

Institutt for lærerutdanning

## **Eksamensoppgave i FY6020 Lys, optikk og fysikkfaget i skolen**

**Faglig kontakt under eksamen:** Astrid Johansen

**Tlf.:** 918 22 404

**Eksamensdato:** 9.01.2019

**Eksamenstid (fra-til):** kl.09.00 – 12.00

**Tillatte hjelpemidler:** Alle, men besvarelsen skal være et individuelt arbeid. Nødvendige konstanter og andre faktastørrelser som ikke er oppgitt må kandidaten selv finne fram til.

**Annen informasjon:** Vurderingskriterier: se s.2

**Målform/språk:** Bokmål

**Antall sider:** 5

### **Annen informasjon:**

Du må samle alle svararkene dine i én fil og laste opp denne. Dersom besvarelsen din består av både word-dokument(er) og håndskreven besvarelse, skriv ut word-dokumentet og skann det sammen med den håndskrevne besvarelsen til én pdf-fil. Dersom du får problemer med dette, kan alle dokumentene sendes på epost til [videre@ntnu.no](mailto:videre@ntnu.no).

**Sensurdato:** 30.01.2019

## Vurderingskriterier

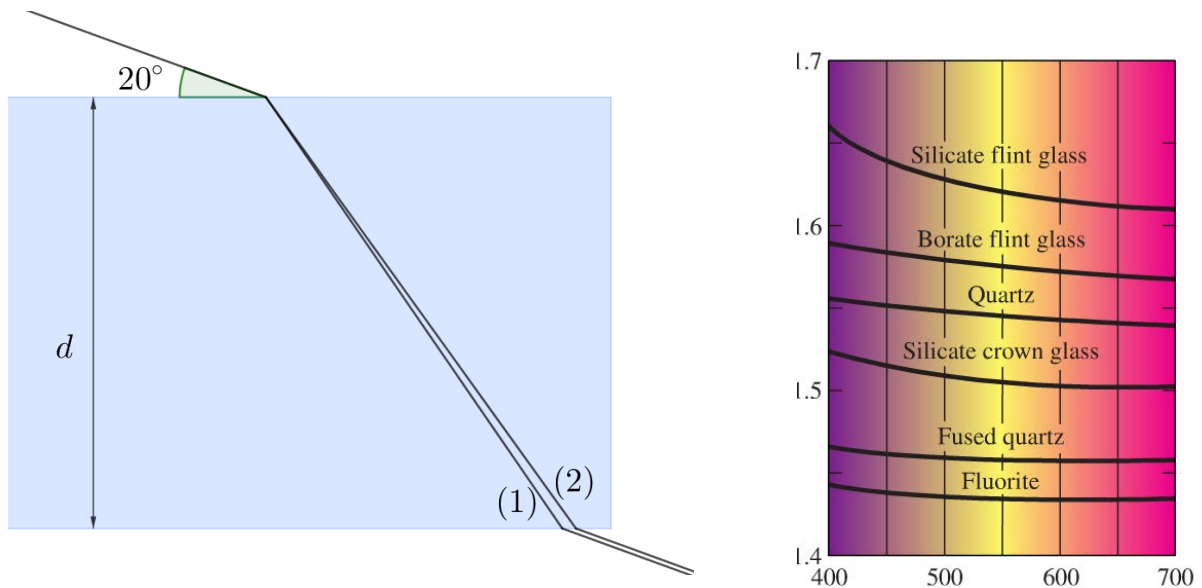
Ved vurderingen vektlegges din evne til å vise **egen** kompetanse i å

- gjøre greie for fysiske fenomener
- formidle fysiske resonnementer og gjøre kvalitative vurderinger
- gjøre kvantitative beregninger
- presentere besvarelsen

Oppgavesettet består av 3 oppgaver som vektes likt.

