Forelesning - 14.01.22

FYS009-G 21H - Fysikk realfagskurs

Kapittel 9 - Bølger

Forelesningene dekker i hovedsak boken *Rom-Stoff-Tid - Fysikk forkurs* fra Cappelen Damm. I tillegg til teorien gjennomgåes det endel simuleringer og regnede eksempler. De fleste eksemplene er orientert etter oppgaver fra boka, men også andre oppgaver og problemstillinger kan taes opp.

Interferens

Ytterligere presisering av forsterkningsvilkår i et interferensmønster. Eksempel med høytalere.

Regnet: Oppgave 9.318

Interferens med lys

Gjennomgang av Youngs dobbeltspalteeksperiment. Boka: øverst side 242.

Link: *Simulering - Lys gjennom to spalter*

Utledning av interferensformelen,

$$d \sin \theta_n = n\lambda$$

og redegjøring av geometrien i dobbeltspalteforsøk.

Regnet: Eksempel 9.3

Regnet: Oppgave 9.20

Regnet: Oppgave 9.21

Diskusjon omkring interferensformelen, og avhengighet av parametere d og λ for spredningsvinklene θ_n.

Diskusjon av parametrene i interferensformelen

Optiske gitter vs. dobbeltspalter. Gitterkonstant d.

Regnet: Oppgave 9.327

Diskusjon av parametrene i interferensformelen

$$d \sin \theta_n = n\lambda \qquad \Rightarrow \qquad \sin \theta_n = \frac{n\lambda}{d}$$

(1) Hvis λ øker, så vil $\sin \theta_n$ øke, altså øker θ_n. Slik at rødt lys bøyes mer enn grønt, siden $\lambda_{\text{rød}} > \lambda_{\text{grønn}}$.

(2) Hvis spalteavstanden d øker, så vil $\sin \theta_n$ minke, altså minker θ_n. Gjør vi d større, vil altså lyset bøyes mindre.

(3) For gitte verdier av d og λ vil det finnes en gitt n slik at $|\sin \theta_n| \geq 1$, og da vil det ikke finnes noe maksimum for denne n-verdien.

Oppgave 9.20

Grønt lys med bølgelengden 540 nm treffer en dobbeltspalte. Avstanden mellom spaltene er $5\ \mu m$.

(a) Beregn retningsvinkelen θ_3 for lysmaksimum av 3. orden.

(b) Er maksimum av 10. orden mulig?

Løsning:

(a) Vi har $\lambda = 540\,\mathrm{nm} = 5.40 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}$ og at $d = 5\ \mu m = 5 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}$. Vi får for $n = 3$ at

$$d \sin\theta_3 = 3\lambda \qquad \Rightarrow \qquad \sin\theta_3 = \frac{3\lambda}{d} = \frac{3 \cdot 5.40 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}}{5 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}} \simeq 0.324$$

og dette gir at $\theta_3 = \sin^{-1}(0.324) = \underline{18.9^\circ}$. For θ_1 får vi med $n = 1$ at

$$d \sin\theta_1 = 1\lambda \qquad \Rightarrow \qquad \sin\theta_1 = \frac{\lambda}{d} = \frac{5.40 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}}{5 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}} \simeq 0.108$$

og dette gir at $\theta_1 = \sin^{-1}(0.108) = \underline{6.2^\circ}$.

(b) Vi sjekker for $n = 10$, og setter

$$d \sin\theta_{10} = 10\lambda \qquad \Rightarrow \qquad \sin\theta_{10} = \frac{10\lambda}{d} = \frac{10 \cdot 5.40 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}}{5 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}} \simeq 1.080$$

Siden $|\sin\theta| \leq 1$ har vi derfor ingen løsning her. For $n = 9$ finner vi derimot at $\sin\theta_9 = 0.982$, slik at det finnes et maksimumspunkt av 9. orden.

Oppgave 9.21

Fra en spalte kommer det ensfarget lys med bølgelengde 600 nm, og treffer to smale spalter med innbyrdes avstand 0.1 mm. På en skjerm i avstand på 2 meter ser vi et interferensmønster.

Hva er avstanden på skjermen mellom det sentrale lysmaksimumet og 2. lysmaksimum til en av sidene?

Løsning:

Vi har $\lambda = 600\,\mathrm{nm} = 6 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{m}$ og at $d = 10^{-4}\,\mathrm{m}$. Avstanden til skjermen er $L = 2\,\mathrm{m}$.

Det sentrale lysmaksimumet er for $n = 0$, og har $\theta_0 = 0°$. For $n = 2$ får vi

$$d \sin\theta_2 = 2\lambda \qquad \Rightarrow \qquad \sin\theta_2 = \frac{2\lambda}{d} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{m}}{10^{-4}\,\mathrm{m}} \simeq 0.012$$

og dette gir at $\theta_2 = \sin^{-1}(0.012) = \underline{0.69°}$.

