

Tentamen i Optik för F2 (FFY091)

Lärare: Bengt-Erik Mellander, tel. 772 3340

Hjälpmedel: Typgodkänd räknare, Tefyma, Physics Handbook, Mathematics Handbook.

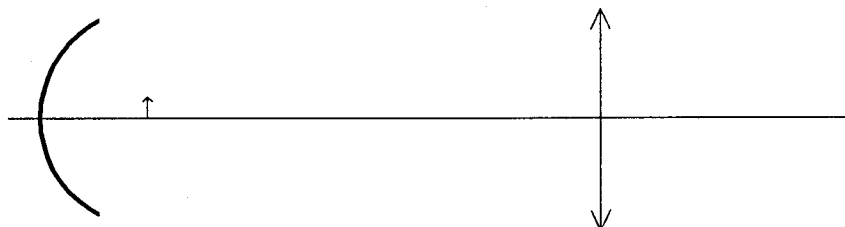
Poänggränser: Betyg 3: 8,0-11,5 p; Betyg 4: 12,0- 15,5 p; Betyg 5: 16,0-20,0 p

Förslag på lösningar till tentan anslås vid Fysikums entré efter skrivningstidens slut.

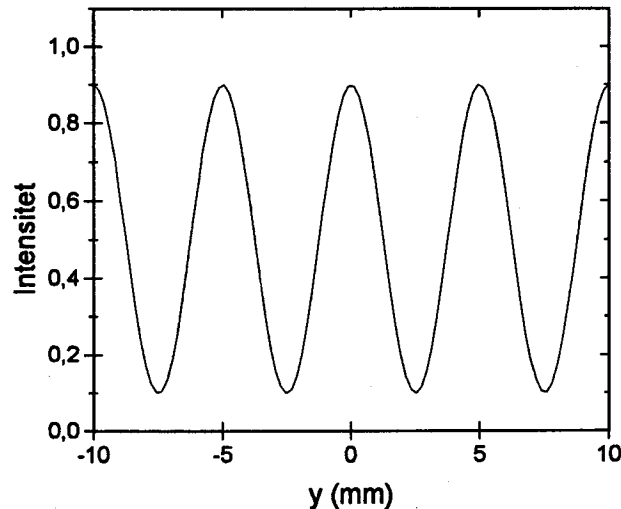
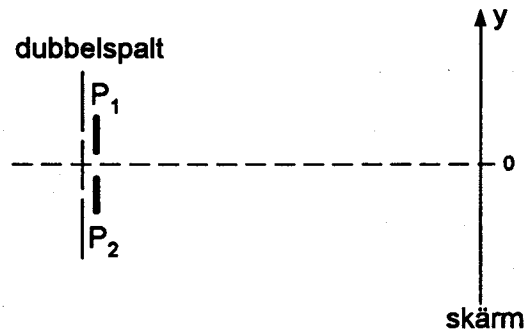
Rättningsprotokollet anslås i Fysikums entré 00-06-09.

Granskning kan ske 00-06-09 kl. 12.00-12.30 i sal FL11.

- Vid ett optiskt experiment misstänker man att det infallande ljuset består av en blandning av cirkulärpolariserat och opolariserat ljus. Hur gör man för att bekräfta detta? Beskriv i detalj. (2 p)
 - Visa hur en anordning som släpper igenom vänster- men inte högercirkulärpolariserat ljus kan vara konstruerad (d.v.s. vänstercirkulärpolariserat ljus in ger vänstercirkulärpolariserat ljus ut, högercirkulärpolariserat ljus in ger inget ljus ut). Till ditt förfogande har du ett obegränsat antal $\lambda/4$ -plattor och (linjär)polarisatorer. Förklara i detalj. (2p)
- Om en opolariserad ljusstråle i luft infaller under Brewstervinkeln mot en plan glasyta, reflekteras 12,5% av den infallande intensiteten. Hur stor del av den infallande intensiteten reflekteras om man i den infallande strålen placerar en ideal (linjär)polarisator med genomsläppsriktningen i 30° vinkel relativt infallsplanet och dessutom ändrar infallsvinkeln till 70° ? (4p)
- Ett litet föremål befinner sig mellan en konkav spegel och en tunn lins. Den konkava spegeln har krökningsradien 20 cm och föremålet är placerat i krökningsradiens centrum. Den tunna linsen är plankonvex, den krökta ytan har krökningsradien 17,5 cm och linsens brytningsindex är 1,5. Linsen befinner sig 85 cm till höger om föremålet. Man får två bilder av föremålet, en om strålarna går direkt genom linsen och en om strålarna först reflekteras mot spegeln och sedan går genom linsen. Var hamnar dessa bilder? Är de reella eller virtuella? Rättvända eller upp-och-ner? För full poäng krävs också en korrekt (skalenlig) konstruktion av strålgången i de två fallen. (4p)



