității câmpului electric:

$$I = \varepsilon_0 E^2 \Rightarrow I \propto E^2 \quad (17.4)$$

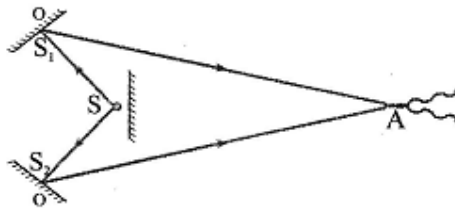


Fig. 17.1. Obținerea a două unde coerente care pot să producă interferență în punctul A

Considerăm două unde luminoase, coerente cu diferența de drum dintre ele mai mică decât lungimea de interferență care provin de la sursele S_1 și S_2 .

Presupunem că ecuațiile de propagare a celor două unde în punctul A sunt date de ecuațiile:

$$\begin{aligned} \vec{E}_1(\vec{r}_1, t) &= \vec{E}_{m,1} \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot \vec{r}_1) \\ \vec{E}_2(\vec{r}_2, t) &= \vec{E}_{m,2} \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot \vec{r}_2) \end{aligned} \quad (17.5)$$

de unde unda care se obține în punctul A prin suprapunerea celor două este dată de:

$$E(\vec{r}_1, \vec{r}_2, t) = \vec{E}_1(\vec{r}_1, t) + \vec{E}_2(\vec{r}_2, t) = \vec{E}_{m,1} \cdot \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_1) + \vec{E}_{m,2} \cdot \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_2) \quad (17.6)$$

iar pătratul intensității câmpului electric este dat de:

$$\begin{aligned} \vec{E}^2(\vec{r}_1, \vec{r}_2, t) &= [\vec{E}_{m,1} \cdot \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_1) + \vec{E}_{m,2} \cdot \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_2)]^2 \\ &= \vec{E}_{m,1}^2 \cdot \sin^2(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_1) + \vec{E}_{m,2}^2 \cdot \sin^2(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_2) + 2\vec{E}_{m,1}\vec{E}_{m,2} \cdot \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_1) \cdot \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_2) \end{aligned} \quad (17.7)$$

Senzația luminoasă apare atunci când unda electromagnetică excită organul vizual un timp suficient de lung. Pentru a găsi expresia intensității luminoase trebuie să integrăm pătratul intensității câmpului electric pe acest interval minim

$$I \propto \frac{1}{T} \int \vec{E}^2(\vec{r}_1, \vec{r}_2, t) dt \quad (17.8)$$

sau pentru ca funcțiile sinus sunt periodice atunci trebuie să integrăm pe o perioadă:

$$I \propto \frac{1}{T} \int_0^T \left\{ \vec{E}_{m,1}^2 \cdot \sin^2(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_1) + \vec{E}_{m,2}^2 \cdot \sin^2(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_2) + 2\vec{E}_{m,1}\vec{E}_{m,2} \cdot \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_1) \cdot \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_2) \right\} dt \quad (17.9)$$

$$\begin{aligned} I \propto \frac{\vec{E}_{m,1}^2}{T} \int_0^T \sin^2(\alpha \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r}_1) dt + \frac{\vec{E}_{m,2}^2}{T} \int_0^T \sin^2(\alpha \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r}_2) dt \\ + 2 \frac{\vec{E}_{m,1}\vec{E}_{m,2}}{T} \int_0^T \sin(\omega \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r}_1) \cdot \sin(\omega \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r}_2) dt \end{aligned} \quad (17.10)$$

care prin integrare dau:

$$I \propto \frac{E_{m,1}^2}{2} + \frac{E_{m,2}^2}{2} + 2 \frac{E_{m,1}E_{m,2}}{2} \cdot \cos[k(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)] \quad (17.11)$$

unde se mai observă o nouă condiție pentru obținerea fenomenului de interferență și anume faptul că cele două unde nu trebuie să aibă vectorii câmpului electric care să oscileze perpendicular unul pe celălalt. Presupunând în continuare că cei doi vectori sunt paraleli unul pe celălalt se obține prin trecerea la mărimile efective:

$$I \propto E_{ef,1}^2 + E_{ef,2}^2 + 2E_{ef,1}E_{ef,2} \cdot \cos[k(r_2 - r_1)] \quad (17.12)$$

Din aceasta relație se pot obține în mod direct condițiile de maxim sau de minim. Astfel pentru producerea maximelor în intensitatea luminoasă și deci cea ce numim franje luminoase este ca:

$$\cos[k(r_2 - r_1)] = 1 \quad \Rightarrow \quad k(r_2 - r_1) = 2n \cdot \pi \quad (17.13)$$

și ținând cont de definiția vectorului de unda \vec{k} sau mai exact a modulului acestuia:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (17.14)$$

se obține:

$$\frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = 2n \cdot \pi \Rightarrow \delta = (r_2 - r_1) = 2n \frac{\lambda}{2} \quad (17.15)$$

iar intensitatea maximă este:

$$\begin{aligned} I &\propto E_{ef,1}^2 + E_{ef,2}^2 + 2E_{ef,1}E_{ef,2} \\ I &\propto (E_{ef,1} + E_{ef,2})^2 \end{aligned} \quad (17.16)$$

În mod similar se poate obține condiția de minim a intensității luminoase și deci cea ce numim franje întunecate:

$$\cos[k(r_2 - r_1)] = -1 \Rightarrow k(r_2 - r_1) = \pi + 2n \cdot \pi \quad (17.17)$$

se obține:

$$\frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = (2n + l) \cdot \pi \Rightarrow \delta = (r_2 - r_1) = (2n + l) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (17.18)$$

iar intensitatea maximă este:

$$\begin{aligned} I &\propto E_{ef,1}^2 + E_{ef,2}^2 - 2E_{ef,1}E_{ef,2} \\ I &\propto (E_{ef,1} - E_{ef,2})^2 \end{aligned} \quad (17.19)$$

unde δ este diferența de drum dintre cele două unde electromagnetice. Dacă cele două unde nu se propagă în vid ci într-un mediu cu indicele de refracție $n \neq 1$ în considerarea condițiilor de îndeplinire maximului și minimului intensității franjelor atunci trebuie să considerăm diferența de drum optic dintre cele două unde:

$$\delta_{optic} = n \cdot \delta \quad (17.20)$$

După modul de obținere a franjelor de interferență aceasta se pot împărți în:

- Interferența cu franje nelocalizate în spațiu.
- Interferența cu franje localizate în spațiu.

CONCLUZIE

Fenomenul de compunere a două sau mai multe unde coerente care se întâlnesc într-un punct din spațiu cu producerea de maxime și minime de intensitate luminoasă se numește interferența luminii.

EXEMPLU ILUSTRATIV 1:



1. Interferența cu franje nelocalizate Dispozitivul lui Young

Franjele de interferență nelocalizate se formează în întreaga regiune din spațiu în care undele luminoase se suprapun. Franjele pot fi prinse pe un ecran.

Dispozitivul lui Young

În acest caz interferența se produce prin suprapunerea undelor luminoase care pleacă de la sursele secundare și poate fi observată pe un ecran E situat oriunde în spatele paravanului P. În punctul M_0 se obține un maxim, numit maxim central, deoarece diferența de drum dintre cele două raze este egală cu 0.

