

Tentamen i Fotonik - 2015-05-04, kl. 14.00-19.00

FAFF25 - Fysik för C och D, Delkurs i Fotonik

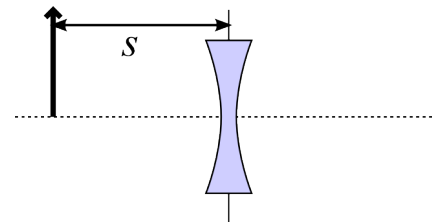
- **Tillåtna hjälpmedel:** Miniräknare, godkänd formelsamling (t ex TeFyMa), utdelat formelblad.
- **OBS! Mobiltelefon** får ej finnas i fickan eller framme på bordet!
- Börja varje ny uppgift på ett nytt blad och skriv bara på en sida av pappret.
- Skriv namn på varje blad och numrera sidorna i övre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

- Opolariserat ljus infaller mot en polarisator. Hur stor andel av ljuset transmittteras?
- En fotodiod tillverkad av indium galliumarsenid (InGaAs) har ett bandgap på 0,75 eV. Vad är den längsta våglängd som kan detekteras?
- En mobiltelefonantenn avger effekten 150 mW likformigt i alla riktningar. Vad blir amplituden på det elektriska fältet vid örat, 1 cm från antennen?

2. Gränsvinkeln för totalreflektion i ett rättblock av plast är 60° när rättblocket är helt omgivet av vatten (brytningsindex för plasten är högre än brytningsindex för vatten). Hur stor är Brewstervinkeln då ljus infaller (i luft) mot rättblocket? Rita figurer som tydligt visar strålgången i de två fallen. Vatten har brytningsindex 1,33.

3. En negativ lins med brännvidden $f (< 0)$ används för att avbilda ett objekt enligt figuren. Objektavståndet väljs så att storleken hos den erhållna bilden blir $1/3$ av storleken hos objektet.

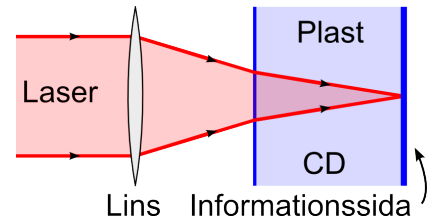


- Hur stort är objektavståndet s uttryckt i $|f|$?
- Rita en strålkonstruktion för det aktuella fallet.
- Är bilden i detta fall reell eller virtuell?
- Är bilden rättvänd eller felvänd?
- Om du på c) svarat virtuell (reell), går det att placera objektet så att bilden istället blir reell (virtuell)?
- Om du på d) svarat rättvänd (felvänd), går det att placera objektet så att bilden istället blir felvänd (rättvänd)?

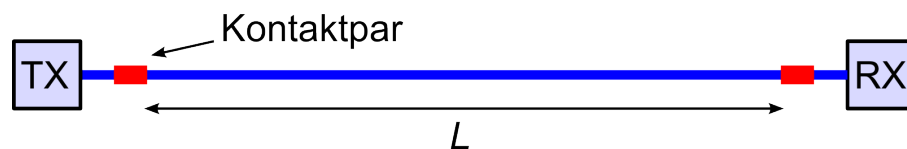
4. Dieselolja är en ofärgad vätska med brytningsindex 1,50. Några droppar dieselolja spills ut på en vattenyta. När man tittar rakt uppifrån (längs med ytans normal) lyser oljeskiktet blått.

- Bestäm oljeskiktets tjocklek. Gör beräkningen för den blåa våglängden 450 nm och anta att skiktet är så tunt som möjligt.
- Utnyttja skiktjockleken från a) och bestäm den längsta våglängd som ger upphov till konstruktiv interferens i transmittat ljus.

5. I en CD-skiva är plastskiktet 1,20 mm tjockt och har brytningsindex 1,56. Informationen på CD-skivans ovansida läses av med laserljus med våglängden 780 nm.



