

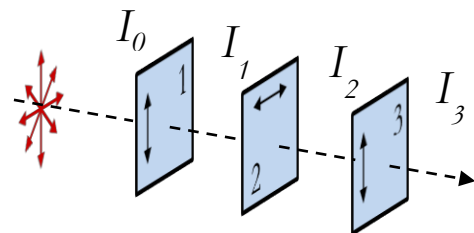
## Tentamen i Fotonik - 2014-03-14, kl. 14.00-19.00

### 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 inledande frågor.

- Superpositionsprincipen är central i kursen och handlar om hur vågor adderas, men vad är det egentligen som adderas?
  - Amplituderna
  - Kvadraten på amplituderna
  - Intensiteterna
- En konvex buktig spegel används ibland för låta trafikanterna se runt ett hörn. Är bilden i spegeln till höger reell eller virtuell? Motivera ditt svar!
- En opolariserad ljustråle med intensiteten  $I_0$  faller in mot polarisator 1 i figuren till höger. Hur stor är intensiteten efter första, andra respektive tredje polarisatorn uttryckt i  $I_0$ ? Polarisatorernas genomsläppsriktningar är markerade i figuren.



2. *Diskussionsuppgift.*

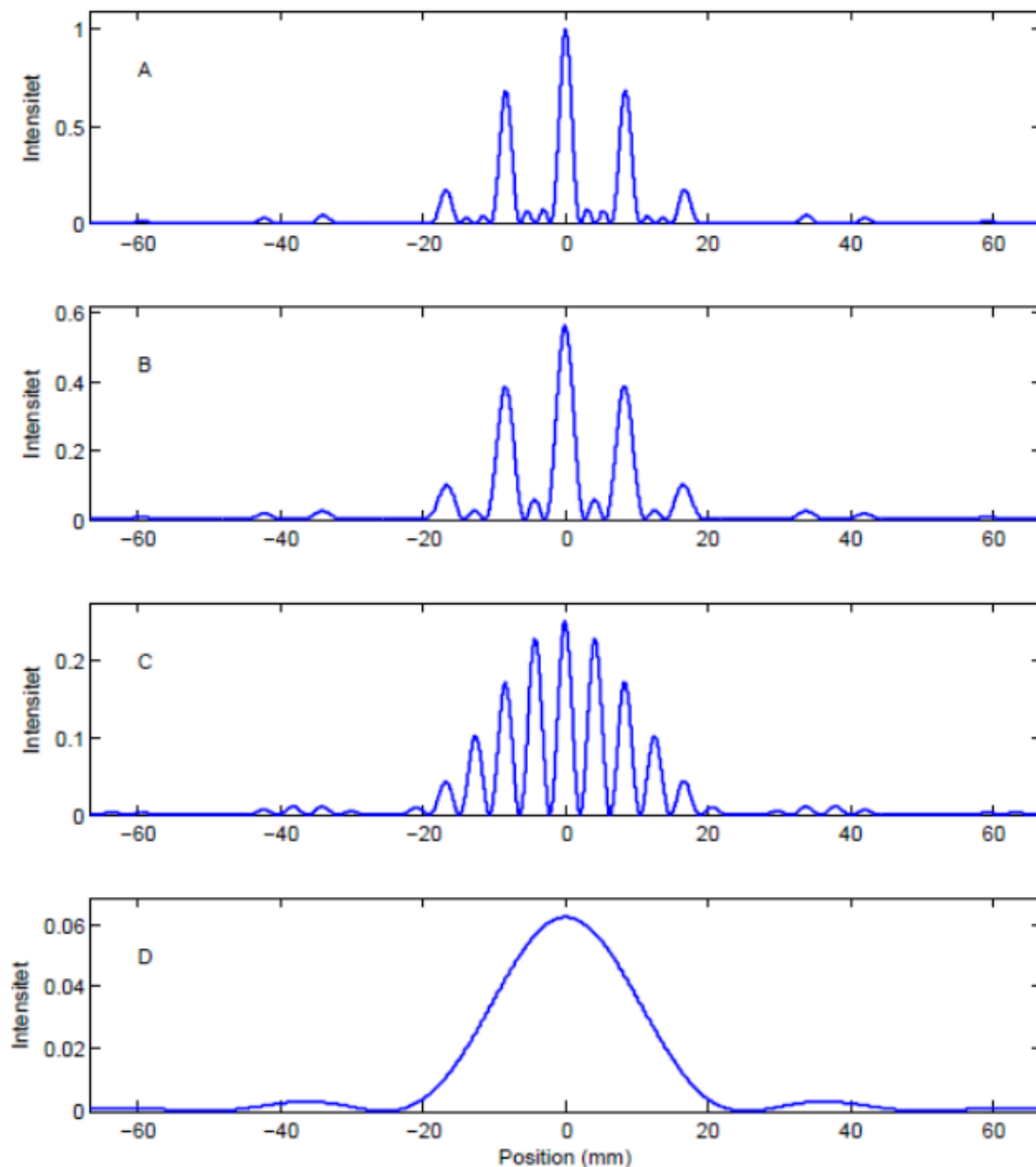
Titta på fotot av poolen. Varför ser de rektangulära kakelplattorna ut att vara oregelbundna och varför finns det ljusa stråk i botten på poolen? Rita en bild och förklara!