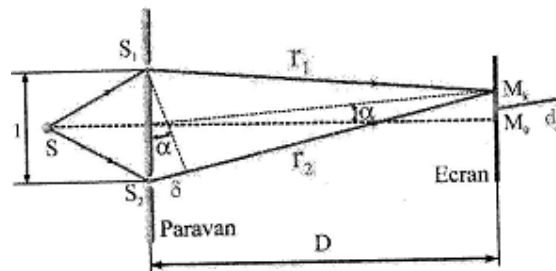


Fig. 17.2. Dispozitivul lui Young cu franje localizate

Într-un punct M_k situat la distanța d_k de M_0 se obține un maxim sau un minim după cum diferența de drum $\delta = r_2 - r_1$ este un număr par sau un număr impar de jumătăți de lungimi de undă, $\lambda/2$. Unghiul, α se poate considera ca fiind foarte mic pentru ca cele două surse S_1 și respectiv S_2 sunt foarte apropiate, astfel:

$$\sin \alpha \cong \operatorname{tg} \alpha \cong \alpha \quad (17.21)$$

Până la paravan nu există nici o diferență de drum între cele două raze r_1 și r_2 . Aceasta apare în schimb după paravan dacă considerăm un punct M_k de pe ecran altul decât M_0 . Această diferență de drum poate să fie exprimată ușor din considerente geometrice:

$$\delta_k = l \cdot \sin \alpha = l \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{l \cdot d_k}{D} \quad (17.22)$$

Pentru că în punctul M_k să apară un maxim atunci trebuie ca:

$$\delta_k = \frac{l \cdot d_k}{D} = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (17.23)$$

de unde distanța de la maximumul central M_0 până la maximumul de ordinul k în punctul M_k :

$$d_k = k \frac{\lambda D}{l} \quad (17.24)$$

În mod similar distanța până la minimumul de ordin k este:

$$d_k = (2k + 1) \frac{\lambda D}{2l} \quad (17.25)$$

Definiție: *Interfranja*, i reprezintă distanța dintre două maxime sau minime succesive:

$$i = d_{k+1} - d_k = (k + 1) \frac{\lambda D}{l} - k \frac{\lambda D}{l} = \frac{\lambda D}{l} \quad (17.26)$$

Tabloul de interferență se obține pe ecranul E , oricare ar fi distanța D . Interfranja este direct proporțională cu această distanță D dintre ecran și paravan și cu lungimea de undă și este invers proporțională cu distanța dintre sursele S_1 și S_2 . Dacă se folosește lumina albă maximele vor fi constituite dintr-o succesiune de culori cu partea violetă spre maximumul central [20]. Aceasta este format dintr-o franjă albă deoarece în acest punct se obține un maxim indiferent de lungimea de undă. Inconvenientul acestui dispozitiv constă în faptul că franjele sunt în general foarte slab luminate și foarte apropiată între ele, pentru că cele două fante trebuie să aibă dimensiuni foarte mici comparabile cu lungimea de undă [39].

2. Oglinzile lui Fresnel

La acest dispozitiv, cele două surse coerente sunt două imagini virtuale S_1 și S_2 ale aceleiași surse S , în două oglinzi plane, care fac între ele un unghi foarte

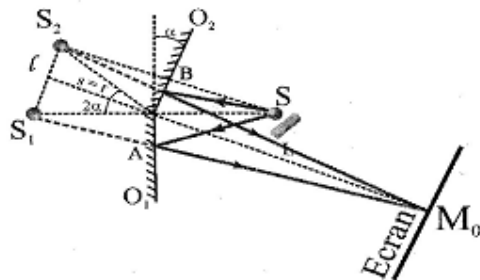


Fig. 17.3. Dispozitivul oglinzile lui Fresnel pentru obținerea de franje localizate.

mic, α . Ecranul se așează perpendicular pe mediatoarea segmentului S_1S_2 .

Drumul real al razelor de lumină este SAM_0 SBM_0 dar prin considerarea drumului imaginar situația este similară cu cea de la dispozitivul lui Young.

În acest caz distanța de la surse la ecran este:

$$D = L + r \quad (17.27)$$

iar distanța dintre surse:

$$l = 2r \sin \alpha \cong 2r\alpha \quad (17.28)$$

de unde interfranța este dată de:

$$j = \frac{\lambda D}{l} = \frac{\lambda(D+r)}{2r\alpha} \quad (17.29)$$

Tabloul de interferență apare sub forma unor drepte paralele, deoarece în acest dispozitiv drept sursa S, se folosește o fantă dreptunghiulară îngustă, paralelă cu dreapta de intersecție a planelor oglinzilor.

3. Interferența cu franje localizate în spațiu **Interferența cu franje de egală înclinare**

Interferența cu franje localizate în spațiu se realizează cu lame subțiri transparente, fapt pentru care se mai numește și interferența cu lame subțiri. Se cunosc două asemenea cazuri:

- Interferența cu franje de egală înclinare.
- Interferența cu franje de egală grosime.

Interferența cu franje de egală înclinare

Se mai folosește o lamă subțire, cu fețe plane și paralele și o sursă situată aproape de lamă. Pe această lamă cad sub diferite unghiuri de incidență raze de lumină provenite de la sursă. În urma reflexiilor și refracțiilor succesive pe cele două suprafețe ale lamei de sticlă se obțin două raze coerente și paralele I_1 și I_2 . cele două raze fiind paralele vor forma la infinit desenul de maxime și minime specific fenomenului de interferență [28].

Interferența cu franje de egală înclinare conduce la franje localizate la infinit.

Dar, punând în calea lor o lentilă convergentă (care poate să fie chiar cristalinul ochiului) aceste raze se suprapun într-un punct M_1 . Tabloul de interferență care se poate obține pe un ecran are forma unor cercuri concentrice.

Rezultatul interferenței depinde de diferența de drum dintre razele I_1 și I_2 .

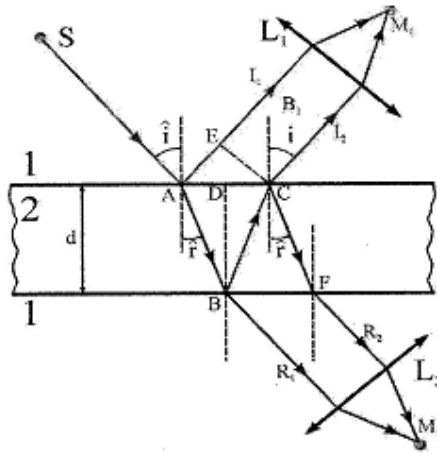


Fig. 17.4. Formarea franjelor de interferență prin reflexia și transmisia multiplă în lama cu fețe plan paralele

Din figură se observă că diferența de drum este dată de:

$$\delta_{optic} = n(AB + BC) - \left(n' AE + \frac{\lambda}{2} \right) \quad (17.30)$$

termenul de $\frac{\lambda}{2}$ a fost introdus, deoarece în optică, reflexia unei raze pe un mediu mai dens decât cel din care vine are loc cu un salt de fază de π . Din considerente geometrice putem scrie următoarele relații:

$$\begin{aligned} AB = BC &= \frac{d}{\cos(\hat{r})} \\ AC = 2AD &= 2d \cdot \operatorname{tg}(\hat{r}) \\ AE &= AC \cdot \sin(\hat{i}) = 2d \cdot \operatorname{tg}(\hat{r}) \cdot \sin(\hat{i}) \end{aligned} \quad (17.31)$$

cu aceste relații diferența de drum optic devine:

$$\delta_{optic} = \frac{2d \cdot n}{\cos(\hat{r})} - 2d \cdot n' \cdot \operatorname{tg}(\hat{r}) \cdot \sin(\hat{i}) - \frac{\lambda}{2} \quad (17.32)$$

