

Tentamen i Fotonik - 2016-08-18, kl. 08.00-13.00

FAFF25 – Fysik för C och D, Delkurs i Fotonik

FAFA60 – Fotonik för C och D

- **Tillåtna hjälpmedel:** Miniräknare, godkänd formelsamling (t ex TeFyMa), utdelat formelblad.
 - **OBS! Mobiltelefon** får ej finnas i fickan eller framme på bordet!
 - Börja varje ny uppgift på ett nytt blad och skriv bara på en sida av pappret.
 - Skriv anonymkod eller namn på varje blad och numrera sidorna i övre högra hörnet.
 - Lösningarna ska vara renskrivna och väl motiverade. Uppgifter utan svar ger inte full poäng!
 - Varje korrekt löst uppgift ger 3 poäng efter en helhetsbedömning. För godkänt krävs minst 12 poäng.
-

1. Här kommer först några inledande frågor.

- Vad är ljusets fart i vatten (brytningsindex 1,33) ?
- På vilket avstånd ska föremålet placeras om en positiv lins med brännvidden 10 cm ska ge upphov till en bild med förstoringen $M = -1$?
- Ljus infaller i luft, vinkelrätt mot ett glasfönster med brytningsindex 1,7. Hur stor del av ljuset transmitteras? Ta hänsyn till båda fönstertyorna.

2. En kameralins med brännvidd 5 cm och bländartal 4 är fokuserad på ett objekt 2 m bort.

- Vad är skärpedjupet ?
- Vad är det minsta avstånd som linsen kan upplösa 2 m bort? Du kan anta en våglängd mitt i det synliga området.

3. *Diskussionsuppgift.*

Vitt parallellt ljus träffar en konkav spegel. Kommer det blå eller det röda ljuset fokuseras närmast spegeln? Motivera ditt svar.

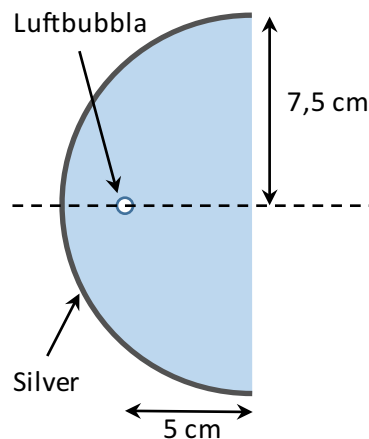
4. En optisk fiber har längden 200 m och kärnans diameter är 4 μm .

- Ljus med effekten 5 μW kopplas in i fibern och i andra änden mäts effekten 2 μW . Bortse från in- och utkopplingsförluster och bestäm fiberns dämpningskoefficient uttryckt i dB/km.
- Ljuset från änden av fibern bildar en ljusfläck med radien 1 cm på en skärm 10 cm bort. Vad är fiberns numeriska apertur?
- För vilka våglängder är den optiska fibern en singelmodfiber?

5. Grönt ljus med våglängden 546,1 nm belyser två spalter som var och en har bredden 0,100 mm. Ett interferensmönster observeras på en skärm. Första, andra och tredje ordningens interferensmaxima ($m = 1, 2, 3$) syns i interferensmönstret, men fjärde ordningens interferensmaximum ($m = 4$) saknas.

- Vad är avståndet mellan spalterna?
- Vad är intensiteten i andra ordningens interferensmaximum, relativt intensiteten i mönstrets centralmaximum?

6. Opolariserat ljus infaller i luft mot en vattenyta i en sådan vinkel att det reflekterade ljuset är fullständigt linjärpolariserat. Vatten har brytningsindex 1,33.
- Vad är infallsvinkeln mot vattenytan?
 - En del av ljuset bryts ner i vattnet och infaller mot ett glasblock med brytningsindex 1,50. Ljuset som reflekteras från glasytan är fullständigt linjärpolariserat. Vad är vinkeln mellan glasytan och vattenytan? Rita en figur som visar arrangemanget och ljusets polarisation i varje steg.
7. Ljus med kontinuerligt varierbar våglängd infaller normalt (vinkelrätt) mot ett tunt oljeskikt (brytningsindex 1,3) ovanpå en glasyta (brytningsindex 1,5). Total utsläckning av det reflekterade ljuset observeras vid våglängderna 525 nm och 675 nm i det synliga området. Bestäm oljeskiktets tjocklek !
8. Den krökta ytan på ett halvklot av glas är belagt med silver. En liten luftbubbla i glaset befinner sig på den optiska axeln, 5 cm från den plana ytan. Glaset har brytningsindex 1,5 och krökningsradien för den sfäriska ytan är 7,5 cm. Om man tittar in i den plana ytan, längs den optiska axeln, ser man två bilder av luftbubblan. Bestäm avståndet från den plana ytan till de två bilderna!



