

## Tentamen i Fotonik - 2012-03-09, kl. 08.00-13.00

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

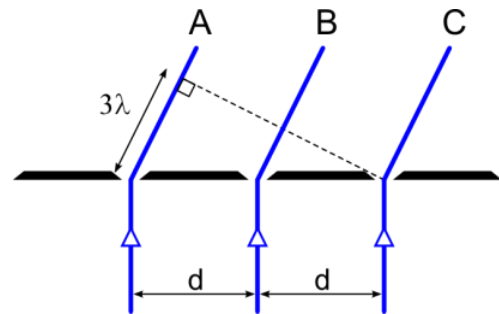
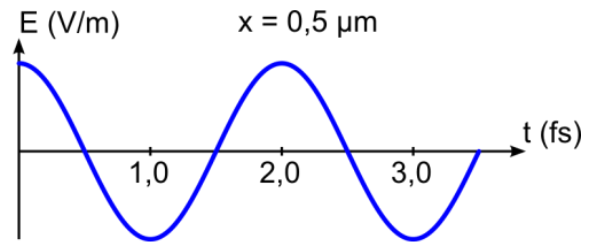
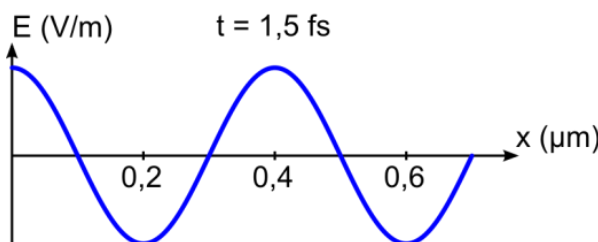
- **Tillåtna hjälpmedel:** Miniräknare, godkänd formelsamling (t ex TeFyMa), utdelat formelblad.
- **OBS! Mobiltelefon** får ej finnas i fickan eller framme på bordet. Lägg denna i väskan med ljudet avstängt.
- Börja varje ny uppgift på ett nytt blad och skriv bara på en sida av pappret.
- Skriv namn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

1. Här kommer några inledande frågor.

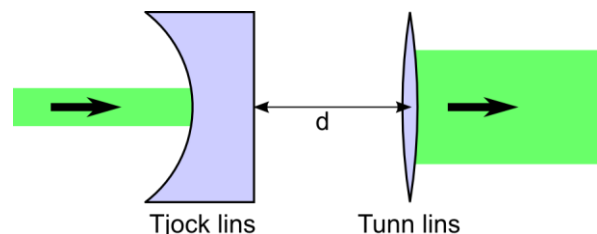
- Vilka av strålarna A, B och C i figuren till höger är i fas?
- Opolariserat ljus infaller mot en uppställning med två polarisationsfilter. Vilken vinkel ska du ha mellan transmissionsaxlarna för att den totala transmissionen ska bli 25% av den infallande intensiteten?
- En vågrörelse beskrivs av ekvationen:

$$E(x, t) = E_0 \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right) + \alpha \right]$$

Bestäm med hjälp av diagrammen nedan om vågen rör sig åt höger eller åt vänster.



2. För att skapa en laserstråle med större diameter (men fortfarande parallellt ljus) använder man en kombination av en *tjock* plankonkav lens och en tunn positiv lens (som båda befinner sig i luft). I figuren har strålgången mellan linserna utelämnats. Den tunna positiva linsen har brännvidden 20 cm. Den tjocka plankonkava linsen har krökningsradien 6,0 cm, brytningsindex 1,50 och tjockleken 3,0 cm på det tunnaste stället.



- Beräkna var den *tjocka* linsens brännpunkt finns relativt den plana ytan.
- Bestäm avståndet  $d$  mellan linserna (se figuren).