și dacă se aplică legea lui Snell, obținem:

$$n' \sin(\hat{i}) = n \cdot \sin(\hat{r}) \quad (17.33)$$

de unde drumul optic este:

$$\delta_{optic} = \frac{2d \cdot n}{\cos(\hat{r})} [1 - \sin^2(\hat{r})] - \frac{\lambda}{2} = 2nd \cdot \cos(\hat{r}) - \frac{\lambda}{2} \quad (17.34)$$

Din relația de mai sus se observă că pentru o lamă determinată (indicele de refracție, n și grosimea d fixată) și o anumită radiație aleasă, drumul optic și deci maximele și minimele sunt o funcție numai de unghiul de refracție, și de aici de unghiul de incidență \hat{i} . Din această cauză franjele care se obțin în cazul

de față mai sunt denumite franje de egală înclinare. Tabloul de interferență este o familie de cercuri numite inelele lui **Haidinger**. Diferența de drum optic pentru razele reflectate în funcție de unghiul de incidență este dată de:

$$\delta_{optic} = 2nd \cdot \cos(\hat{r}) - \frac{\lambda}{2} = 2d \cdot \sqrt{n^2 - n^2 \sin^2(\hat{i})} - \frac{\lambda}{2} \quad (17.35)$$

Și în lumina transmisă prin loame subțiri cu fețe plane și paralele se poate observa un fenomen de interferență analog cu cel din lumina reflectată.

Diferența de drum optic dintre razele reflectate R₁ și R₂ este:

$$\delta_{optic} = 2nd \cdot \cos(\hat{r}) = 2d \cdot \sqrt{n^2 - n^2 \sin^2(\hat{i})} \quad (17.36)$$

În cazul folosirii luminii albe, diferența de drum care depinde de lungimea de undă, franjele vor apărea irizate (colorate în spectru).

4. Franje de egală grosime

Pana optică

Să considerăm interferența produsă cu ajutorul unei pene, cu fețe plane de grosime variabilă și unghi mic între ele. Sursa de lumină se găsește la distanță mare de pană.

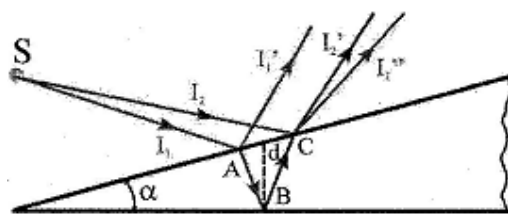


Fig. 17.5. Formarea imaginii de interferență, franje de egală grosime în pana optică

În acest caz razele de lumină cad pe pană aproximativ sub același unghi, iar diferența de drum depinde numai de grosimea d a panii. Toate puncte le de pe lamă corespunzătoare unei anumite grosimi vor avea aceeași diferență de drum între razele care interferă adică corespund unei anumite franje. Din acest motiv, franjele în acest caz se numesc **franje de egală grosime**.

Pentru ca unghiul penei optice este foarte mic pe porțiuni restrânse aceasta se poate aproxima cu o lamă cu fețe plane paralele iar diferența de drum optic se poate calcula cu aceeași formulă ca și în cazul lamelor paralele:

$$\delta_{optic} = 2nd \cdot \cos(\alpha) - \frac{\lambda}{2} \quad (17.37)$$

Dacă fascicolul incident este perpendicular pe fața superioară a penei atunci drumul optic devine:

$$\delta_{\text{optic}} = 2nd - \frac{\lambda}{2} \quad (17.38)$$

Ținând cont ca unghiul α al penei este foarte mic (de ordinul minutului) planul de localizare a franjelor se va afla în interiorul penei, practic pe suprafața acesteia. Din acest motiv se spune că franjele sunt localizate pe lamă. Tabloul de interferență este format din franje drepte, paralele între ele și cu muchia penei și echidistante. Să considerăm acum maximum de ordin k care se obține pentru o grosime d_k a penei:

$$\delta_{\text{optic}} = 2nd_k - \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (17.39)$$

de unde grosimea penei este:

$$d_k = (2k + 1) \frac{\lambda}{4n} \quad (17.40)$$

Tangenta unghiului α este dată de relația:

$$\text{tg}(\hat{\alpha}) = \alpha = \frac{d_{k+1} - d_k}{i} = \frac{\lambda}{2n} \quad (17.41)$$

De unde interfranja este dată de relația:

$$i = \frac{\lambda}{2n\alpha} \quad (7.42)$$

În cazul luminii albe, franjele apar colorate în culorile spectrului, dacă grosimea lamei este foarte mică. Astfel de culori provocate de interferența razelor reflectate se numesc culori ale lamelor subțiri. Un exemplu de franje de egală grosime îl constituie interferența luminii pe pelicule subțiri de ulei sau petrol de pe suprafața apei [31].

Inelele lui Newton

Un caz particular de obținere al franjelor de egală grosime este acela al inelelor lui Newton. Lama de grosime variabilă o constituie stratul de aer dintre suprafața convexă a unei lentile plan-convexe și suprafața plană a unei lame de sticlă. Tabloul de interferență este o familie de cercuri concentrice numite și inelele lui Newton, în concordanță cu simetria sferică a lamei de aer. În centru se obține un minim datorat faptului că diferența de drum dintre cele două raze care cad în punctul de contact nu este zero ci $\lambda/2$.

În general această diferență de drum este:

$$\delta_{\text{optic}} = 2nd + \frac{\lambda}{2} \quad (17.43)$$

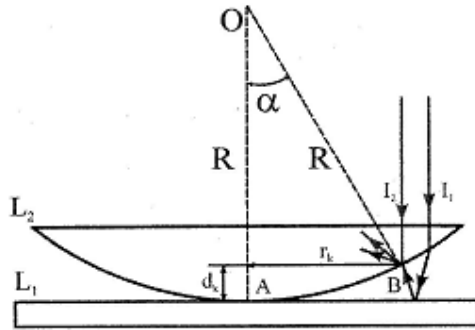


Fig. 17.6. Obținerea de franje de egală grosime cu ajutorul inelelor lui Newton.

Aici, spre deosebire de lama cu fețe paralele, apare $\left(+\frac{\lambda}{2}\right)$ deoarece saltul de fază este suferit de cealaltă rază deoarece este vorba de o lamă de aer.

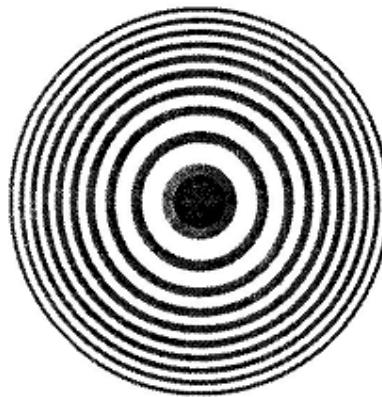


Fig. 17.7. Diametrul și grosimea inelelor lui Newton depind de ordinul de interferență.

Grosimea stratului de aer corespunzător inelului maxim de ordin k este:

$$d_k = (2k - 1) \frac{\lambda}{4} \quad (17.44)$$

deoarece pentru aer indicele de refracție $n \approx 1$.

Raza inelului de ordin k , r_k se poate calcula cu relația:

$$R^2 = r_k^2 + (R - d_k)^2 \quad (17.45)$$

de unde:

$$r_k^2 = 2Rd_k - d_k^2 \approx 2Rd_k \quad (17.46)$$

unde se poate neglija d_k^2 deoarece este foarte mic.

