

## Tentamen i Fotonik - 2014-08-26, kl. 08.00-13.00

### FAFF25 - Fysik för C och D, Delkurs i Fotonik

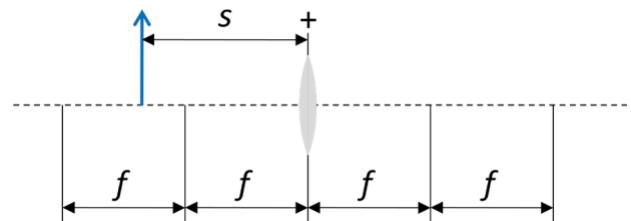
- **Tillåtna hjälpmedel:** Miniräknare, godkänd formelsamling (t ex TeFyMa), utdelat formelblad.
- **OBS! Mobiltelefon** får ej finnas i fickan eller framme på bordet!
- Börja varje ny uppgift på ett nytt blad och skriv bara på en sida av pappret.
- Skriv namn på varje blad och numrera sidorna i övre 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 blandade frågor.

- Hur stor skall vinkeln mellan två polaroider vara för att 3,0% av det infallande opolariserade ljuset ska transmitteras?
- En mobiltelefon sänder på frekvensen 900 MHz. Vad är mikrovågornas period och våglängd?
- Vilken är den längsta våglängd som en fotodiod tillverkad av kisel (Si) kan detektera? Bandgapet för Si vid rumstemperatur är 1,11 eV.

2. En positiv lens med brännvidden  $f$  används för att avbilda ett objekt enligt figuren nedan. För vilka objektavstånd  $s$  (uttryckt i  $f$ ) fås följande egenskaper hos bilden. Svara med ett värde eller ett intervall och gör en strålkonstruktion för vart och ett av fallen för att motivera ditt svar.

- Upp- och nervänd, förstorad, reell.
- Rättvänd, förstorad, virtuell.
- Upp- och nervänd, förminskad, reell.



3. *Diskussionsuppgift.*

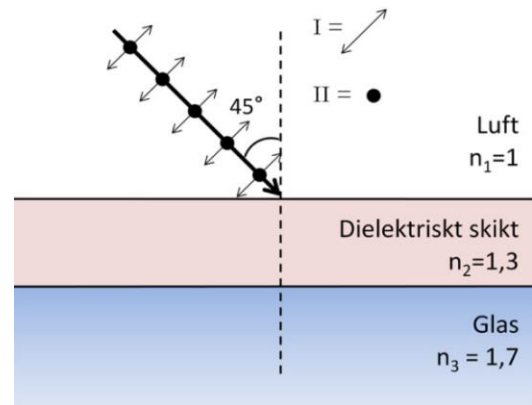
Varför får man inga interferensfransar i Youngs dubbelspaltförsök om avståndet mellan spaltöppningarna är mindre än en våglängd hos det ljus man använder?

4. En rundkolv (se bilden till höger) med diametern 10 cm används som vattenkaraff. På avståndet 23 cm ifrån centrum av kolven står ett tänt stearinljus. Var hamnar bilden av stearinljuset som kolven ger upphov till? Rita en figur och ange bildavståndet till kolvens centrum. Du kan försumma brytning i glaset och anta att vattnets brytningsindex är 1,33.



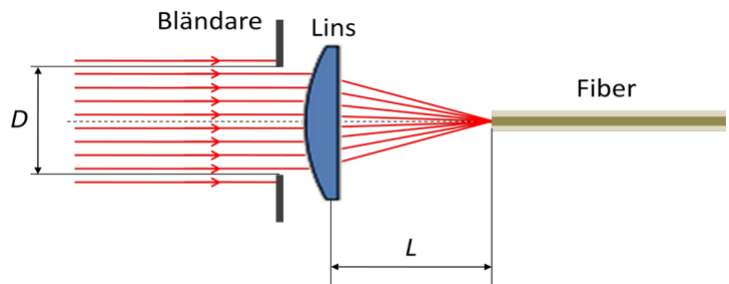
5. Ett transmissionsgitter har gitterkonstanten  $2,00 \mu\text{m}$ . Vitt ljus (400-700 nm) får infalla vinkelrätt mot gittret. I vilka vinkelområden (i förhållande till gitternormalen) innehåller det transmitterade ljuset mer än en våglängd?

6. Opolariserat ljus med våglängden 685 nm infaller mot en glasyta med en infallsvinkel av  $45^\circ$ . För att minska reflektionen beläggs ytan med ett tunt dielektriskt skikt (se bild till höger).