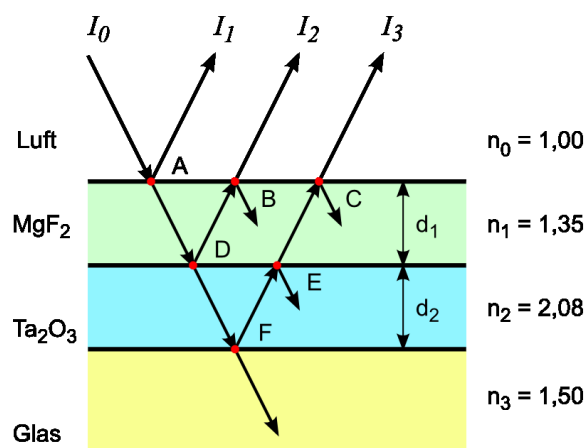
3. Till ett mikroskop med tublängden 160 mm finns ett antal objektiv och okular. I mikroskopet sitter ett okular märkt 10X.
- Wilken brännvidd ska objektivet ha om mikroskopet ska förstora 200 gånger?
  - Hur långt framför objektivets *brännpunkt* ska ett föremål placeras om man vill kunna studera det, 200 gånger förstorat, med ögat inställt för parallellt ljus?



4. Vid nattseende är pupillen hos en katt en cirkulär öppning med en diameter på 10 mm. I dagsljus dras pupillen ihop till en vertikal spalt med bredden 1,5 mm. Ungefär på hur stort avstånd kan katten upplösa två ljuskällor på 5,0 cm inbördes avstånd i horisontal led vid natt- respektive dagseende? Antag att våglängden är 550 nm. Brytningsindex för kattens ögon är 1,33.

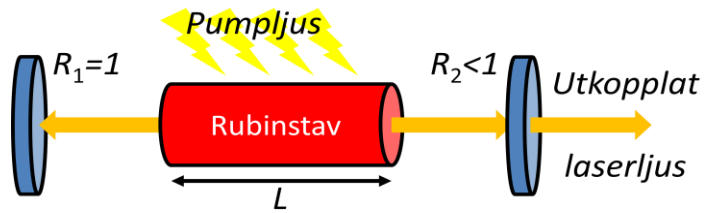


5. En plan glasyta ska beläggas med ett skikt tantaloxid och ett skikt magnesiumflourid för att den ska reflektera ljus som infaller längs normalen bättre än obehandlat glas. Antag normalt infall, strålarna i figuren är ritade med en vinkel för bara för tydlighetens skull.
- Ange vid vilka reflektioner A-F som det sker fasförskjutningar.
  - Först lägger man på ett tunt skikt med tantaloxid på glasytan. Wilken synlig våglängd reflekteras bäst då tantaloxidskiktet har tjockleken  $d_2 = 175$  nm?
  - Hur tjockt måste magnesiumflouridskiktet minst vara för att samma våglängd ska reflekteras optimalt även i det skiktet?
  - Beräkna hur stor del av ljuset som reflekteras i varje skikt (dvs beräkna  $I_1$ ,  $I_2$  och  $I_3$ ) om intensiteten  $I_0$  infaller längs normalen (ta bara hänsyn till de reflektioner som finns med i bilden). Beräkna även hur stor den totala reflektionen blir.

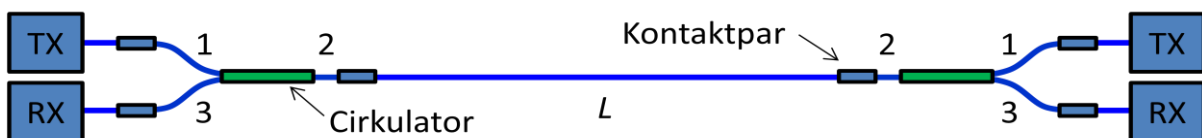


6. För att avläsa optiska minnen (CD-, DVD- och Blu-ray-skivor) används diodlasrar med våglängderna 780 nm, 650 nm respektive 405 nm. Vad vinner man på att byta till en kortare våglängd hos lasern? Rita en bild och förklara!

7. I en rubinlaser enligt bilden används en 7 cm lång rubinstav som innehåller  $10^{17}$   $\text{Cr}^{3+}$ -joner per kubikcentimeter. Staven pumpas med ljus från en blixtlampa vilket skapar inverterad population mellan två energinivåer i  $\text{Cr}^{3+}$ -jonerna. Livstiden för den övre lasernivån är 3 ms och våglängden för övergången är 694 nm. Brytningsindex för rubinstaven är 1,78 och linjeprofilens maximum är  $g(f_0) = 6,7$  ps. Rubinstaven sitter i en kavitet bestående av två speglar, en med 100% reflektans och en med 98% reflektans genom vilken laserljuset kopplas ut.