- En blå lysdiod finns 28 cm till vänster om en lins L1 med brännvidden +12 cm. En lins L2 med okänd brännvidd placeras 11 cm till höger om L1 och ger då en skarp bild av lysdioden 15 cm till höger om L2. Båda linserna är tunna.
  - Vilken brännvidd har linsen L2?
  - Beräkna avbildningens lateralförstoring. Är bilden av lysdioden rättvänd eller uppochner?

4. Under en laboration i ljusets interferens och diffraktion belyses ett spaltsystem med ett okänt antal lika breda spalter placerade med samma inbördes avstånd med en HeNe-laser ( $\lambda=633$  nm). På en skärm placerad på ett avstånd av 2 m från spalten registrerar ni diffraktionsmönstret A i figuren nedan. Mät i graferna och lös uppgifterna nedan. Om ni inte har någon linjal, går det bra att använda ett rutat papper och uppskatta. Rita och förklara så att det framgår vilka avstånd det är ni har mätt!

- Hur många spalter har spaltsystemet? Rita en figur och numrera spalterna från 1,2,... från vänster till höger.
- Vad är avståndet mellan spalterna, dvs. mellan två närliggande spalter?
- Då en av spalterna blockeras framträder diffraktionsmönster B. Vilken av spalterna har blockerats?
- Då ytterligare en av spalterna blockeras framträder diffraktionsmönster C. Vilken av spalterna har blockerats förutom den som redan blockerades i c)?
- Då ytterligare en av spalterna blockeras framträder diffraktionsmönster D. Vad är spaltbredden?



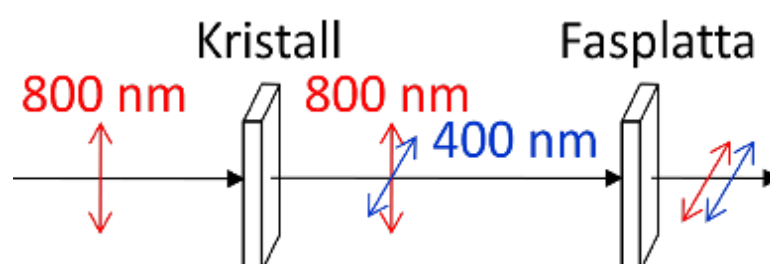
5. Två satelliter, som befinner sig 900 km ovanför jordytan, passerar varandra på 42 km:s avstånd. Båda satelliterna sänder med bärfrekvensen 7,50 GHz. Vilken är den minsta diameter som en parabolantenn på jorden kan ha om man vill skilja de båda satelliternas sändningar åt?
6. En plan yta med brytningsindex 1,70 antireflexbehandlas med ett 315 nm tjock skikt magnesiumfluorid,  $\text{MgF}_2$ , med brytningsindex 1,35.
- Ljus infaller vinkelrätt mot ytan, för vilken synlig våglängd är antireflexbehandlingen gjord? Du behöver bara ta hänsyn till en reflex i vardera ytan. Rita en figur och markera eventuella fasförskjutningar.
  - Om ljuset istället infaller med  $15^\circ$  mot normalen kommer antireflexbehandlingen att fungera som bäst för en annan synlig våglängd. Kommer våglängden som nu reflekteras minst att vara kortare eller längre än svaret i uppgift a)? Rita en figur och motivera ditt svar.