## Oppgave 1 (Vekt 1/3)

En tynn stråle med hvitt lys sendes mot en planparallell plate i silikat flintglass (engelsk: Silicate flint glass) som er omgitt av luft. I glasset sprer lysstrålen seg. Tegningen under til venstre viser hvordan stråler fra ytterkantene (fiolett og rødt) av det synlige spekteret går gjennom glasset. Sammenhengen mellom bølglengde og brytningsindeks er gitt i figuren under til høyre.



a) Hvilken av strålene (1) og (2) korresponderer til hhv rødt og fiolett lys? Begrunn.

Svar:

$$\text{Snells lov: } n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \quad \Leftrightarrow \quad n_2 = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} \cdot n_1$$

Her er  $n_1 = 1$  og  $\alpha_1 = \text{innfallsvinkelen} = 90^\circ - 20^\circ = 70^\circ$ .

I tillegg vet vi at  $\sin \alpha$  øker med  $\alpha$  for vinkler mellom 0 og 90 grader.

Brytningsvinkelen er vinkelen mellom innfallsloddet og strålen. Dvs. at stråle (1) har den minste brytningsvinkelen, og dermed den største brytningsindeksen. Da må stråle (1) være fiolett lys og stråle (2) rødt lys.

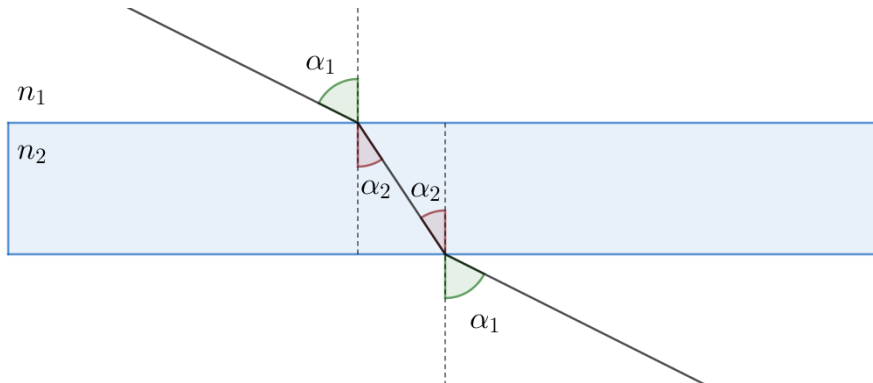
b) Det ser ut på figuren som at strålene vil gå parallelt ut fra platen. Argumenter for hvorfor det er tilfelle.

Svar:

Siden de to overflatene er parallelle, er også de to innfallsvinklene parallelle. Da må brytningsvinkelen ved den første overflata være den samme som innfallsvinkelen ved den andre overflaten siden vi har to parallelle linjer skjæres av samme linje. Snells lov gjelder uansett om man «starter på den ene eller den andre sida). Derfor må

brytningsvinkelen ut fra plata være den samme som innfallsvinkelen inn mot plata.  
Dvs. strålene (1) og (2) i a) går parallelt ut fra plata.

Tegning av situasjonen

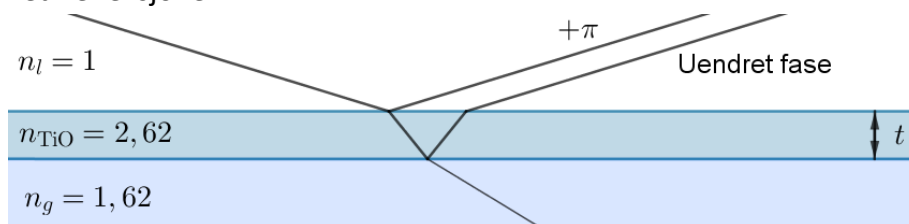


c) For å forhindre refleksjon fra glassoverflaten, blir den belagt med et tynt lag titandioksid med brytningsindeks 2,62.