- Om rubinstavens ändtytor är antireflexbehandlade så att reflektansen i dessa är 0%, hur stor del av populationen måste då pumpas till den övre lasernivån för att lasring ska fås?
  - I praktiken är ingen reflexbehandling perfekt och vissa förluster kommer att fås i kaviteten varje gång ljuset passerar gränssytorna mellan rubinstaven och luft. Om 80% av populationen pumpats till den övre lasernivån, vilken är den högsta reflektans man kan tillåta i varje gränssyta utan att lasringen upphör?
8. Ett fiberoptiskt system för dubbelriktad kommunikation över en singelmodfiber med längden  $L$  använder sig av cirkulatorer enligt bilden nedan. Funktionen hos cirkulatorn är att den släpper igenom ljus från port 1 till 2 och från port 2 till 3, men blockerar ljus från port 3 till 2 och från port 2 till 1. I varje ände av länken ansluts cirkulatorerna till sändaren, mottagaren och singelmodfibern med fiberoptiska kontakter. Data för de olika komponenterna anges i tabellen.
- Vilken är den maximala längd  $L$  fibern kan ha för att vara säker på att få tillräckligt med signal till mottagaren? Räkna på värstafallet och tillåt reparationer av singelmodfiber med 5 mekaniska skarvar som var och en dämpar 0,1 dB. Inkludera också en extra säkerhetsmarginal på 3 dB.
  - För den fiberlängd  $L$  som bestämdes i uppgift a, kontrollera att 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 uppgift a kan du räkna med  $L = 4$  km.
  - För den fiberlängd  $L$  som bestämdes i uppgift a, vad är systemets totala bandbredd?



Komponent	Storhet	Min	Typ.	Max.	Enhet
Sändare (TX)	Uteffekt	-8		-1	dBm
	Spektral bredd		5		nm
	Stigtid		2		ns
Mottagare (RX)	Ineffekt	-28		-15	dBm
	Stigtid		1		ns
Singelmodfiber	Dämpning	2,5		2,8	dB/km
	Kromatisk dispersion		70		ps/nm·km
Kontaktpar	Kopplingsförlust	0,4		0,7	dB/par
Cirkulator	Insertion loss (inkopplingsförlust)	0,8		1,0	dB

① a) A och C är i fas

b)  $\bar{I}_1 = \frac{1}{2} I_0$

$I_2 = I_1 \cos^2 \theta = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \theta$

$\frac{I_2}{I_0} = \frac{1}{2} \cos^2 \theta = 0,25 \Rightarrow \underline{\theta = 45^\circ}$

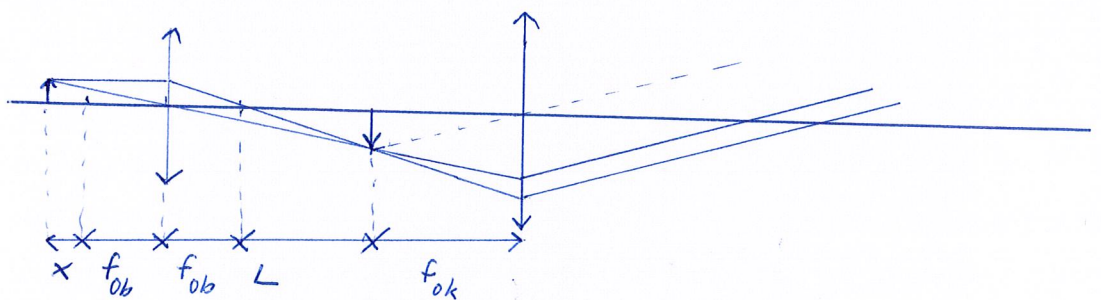
Svar:  $45^\circ$

c) Vägen rör sig åt höger

② a)  $G = \frac{L}{f_{ob}} \cdot G_{ok} \Rightarrow \frac{160}{f_{ob}} \cdot 10 = 200$