7. I ett experiment vid avdelningen för Atomfysik med pulserade Ti:Safir-lasrar (med pulslängder på några tiotals femtosekunder) har vi behov av att inte bara använda laserns grundvåglängd som är 800 nm, utan vi behöver även generera en frekvensdubblad puls

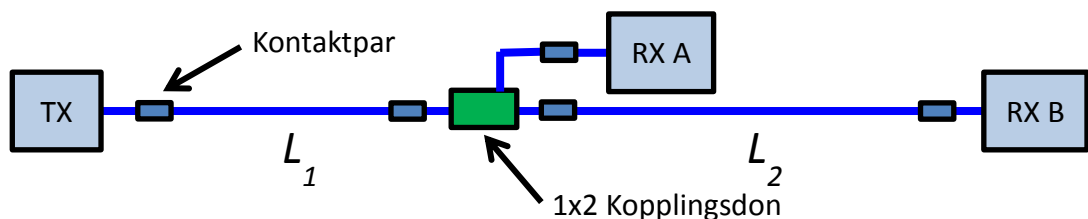
Kvarts ( $\text{SiO}_2$ )	$n_o$	$n_e$
$\lambda=400$ nm	1,5577	1,5673
$\lambda=800$ nm	1,5383	1,5472

med våglängden 400 nm och skicka in båda dessa pulser till vårt experiment. Standardsättet för att generera dubbla frekvensen är att skicka grundfrekvensen genom en så kallad frekvensdubblingskristall enligt figuren nedan. Det enda problemet med detta tillvägagångssätt är att det frekvensdubblade ljuset inte genereras med samma polarisation som grundfrekvensen, utan har en polarisationsriktning som är vinkelrät mot grundfrekvensens polarisation. Experimentet kräver att båda pulserna har samma polarisationsriktning och vi placerar därför in en fasplatta av kvarts ( $\text{SiO}_2$ ) efter dubblingskristallen för att med denna rotera polarisationen hos grundfrekvensen  $90^\circ$ . Pulserna skickas in normalt mot fasplattans plan, och denna är slipad så att den optiska axeln ligger i plattans plan. Brytningsindexdata för kvarts vid de aktuella våglängderna ges i tabellen.

- Vilken vinkel skall fasplattans optiska axel ha relativt polarisationsriktningen hos grundfrekvensen?
- Vilken är den minsta tjocklek fasplattan kan ha om man vill att den skall fungera som en halvvågspatta för grundfrekvensen?
- Problemet med detta tillvägagångssätt är att fasplattan ju också är dubbelbrytande för den frekvensdubblade pulsen, dvs. vid 400 nm. Det gäller därför att välja en fasplatta som är en halvvågspatta för 800 nm men som lämnar polarisationen hos ljus med en våglängd på 400 nm opåverkad. I katalogen från tillverkaren ser du att de som standard har fasplattor med tjocklekarna 1,393 mm, 2,292 mm och 3,191 mm. Vilken av dessa är lämpligast i detta fall? Motivera ditt svar!



8. Ett fiberoptiskt system består av en sändare, två multimodfibrer med längderna  $L_1$  och  $L_2$ , ett kopplingsdon samt två mottagare. Funktionen hos kopplingsdonet är att den delar av ca 50% av signalen som då kan registreras av mottagare A. Kopplingsdon, sändare och mottagare ansluts med fiberoptiska kontakter. Specifikationerna för de olika komponenterna anges i tabellen.
- Vad är den kortaste längd man kan tillåta för den första fibern om man vill vara säker på att inte mätta mottagare A?
  - För den fiberlängd  $L_1$  som bestämdes i a), vilken är den maximala längd  $L_2$  den andra fibern kan ha för att vara säker på att få tillräckligt med signal till mottagare B? Räkna på värsta fallet och tillåt fiberreparationer med totalt 4 mekaniska skarvar som var och en dämpar 0,1 dB. Inkludera också en extra säkerhetsmarginal på 3 dB. Har du inte fått något svar i uppgift a) kan du räkna med  $L_1 = 1$  km.
  - För de fiberlängder bestämdes i a) och b), vad är systemets totala bandbredd? Har du inte fått något svar i uppgift b) kan du räkna med  $L_1 = 1$  km och  $L_2 = 3$  km.

