Determinarea lungimii de undă a radiației laser utilizând rețeaua de difracție

Considerații teoretice

Laserii sunt dispozitive cuantice folosite pentru generarea şi amplificarea radiațiilor electromagnetice din domeniul vizibil. Funcționarea laserilor se bazează pe fenomenul emisiei stimulate a radiației într-o cavitate optică rezonantă. Generarea radiației laser şi caracteristicile ei sunt determinate de calitatea circuitului echivalent al rezonatorului optic împreună cu mediul optic pe care-l conține. Pentru a sublinia calitățile deosebite ale radiației laser, prezentăm pe scurt caracteristicile ei principale.

1. ***Monocromaticitatea*** este dată de lărgimea relativă a benzii de frecvență emise (pentru laserul cu Heliu-Neon $\Delta\nu = 3\cdot10^{-5}$ Hz).
2. ***Coerența radiației***, semnifică faptul că fiecare frecvență (din banda de frecvențe emisă) are o fază ce se conservă pe intervale de timp suficient de lungi (coerența temporală).
3. ***Divergența unghiulară*** a fascicolului este dată numai de fenomenul de difracție printr-un orificiu ipotetic de forma secțiunii fascicolului laser, unda fiind plană, deci fascicolul paralel. Pentru un laser cu He-Ne divergența unghiulară este foarte mică, ~30" de arc.
4. ***Densitatea de putere spectrală***, este deosebit de mare pentru fascicolul laser, pentru laserul cu He-Ne are valoarea $\rho_L(\nu) \cong 1{,}6$ mW/(cm^2·MHz). Pentru comparație lumina emisă de Soare are o densitate de putere spectrală $\rho_S(\nu) \cong 1{,}25\cdot10^{-7}$ mW/(cm^2·MHz). Se observă că densitatea de putere spectrală a radiației laser este de zeci de milioane de ori mai mare decât cea a Soarelui.

Bazați pe aceste proprietăți ale radiației laser şi utilizând rețeaua de difracție se va determina lungimea de undă a luminii emisă de un laser cu He-Ne.

Difracția este un fenomen în care se manifestă caracterul ondulatoriu al luminii şi constă în ocolirea obstacolelor cu dimensiunea comparabilă cu lungimea de undă a luminii, sau în trecerea luminii dincolo de un paravan în care este practicată o fantă cu dimensiunea $b \approx \lambda$. Dacă în loc de o singură fantă, realizăm într-un paravan opac un număr de N astfel de fante de lățime b, separate prin porțiuni netransparente de lățime b', obținem o rețea de difracție. Practic aceasta se realizează, zgâriind suprafața unei plăci de sticlă cu ajutorul unei maşini de divizat cu vârf de diamant. Porțiunile nezgâriate rămân transparente şi constituie "fantele" de lărgime b. Distanța dintre două zgârieturi succesive (sau două goluri succesive) se numeşte *constanta rețelei* "e":

$$e = b+b' \qquad (1)$$

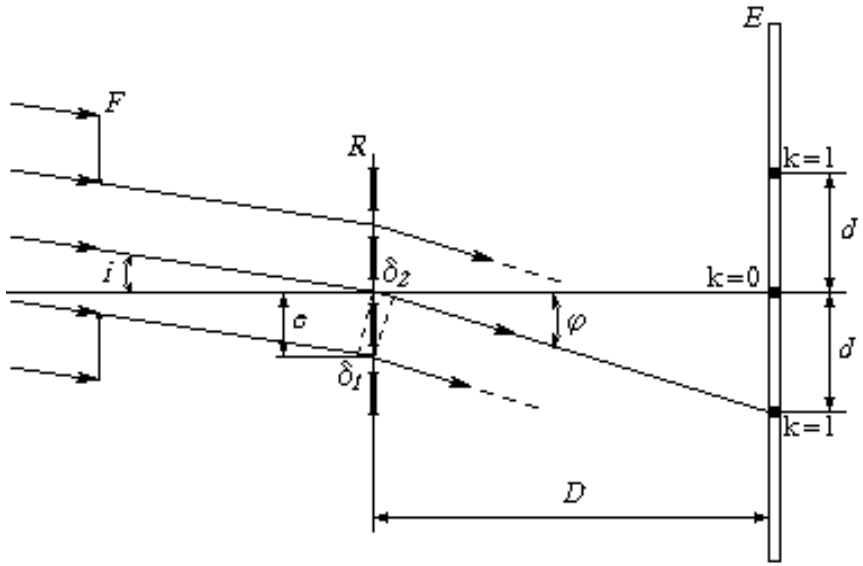

Figura1. Modul de calcul pentru diferența de drum optic. La incidență normală unghiul i=0 şi δ_1=0. Pe cealaltă parte a rețelei de difracție R, între două raze adiacente (provin de la fante aflate la distanța e) se crează o diferență de drum δ_2 care este catetă opusă unghiului φ în triunghiul dreptunghic cu ipotenuza e.