4. Ett dubbelspalt har en (linjär)polarisator bakom vardera spalten. Dubbelspalten belyses med opolariserat ljus med våglängden 488 nm. Interferensmönstret studeras på en skärm 8,0 m från dubbelspalten, intensiteten nära $y=0$ visas i relativa enheter i figuren nedan. Hur är genomsläppsriktningarna orienterade relativt varandra (ange vinkeln) för de två polarisatorerna? (4p)



5. Med spetsen på en knappnål har man gjort ett litet runt hål i en aluminiumfolie. Om man låter en laserstråle med våglängden 488 nm falla in vinkelrätt mot folien (och hålet) kan man på en skärm 3,0 m från folien se ett diffraktionsmönster där diametern på den första mörka diffraktionsringen är 10 mm. Man mäter sedan intensiteten längs hålets axel. Vilket är det minsta avstånd (längs axeln) man måste gå från skärmen för att få ett minimum? (4p)

Formella regler: För att få full poäng på tentamensproblem krävs:
 att uppställda samband motiveras så att lösningsgången lätt kan följas
 att samtliga införda symboler definieras
 att rätt svar med rätt enhet avges.

Avsluta alla beräkningsproblem med ett tydligt, inramat Svar

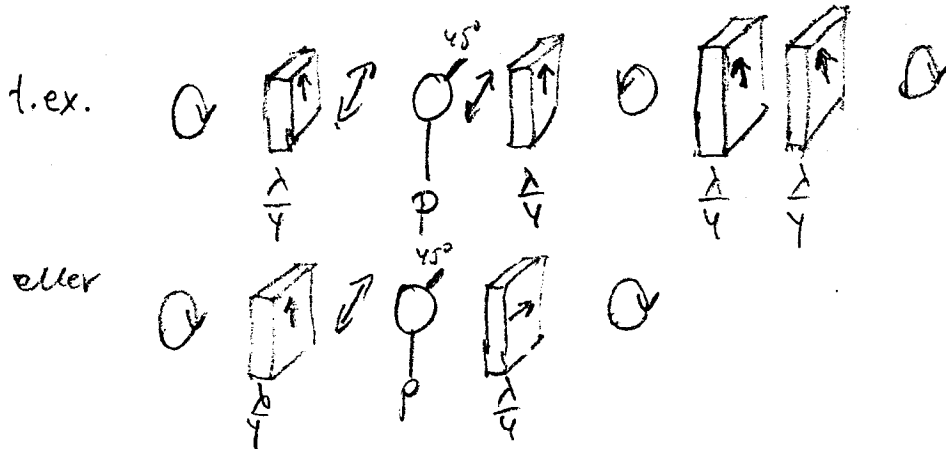
1.a) Kolla först med en analysator som vrids runt -
 - det skall inte vara någon intensitetsvariation.
 kolla sedan med en $\lambda/4$ platta + analysator -
 vrid runt analysatorn:

Om total utsläckning fås för ett läge på
 analysatorn är ljuset endast cirkulärpolariserat.