- a) I en CD-pickup infaller parallellt laserljus mot en tunn lins som fokuserar ljuset på CD-skivans ovansida. Linsen sitter 2,00 mm från skivan. Vilken brännvidd har linsen?
- b) I CD-skivan får plastmaterialet som laserljuset ska passera inte vara (alltför) dubbelbrytande. Den maximala skillnaden i optisk gångväg mellan två vinkelräta polarisationsriktningar brukar sättas till 100 nm. Hur stor brytningsindexskillnad motsvarar det?
6. *Diskussionsuppgift.*
- a) Det finns HeNe-lasrar som avger rött, orange, gult eller grönt ljus. Vad är det som avgör vilken färg som lämnar en HeNe-laser?
- b) Om en HeNe-laser förses med speglar som reflekterar hela det synliga området kommer det då ut flera färger ur lasern? Motivera ditt svar.
7. Ett fiberoptiskt system för enkelriktad kommunikation består av en singelmodfiber med längden L , en sändare (TX), och en mottagare (RX). Komponenterna ansluts med fiberoptiska kontakter. Specifikationerna för de olika komponenterna anges i tabellen.
- a) Vilken är den maximala längd L fibern kan ha om man vill vara säker på att få tillräckligt med signal till mottagaren? Räkna på värstafallet och tillåt reparationer av singelmodfibern med 5 mekaniska skarvar som var och en dämpar 0,1 dB. Inkludera också en extra marginal på 3 dB.
- b) För den fiberlängd som bestämdes i uppgift a), kontrollera om systemet klarar av att hantera signalen i bästafallet, dvs. vid minimala förluster. Ange specifikt vad effekten hos mottagaren blir i detta fall. Har du inte fått något svar i a) kan du räkna med $L=40$ km.
- c) För den fiberlängd som bestämdes i a), vad blir systemets totala bandbredd?



Komponent	Storhet	Min.	Typ.	Max.	Enhet
Sändare (TX)	Uteffekt	-8		-1	dBm
	Våglängd		1310		nm
	Spektral bredd		5		nm
	Stigtid		2		ns
Mottagare (RX)	Ineffekt	-24		-11	dBm
	Stigtid		1		ns
Singelmodfiber	Dämpning	0,26		0,30	dB/km
	Kromatisk dispersion		20		ps/nm·km
Kontaktpar	Kopplingsförlust	0,4		0,7	dB

8. För att få riktverkan i ett trådlöst nätverk används i moderna routrar flera antenner som kan sända med bestämd fas i förhållande till varandra. Fyra långa raka sändare med frekvensen 5,0 GHz placeras ut längs en rät linje med avståndet 3,0 cm mellan sig. Rita en tydlig figur där du definierar dina vinklar och anta till att börja med att alla antennerna svänger i fas.



- a) I vilka riktningar får den utsända strålningen ett huvudmax?
- b) I vilka riktningar blir den utsända strålningen noll?
- c) Sändarens riktverkan kan kontrolleras genom att fördröja den elektriska signalen till antennerna och därigenom justera fasskillnaden $\Delta\varphi$ mellan intilliggande antenner. Anta att fasskiftet för sändare k är $\varphi_k = (k-1)\Delta\varphi$, där $k=1,2,3,4$. I vilken riktning får den utsända strålningen ett huvudmax då $\Delta\varphi = \pi/2$?

Svar och kortfattade lösningar
Tentamen i Fotonik 2015-05-04

①

a) Svar: 50%

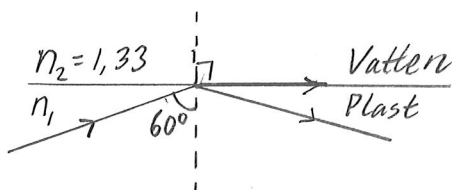
$$b) \lambda_{\text{gräns}} = \frac{hc}{W} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,75 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}} = \underline{1,65 \mu\text{m}}$$

$$c) I = \frac{P}{A} = \frac{0,150}{4\pi \cdot 0,01^2} = 119 \text{ W/m}^2$$

$$E = \sqrt{2I \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}} = \sqrt{2 \cdot 119 \sqrt{\frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{8,85 \cdot 10^{-12}}}} = \underline{300 \text{ V/m}}$$

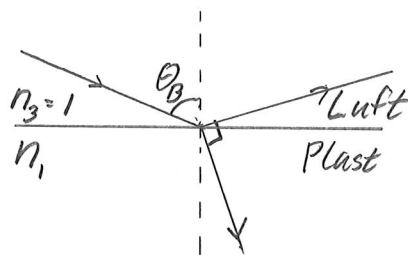
②

Totalreflektion



$$n_1 \sin 60^\circ = 1,33 \sin 90^\circ = 1,33$$
$$\Rightarrow n_1 = \frac{1,33}{\sin 60^\circ} = 1,54$$