- Vilken är den minsta tjockleken som det dielektriska skiktet kan ha för att minimera reflektion?
- Vilken polarisation kommer att transmitteras bäst, I eller II? Motivera ditt svar.
- För en viss infallsvinkel kommer bara en av de båda polarisationerna att reflekteras i den första gränssytan medan den andra transmitteras till 100%. För vilken infallsvinkel sker detta?

7. Du vill använda en plankonvex lins tillverkad av Kronglas (BK7) till att koppla in laserljus med våglängden  $1,55 \mu\text{m}$  i en fiber med en kärna tillverkad av kvarts, enligt bilden nedan. Kärnans diameter är  $20 \mu\text{m}$ . Vid den aktuella våglängden är brytningsindex 1,500 för BK7 och 1,444 för kvarts. Linsen skall placeras på ett avstånd  $L=6 \text{ cm}$  från fiberändan och till din hjälp har du även en bländare med diametern  $D$  till att begränsa laserstrålens storlek på linsen.



- Vilken krökningsradie skall linsens första yta ha för att laserstrålens fokus skall hamna precis vid fiberändan?
  - För att allt ljus skall kopplas in i fibern gäller det att storleken på laserstrålen i linsens fokus är mindre än kärnans diameter. Om du vill anpassa laserstrålens storlek så att hela centralmaximat i diffraktionsmönstret faller inom fiberns kärna, vilken är då den minsta bländaröppning  $D$  du kan tillåta?
  - Det räcker inte bara att koppla in allt ljus i fibern, ljuset måste också propagera med så lite förluster som möjligt genom fibern, och alltså inte läcka ut i fiberns mantel. Om man använder den minsta bländaröppning du bestämde i uppgift b), vilket är det maximala brytningsindex man kan tillåta för materialet i fiberns mantel för att ljuset skall propagera med minimala förluster? Har du inte fått något resultat i b) kan du räkna med  $D=1 \text{ cm}$ .
  - I databladet ser du att dämpningen i fibern är  $4,2 \text{ dB/km}$ . Lasern avger en effekt på  $15 \text{ mW}$ . Hur stor effekt kommer kopplas ut ur en  $300 \text{ m}$  lång fiber? Du får försumma förluster i linsen men ta hänsyn till reflektionsförlusterna vid in- och utkoppling.
8. Från en parkerad bil betraktar föraren en joggare genom en av de yttre backspeglarna. Backspeglarna är konvex och dess krökningsradie är  $3,0 \text{ m}$ . Joggaren närmar sig bilen med  $4,0 \text{ m/s}$ . Hur fort verkar (bilden av) joggaren röra på sig när hon är
- $10 \text{ m}$  från spegeln?
  - $3,0 \text{ m}$  från spegeln?

Svar och kortfattade lösningar till tentamen  
i Fotonik för CD 2014-08-26

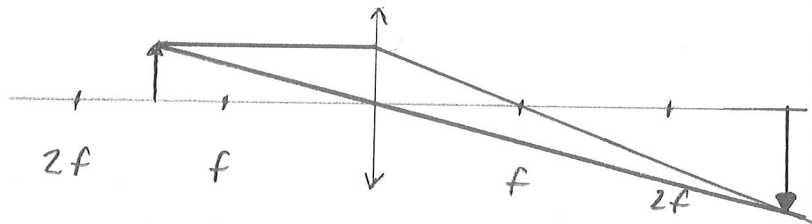
① a)  $I = I_0 \cos^2 \theta \Rightarrow \theta = \arccos \sqrt{\frac{I}{I_0}}$   
 $\Rightarrow \theta = \arccos \sqrt{0,03} = 80,0^\circ$   
Svar:  $80,0^\circ$

b)  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{900 \cdot 10^6} = 1,1 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 1,1 \text{ ns}$   
 $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{900 \cdot 10^6} = 0,33 \text{ m} = 33 \text{ cm}$   
Svar:  $T = 1,1 \text{ ns}$ ,  $\lambda = 33 \text{ cm}$