Om ingen variation fås då analysatorn vrids
 runt \Rightarrow opolariserat

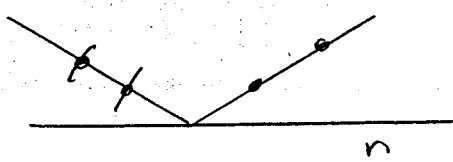
Om man får en intensitetsvariation, dock ej $I=0$,
 har man opol. + cirk.pol.

b)



Förklarande text krävs för full poäng!

2



Fall 1:

$$\frac{I_r}{I_0} = 0.125$$

Brewstervinkel $\Rightarrow i + b = 90^\circ$

Beräkna först n!

$$I_0 = I_{i\parallel} + I_{i\perp} = 2I_{i\perp} \quad \text{ty opol. ljus in}$$

Fresnels formler:

$$\frac{I_{r\perp}}{I_{i\perp}} = \frac{\sin^2(i-b)}{\sin^2(i+b)} = \sin^2(i-b)$$

$$\frac{I_{r\perp}}{I_0} = \sin^2(i-b) \cdot \frac{1}{2} = 0.125 \quad (\text{ty endast } I_{r\perp} \text{ reflekteras})$$

$$\Rightarrow \sin(i-b) = \frac{\sqrt{0.250}}{0.5} \Rightarrow i-b = 30^\circ$$

$$\text{Enl. Brewster är } i+b = 90^\circ \Rightarrow b = 90^\circ - i$$

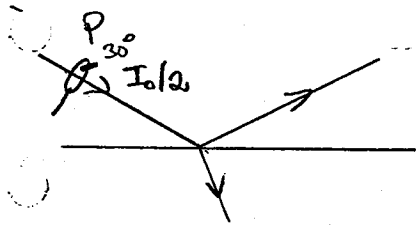
$$\Rightarrow i = 30^\circ + b = 30^\circ + 90^\circ - i$$

$$2i = 120^\circ$$

$$i = 60^\circ$$

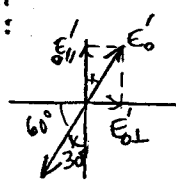
$$\text{Brytningslagen: } \sin i = n \sin b \Rightarrow n = \frac{\sin i}{\sin b} = 1.73$$

$$\text{Fall 2: } i = 70^\circ \quad \text{Brytningslagen} \Rightarrow \sin b = \frac{1}{n} \sin i = \frac{1}{1.73} \sin 70^\circ = 0.54$$



Etter P:

$$\Rightarrow b = 32,86^\circ$$



$$E'_{\perp} = E_0 \sin 30^\circ$$

$$E'_{\parallel} = E_0 \cos 30^\circ$$

$$I' = \frac{I_0}{2}$$

$$I'_{\perp} = \frac{I_0}{2} \sin^2 30^\circ$$

$$I'_{\parallel} = \frac{I_0}{2} \cos^2 30^\circ$$

$$\text{Fresnel: } (r_{\perp})^2 = \left(\frac{\sin(i-b)}{\sin(i+b)} \right)^2 = \frac{I_{r\perp}}{I'_{\perp}} = [\text{ms}] = 0.384$$

$$(r_{\parallel})^2 = \left(\frac{\tan(i-b)}{\tan(i+b)} \right)^2 = \frac{I_{r\parallel}}{I'_{\parallel}} = [\text{ms}] = 0.0299$$

$$\text{Etter reflexioner: } I_r = I_{r\perp} + I_{r\parallel} = 0.384 \cdot \frac{1}{8} I_0 + 0.0299 \cdot \frac{3}{8} I_0$$

$$= 0.0592 I_0$$

$$\text{jämfört med } I' : I_r = 0.118 \cdot I'$$

Svar 5.9%

③

1) Spiegling först:

Spegeln:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{10} \Rightarrow b_1 = 20 \text{ cm}$$

Därefter brytning i lins:

$$\text{Linsmakers formeln: } \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{f} = 0,5 \cdot \frac{1}{17,5} \Rightarrow f = 35 \text{ cm}$$