1. Forklar hvorfor dette kan hjelpe.

Svar:

Ved å legge på en tynn film med en annen brytningsindeks, vil vi kunne få tynnfilm-interferens mellom reflekterte stråler fra oversiden og undersiden av filmen. Disse vil interferere destruktivt dersom de reflekterte strålene har en faseforskjell på  $\pi$ . Gangforskjellen  $2t$  gir en faseforskjell mellom de to reflekterte strålene. Og samtidig gir overgangen mellom luft og titanoksid et faseskift på  $\pi$  siden strålen går fra lav til høy brytningsindeks. Strålen som reflekteres ved den andre overflaten går fra høy mot lavere brytningsindeks og får ikke noe faseskift ved refleksjonen.



Ved riktig tykkelse av titanoksidlaget kan man derfor oppnå at alle stråler med en bestemt bølgelengde kanselleres.

2. Hva er den minste tykkelsen laget må ha for at lys med bølgelengde 550 nm skal bli blokkert?

Svar:

Siden den ene strålen får 180 graders faseskift, vil vi få utslokning dersom gangforskjellen er et helt antall bølgelengder. Dvs. at

$$2t = n\lambda \Leftrightarrow t = \frac{n\lambda}{2}$$

Her må vi også huske at gangforskjellen skjer inne i titanoksiden der  $n = 2,62$ .  
Brytningsindeks er definert som

$$n = \frac{c_0}{c} = \frac{\lambda_0 f}{\lambda f} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

Altså er bølgelengden inne i sjiktet  $\lambda = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{550 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{2,62} = 210 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

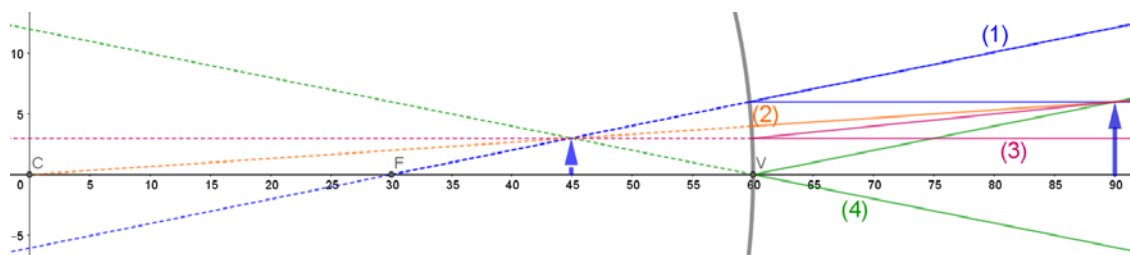
og tykkelsen blir  $t = \frac{1 \cdot 210 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{2} = 105 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

## Oppgave 2 (Vekt 1/3)

Et konvekst sfærisk speil har radius 60 cm. Et utstrakt objekt med høyde 6,0 cm befinner seg på den optiske akse 30 cm unna speilet.

a) Tegn inn hovedstrålene som viser bildedannelsen.

Svar:



b) Beregn posisjon, størrelse og retning til bildet. Er det reelt eller virtielt?

Svar:

Sammenhengen mellom objektavstand  $s$ , bildeavstand  $s'$  og speilets krumning  $R$  er gitt ved

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

Her er  $s$  positiv siden den innkommende strålen er på samme side som objektet,  $s'$  er negativ siden den utgående strålen er på motsatt side av bildet.  $R$  er også negativ siden utgående stråle er på motsatt side av krumningscenteret.

Da får vi at bildeavstanden  $s'$  er

$$\frac{1}{s'} = \frac{2}{R} - \frac{1}{s} = \frac{2}{-60 \text{ cm}} - \frac{1}{30 \text{ cm}} = -\frac{4}{60 \text{ cm}} \Rightarrow s' = -15 \text{ cm}$$

Altså er posisjonen til bildet 15 cm til venstre for punktet V i figuren i a).