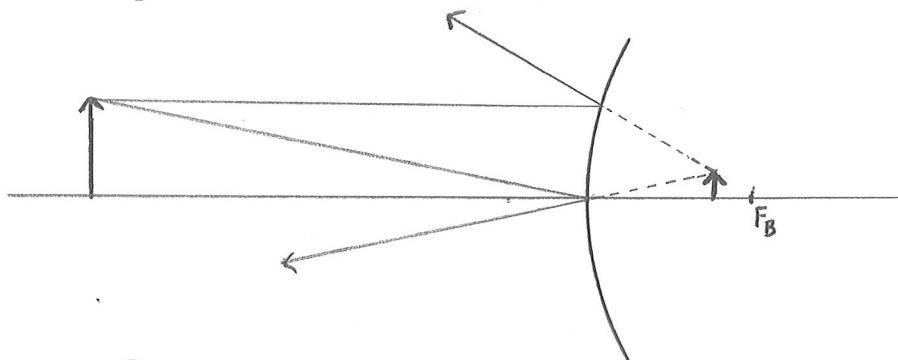


<i>Komponent</i>	<i>Storhet</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Typ.</i>	<i>Enhet</i>
<b>Sändare (TX)</b>	Uteffekt	-8	-1		dBm
	Spektral bredd			5	nm
	Stigtid			2	ns
<b>Mottagare (RX)</b>	Ineffekt	-28	-8		dBm
	Stigtid			1	ns
<b>Multimodfiber</b>	Dämpning	2,5	2,8		dB/km
	Kromatisk dispersion			70	ps/nm·km
<b>Kontaktpar</b>	Kopplingsförlust	0,4	0,7		dB
<b>Kopplingsdon</b>	Förlust, utgång A	3,8	4,0		dB
	Förlust, utgång B	3,8	4,0		dB

Svar och kortfattade lösningar till tentamen  
i Fotonik för CD 2014-03-14

① a) Svar: Amplituderna

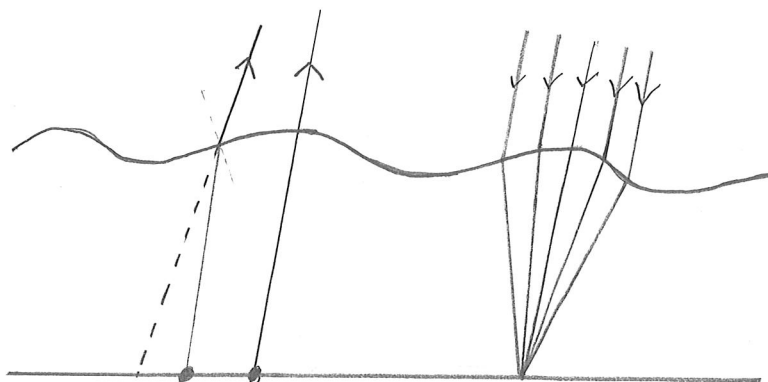
b) Avbildning i konvex spegel:



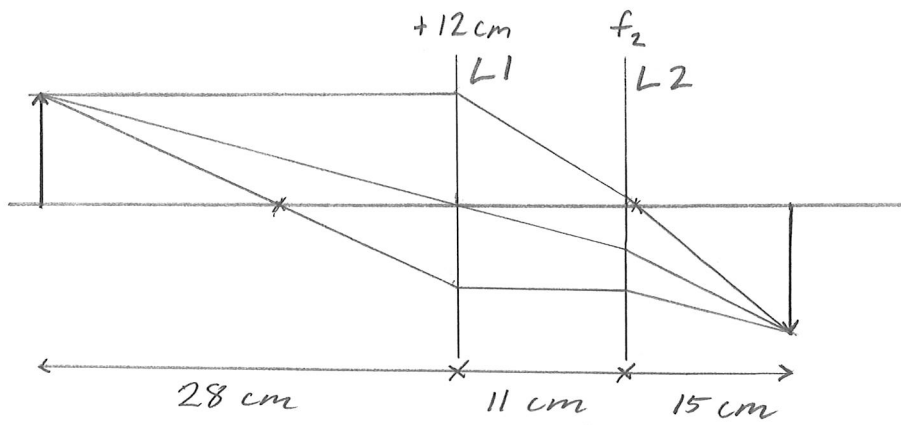
Svar: Bilden är virtuell.