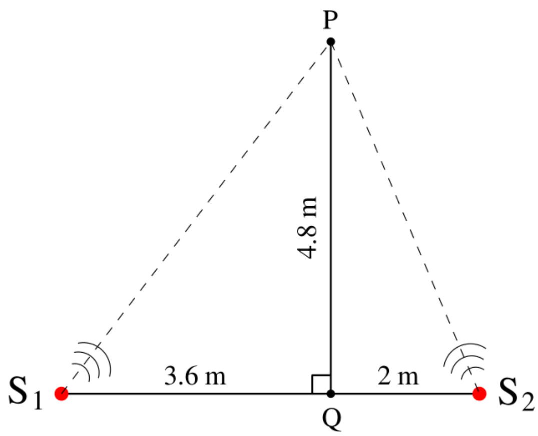
Vi skal finne *avstanden* y_2 mellom det sentrale lysmaksimumet og 2. ordens lysmaksimum når skjermen er plassert 2 meter unna.

$$\tan\theta_2 = \frac{y_2}{L} \qquad \Rightarrow \qquad y = L\tan\theta_2 = (2\,\mathrm{m})(0.012) \simeq \underline{0.024\,\mathrm{m}}$$

Så avstanden y_2 er altså omlag $2.4\,\mathrm{cm}$.

Oppgave 9.138

To bølgekilder S_1 og S_2 står 5.60 meter fra hverandre. De svinger i takt og lager bølger med bølgelengden $\lambda = 0.16\ \text{m}$.



(a) Gjør beregninger og vis at det er maksimal forsterkning i P.

Begge kildene fortsetter å svinge mens vi flytter S_2 langsomt til en sluttstilling som er 2 meter nærmere S_1, altså til Q.

(b) Hvordan er svingetilstanden i P nå?

(c) Hvor mange maksimale forsterkninger kan vi registrere i P under flyttingen?

Løsninger:

(a) Vi finner avstanden fra S_1 til P ved å bruke Pythagoras læresetning:

$$S_1P = \sqrt{(3.6)^2 + (4.8)^2} = \sqrt{36} = 6$$

og

$$S_2P = \sqrt{(2)^2 + (4.8)^2} = \sqrt{36} = 5.2$$

Siden $\lambda = 0.16\ \text{m}$ er

$$S_1P = 37.5\lambda \qquad \text{og} \qquad S_2P = 32.5\lambda$$

Da er $S_1P - S_2P = 5\lambda$, som gir *konstruktiv interferens*.

(b) Her er $QP = 4.8 = 30\lambda$. Da er

$$S_1P - QP = 37.5\lambda - 30\lambda = 7.5\lambda$$

som gir *destruktiv interferens*.

(c) På vei fra S_2 mot Q passerer vi gjennom $S_1P - QP = 5\lambda, 5.5\lambda, 6\lambda, 6.5\lambda, 7\lambda$ og tilslutt 7.5λ. Dette gir to maksimale forsterkninger når $S_1P - QP = 6\lambda$ og når $S_1P - QP = 7\lambda$.

Oppgave 9.327

(a) Rødt lys med bølgelengden 632.8 nm fra He-Ne laser (Rubinlaser) faller inn på et optisk filter med 10 l/mm. Vi produserer et interferensmønster på en skjerm som er plassert 2 meter unna.

Hvor høyt over (eller under) sentralaksen er observerer vi den første *mørke* linja i interferensmønsteret?

(b) Ensfarget lys fra en annen kilde går gjennom den samme dobbeltspalten som i punkt (a). Da finner vi at 5. ordens lysmaksimum er i en retning som danner vinkelen $1.20°$ med sentralaksen.

Finn bølgelengden til lyset.

(c) Hvor mange lysmaksima kan vi få med lyset i punkt (a)?

Løsninger:

(a) Vi setter at bølgelengden $\lambda = 632.8\ \mathrm{nm} = 6.328 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}$. Videre finner vi at $d = \frac{1}{10}\ \mathrm{mm} = 10^{-4}\ \mathrm{m}$. Vi har også at avstanden er lik $L = 2\ \mathrm{m}$.

For *minima* i interferensmønsteret må veiforskjellen være $(n + \frac{1}{2})\lambda$. Da får vi for det første minimumet

$$d \sin\theta = \tfrac{1}{2}\lambda \quad \Rightarrow \quad \sin\theta = \frac{\lambda}{2d} = 3.165 \cdot 10^{-3} \quad \Rightarrow \quad \theta \simeq 0.18°$$

Da finner vi avstanden ved

$$\tan\theta = \frac{y_{\min}}{L} \quad \Rightarrow \quad y_{\min} = L\tan\theta \quad \Rightarrow \quad y_{\min} = (2\ \mathrm{m})\tan(0.18°) = \underline{6.28 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}}$$

som er omlag 6.28 mm.

(b) Vi setter

$$d\sin\theta_5 = 5\lambda \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{d\sin\theta_5}{5} = \frac{(10^{-4}\ \mathrm{m})\sin(1.20°)}{5} = 4.19 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m} = \underline{419\ \mathrm{nm}}$$

Dette er fiolett lys.

(c) Vi setter

$$\sin\theta_n = \frac{n\lambda}{d} = n\,\frac{\lambda}{d} = n \cdot 6.328 \cdot 10^{-3}$$

For at dette skal ha løsning må

$$|\sin\theta_n| \leq 1 \qquad \Rightarrow \qquad n\,\frac{\lambda}{d} = n \cdot 6.328 \cdot 10^{-3} \leq 1$$

Vi setter

$$n \cdot 6.328 \cdot 10^{-3} = 1 \qquad \Rightarrow \qquad n = \frac{1}{6.328 \cdot 10^{-3}} = 158.02$$

slik at $n = 158$ har løsning, mens $n = 159$ ikke har løsning. Det blir da 158 løsninger når $\theta \geq 0$. Siden dette innebærer at det finnes 157 lysmaksima når $\theta < 0$, får vi totalt 315 lysmaksima.