Forstørrelsen er gitt som

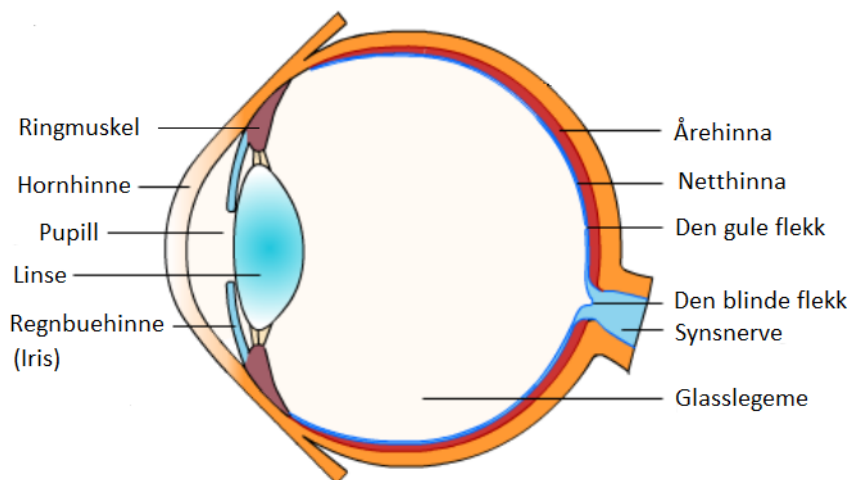
$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s} = -\frac{(-15 \text{ cm})}{30 \text{ cm}} = \frac{1}{2}$$

Dvs. at bildet er 3,0 cm høyt.

Siden forstørrelsen er positiv, er bildet opprett.

Og siden strålene bare ser ut som de er der hvor bildet dannes, er bildet virtuelt.

Figuren under viser noen viktige elementer i øyets anatomi.



Hornhinna ligger ytterst på øyet, og krumningen hjelper øyet med å fokusere. Øyevæska inne i glasslegemet har en brytningsindeks på 1,34. Tykkelsen av hornhinnen så liten at vi kan se bort fra den. Dybden i et menneskeøye setter vi til 25 mm.

- c) Hva må krumningsradien til hornhinna være for at den alene (altså bare hornhinna og glasslegemet) skal fokusere bildet av et fjernt objekt på netthinna?

Svar:

Her har vi brytning i en krum overflate og sammenhengen mellom  $s$ ,  $s'$  og  $R$  er

$$\frac{n_a}{s} + \frac{n_b}{s'} = \frac{n_b - n_a}{R}$$

Objektavstanden  $s$  er avstanden til det vi ser på i luft, og dermed er  $n_a = 1$ .

Bildeavstanden er avstanden til bildet inne i øyet, og da blir  $n_b = 1,34$ .

Når vi ser på et fjernt objekt, tilsvarer det at  $s = \infty$ . Dersom bildet skal fokuseres på netthinna, må  $s' = 25$  mm.

For å få til dette må  $R$  være

$$\frac{n_b - 1}{R} = \frac{1}{s} + \frac{n_b}{s'} \Rightarrow \frac{0,34}{R} = 0 + \frac{1,34}{25 \text{ mm}} \Leftrightarrow R = 0,34 \cdot \frac{25 \text{ mm}}{1,34} = 6,3 \text{ mm}$$

d) Hvis hornhinna fokuserte objektet i a) på netthinna, vil den også kunne fokusere tekst i en bok 25 cm unna øyet? Hvis ikke, hvordan er dette problemet løst?

Svar:

Her er objektavstanden  $s = 25$  cm og  $R = 0,63$  cm. Bildeavstanden blir

$$\frac{n_b}{s'} = \frac{n_b - 1}{R} - \frac{1}{s} \Rightarrow \frac{1,34}{s'} = \frac{0,34}{0,63 \text{ cm}} - \frac{1}{25 \text{ cm}} \Leftrightarrow s' = 2,7 \text{ cm}$$

Dvs. at bildet dannes 0,2 cm bak netthinna og teksten vil ikke være fokusert.

For å justere dette har øyet ei linse som ringmusklene kan justere tykkelsen på. Da kan linsa ta hånd om finkorrigeringer for å få bildet fokusert på netthinna. Og hvis ikke det er nok, kan vi justere videre med briller eller kontaktlinser.