c) Svar:  $I_1 = \frac{1}{2} I_0$  ;  $I_2 = 0$  ;  $I_3 = 0$

② Eftersom vattenytan är oregelbunden kommer ljus från botten ibland att ändra riktning vid ytan (och ibland inte). Se vänstra delen av figuren. Det gör att det rektangulära kakelmönstret ser deformerat ut. Solljus som träffar områden i ytan med lämplig buktning (se högra delen av figuren) kommer att brytas samman i mer eller mindre långa ljusstrålar i botten.



③



a) Avbildning i två steg.

$$L1: \begin{cases} a_1 = 28 \text{ cm} \\ f_1 = 12 \text{ cm} \end{cases} \quad \frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f_1} \Rightarrow b_1 = \frac{1}{\frac{1}{12} - \frac{1}{28}} = 21 \text{ cm}$$

$$L2: \begin{cases} a_2 = 11 - b_1 = -10 \text{ cm} \\ b_2 = 15 \text{ cm} \end{cases} \quad \frac{1}{a_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{f_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f_2 = \frac{1}{\frac{1}{15} - \frac{1}{10}} = -30 \text{ cm}$$

Svar:  $f_2 = -30 \text{ cm}$

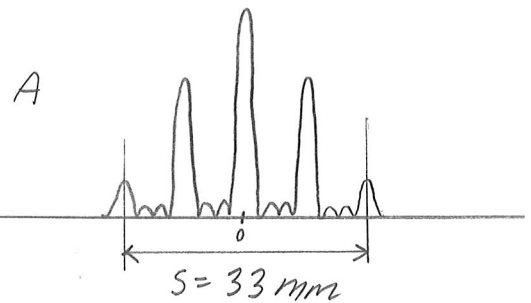
b)  $M = M_1 \cdot M_2 = \left(-\frac{b_1}{a_1}\right) \cdot \left(-\frac{b_2}{a_2}\right) = \left(-\frac{21}{28}\right) \cdot \left(-\frac{15}{-10}\right) = -0,75 \cdot 1,5 = -1,12$

Svar: Förstoringen är  $M = -1,12$   
Bilden är uppochnad.

④ a) 2 bimaxima

3 biminima

$\Rightarrow$  4 spalter



\_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_

forts  $\rightarrow$

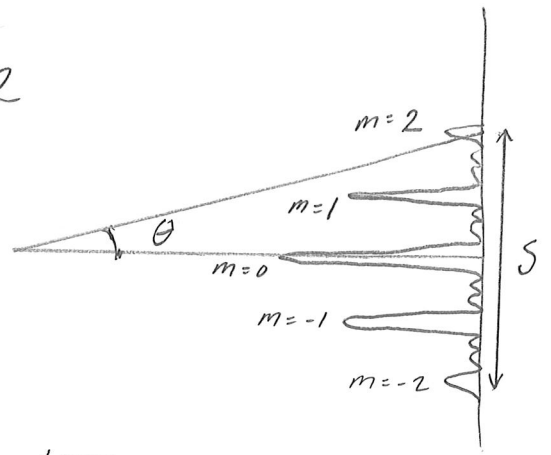
④ b)  $s = 33 \text{ mm}$  mellan  $m = \pm 2$

$$\tan \theta = \frac{s}{2L} \quad L = 2 \text{ m}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{33 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2}\right) = 0,473^\circ$$

$$\begin{cases} d \sin \theta = m \lambda \\ m = 2 \end{cases} \Rightarrow d = \frac{2 \cdot 633 \cdot 10^{-9}}{\sin 0,473^\circ} = 153 \mu\text{m}$$

Svar:  $d = 153 \mu\text{m}$



- c) 1 bimaxima  
2 biminima  $\Rightarrow$  3 spalter

Dvs [1] eller [4] har blockerats

- d) Inga bimaxima  $\Rightarrow$  endast två spalter.