De unde raza de curbură se poate determina prin combinarea ecuațiilor (17.44) și (17.46):

$$R = \frac{r_k^2}{(2k-1)\frac{\lambda}{2}} \quad (17.47)$$

Dacă se folosește condiția pentru inelele corespunzătoare franjelor întunecate:

$$\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (17.48)$$

iar raza de curbură este dată de:

$$R = \frac{r_k^2}{k\lambda} \quad (17.49)$$

sau folosindu-ne de două inele de ordine m și n atunci:

$$Rmn = \frac{r_m^2 - r_n^2}{\lambda(m-n)} \quad (17.50)$$

Din ecuația (17.49) se obține și o expresie a razei de curbură a inelelor:

$$r_k = \sqrt{kR\lambda} = \sqrt{R\lambda} \cdot \sqrt{k} \quad (17.51)$$

adică razele inelelor variază proporțional cu radical din ordinul inelului și deci nu sunt echidistante sau cu alte cuvinte distanța dintre franje se micșorează odată cu creșterea ordinului inelului.

Inelele lui Newton se pot obține și prin transmisie dar în acest caz în centru va apărea un maxim. În plus de această dată inelele au o intensitate mai mică, datorită absorbției fasciculului de lumină în stratul de sticlă al lamei cu fețe plane [40].

CONCLUZIE

Aplicații ale interferenței

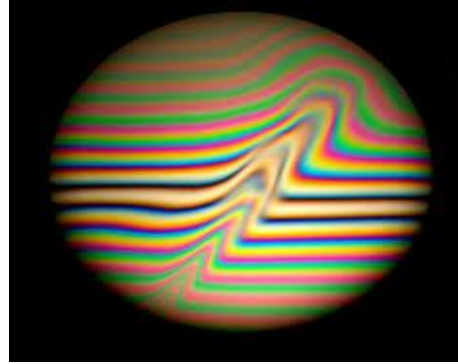
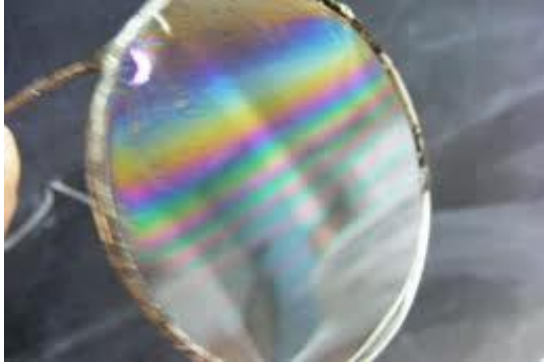
Realizarea suprafețelor antireflectante

Calitatea instrumentelor optice este determinată de luminozitatea imaginii pe care acestea o furnizează, datorită reflexiilor pe lentilele aparatelor optice, o parte din energia undei este reflectată pe suprafața lentilelor ceea ce conduce la scăderea luminozității imaginii. Înlăturarea acestor pierderi se poate realiza acoperind lentila cu un strat transparent cu o astfel de grosime încât lumina reflectată să se distrugă prin interferență în acest strat. De cele mai multe ori acest strat se construiește din „criolit”, grosimea fiind astfel aleasă încât diferența totală de drum optic să fie un număr impar de jumătăți de lungimi de undă ($\lambda/2$). În acest fel în lama de *criolit* se produce un minim de interferență. Cum energia luminoasă nu dispare înseamnă că ea se regăsește în lumina transmisă. Este evident că grosimea stratului de *criolit* fiind fixată poate să producă interferența distructivă numai pentru o singură lungime de undă care se alege de 550 nm (culoarea galben verzui) pentru care ochiul uman are cea mai mare sensibilitate.

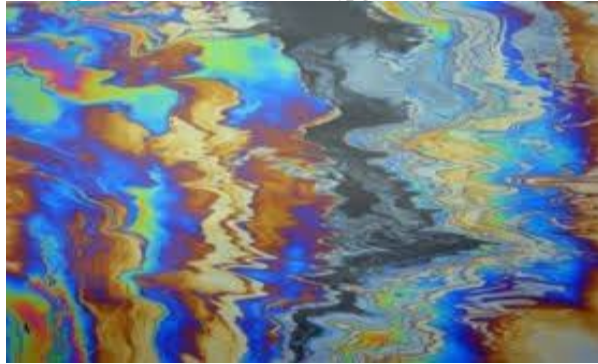
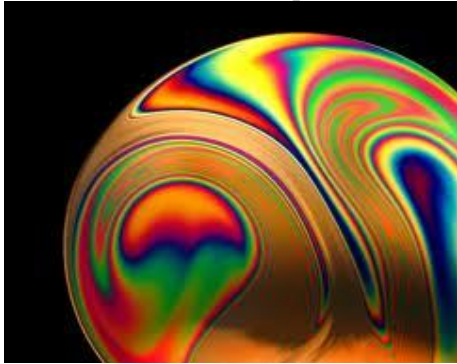
Verificarea suprafețelor plane

În tehnologia construcțiilor de mașini este necesară realizarea unor piese cu planeități foarte bune, cu abateri admisibile de ordinul micrometrilor. Pentru verificarea planeității unei anumite suprafețe se folosește fenomenul de interferență care apare în lame subțiri de grosime variabilă. Astfel pe suprafața de studiat se așează o lamă de sticlă sub un unghi foarte mic al cărei planeitate este considerată perfectă, formându-se în felul acesta o pană de aer foarte subțire

Dacă suprafața de verificat prezintă unele adâncituri sau ridicături atunci franjele de interferență în loc să fie linii drepte paralele cu muchia penei vor fi niște curbe care indică punctele de egală grosime ale penei de aer.

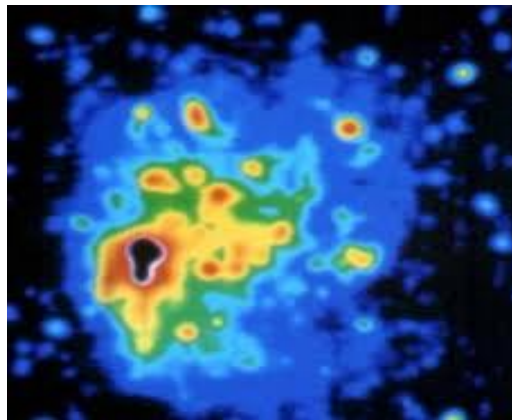
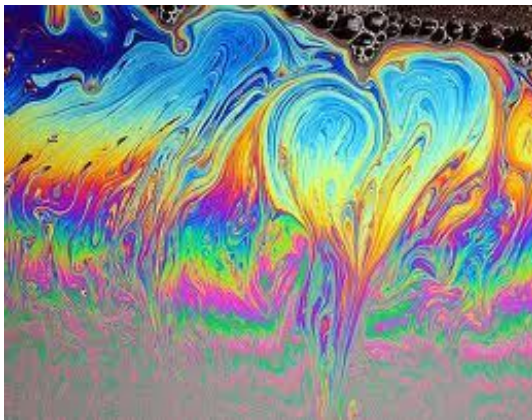


http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_79f20864.jpg
http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_m477623f6.jpg



http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_78367126.jpg
http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_m1bc66595.jpg

Exemple de interferență a luminii pe suprafețe neplane.



http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_50385839.jpg
http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_m1bd8edb9.jpg

TOPICUL 2

Interferometria



Definiție: *Interferometria este o ramură a opticii care se ocupă cu determinarea de mare precizie a distanțelor, lungimilor de undă, indicelui de refracție pe baza fenomenului de interferență.*

Instrumentele folosite în acest scop se numesc interferometre. Un interferometru cu o mare valoare istorică este Interferometrul Michelson-Morley. În anul 1887 fizicianul american Albert Michelson împreună cu chimistul american Edward Morley au realizat un experiment care urma să măsoare mișcarea absolută a pământului printr-un mediu ipotetic denumit eter, care se presupunea în mod eronat a fi purtătorul undelor luminoase. În acest sens experimentul a eșuat dar a condus în final la enunțul principiului constantei vitezei luminii în vid. În zilele noastre acest tip de interferometru se poate folosi pentru determinarea unor lungimi de undă mici (sau deplasări mici). Cu ajutorul interferometrului Michelson-Morley se poate etalona metrul, folosindu-se o radiație portocalie a izotopului kripton-86.