Brewstervinkel



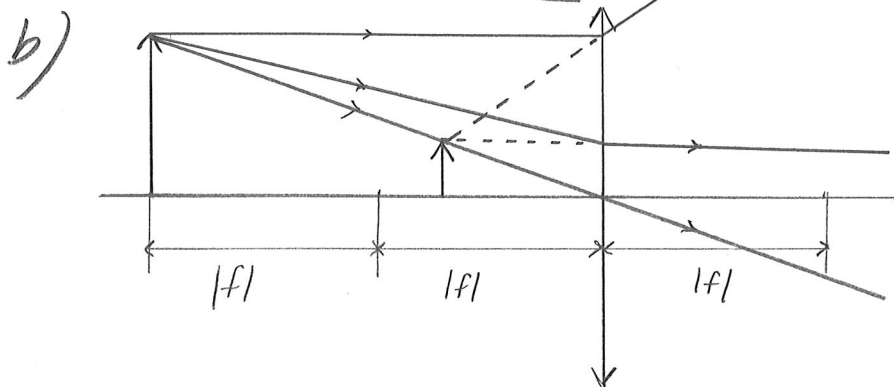
$$\tan \theta_B = \frac{n_1}{n_3} = 1,54$$

$$\theta_B = \arctan 1,54 = 57^\circ$$

Svar: $\theta_B = 57^\circ$

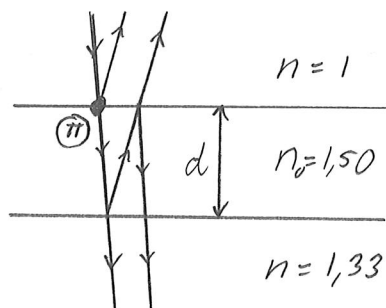
③ a) $\begin{cases} \frac{1}{s} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} & (f < 0) \\ M = \frac{y_b}{y_s} = -\frac{b}{s} = \frac{1}{3} \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{s} \left[1 - \frac{1}{M} \right] = \frac{1}{f} \Rightarrow$
 $\Rightarrow s = f[1 - 3] = -2f = 2|f|$

Svar: $s = 2|f|$



- c) Virtuell e) Nej
d) Rättvänd f) Nej

④



a) Konstruktiv interferens i reflektion då:

$$2n_0d = (m + 0,5)\lambda_0 \Rightarrow d = \frac{m + 0,5}{2n_0} \lambda_0$$

Tunnast då $m = 0 \Rightarrow d = \frac{450 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 1,50} = \underline{75 \text{ nm}}$

Svar: $d = 75 \text{ nm}$

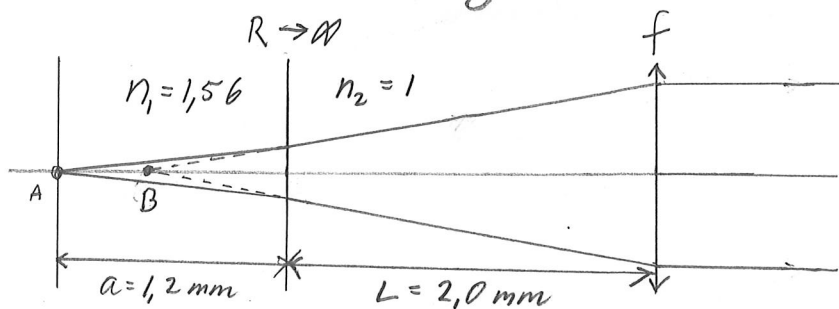
b) Konstruktiv interferens i transmission då:

$$2n_0d = m\lambda_0 \Rightarrow \lambda_0 = \frac{2n_0d}{m}$$

Längst då $m = 1 \Rightarrow \lambda_0 = \frac{2 \cdot 1,50 \cdot 75 \cdot 10^{-9}}{1} = \underline{225 \text{ nm}}$

Svar: $\lambda_0 = 225 \text{ nm}$ (UV, ej synlig)

⑤ a) Räkna "baklänges":



$$\frac{n_1}{a} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{R} \Rightarrow \frac{1,56}{1,20} + \frac{1}{b} = 0 \Rightarrow b = -0,77 \text{ mm}$$

$$f = L - b = 2,0 + 0,77 = 2,77 \text{ mm}$$

Svar: $f = 2,77 \text{ mm}$

b) Optisk vägskillnad: $\Delta x = 2 \text{ nm}$

$$\Rightarrow \Delta n = \frac{\Delta x}{2d} = \frac{100 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}} = 4,2 \cdot 10^{-5}$$

Svar: $\Delta n = 4,2 \cdot 10^{-5}$

⑥ a) I en HeNe-laser finns flera atomära övergångar som ger ljus med flera olika färger. Vilken färg som lämnar lasern bestäms av återkopplingen, dvs speglarna. I en HeNe-laser används dielektriska speglar. Spegelarna har hög reflektans (runt 99%) för den våglängd som lasern ska avge men betydligt mindre reflektans för andra våglängder.

b) Om man tittar på ljuset från HeNe-laserns urladdningsrör (utan att speglarna är ditsatta) har inte de olika spektrallinjerna samma intensitet. Den övergång som ger upphov till starkast intensitet blir med återkoppling (dvs med speglar) ännu starkare och kommer helt att dominera det ljus som lämnar lasern.