$s = 33 \text{ mm}$  mellan  $m = \pm 4$

söm i b):  $d = \frac{m \lambda}{\sin \theta} = \frac{4 \cdot 633 \cdot 10^{-9}}{\sin 0,476^\circ} = 307 \mu\text{m}$

$d$  är nu dubbelt så stor, dvs den mittersta spalten har blockerats.

$\Rightarrow$  [1] + [3] eller [2] + [4] har blockerats.

- e)  $51 \text{ mm}$  mellan  $m = \pm 1$  (första min)

$$\theta = \arctan\left(\frac{51 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2}\right) = 0,730^\circ$$

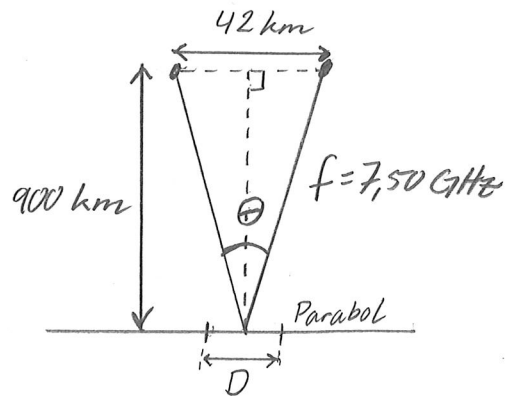
$$\begin{cases} b \sin \theta = m \lambda \\ m = 1 \end{cases} \Rightarrow b = \frac{\lambda}{\sin \theta} = \frac{633 \cdot 10^{-9}}{\sin 0,730^\circ} = 50 \mu\text{m}$$

Svar: Spaltbredden är  $50 \mu\text{m}$

5

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{21}{900} \Rightarrow \theta = 2,67^\circ$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{7,50 \cdot 10^9} = 0,04 \text{ m}$$



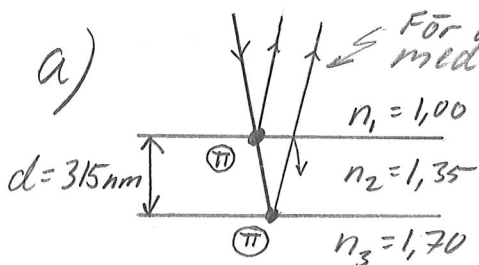
Rayleighs upplösningsskriterium:

$$D \sin \theta = 1,22 \lambda_0$$

$$\Rightarrow D = \frac{1,22 \cdot \lambda_0}{\sin \theta} = \frac{1,22 \cdot 0,04}{\sin 2,67^\circ} = 1,05 \text{ m}$$

Svar:  $D = 1,05 \text{ m}$

6 a)



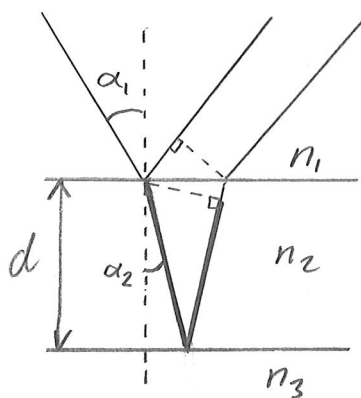
För att underlätta är strålarna ritade med en vinkel.

$$2n_2d = \frac{\lambda}{2} + m\lambda \text{ för min.}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{2n_2d}{m+0,5} \Rightarrow \begin{cases} m=0 \Rightarrow \lambda = 1,70 \text{ nm} \leftarrow \text{IR} \\ m=1 \Rightarrow \lambda = 567 \text{ nm} \leftarrow \text{synligt} \\ m=2 \Rightarrow \lambda = 340 \text{ nm} \leftarrow \text{UV} \end{cases}$$

Svar: 567 nm

b)



Den optiska vägskillnaden är markerad med dubbla streck (fig. 18.7 i boken)

$$2n_2d \underbrace{\cos \alpha_2}_{< 1} = \frac{\lambda}{2} + m\lambda \text{ för min.}$$