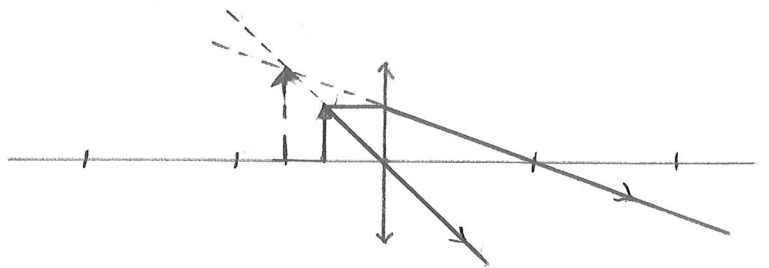
c)  $W_{\text{ut}} = 1,1 \text{ eV} = 1,1 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 1,78 \cdot 10^{-19} \text{ J}$   
 $\lambda_0 = \frac{hc}{W_{\text{ut}}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{1,78 \cdot 10^{-19}} = 1,12 \mu\text{m}$   
Svar:  $\lambda_{\text{max}} = 1,12 \mu\text{m}$

②

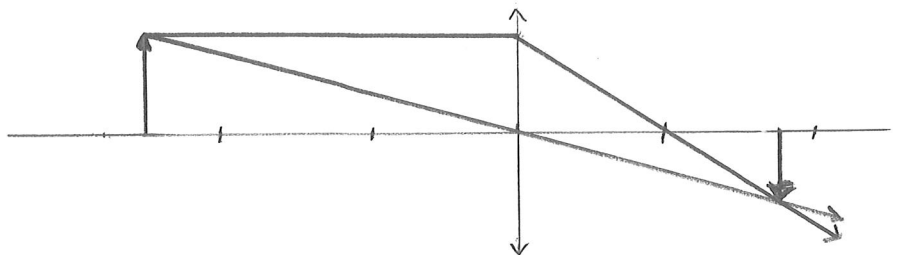
a)  $f < s < 2f$



b)  $0 < s < f$



c)  $s > 2f$



- ③ Interferens ger huvudmax då vägskillnaden är ett helt antal våglängder:

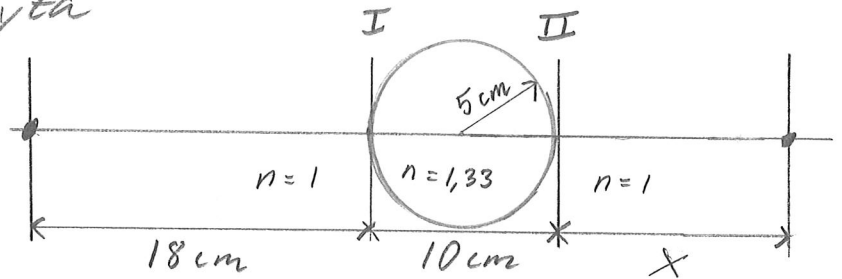
$$d \sin \theta = m \lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Vägskillnaden mellan spaltöppningarna blir som störst lika med  $d$  i  $90^\circ$  vinkel. Med  $d < \lambda$  uppkommer aldrig ens första maximum på varje sida om centraltoppen.

- ④ Brytning i sfärisk yta

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

Två ytor: I & II



I:  $a = 18 \text{ cm}$      $n_1 = 1,0$   
 $b = ?$      $n_2 = 1,33$   
 $R = 5 \text{ cm}$

$$\Rightarrow \frac{1}{18} + \frac{1,33}{b_1} = \frac{1,33 - 1}{5} \Rightarrow b_1 = 127,3 \text{ cm}$$

II:  $a = 10 - 127,3 = -117,3 \text{ cm}$      $n_1 = 1,33$   
 $b = ?$

$R = -5 \text{ cm}$      $n_2 = 1,0$

$$-\frac{1,33}{117,3} + \frac{1}{b_2} = \frac{1,0 - 1,33}{-5} \Rightarrow b_2 = \frac{1}{\frac{0,33}{5} + \frac{1,33}{117,3}} = 13 \text{ cm}$$

Svar: 18 cm från centrum.

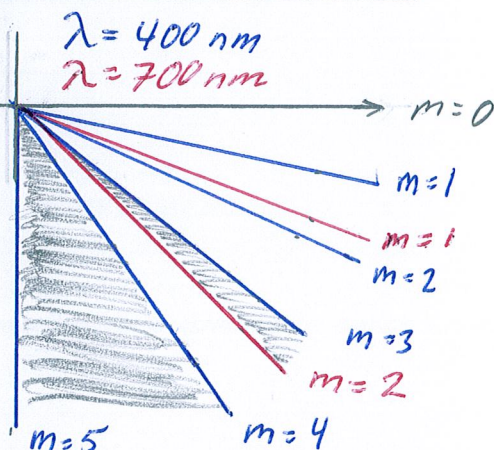
⑤ Transmissionsgitter :  $d \sin \alpha = m \lambda$ ,  $d = 2,0 \mu\text{m}$