⑦ a) Maximala förluster

2 kontakter: $2 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ dB}$

Fiber: $0,3 \cdot L \text{ dB}$

5 reparationer: $5 \cdot 0,1 = 0,5 \text{ dB}$

Säkerhetsmarginal: 3 dB

Sändare minst: -8 dBm

Mottagare minst: -24 dBm

$$-8 - 1,4 - 0,3L - 0,5 - 3 > -24$$

$$\Rightarrow 0,3L < 15,1 \Rightarrow L < 37 \text{ km}$$

Svar: $L < 37 \text{ km}$

b) Bästafallet

2 kontakter: $2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ dB}$ Sändare max: -1 dBm

Fiber: $0,26 \cdot 37 = 9,6 \text{ dB}$ Mottagare max: -11 dBm

Effekt vid mottagaren: $-1 - 0,8 - 9,6 = -11,4 \text{ dBm}$

Svar: $P_{RX} = -11,4 \text{ dBm}$ vilket är ok ($< -11 \text{ dBm}$)

c) $L = 37 \text{ km}$ $D = 20 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ $\Delta\lambda = 5 \text{ nm}$

$$\tau_{\text{disp}} = D \Delta\lambda L = 20 \cdot 5 \cdot 37 = 3700 \text{ ps} = 3,7 \text{ ns}$$

$$f_{\text{BW, fiber}} = \frac{0,44}{\tau_{\text{disp}}} = 119 \text{ MHz}$$

$$t_{\text{r, fiber}} = \frac{0,35}{f_{\text{BW, fiber}}} = 2,94 \text{ ns}$$

$$t_{\text{r, TX}} = 2 \text{ ns} \quad t_{\text{r, RX}} = 1 \text{ ns}$$

$$t_{\text{r, sys}} = \sqrt{2^2 + 1^2 + 2,94^2} = 3,7 \text{ ns}$$

$$f_{\text{BW, sys}} = \frac{0,35}{3,7 \cdot 10^{-9}} = 94,7 \text{ MHz}$$

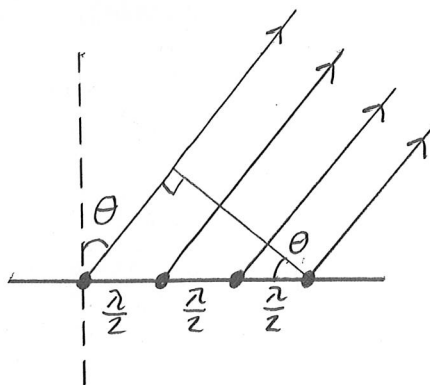
Svar: 95 MHz

⑧

$$f = 5 \text{ GHz}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 6 \text{ cm}$$

$$d = 3 \text{ cm} = \frac{\lambda}{2}$$



a) Huvudmax då $d \sin \theta = m\lambda$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

$$\Rightarrow \frac{\lambda}{2} \sin \theta = m\lambda \Rightarrow \sin \theta = 2m \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = 0 \Rightarrow \sin \theta = 0 \Rightarrow \theta = \begin{cases} 0^\circ \\ 180^\circ \end{cases}$$

Svar: Huvudmax endast rakt framåt och rakt bakåt, $\theta = (0^\circ, 180^\circ)$

b) $I = I_0 \left(\frac{\sin N\gamma}{\gamma} \right)^2$ $\gamma = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$

Minimum då $\sin N\gamma = 0$ och $\gamma \neq 0$ ($\Rightarrow I = 0$)

$$\Rightarrow N\gamma = \pi \cdot m, \quad m = \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$\Rightarrow \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta = \frac{\pi m}{N} \Rightarrow \sin \theta = \frac{m\lambda}{Nd} = \frac{m\lambda}{N\lambda} \cdot 2 = \frac{2m}{N}$$

$$N = 4 \Rightarrow \sin \theta = \frac{m}{2}$$

m	-2	-1	1	2
θ	-90°	-30° -150°	30° 150°	90°

Svar: Minimum då $\theta = \pm 30^\circ, \pm 90^\circ, \pm 150^\circ$

c) Två intilliggande sändare interfererar konstruktivt då skillnaden i optisk väg kompenseras av skillnaden i fas.

$$d \sin \theta = \Delta\varphi \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \Rightarrow \sin \theta = \frac{\Delta\varphi \lambda}{2\pi d} = \frac{\frac{\pi}{2} \lambda}{2\pi \cdot \frac{\lambda}{2}} = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \theta = 30^\circ, 150^\circ$$

Svar: Huvudmax då $\theta = 30^\circ$ och 150° .