Uppgift 1

$$a) \quad n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,333} = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{Svar: } 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$b) \quad M = -\frac{b}{a} = -1 \Rightarrow a = b$$

$$\Rightarrow \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a} = \frac{2}{a} = \frac{1}{f} \Rightarrow a = 2f = 2 \cdot 10 = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Svar: } 20 \text{ cm}$$

$$c) \quad R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 = \left(\frac{1,7 - 1}{1,7 + 1} \right)^2 = 0,0672$$

$$T_{\text{tot}} = T^2 = (1 - R)^2 = 0,87$$

$$\text{Svar: } 87\%$$

Uppgift 2

$$f = 5 \text{ cm} \quad b_t = 4 \quad a = 2 \text{ m}$$

$$a) \quad s = \frac{a^2}{1000f} b_t = \frac{2^2}{1000 \cdot 0,05} \cdot 4 = 0,32 \text{ m}$$

$$\text{Svar: } 32 \text{ cm}$$

$$b) \quad \begin{array}{c} \text{Diagram showing a lens of diameter } D \text{ and focal length } f = 5 \text{ cm. A light ray enters at the top edge of the lens, passes through the focal point, and exits at a height } x \text{ on the right. The distance from the lens to the screen is } L = 2 \text{ m. The wavelength is } \lambda_0 = 550 \text{ nm. The angle of diffraction is } \theta. \end{array}$$

$$b_t = \frac{f}{D} \Rightarrow D = \frac{5}{4} = 1,25 \text{ cm}$$

$$D \sin \theta = 1,22 \lambda_0 \Rightarrow \theta = \arcsin \left(\frac{1,22 \cdot 550 \cdot 10^{-9}}{0,0125} \right) = 0,00308^\circ$$

$$x = L \tan \theta = 2 \cdot \tan 0,0032^\circ = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\text{Svar: } 0,11 \text{ mm}$$

Uppgift 3

Alla färger fokuseras i samma punkt.
Reflektionslagen är oberoende av våglängden.

Uppgift 4

$$L = 200 \text{ m}$$

$$d_k = 4 \text{ } \mu\text{m}$$

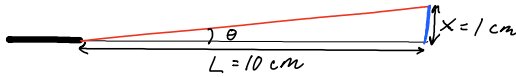
$$a) \quad P_{in} = 5 \text{ } \mu\text{W}$$

$$P_{ut} = 2 \text{ } \mu\text{W}$$

$$\alpha = -\frac{1}{L} 10 \log \left(\frac{P_{ut}}{P_{in}} \right) = -\frac{1}{0,2} 10 \log \left(\frac{2 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}} \right) = 19,9 \text{ dB/km}$$

$$\text{Svar: } \alpha = 19,9 \text{ dB/km}$$

b)



$$\tan \theta = \frac{x}{L} \Rightarrow \theta = \arctan \left(\frac{1}{10} \right) = 5,7^\circ$$

$$NA = \sin \theta = \sin 5,7^\circ = 0,10$$

$$\text{Svar: } NA = 0,10$$

$$c) \quad V = \frac{\pi d_k NA}{\lambda_0} < 2,405$$

$$\Rightarrow \lambda_0 > \frac{\pi \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,10}{2,405} = 520 \text{ nm}$$

$$\text{Svar: } \lambda_0 > 520 \text{ nm}$$

Uppgift 5

a) Endast fjärde ordningens interferensmax saknas
 \rightarrow överlappar med första bøjningsmin.