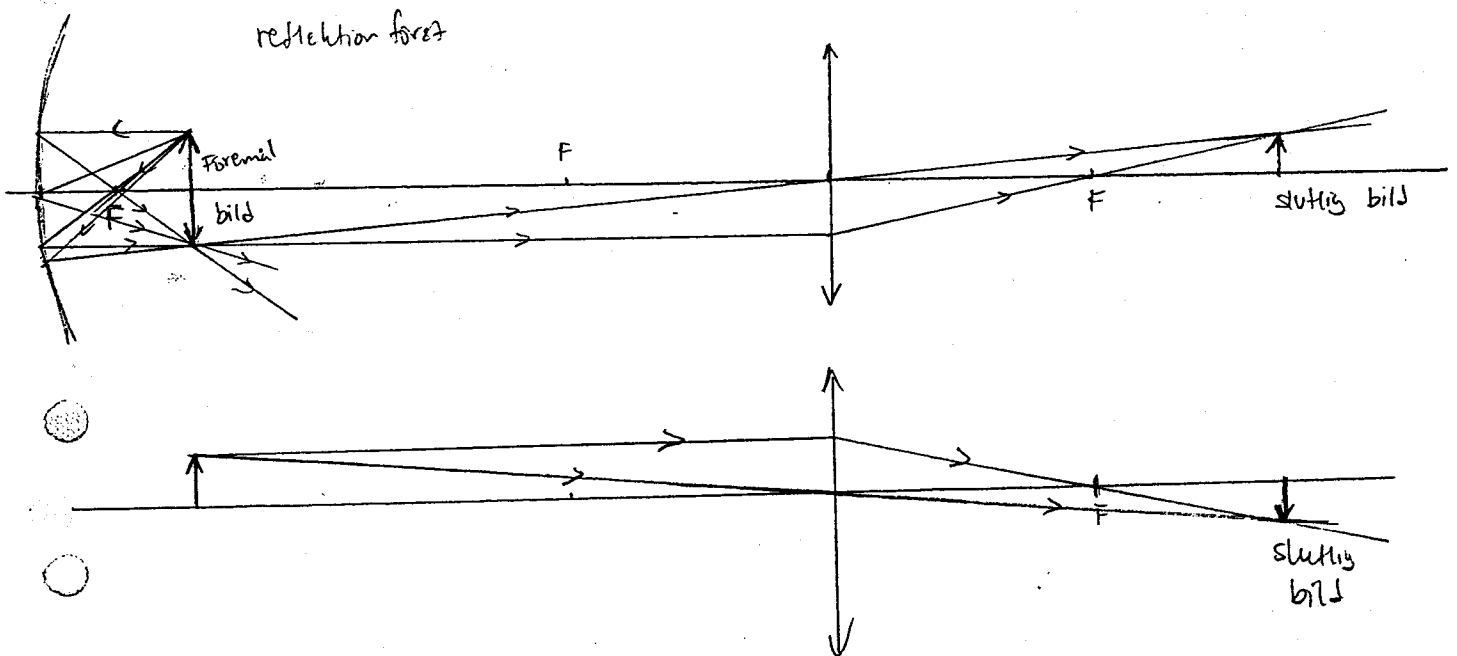
Linsformeln:

$$\frac{1}{a_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{85} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{35} \Rightarrow b_2 = 59,5 \text{ cm}$$

2) Direkt genom linsen

som ovan: $\Rightarrow b_2 = 59,5 \text{ cm}$

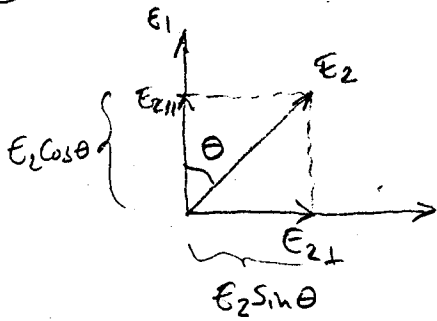
Alltså hamnar både (slutliga) bilderna på samma avstånd



Svar: I båda fallen hamnar slutliga bilden 60cm till höger om linsen. Båda är reella. I fall 1) är bilden rättvänd, i fall 2) upp-och-ner.