Punând o rețea de difracție (R) în drumul fascicolului laser (figura 1), de partea cealaltă a rețelei, pe un ecran (E) aflat la distanța D, se formează *maxime de difracție* (diferența de drum dintre două raze consecutive este un număr par de jumătăți de lungimi de undă) şi *minime de difracție* (diferența de drum dintre două raze consecutive este un număr impar de jumătăți de lungimi de undă).

Diferența de drum δ dintre două raze consecutive care interferă va fi:

$$\delta = e\cdot\sin\varphi \qquad (2)$$

unde e este pasul (constanta) rețelei. Condiția de maxim este ca diferența de drum δ să fie un număr întreg de lungimi de undă λ (maxim central k=0, maxim de ordinul 1, k=1, etc.):

$$\delta = k\cdot\lambda \qquad (3)$$

Deci lungimea de undă se poate găsi din relația:

$$\lambda = \frac{\delta}{k} = \frac{e}{k}\cdot\sin\varphi \qquad (4)$$

Dacă distanța dintre maximele k=0 şi k=1 se notează cu d; distanța dintre rețea şi ecran cu D, atunci din considerente simple de geometrie avem:

$$\sin\varphi = \frac{d}{\sqrt{D^2 + d^2}} \qquad (5)$$

şi rezultă că putem rescrie relațiafinală pentru lungimea de undă ca:

$$\lambda = \frac{e \cdot d}{k \cdot \sqrt{D^2 + d^2}} \qquad (6)$$

Metoda experimentală

Instalația experimentală

Se compune dintr-un banc optic (figura 2) pe care sunt dispuse în ordine, laserul cu He-Ne (L), fanta (F), rețeaua de difracție (R) şi ecranul (E) compus dintr-o riglă.

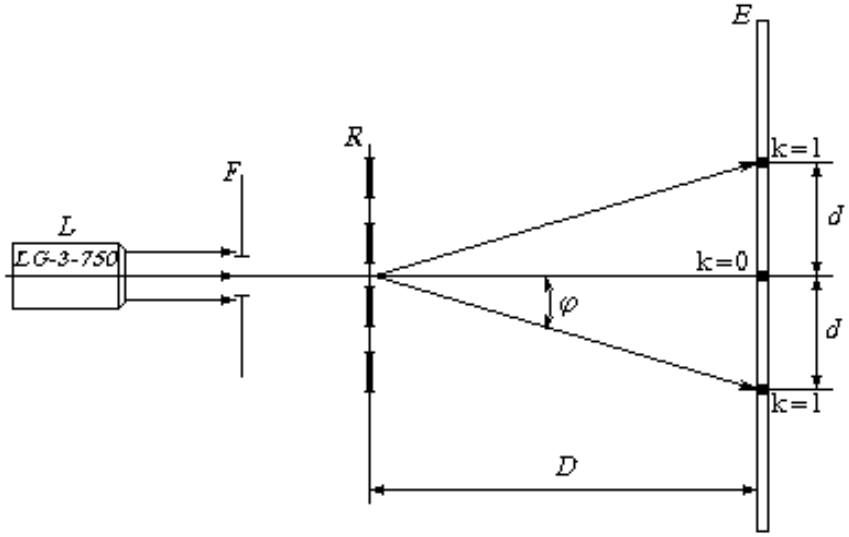

Figura 2. Aranjamentul experimental.

Modul de lucru

Se pune în funcțiune generatorul laser. Se aşază ecranul (E) la distanța D = 0,5 m față de rețeaua de difracție, măsurându-se pe ecran distanța 2d dintre maximele de ordinul k=1, 2, 3. Rezultatele se trec în tabel. Se repetă aceste măsurători pentru D = 1 m şi D = 1,5 m.

Prelucrarea datelor experimentale

Determinarea mărimilor fizice

Cu relația (6) se obțin şase valori pentru lungimea de undă λ a radiației laser emise, cunoscând constanta rețelei de difracție e şi înlocuind valorile lui D şi d măsurate experimental.

Se calculează valoarea medie a lungimii de undă λ_m ca medie aritmetică a celor şase valori obținute pentru λ. Cu acestă valoare a lungimii de undă se determină d_{calc}, poziția maximului de difracție de ordinul 3 (k=3):

$$d_{calc} = \frac{\lambda_m \cdot k \cdot D}{\sqrt{e^2 - \lambda_m^2 \cdot k^2}} \qquad (7)$$

şi se compară cu cea măsurată pe ecran, pentru maximele de ordinul k=3.

Tabel de date şi rezultate

e (m)	D (m)	k	d (m)	λ (10^{-9} m)	λ_m (10^{-9} m)	k=3, $d_{măs}$ (m)	k=3, d_{calc} (m)
$24\cdot10^{-6}$	0,5	1					
		2					
	1	1					
		2					
	1,5	1					
		2					

Calculul erorilor

- eroarea relativă: $\Delta\lambda/\lambda = \Delta D/D + \Delta d/d$
- eroarea absolută: $\Delta\lambda = \lambda\ (\Delta\lambda/\lambda)$
- rezultatul: $\lambda = \lambda_m \pm \Delta\lambda_m$