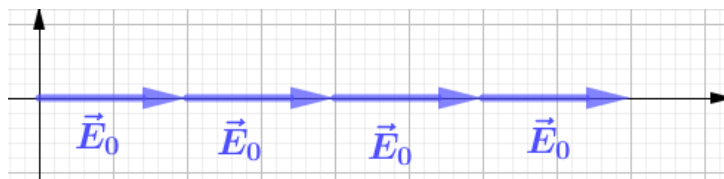
### Oppgave 3 (Vekt 30%)

I en dobbeltspalte dannes destruktiv og konstruktiv interferens når faseforskjellen mellom de to spaltene er henholdsvis  $\pi$  og  $2\pi$  når vi holder oss innenfor intervallet  $[0, 2\pi]$ .

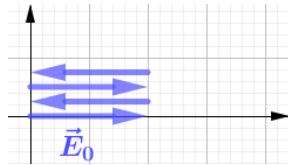
a) Hvilke faseforskjeller gir konstruktiv og destruktiv interferens med 4 spalteåpninger? Tegn fasediagram og forklar.

Svar:

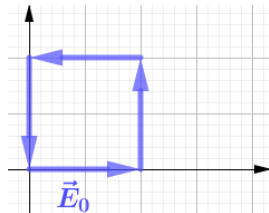
Konstruktiv interferens får vi fortsatt bare dersom faseforskjellen er et helt antall bølgelengder, altså et helt antall  $2\pi$ . Da har alle vektorene til det elektriske feltet samme retning og fasediagrammet ser sånn ut.



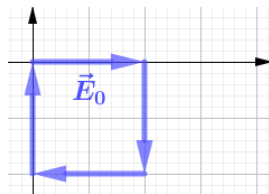
Dersom vi skal ha destruktiv interferens, er det flere måter å få til det på. Poenger er da at summen av de 4 fasevektorene skal bli 0. Det kan vi få til dersom faseforskjellen mellom hver av dem er  $\pi$ . Det gir flg. fasediagram



Vi ser også at en faseforskjell på  $\frac{\pi}{2}$  mellom hver fasevektor gir utsløkning



Og den siste muligheten er dersom faseforskjellen er  $\frac{3\pi}{2}$



Generelt er faseforskjeller som gir destruktiv interferens fra  $m$  kilder gitt ved  $\frac{n \cdot 2\pi}{m}$

*Koherent laserlys med bølgelengde 550 nm passerer en dobbeltspalte og lager dermed et interferensmønster. Det er 0,420 mm mellom midtpunktet i hver spalteåpning.*

- b) *Vi antar først at spaltebredden er svært liten. Hvilken vinkel vil det være mellom de to førsteordens maksimaene på hver side av sentrallinja?*

Svar:

Vi har at vi får konstruktiv interferens fra en dobbeltspalte når

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

Dersom vi antar at laserstrålen står normalt på dobbeltspalten, vil vinklene ut til maksimaene på hver side være like. Vinkelen mellom sentrallinja og 1.ordens maksimum er

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{\lambda}{d} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{550 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{0,420 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \right) = 0,075^\circ$$

Dvs. at vinklene mellom de to 1.ordens er  $0,15^\circ$ .



c) I virkeligheten har hver spalteåpning en bredde på 0,250 mm.

1. Hvilken effekt har dette på lysmønsteret du observerer på skjermen?

Svar:

Når spaltene har en viss bredde, vil effekten av diffraksjon påvirke interferensmønsteret. Dvs. at faseforskjeller mellom elementærbølger fra ulike posisjoner i spalteåpningen reduserer intensiteten i interferensmønsteret.