$\Rightarrow f_{ob} = \frac{10}{200} \cdot 160 = 8 \text{ mm}$

b)



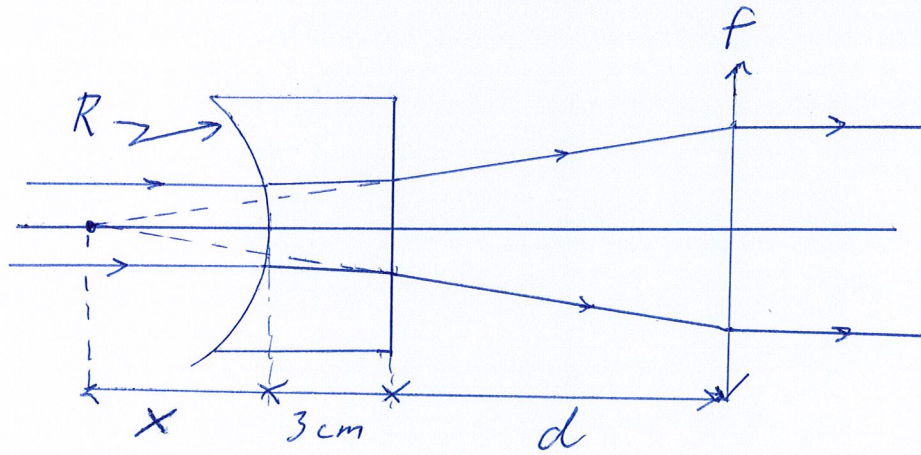
$\frac{1}{x+f_{ob}} + \frac{1}{f_{ob}+L} = \frac{1}{f_{ob}} \Rightarrow x = \frac{1}{\frac{1}{f_{ob}} - \frac{1}{f_{ob}+L}} - f_{ob}$

$\begin{cases} f_{ob} = 8 \text{ mm} \\ L = 160 \text{ mm} \end{cases} \Rightarrow x = 0,4 \text{ mm}$

Svar: a)  $f_{ob} = 8 \text{ mm}$

b)  $0,4 \text{ mm}$  framför brännpunkten.

③



a) Brytning i sfärisk yta:  $\frac{n_1}{a} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{R}$

Yta I:  $n_1 = 1,0$   
 $n_2 = 1,5$   
 $R = -6,0 \text{ cm}$   
 $a \rightarrow \infty$

$$\Rightarrow \frac{1,5}{b_1} = \frac{1,5 - 1,0}{-6,0} \Rightarrow b_1 = -18 \text{ cm}$$

Yta II:  $n_1 = 1,5$   
 $n_2 = 1,0$   
 $R \rightarrow \infty$   
 $a = 3 - (-18) = 21 \text{ cm}$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{1,5}{21} + \frac{1,0}{b_2} = 0 \\ \Rightarrow b_2 = -14 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

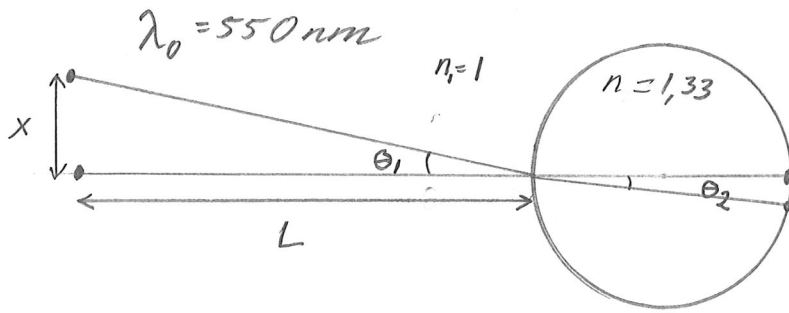
b) Den tjocka och tunna linsens brännpunkter ska överlappa för att strålen ska bli parallell.

$$d + 14 = f \Rightarrow d = f - 14 = 20 - 14 = 6 \text{ cm}$$

Svar: a) Brännpunkten ligger 14 cm till vänster om den plana ytan.