$$\begin{cases} b \sin \theta = \lambda_0 \\ d \sin \theta = 4\lambda_0 \end{cases} \Rightarrow d = 4b = 0,4 \text{ mm}$$

$$\text{Svar: } d = 0,4 \text{ mm}$$

b) Andra interferensmax

$$d \sin \theta = 2\lambda_0 \Rightarrow \sin \theta = \frac{2\lambda_0}{d} = \frac{\lambda_0}{2b}$$

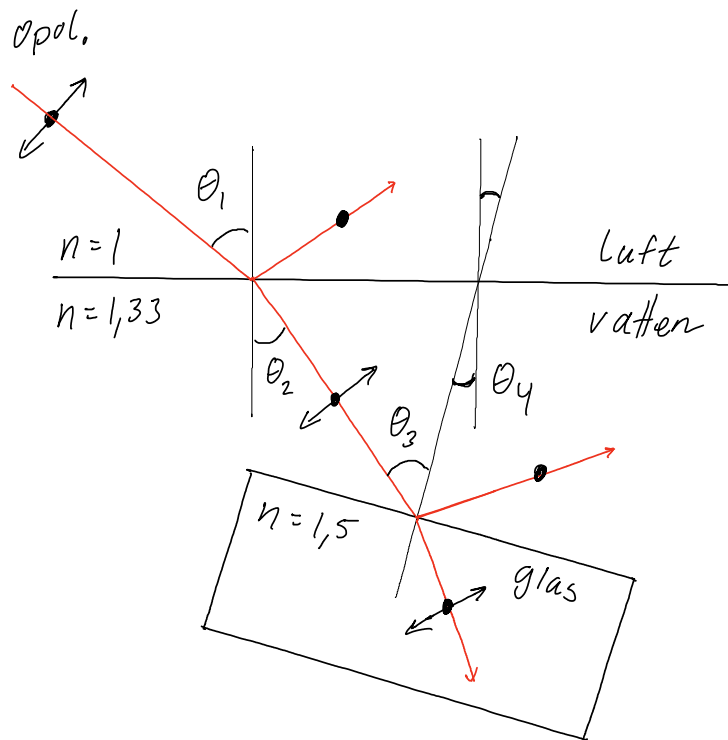
Intensitet pga bøjning

$$\beta = \frac{\pi b}{\lambda_0} \sin \theta = \frac{\pi b}{\lambda_0} \cdot \frac{\lambda_0}{2b} = \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 = \left(\frac{\sin(\frac{\pi}{2})}{\pi/2} \right)^2 = \frac{4}{\pi^2} = 0,405$$

$$\text{Svar: } I = 0,405 I_0$$

Uppgift 6



a) Brewstervinkel mellan luft och vatten:

$$\tan \theta_1 = \frac{1,33}{1} \Rightarrow \theta_1 = \arctan 1,33 = 53^\circ$$

$$\text{Svar: } \theta_1 = 53^\circ$$

b) Brytning luft \rightarrow vatten

$$\sin 53^\circ = 1,33 \sin \theta_2 \Rightarrow \theta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin 53^\circ}{1,33}\right) = 36,9^\circ$$

Brewster vatten \rightarrow glas

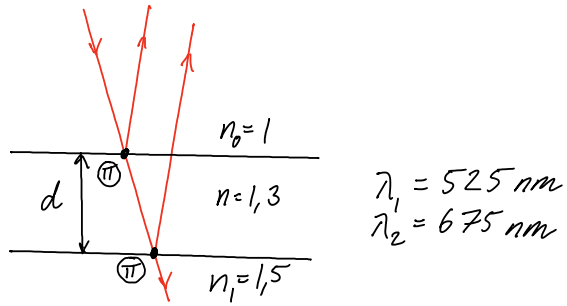
$$\tan \theta_3 = \frac{1,5}{1,33} \Rightarrow \theta_3 = \arctan\left(\frac{1,5}{1,33}\right) = 48,4^\circ$$