$m$	0	1	2	3	4	5	6
400 nm	$0^\circ$	$11,5^\circ$	$23,6^\circ$	$36,9^\circ$	$53,1^\circ$	$90,0^\circ$	-
700 nm	$0^\circ$	$20,5^\circ$	$44,4^\circ$	-	-	-	-

Svar: Flera våglängder

då:

$$\begin{cases} \alpha = 0^\circ \\ 36,9^\circ < \alpha < 44,4^\circ \\ 53,1^\circ < \alpha \end{cases}$$



⑥ a)  $n_1 \sin \alpha_2 = n_2 \sin \alpha_2$

$$\Rightarrow \alpha_2 = \arcsin \left[ \frac{\sin 45^\circ}{1,3} \right] = 33^\circ$$

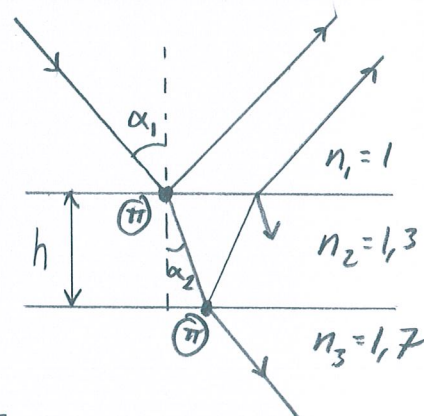
Destr. interferens i refl. då:

$$2n_2 h \cos \alpha_2 = (m + 0,5) \lambda$$

Minsta tjocklek då  $m = 0$

$$\Rightarrow h = \frac{\lambda}{4n_2 \cos \alpha_2} = \frac{685 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 1,3 \cos 33^\circ} = 157 \text{ nm}$$

Svar: 157 nm



$$b) R_I = \left( \frac{\tan(45^\circ - 33^\circ)}{\tan(45^\circ + 33^\circ)} \right)^2 = 0,0020, \quad R_{II} = \left( \frac{\sin(45^\circ - 33^\circ)}{\sin(45^\circ + 33^\circ)} \right)^2 = 0,045$$

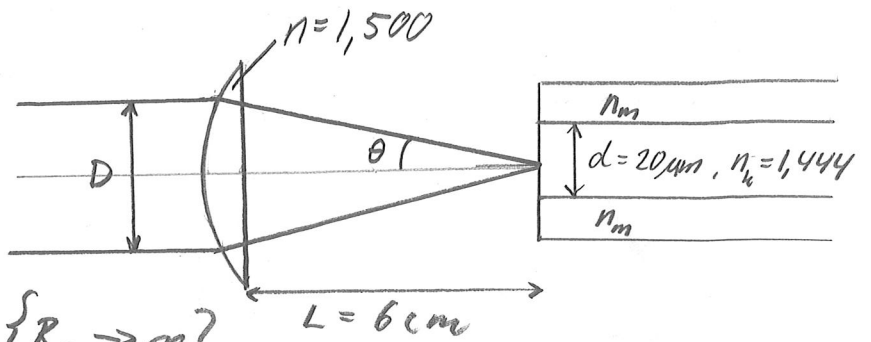
$R_I < R_{II} \Rightarrow$  I transmitteras bäst

c) Detta sker vid Brewstervinkeln, då allt ljus med polarisation I transmitteras.

$$\theta = \arctan \left( \frac{n_2}{n_1} \right) = \arctan \left( \frac{1,3}{1} \right) = 52,4^\circ$$

Svar: 52,4°

7) Vill ha  $f = 6 \text{ cm}$



a) Tunn lins:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[ \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right] = \{R_2 \rightarrow \infty\} = \frac{n-1}{R_1} \Rightarrow f = \frac{R_1}{n-1}$$

$$\Rightarrow R_1 = f(n-1) = 6(1,5-1) = 3,0 \text{ cm}$$

Svar:  $R_1 = 3,0 \text{ cm}$

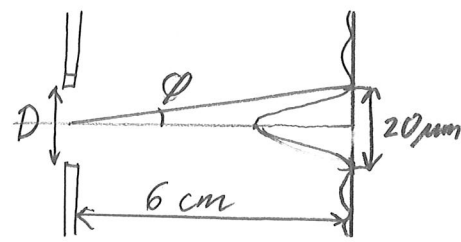
b)

$$\tan \varphi = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \varphi = 0,00955^\circ$$

