

Inelele lui Newton - Optica Ondulatorie

1 Introducere

Inelele lui Newton sunt un fenomen optic clasic care demonstrează natura ondulatorie a luminii prin interferență. Descoperit de Sir Isaac Newton, acest fenomen apare când o lentilă plan-convexă este plasată pe o placă de sticlă plană, formând o pană de aer cu grosime variabilă între cele două suprafețe. Iluminată cu lumină monocromatică, configurația produce inele concentrice alternante, luminoase și întunecate, vizibile în lumina reflectată.

2 Principiul optic fundamental: Interferența luminii

Inelele lui Newton se bazează pe interferența prin diviziunea amplitudinii undelor luminoase. Interferența apare când două unde coerente (cu aceeași frecvență și o diferență de fază constantă) se suprapun, generând o undă rezultantă. Amplitudinea acesteia este amplificată (interferență constructivă) sau diminuată (interferență distructivă), în funcție de diferența de drum optic și de schimbările de fază la reflexie.

Conform Sears și Zemansky, condițiile de interferență sunt:

- Interferență constructivă (maxim de intensitate): Diferența de drum optic efectivă, incluzând salturile de fază, este un multiplu întreg al lungimii de undă:

$$\Delta = m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots,$$

unde λ este lungimea de undă.

- Interferență distructivă (minim de intensitate): Diferența de drum optic efectivă este un multiplu impar de jumătăți de lungimi de undă:

$$\Delta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

3 Configurația experimentală

Dispozitivul experimental include:

- Lentilă plan-convexă: Cu o rază de curbura mare (R), plasată cu suprafața convexă pe o placă de sticlă.

- Placa de sticla plana: Baza pentru lentila, asigurand o suprafata neteda.
- Pana de aer: Formata intre suprafata convexa a lentilei si placa plana, cu grosimea variind de la zero (in punctul de contact) la valori mai mari spre exterior.

Lumina monocromatica, incidenta aproape perpendicular pe lentila, se reflecta partial de la suprafata inferioara a lentilei (interfata sticla-aer) si partial de la suprafata superioara a placii (interfata aer-sticla). Cele doua raze reflectate interfereaza, producand inecele observabile.

4 Analiza fenomenului: Diferenta de drum optic si conditii de interferenta

Pentru a intelege inecele lui Newton, analizam:

1. Diferenta de drum geometric: Raza reflectata de placa de sticla parcurge un drum suplimentar de doua ori grosimea penei de aer ($2t$), unde t este grosimea filmului de aer la o anumita pozitie.
2. Salturile de faza la reflexie:
 - Raza 1 (reflexie la suprafata inferioara a lentilei, sticla-aer): Lumina trece dintr-un mediu mai dens (sticla, $n \approx 1.5$) intr-unul mai putin dens (aer, $n = 1$). Nu apare salt de faza (0).
 - Raza 2 (reflexie la suprafata superioara a placii, aer-sticla): Lumina trece dintr-un mediu mai putin dens (aer) intr-unul mai dens (sticla). Apare un salt de faza de π , echivalent cu un drum optic suplimentar de $\lambda/2$.

Astfel, diferenta de faza initiala intre cele doua raze, datorata reflexiilor, este π (sau $\lambda/2$).

Diferenta totala de drum optic efectiva (Δ) este:

$$\Delta = 2t + \frac{\lambda}{2}$$

4.1 Inele intunecate (interferenta distructiva)

Inelele intunecate apar cand diferenta de drum optic efectiva este un multiplu intreg de lungimi de unda:

$$\Delta = 2t + \frac{\lambda}{2} = m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Simplificand:

$$2t = \left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda$$

$$t = \frac{(2m - 1)\lambda}{4}$$

Pentru a gasi raza inelelor (r_m), folosim relatia geometrica:

$$R^2 = r_m^2 + (R - t)^2$$

Deoarece $t \ll R$, neglijam t^2 :

$$r_m^2 \approx 2Rt$$

Substituind $t = \frac{(2m-1)\lambda}{4}$:

$$r_m^2 = 2R \cdot \frac{(2m-1)\lambda}{4} = \frac{(2m-1)R\lambda}{2}$$

$$r_m = \sqrt{\frac{(2m-1)R\lambda}{2}} = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right) R\lambda}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

Pentru $m = 0$, $t = -\frac{\lambda}{4}$, ceea ce nu este fizic posibil ($t \geq 0$). In centrul inelelor ($t = 0$):

$$\Delta = \frac{\lambda}{2} \implies \text{interferenta distructiva}$$

Astfel, centrul ($r_0 = 0$) este intunecat.

4.2 Inele luminoase (interferenta constructiva)

Inelele luminoase apar cand diferenta de drum optic efectiva este un multiplu impar de jumatati de lungimi de unda:

$$\Delta = 2t + \frac{\lambda}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Simplificand:

$$2t = m\lambda$$

$$t = \frac{m\lambda}{2}$$

Substituind $t = \frac{r_m^2}{2R}$:

$$\frac{r_m^2}{2R} = \frac{m\lambda}{2}$$

$$r_m^2 = mR\lambda$$

$$r_m = \sqrt{mR\lambda}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

5 Formule cheie

1. Conditii generale de interferenta:

- Constructiva: $\delta = m\lambda$
- Distructiva: $\delta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$, $m = 0, 1, 2, \dots$

2. Diferenta de drum optic efectiva:

$$\Delta = 2t + \frac{\lambda}{2}$$

3. Relatia geometrica:

$$r_m^2 \approx 2Rt$$

4. Razele inelelor (lumina reflectata):

- Inele intunecate:

$$2t = \left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda, \quad r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right) R\lambda}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

Centrul ($t = 0$) este intunecat.

- Inele luminoase:

$$2t = m\lambda, \quad r_m = \sqrt{mR\lambda}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

6 Observatii si caracteristici ale inelelor

- Centrul intunecat: La $t = 0$, saltul de faza de $\lambda/2$ produce interferenta distructiva.
- Inele concentrice: Datorita simetriei lentilei.
- Distanțe între inele: Inelele se apropie spre exterior, deoarece $r_m \propto \sqrt{m}$.
- Lumina alba: Produce inele irizate, fiecare lungime de unda formand inele la raze diferite.

7 Semnificatie si aplicatii

Inelele lui Newton ilustreaza interferenta undelor si au aplicatii practice:

- Demonstrarea naturii ondulatorii a luminii: O dovada vizuala a interferentei.
- Masurarea lungimii de unda: Prin razele inelelor si R .
- Masurarea razei de curbura: Folosind λ cunoscuta.
- Testarea planeitatii suprafetelor: Neregularitatile distorsioneaza inelele.
- Metrologie optica: Inspectia suprafetelor optice in industrie.