Vinkel mellan glasytan och vattenytan

$$\theta_4 = \theta_3 - \theta_2 = 48,4^\circ - 36,9^\circ = 11,5^\circ$$

$$\text{Svar: } 11,5^\circ$$

Uppgift 7



Destruktiv interferens för två våglängder

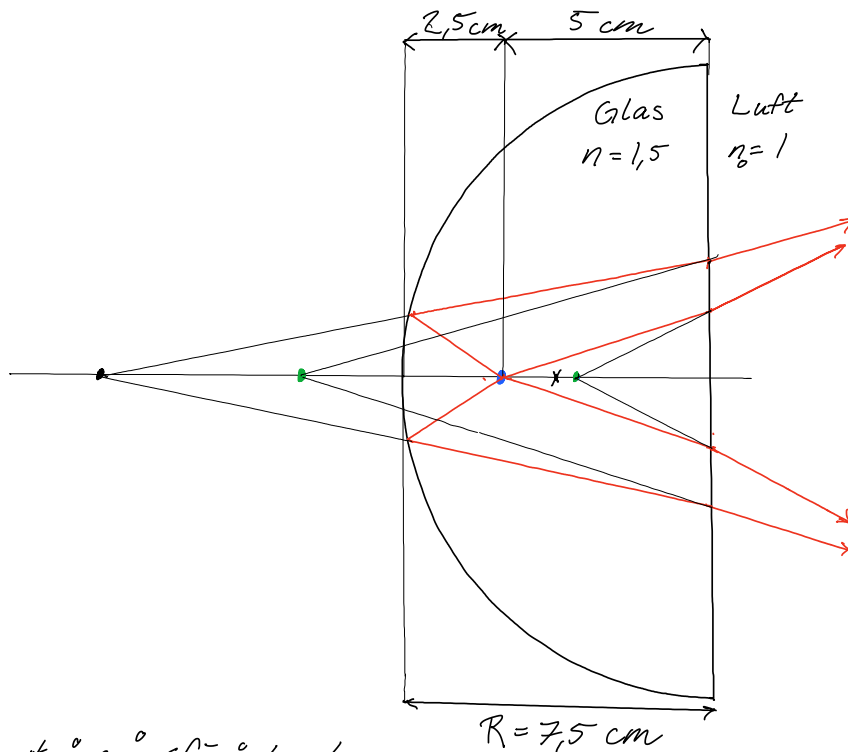
$$\begin{cases} 2nd = \lambda_1(m + \frac{1}{2}) \\ 2nd = \lambda_2(m + \frac{1}{2}) \end{cases} \Rightarrow (\lambda_2 - \lambda_1)m + \frac{\lambda_2}{2} - \frac{\lambda_1}{2} = 0$$

$$\Rightarrow m = \frac{3\lambda_1 - \lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} = \frac{3 \cdot 525 - 675}{2 \cdot (675 - 525)} = \frac{900}{300} = 3$$

$$\Rightarrow 2nd = \lambda_2(m + \frac{1}{2}) \Rightarrow d = \frac{3,5 \cdot 675 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 1,3} = 909 \text{ nm}$$

Svar: 909 nm

Uppgift 8



Brytning i sfärisk yta

$$\frac{n_1}{a} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Bild #1, pga brytning i den plana ytan

$$\begin{aligned} n_1 &= 1.5 & a &= 5 \text{ cm} \\ n_2 &= 1 & R &\rightarrow \infty \end{aligned} \Rightarrow \frac{1.5}{5} + \frac{1}{b} = 0 \Rightarrow \underline{b = -3.35 \text{ cm}}$$

Bild #2, pga reflektion i den krökta ytan samt brytning i den plana ytan.

Brännvidd krökt spegel:

$$f = -\frac{R}{2} = -\frac{-7.5}{2} = 3.75 \text{ cm}$$

I. Avbildning krökt spegel, $a_1 = 7.5 - 5 = 2.5 \text{ cm}$

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{2.5} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{3.75} \Rightarrow \underline{b_1 = -7.5 \text{ cm}}$$

II. Brytning plana ytan

$$n_1 = 1.5 \quad a_2 = 7.5 - b_1 = 15 \text{ cm}$$

$$n_2 = 1 \quad R \rightarrow \infty$$

$$\Rightarrow \frac{1.5}{15} + \frac{1}{b_2} = 0 \Rightarrow \underline{b_2 = -10 \text{ cm}}$$

Svar: 3.3 cm respektive 10 cm innanför den plana ytan