Böjning, cirkulär öppning, första min

$$D \sin \varphi = 1,22 \lambda \Rightarrow D = \frac{1,22 \cdot 1,55 \cdot 10^{-6}}{\sin 0,00955^\circ} = 0,0113 \text{ m}$$

Svar:  $11,3 \text{ mm}$



c)

$$\tan \theta = \frac{D}{2L} \Rightarrow \theta = \arctan \left[ \frac{0,0113}{2 \cdot 0,06} \right] = 5,4^\circ$$

$$NA = \sin \theta = \sqrt{n_k^2 - n_m^2} \Rightarrow n_m^2 = n_k^2 - \sin^2 \theta$$

$$\Rightarrow n_m = \sqrt{1,444^2 - \sin^2(5,4^\circ)} = 1,441$$

Svar:  $n_m = 1,441$

d) Reflektionsförlust:  $R = \left( \frac{n_k - 1}{n_k + 1} \right)^2 = \left( \frac{1,444 - 1}{1,444 + 1} \right)^2 = 0,033$

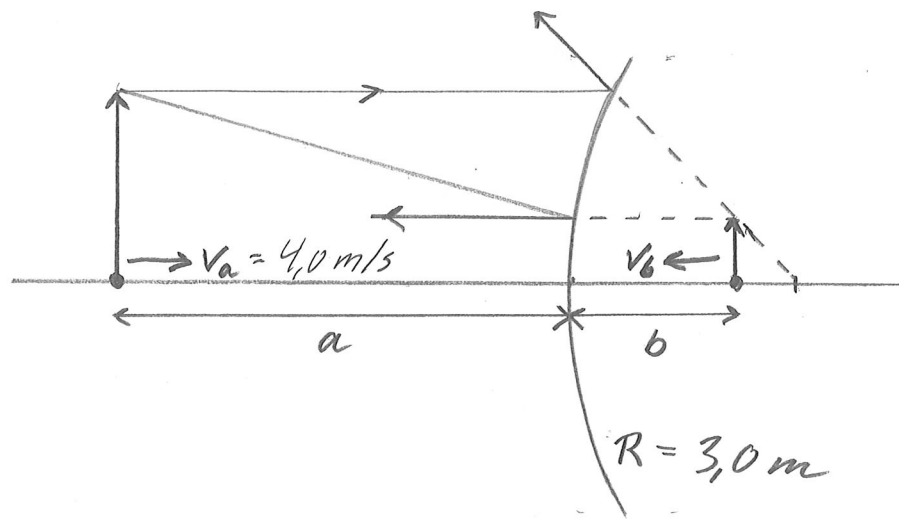
Transmission vid in- och utkoppling:  $T = 1 - R = 0,967$

Dämpning:  $G = 10^{-\frac{\alpha L}{10}} = 10^{-\frac{4,2 \cdot 0,3}{10}} = 0,748$

$$P_{ut} = T^2 G P_{in} = 0,967^2 \cdot 0,748 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 10,5 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

Svar:  $P_{ut} = 10,5 \text{ mW}$

8



Brännvidden:  $f = -\frac{R}{2} = -\frac{3,0}{2} = -1,5 \text{ m}$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \Rightarrow b = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{a}} = \frac{af}{a-f}$$

Derivera m.a.p tiden  $t$

$$\begin{aligned} v_b &= \frac{db}{dt} = \frac{d}{dt} \left[ \frac{af}{a-f} \right] = \frac{f}{a-f} \cdot \frac{da}{dt} + \frac{af}{(a-f)^2} \cdot (-1) \frac{da}{dt} \\ &= \frac{da}{dt} \cdot \frac{f(a-f) - af}{(a-f)^2} = - \left[ \frac{f}{a-f} \right]^2 \frac{da}{dt} = - \left( \frac{f}{a-f} \right)^2 v_a \\ &= - \frac{v_a}{\left( \frac{a}{f} - 1 \right)^2} \end{aligned}$$

a)  $\begin{cases} a = 10 \text{ m} \\ f = -1,5 \text{ m} \\ v_a = 4,0 \text{ m/s} \end{cases} \Rightarrow v_b = - \frac{4,0}{\left( -\frac{10}{1,5} - 1 \right)^2} = -0,068 \text{ m/s}$

Svar: 6,8 cm/s

b)  $a = 3,0 \text{ m} \Rightarrow v_b = - \frac{4}{\left( -\frac{3}{1,5} - 1 \right)^2} = -0,44 \text{ m/s}$

Svar: 44 cm/s