EXEMPLU ILUSTRATIV 2



Interferometrele cu fascicule multiple

Interferometrul Fabry-Pèrot

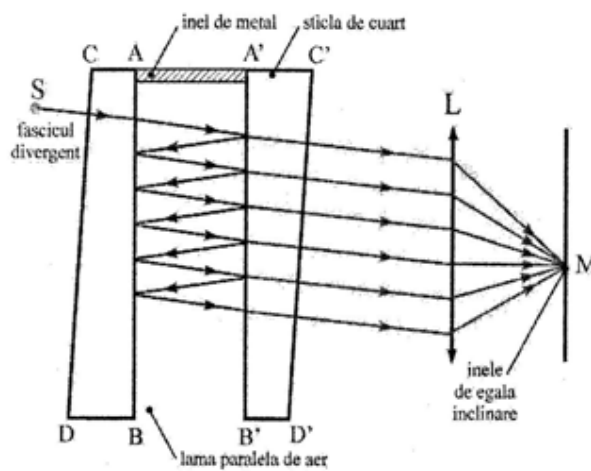
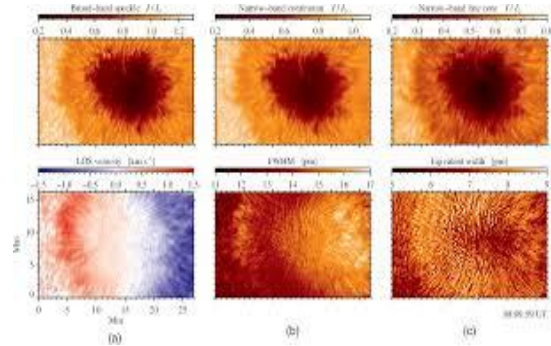
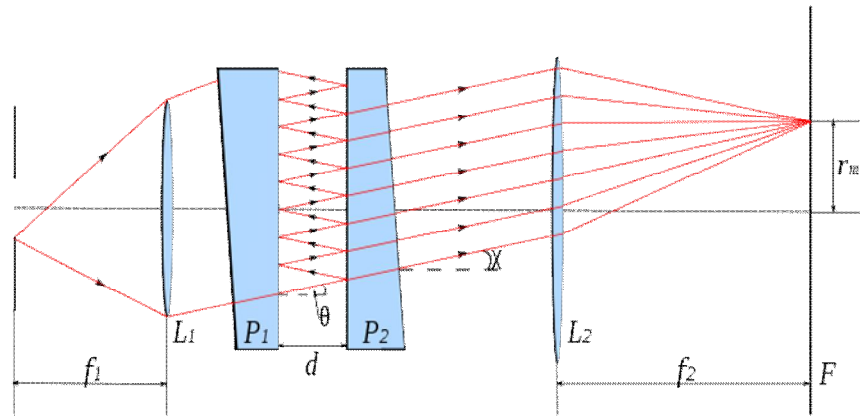


Fig. 17.8. Folosirea interferometrului Fabry-Pèrot pentru obținerea de inele de egală înclinare.

Pot să formeze un număr mare de unde coerente ca urmare a unor reflexii și refracții multiple în interiorul lor. Un exemplu de astfel de interferometru este interferometrul Fabry-Pèrot care este folosit la studiul structurii fine a liniilor spectrale. Acest aparat constă din două lame groase de sticlă, care au fețele AB și A'B' slab argintate. Aceste fețe care limitează între ele o lamă de aer sunt riguros paralele între ele.

Fețele CD și C'D' formează între ele un mic unghi pentru ca lumina reflectată de ele să nu producă fenomene de interferență. Paralelismul dintre fețe se realizează așezând între inele de cuarț sau invar. Franjele de interferență se observă în planul focal al lentilei.



http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_m57cd58fc.jpg
http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_m2f36e1d3.jpg

TOPICUL 3

Difracția undelor



Definiție: Fenomenul de **difracție** constă în pătrunderea undelor în umbra geometrică a obstacolelor de grosimi mici comparabile cu lungimea de undă a undei respective.

În general obstacolul este un paravan prevăzut cu o fantă mică sau un obiect mic de formă oarecare. Explicația acestui fenomen, ca și diferitele sale proprietăți, se poate obține pe baza principiului Huygens-Fresnel.

Principiul lui Huygens-Fresnel

Se poate arăta că mai multe unde sferice dispuse liniar pot da naștere la o undă plană și dacă avem o astfel de undă plană care este lăsată să treacă printr-un orificiu atunci se produce o undă sferică. După Huygens forma fundamentală a tuturor tipurilor de undă (unda elementară) este unda sferică.

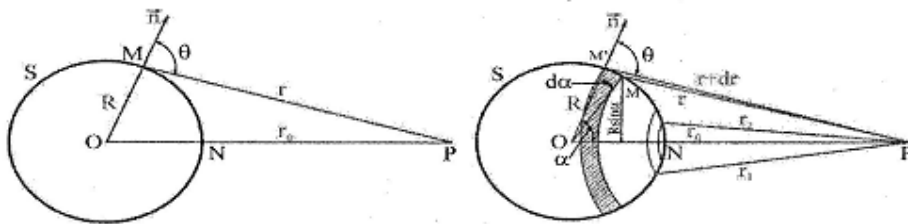


Fig. 17.9. Ilustrarea zonelor Fresnel

Enunț: Fiecare punct al unui front de undă se poate considera ca punct de plecare al unei unde elementare care se propagă cu aceeași viteză și lungime de undă ca și unda inițială. Noua poziție a undei (front de undă) ce s-a propagat este înfășurătoarea tuturor undelor elementare.

EXEMPLU ILUSTRATIV 3:



1. Difracția Fresnel printr-o fantă circulară

Să considerăm că pe direcția de propagare a undelor electromagnetice luminoase ce provin de la o sursă punctiformă S se află o fantă circulară de deschidere d , la care ajunge frontul de undă sferic Σ . Dacă suprafața sferică Σ , este împărțită în zone Fresnel, fanta va lăsa neobturate primele zone Fresnel, a căror valoare depinde de valoarea deschiderii d . Amplitudinea undei luminoase într-un punct P plasat pe axa de simetrie SP va fi dat de relația:

$$E_p = \frac{E_1}{2} + (-1)^{k+1} \frac{E_k}{2} \quad (17.52)$$

unde k reprezintă ordinul zonei Fresnel neobturate de fante. Dacă modificăm valoarea deschiderii fantei obținem câteva cazuri particulare interesante:

- Pentru $d = 0$ rezultă $E_p = 0$.
- Pentru $k = 1$ rezultă $E_p = E_1$; (maxim).
- Pentru prima și a doua zonă Fresnel: $E_p = \frac{E_1}{2} - \frac{E_2}{2}$ (minim).