4

Antag: polariserarenas genomsläpps riktningar bildar vinkel θ



$E_{2||}$ interfererar med E_1 (kohärenskravet)

$$I \sim E^2 \quad \text{eller} \quad E \sim \sqrt{I}$$



$$I_{\max} = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_{2||}})^2 + I_{2\perp}$$

$$I_{\min} = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_{2||}})^2 + I_{2\perp}$$

$$\text{och } I_{2||} = I_2 \cos^2 \theta$$

$$I_{2\perp} = I_2 \sin^2 \theta$$

$$\text{samt } I_1 = I_2 = I_0$$

$$I_{\max} = I_0((1 + \cos \theta)^2 + \sin^2 \theta) = I_0(1 + \cos^2 \theta + 2 \cos \theta + \sin^2 \theta) = I_0 \cdot 2(1 + \cos \theta)$$

$$I_{\min} = I_0((1 - \cos \theta)^2 + \sin^2 \theta) = 2I_0(1 - \cos \theta)$$

$$\frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{1 + \cos \theta}{1 - \cos \theta} = \frac{0,9}{0,1} = 9$$

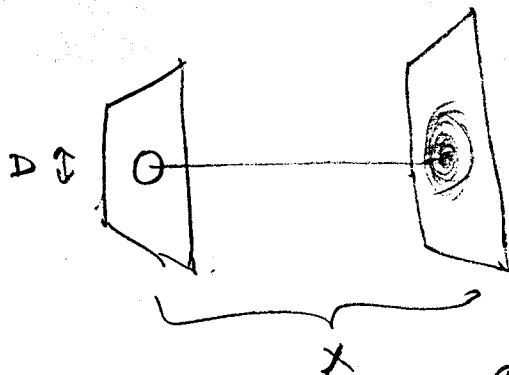
$$\therefore 1 + \cos \theta = 9 - 9 \cos \theta$$

$$10 \cos \theta = 8$$

$$\cos \theta = 0,8 \quad \Rightarrow \quad \theta = 36,9^\circ$$

$$\boxed{\text{Svar: } 37^\circ}$$

5



$$\lambda = 488 \text{ nm}$$

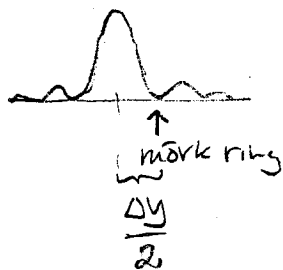
$$x = 3 \text{ m}$$

tomregeln: $R > \frac{a^2}{\lambda}$

Gissning: knappvärdsspets $\Rightarrow D \ll 1 \text{ mm}$

test: $R > \frac{(10^{-3})^2}{488 \cdot 10^{-9}} \approx 2 \text{ m}$

Alltså här i Fraunhofer diffraction!



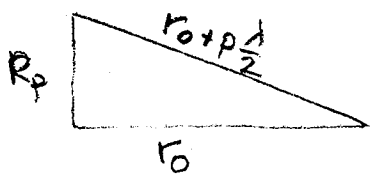
$$\Delta y = 10 \text{ mm}$$

$$\tan \theta \approx \sin \theta = 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad \text{cirkulär apertur}$$

$$\therefore \frac{\frac{\Delta y}{2}}{x} \approx 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

$$D = \frac{1,22 \lambda x}{\Delta y / 2} = \frac{1,22 \cdot 488 \cdot 10^{-9} \cdot 3,0}{10 \cdot 10^{-3} / 2} = 3,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Nära hålet är i Fresnel diffraction:



$$r_0^2 + p^2 = \left(r_0 + p \frac{\lambda}{2}\right)^2$$

$$\Rightarrow r_0 = \frac{p^2 - p^2 \frac{\lambda^2}{4}}{p \lambda}$$

der nu $R_p = \frac{D}{2}$

För första min: $p = 2 \Rightarrow r_0 = \frac{(D/2)^2 - 2^2 \frac{\lambda^2}{4}}{2 \cdot \lambda} = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Avståndet: $3,00 - 3,3 \cdot 10^{-2} = 2,97 \text{ m}$

Svar: $2,97 \text{ m}$