Intensiteten på skjermen er gitt ved

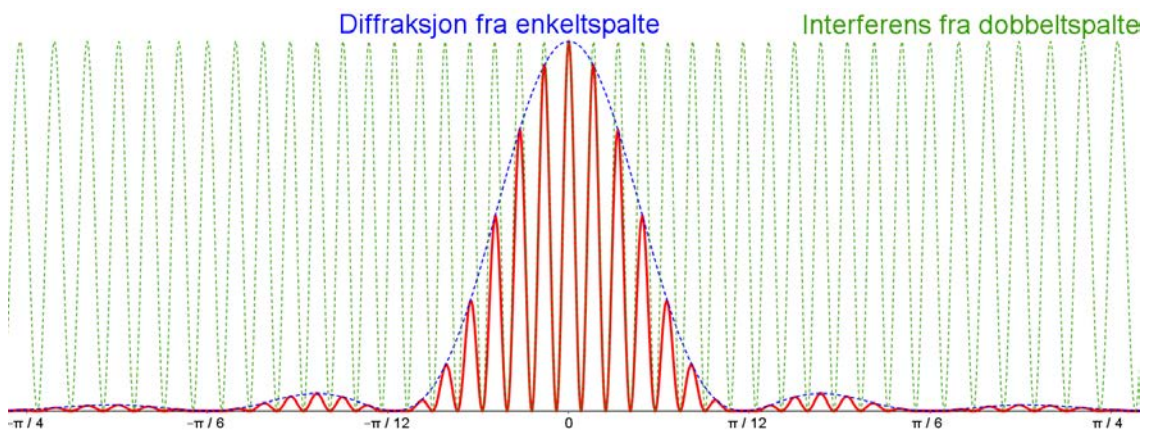
$$I = I_0 \cos \frac{\phi}{2} \cdot I = I_0 \cos \frac{\phi}{2} \cdot \left[ \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{\frac{\beta}{2}} \right]^2$$

der  $\phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \cdot \sin \theta$  og  $\beta = \frac{2\pi a}{\lambda} \cdot \sin \theta$

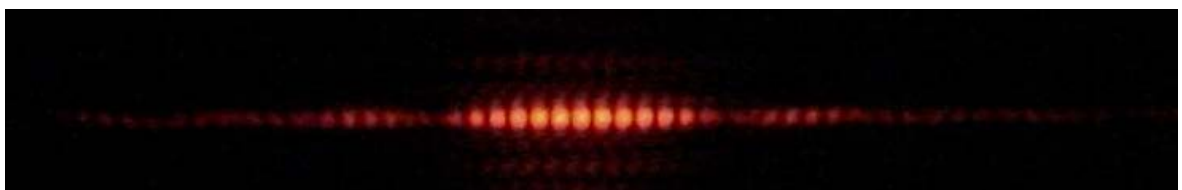
Her vil  $I = I_0 \cos \frac{\phi}{2}$  beskrive intensiteten i interferensmønsteret uten diffraksjon og gi den samme maksimale intensiteten uansett vinkel.

Faktoren  $\left[ \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{\frac{\beta}{2}} \right]^2$  gir diffraksjonseffekten som gjør at intensiteten avtar sterkt med vinkelen.

Figuren under viser effekten matematisk.



Og dette ser vi på skjermen



d) Hva er intensiteten i posisjonen du fant i b) i forhold til den maksimale intensiteten  $I_0$ ?

Svar:

$$\text{Intensiteten er altså gitt ved } I = I_0 \cos \frac{\phi}{2} \cdot \left[ \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{\frac{\beta}{2}} \right]^2$$

Siden det er en posisjon som ga konstruktiv interferens i oppgave b), vet vi at

$$\cos \frac{\phi}{2} = 1$$

Det som endrer situasjonen er  $\beta$ .

$$\beta = \frac{2\pi a}{\lambda} \cdot \sin \theta = \frac{2\pi a}{\lambda} \cdot \frac{n\lambda}{d} = \frac{2\pi \cdot 0,250 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,420 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 3,74 \text{ rad}$$

Og intensiteten blir

$$I = I_0 \cdot 1 \cdot \left[ \frac{\sin \frac{3,74}{2}}{\frac{3,74}{2}} \right]^2 = 0,261 \cdot I_0$$