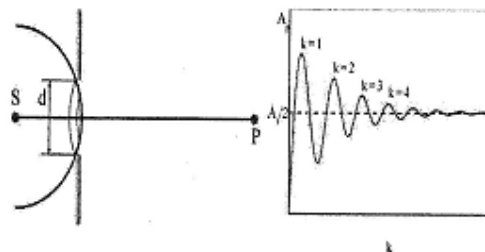


Fig. 17.10. Difracția Fresnel printr-o fantă circulară (stânga). Diagrama amplitudinii intensității luminii în punctul P în funcție de numărul de zone Fresnel lăsate neobturate (dreapta).

Pentru toate zonele Fresnel până la cea de ordin k :

$$E_p = \frac{E_1}{2} + (-1)^{k+1} \frac{E_k}{2}$$

Pentru toate zonele Fresnel:

$$E_p = \frac{E_1}{2}$$

Prin creșterea ordinului k zonele Fresnel sunt tot mai apropiate și devin neobturate tot mai repede odată cu creșterea deschiderii d a fantei.

2. Difracția Fraunhofer printr-o fantă dreptunghiulară

Fie o fantă dreptunghiulară de deschidere a pe care cade sub incidență normală un fascicol de unde coerente. Punctele fantei devin surse secundare care emit unde sferice ce pot produce procese de interferență. Amplitudinea unei rezultante în punctul P se obține prin compunerea vectorială a amplitudinilor undelor componente rezultând o linie poligonală.

Să considerăm un număr infinit mare de surse punctiforme din fantă. Linia poligonală devine astfel un arc de cerc. Dacă notăm cu E amplitudinea câmpului electric în punctul P și cu E_0 suma modulelor amplitudinilor elementare a câmpului electric lungime egală cu arcul BM , iar φ este diferența de fază a undelor ce interferă în punctul P și provin de la extremitățile fantei:

$$\left. \begin{aligned} E &= \overline{2BM} = 2R \sin \frac{\varphi}{2} \\ E_0 &= R\varphi \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \xrightarrow{2R = \frac{E_0}{\frac{\varphi}{2}}} \\ & \Rightarrow E = E_0 \frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}} \end{aligned} \quad (17.53)$$

sau înlocuind jumătate din unghiul φ cu:

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{k\delta}{2} = \frac{2\pi \sin \alpha}{2\lambda} = \frac{\pi a \sin \alpha}{\lambda} \quad (17.54)$$

de unde amplitudinea câmpului electric este:

$$E = E_0 \frac{\sin \frac{\pi a \sin \alpha}{\lambda}}{\frac{\pi a \sin \alpha}{\lambda}} \quad (17.55)$$

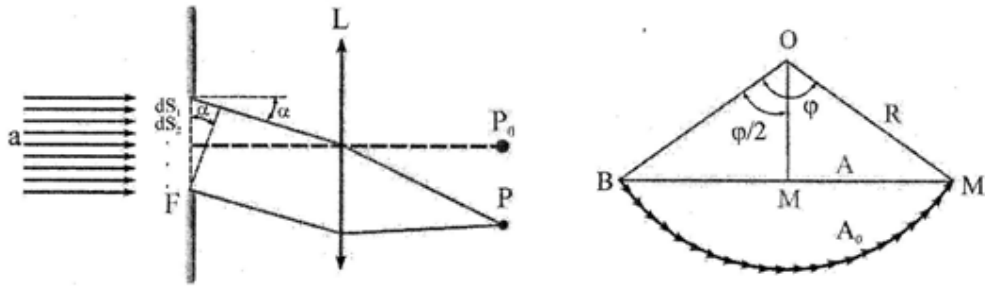


Fig. 17.11. Difrakția Fraunhofer printr-o fantă dreptunghiulară (stânga). Diagrama fazorială a amplitudinii intensității luminii în punctul P (dreapta)

iar intensitatea unei luminoase se obține prin ridicare la pătrat a ecuației

$$I = I_0 \left[\frac{\sin \frac{\pi a \sin \alpha}{\lambda}}{\frac{\pi a \sin \alpha}{\lambda}} \right]^2 \quad (17.56)$$

care pentru $\alpha = 0$ ne dă $I = I_0$. Deci o franjă de intensitate maximă. Pentru a determina pozițiile următoarelor franje de intensitate maximă și minimă ne putem folosi de condiția de extrem:

$$\frac{dI}{d\varphi} = 2 \frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}} \cdot \frac{d}{d\varphi} \left[\frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}} \right] = 0 \quad (17.57)$$

Minimele de intensitate se obțin dacă este îndeplinită condiția:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\varphi}{2} = m\pi \quad \Rightarrow \quad a \sin \alpha = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (17.58)$$

unde $m = \pm 1, \pm 2, \dots$. Valoare $m = 0$ este exclusă deoarece:

$$\lim_{\varphi \rightarrow 0} \left[\frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}} \right] = 1 \quad (17.59)$$

Maximele de intensitate se obțin atunci când:

$$\frac{d}{d\varphi} \left[\frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}} \right] = \frac{\cos \frac{\varphi}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\varphi}{2} - \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \frac{1}{2}}{\left(\frac{\varphi}{2} \right)^2} = 0 \quad \Rightarrow \quad \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{\varphi}{2} \quad (17.60)$$

care reprezintă o ecuație transcendentă. Se vede de pe figura (17.55) că aceste puncte sunt aproximativ egale cu:

$$\frac{\varphi}{2} = (2m+1)\frac{\pi}{2} \Rightarrow a \sin \alpha = (2m+1)\frac{\lambda}{2} \quad (17.61)$$

În condițiile de maxim când:

$$\sin \frac{\pi a \sin \alpha}{\lambda} = \pm 1 \quad (17.62)$$

pentru intensitatea luminoasă se obține:

$$I = \frac{I_0}{(2m+1)^2 \frac{\pi^2}{4}} \quad (17.63)$$

Reprezentând grafic ecuația (17.63) se obține curba de distribuție a intensității. Tabloul de difracție obținut are forma unor franje paralele cu marginea franjei dreptunghiulare, maximum central fiind de intensitate maximă.

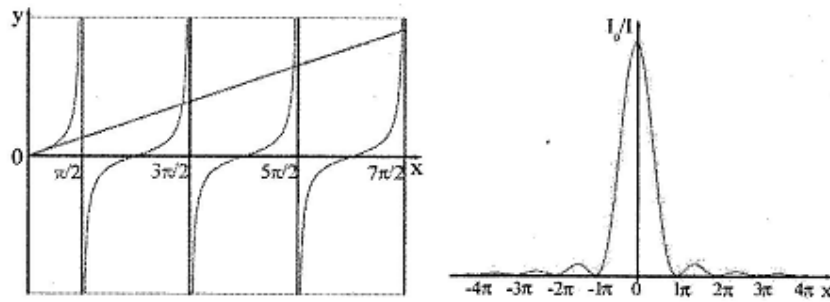


Fig. 17.12. Rezolvarea grafică a ecuației transcendente 17.60 (stânga). Poziționarea maximelor și minimelor de interferență obținute în urma difracției Fraunhofer printr-o fantă dreptunghiulară (dreapta).