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \Rightarrow \alpha_2 = \arcsin\left(\frac{\sin 15^\circ}{1,35}\right) = 11^\circ$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 1,35 \cdot 315 \cdot 10^{-9} \cdot \cos 11^\circ}{m+0,5} \Rightarrow \begin{cases} m=0 \Rightarrow \lambda = 1,67 \text{ nm} \\ m=1 \Rightarrow \lambda = 557 \text{ nm} \leftarrow \text{synligt} \\ m=2 \Rightarrow \lambda = 334 \text{ nm} \end{cases}$$

Svar: Kortare våglängd



⑦

a) Svar:  $45^\circ$

b)  $\phi = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_e - n_o) d = \pi$  (Halv vågsplatta)

$\Rightarrow d = \frac{\lambda_0}{2(n_e - n_o)} = \frac{800 \cdot 10^{-9}}{2(1,5472 - 1,5383)} = 44,9 \mu\text{m}$

Svar:  $44,9 \mu\text{m}$

c) Undersök hur många våglängders fasförskjutning en viss tjocklek ger upphov till.

$\phi = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_e - n_o) d = 2\pi m \Rightarrow m = \frac{d}{\lambda_0} (n_e - n_o)$

$d$	$m_{800}$	$m_{400}$
$44,9 \mu\text{m}$	0,5	1,08
$1,393 \text{ mm}$	15,5	33,43
$2,292 \text{ mm}$	25,5	55,01
$3,191 \text{ mm}$	35,5	76,58

Bäst, ty  $m_{400}$  närmast ett heltal!

Svar:  $d = 2,292 \text{ mm}$

8

a) Minimala förluster till A:

3 kontakter :  $3 \cdot 0,4 = 1,2 \text{ dB}$

Kopplingsdon:  $3,8 \text{ dB}$

Fiber :  $2,5 \cdot L_1 \text{ dB}$

o Sändare max:  $-1 \text{ dBm}$

o Mottagare max:  $-8 \text{ dBm}$

$$-1 - 1,2 - 3,8 - 2,5L_1 \leq -8 \Rightarrow 2,5L_1 \geq 2$$

$$\Rightarrow L_1 \geq 0,8 \text{ km}$$

Svar:  $L_1 = 0,8 \text{ km}$

b)

Maximala förluster till B:

4 kontakter :  $4 \cdot 0,7 = 2,8 \text{ dB}$

Kopplingsdon:  $4,0 \text{ dB}$

Fiber:  $(L_1 + L_2) \cdot 2,8 \text{ dB}$

4 reparationer:  $4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ dB}$

Säkerhetsmarginal:  $3 \text{ dB}$

o Sändare minst:  $-8 \text{ dBm}$

o Mottagare minst:  $-28 \text{ dBm}$

$$-8 - 2,8 - 4 - (L_1 + L_2) \cdot 2,8 - 0,4 - 3 \geq -28$$

$$\Rightarrow 2,8(L_1 + L_2) \leq 9,8 \Rightarrow L_2 \leq 3,5 - 0,8 = 2,7 \text{ km}$$

Svar:  $L_2 = 2,7 \text{ km}$

c)

$L = L_1 + L_2 = 3,5 \text{ km}$     $D = 70 \text{ ps/nm.km}$     $\Delta\lambda = 5 \text{ nm}$

$$\tau_{\text{Disp}} = D \cdot \Delta\lambda \cdot L = 70 \cdot 5 \cdot 3,5 = 1225 \text{ ps}$$

$$f_{\text{BW fiber}} = \frac{0,44}{\tau_{\text{Disp}}}$$

$$t_{\text{fiber}} = \frac{0,35}{f_{\text{BW fiber}}} = \frac{0,35}{\frac{0,44}{1225}} = 0,97 \text{ ns}$$

$$t_{\text{r sys}} = \sqrt{t_{\text{rx}}^2 + t_{\text{tx}}^2 + t_{\text{fiber}}^2} = \sqrt{1^2 + 2^2 + 0,97^2} = 2,44 \text{ ns}$$

$$f_{\text{BW sys}} = \frac{0,35}{t_{\text{r sys}}} = \frac{0,35}{2,44 \cdot 10^{-9}} = 143 \text{ MHz}$$

Svar:  $143 \text{ MHz}$