3. Rețeaua de difracție

Să considerăm un paravan plan pe care s-au aplicat un ansamblu de N fante dreptunghiulare de lățime a , dispuse echidistant la distanțe b între ele. Constanta rețelei care se definește ca fiind distanța dintre două fante succesive:

$$c = a + b. \quad (17.64)$$

Dacă în punctul P_i sosesc unde de aceeași amplitudine A_1 de la toate cele N fante identice, unde ce prezintă între ele un defazaj constant:

$$\varphi = k\delta = \frac{2\pi}{\lambda} c \cdot \sin \alpha \quad (17.65)$$

În punctul P_i va avea loc un fenomen de interferență a N unde coerente fiecare cu amplitudinea:

$$E_p = E_l \frac{\sin \frac{N\pi(a+b)\sin\alpha}{\lambda}}{\sin \frac{\pi(a+b)\sin\alpha}{\lambda}} \quad (17.66)$$

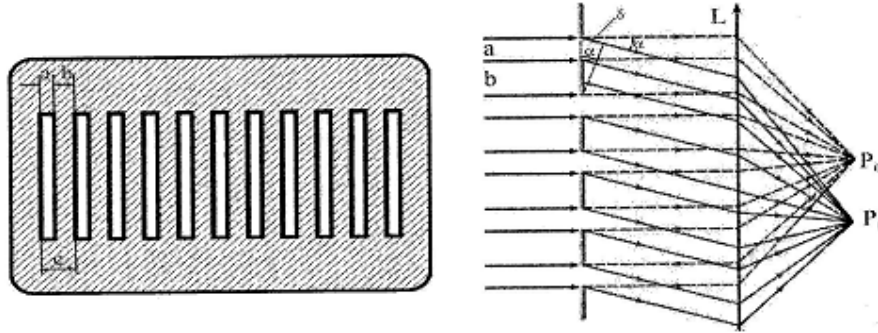


Fig. 17.13. Desen al rețelei de difracție (stânga). Ilustrarea principiului de formare a franjelor de difracție-interferență prin rețeaua de difracție (dreapta), unde dacă se ține seama și de valoarea amplitudinii E datorată fenomenului de difuzie se obține:

$$E_p = E_0 \left[\frac{\sin \frac{\pi a \sin \alpha}{\lambda}}{\frac{\pi a \sin \alpha}{\lambda}} \right] \left[\frac{\sin \frac{N\pi(a+b)\sin\alpha}{\lambda}}{\sin \frac{\pi(a+b)\sin\alpha}{\lambda}} \right] \quad (17.67)$$

iar intensitatea luminoasă se obține ca fiind:

$$I_p = I_0 \left[\frac{\sin \frac{\pi a \sin \alpha}{\lambda}}{\frac{\pi a \sin \alpha}{\lambda}} \right]^2 \left[\frac{\sin \frac{N\pi(a+b)\sin\alpha}{\lambda}}{\sin \frac{\pi(a+b)\sin\alpha}{\lambda}} \right]^2 \quad (17.68)$$

Intensitatea luminoasă se obține ca rezultat al fenomenului de interferență al undelor ce provin de la cele N fante ale rețelei, modulată de difracția printr-o fantă [44].

Condițiile de maxim și minim de intensitate se obțin astfel:
Pentru interferență:

$$\begin{cases} \text{maxime } (a+b)\sin\alpha = m\lambda & m = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots \\ \text{minime } (a+b)\sin\alpha = m' \frac{\lambda}{N} & m' = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(N-1) \end{cases} \quad (17.69)$$

Pentru difracție:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{maxime} \\ \text{minime} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} a \sin \alpha = 0 \quad \text{maxim maximorum} \\ a \sin \alpha = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad m = \pm 1, \pm 2, \dots \\ a \sin \alpha = 2m' \frac{\lambda}{2} \quad m' = \pm 1, \pm 2, \dots \end{array} \right. \quad (17.70)$$

Se observă că între două maxime principale de difracție există N-1 minime de interferență și N-2 secundare de interferență.

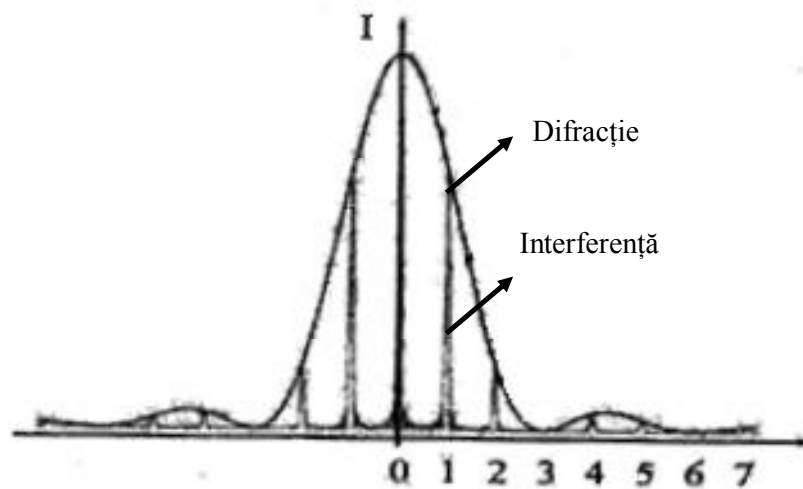
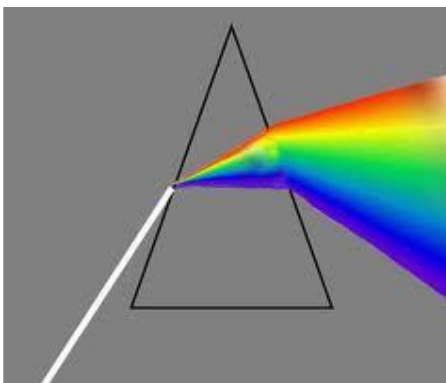


Fig. 17.14. Obținerea de franje maxime și minime de difracție-interferență în urma difracției prin rețeaua de difracție.

Exemple de interferență a luminii în natură și în tehnică:



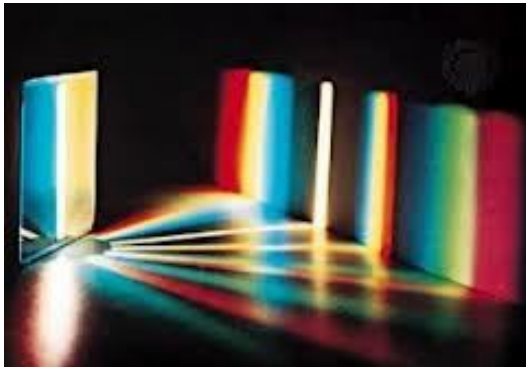
http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_m9a9c0e9.jpg



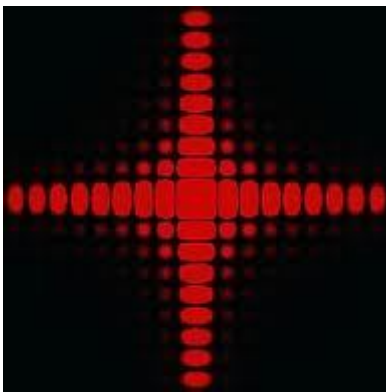
[1http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_7b3d157d.jpg](http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_7b3d157d.jpg)



http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_m64a833a9.jpg
http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_46ac8448.jpg



http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_2d53bd42.jpg
http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_517c85c7.jpg



http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_m52083351.jpg
http://aviscentauri.6te.net/images/17_html_m610d3181.jpg

TEST DE AUTOEVALUARE



Încercuiți răspunsurile corecte la următoarele întrebări.

ATENȚIE: pot exista unul, niciunul sau mai multe răspunsuri corecte la aceeași întrebare.

Timp de lucru: 10 minute

1. Fenomenul de compunere a două sau mai multe unde coerente care se întâlnesc într-un punct din spațiu cu producerea de maxime și minime de intensitate luminoasă se numește:

- a). difracția luminii
- b). lungime de interferență
- c). interferența luminii

2. Două unde elementare emise de atom într-un act de emisie nu mai interferă dacă:

- a). diferența de drum între două unde luminoase coerente care se suprapun nu este mai mare decât lungimea de interferență
- b). diferența de drum între două unde luminoase coerente care se suprapun este mai mică decât lungimea de interferență
- c). diferența de drum între două unde luminoase coerente care se suprapun este egală cu lungimea de interferență
- d). diferența de drum între două unde luminoase coerente care se suprapun nu este egală cu lungimea de interferență

3). Senzația luminoasă apare atunci când unda electromagnetică excită:

- a). organul vizual un timp suficient de lung
- b). organul auditiv un timp suficient de lung
- c). organul olfactiv un timp suficient de lung

4). Pătrunderea undelor în umbra geometrică a obstacolelor de grosimi mici comparabile cu lungimea de undă a undei respective se numește:

- a). optică ondulatorie
- b). difracție
- c). optică geometrică

5. Intensitatea luminoasă se obține din relația:

- a). $I = I_0 / (2m+1)^2 \cdot \pi^{2/4}$
- b). $E = I \cdot E_0 \cdot \sin\alpha$
- c). $I_0 = E \cdot \sin\alpha$

Grila de evaluare:

1.-c; 2.-niciunul; 3.-a; 4.-b; 5.-a.

REZUMAT



- În **TOPICUL 1** am definit fenomenul de interferență și aplicațiile corespunzătoare.

Fenomenul de compunere a două sau mai multe unde coerente care se întâlnesc într-un punct din spațiu cu producerea de maxime și minime de intensitate luminoasă se numește interferența luminii.

Am stabilit condițiile de maxim și de minim la interferență.

Am exemplificat observarea acestui fenomen prin dispozitivele optice care funcționează după acest fenomen, și anume: dispozitivul lui Young, oglinzile lui Fresnel, inelele lui Newton, până optică, suprafețe antireflectante.

- În **TOPICUL 2** am prezentat una din ramurile opticii care se numește interferometria cu aplicațiile practice.

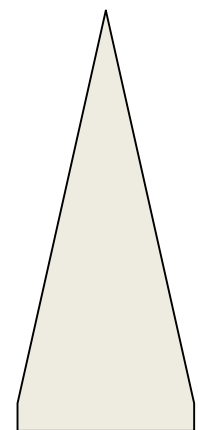
Interferometria este o ramură a opticii care se ocupă cu determinarea de mare precizie a distanțelor, lungimilor de undă, indicelui de refracție pe baza fenomenului de interferență.

- În **TOPICUL 3** am precizat și prezentat fenomenul de difracție a undelor, precum și principiul fundamental, adică principiul Huygens-Fresnel.

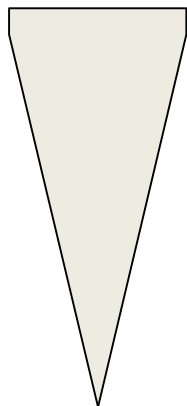


REZULTATE AȘTEPTATE

După studierea acestui curs ar trebui să rețineți principalele fenomene ale opticii ondulatorii: interferența, difracția, interferometria. Alături de explicarea acestor fenomene ar trebui să conștientizați importanța lor observată de altfel prin exemplificările ilustrate.



**TERMENI
ESEȚIALI**



Interferența luminii este fenomenul de compunere a două sau mai multe unde coerente care se întâlnesc într-un punct din spațiu cu producerea de maxime și minime de intensitate luminoasă.

Lungimea unui tren de unde sau lungimea de interferență se poate calcula ținând cont de durata de emisie.

Dispozitivul lui Young.

Oglinzile lui Fresnel.

Interferența cu franje de egală înclinare.

Franje de egală grosime: pana optică și inelele lui Newton.

Interferometria.

Interferometrele cu fascicule multiple.

Interferometrul Fabry-Pèrot

Difracția undelor

Principiul Huygens-Fresnel.

Difracția Fresnel printr-o fantă circulară.

Difracția Fraunhofer printr-o fantă dreptunghiulară.

Rețeaua de difracție.

RECOMANDĂRI BIBLIOGRAFICE SUPLIMENTARE

- Ardelean I., Fizică pentru ingineri, Editura U.T.PRESS, Cluj- Napoca, 2006;
- Biro D., Prelegeri „Curs de Fizică generală” (format electronic, CD, revizuit), Universitatea „Petru Maior”, Tîrgu-Mureş, 2006;
- Berkeley, Cursul de fizică - Electricitate și Magnetism (Vol. 2), Editura Didactică și pedagogică, Bucureşti, 1982;
- Berkeley, Cursul de fizică - Mecanică (Vol.1), Editura Didactică și Pedagogică, Bucureşti, 1981;
- Fehete R., Elemente de fizică pentru ingineri, Editura U.T.PRESS, Cluj Napoca, 2008;
- Feynmann R.P., Leighton R. B., Sands M., Fizica modernă, Vol. I - III. Editura Tehnică, Bucureşti, 1970;
- Gîju S., Bătagă E., Lucrări de laborator - Fizică. Editura - Universitatea „Petru Maior”, Tîrgu-Mureş, 1991;
- Gîju S., Teorie și Probleme, Editura Universitatea. „Petru Maior”, Tîrgu-Mureş, 2001;
- Gîju S., Curs de Fenomene termice și electromagnetice, Editura Universitatea „Petru Maior”, Tîrgu-Mureş, 2003;
- Halliday D., Resnick R., Fizica, vol. I și II. Editura Didactică. și Pedagogică, Bucureşti, 1975;
- Hudson A., Nelson R., University Physics, Second Edition, Saunders College Publishing, New York, 1990;
- Modrea A., Lucrări de laborator” (format electronic), Universitatea „Petru Maior”, Tîrgu-Mureş, 2006;
- Modrea A., Curs de Fizică generală”(format electronic), Universitatea „Petru Maior”, Tîrgu-Mureş, 2006;
- Oros C., Fizică generală-format electronic, Universitatea „Valahia”, Târgoviște, 2008;
- Serway R. A., Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Second Edition, Saunders College Publishing, New York, 1986.

TEST DE EVALUARE



Încercuiți răspunsurile corecte la următoarele întrebări.

ATENȚIE: pot exista unul, niciunul sau mai multe răspunsuri corecte la aceeași întrebare.

Timp de lucru :15 minute

- 1). Interferența nu poate fi realizată cu unde provenite:
 - a) de la surse independente
 - b) de la o singura sursă
 - c) de la nici o sursă

- 2). Lungimea de interferență este:
 - a) $s = v \cdot t$
 - b) $l = x \cdot v$
 - c) $v = v_0 + a \cdot t$
 - d) $x = x_0 + v \cdot t$

3. După modul de obținere a franjelor de interferență aceasta se pot împărții în:
 - a). interferența cu franje nelocalizate în spațiu.
 - b). interferența cu franje localizate în spațiu.

4. Interfranja, i , reprezintă:
 - a). distanța dintre două maxime
 - b). distanța dintre două minime
 - c). distanța dintre două maxime și minime succesive

5. Calitatea instrumentelor optice este determinată de:
- a). lentilele aparatelor optice
 - b). luminozitatea imaginii
 - c). grosimea lentilelor

Grila de evaluare:

1.-a; 2.-niciunul; 3.-a, b; 4.-c; 5.-b