b)  $d = 6 \text{ cm}$

4



$$n \sin \theta_1 = n \sin \theta_2$$

$$\frac{x}{L} = \tan \theta_1 \approx \sin \theta_1 = n \sin \theta_2$$

Natt: Cirkulär öppning  $D = 10 \text{ mm}$

$$D \sin \theta_2 = 1,22 \lambda = \frac{1,22 \lambda_0}{n}$$

$$\Rightarrow \frac{x D}{n L} = \frac{1,22 \lambda_0}{n} \Rightarrow L = \frac{x D}{1,22 \lambda_0} = \frac{0,05 \cdot 0,01}{1,22 \cdot 550 \cdot 10^{-9}} = \underline{745 \text{ m}}$$

Day: spalt  $b = 1,5 \text{ mm}$

$$b \sin \theta_2 = m \lambda = \{m=1\} = \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

$$\Rightarrow \frac{x b}{n L} = \frac{\lambda_0}{n} \Rightarrow L = \frac{x b}{\lambda_0} = \frac{0,05 \cdot 0,0015}{550 \cdot 10^{-9}} = \underline{136 \text{ m}}$$

Svar: 745 m på natten

136 m på dagen

⑤ a) Färförskjutning vid reflektion mot tätare material, dvs i A och D.

b) Max då  $2d_2 n_2 = \frac{\lambda}{2} + m\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{2d_2 n_2}{m+0,5}$

$m=0 \rightarrow \lambda = 1456 \text{ nm}$  IR

$m=1 \rightarrow \lambda = 485 \text{ nm}$  synligt

$m=2 \rightarrow \lambda = 291 \text{ nm}$  UV

c) Max då  $2d_1 n_1 = m\lambda \Rightarrow d_1 = \frac{m\lambda}{2n_1}$

Tunnast då  $m=1 \Rightarrow d_1 = \frac{485 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 1,35} = 180 \text{ nm}$

d)  $R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2 \Rightarrow R_1 = \left(\frac{1,35 - 1,00}{1,35 + 1,00}\right)^2 = 0,02218$

$R_2 = \left(\frac{2,08 - 1,35}{2,08 + 1,35}\right)^2 = 0,04530$

$R_3 = \left(\frac{1,50 - 2,08}{1,50 + 2,08}\right)^2 = 0,02625$

$I_1 = R_1 I_0 = 0,0222 I_0$

$I_2 = (1 - R_1)^2 R_2 I_0 = 0,0433 I_0$

$I_3 = (1 - R_1)^2 (1 - R_2)^2 R_3 I_0 = 0,0229 I_0$

$I_0 = k E_0^2$

$I_1 = k E_1^2 = 0,0222 k E_0^2 \Rightarrow E_1 = \sqrt{0,0222} E_0$

P.S.S.

$E_2 = \sqrt{0,0433} E_0$

$E_3 = \sqrt{0,0229} E_0$

$E_{tot} = E_1 + E_2 + E_3 = (\sqrt{0,0222} + \sqrt{0,0433} + \sqrt{0,0229}) E_0 = 0,508 E_0$

$I_{tot} = k E_{tot}^2 = 0,258 k E_0^2 = 0,258 I_0$

Svar: a) A och D

b) 485 nm

c) 180 nm

d)  $I_1 = 0,0222 I_0$

$I_2 = 0,0433 I_0$

$I_3 = 0,0229 I_0$

$I_{tot} = 0,258 I_0$

Svar: P.g.a. bøjning kan ljus fokuseras till en minsta strålfläcksdiameter  $d \approx \frac{1,22\lambda}{NA}$ . Med kortare våglängd kan därför ljuset fokuseras till en mindre yta, vilket gör att informationen kan skrivas tätare på mediet.



Lasring då:  $G = R_1 R_2 e^{2\gamma(f)L} > 1$

med:  $\gamma(f) = (N_2 - N_1) \frac{\lambda^2}{8\pi\tau} g(f)$

~~10<sup>17</sup>~~  $N = 10^{17} \text{ cm}^{-3} = 10^{23} \text{ m}^{-3}$

$\tau = 3 \text{ ns}$

$L = 7 \text{ cm}$

$g(f_0) = 6,7 \text{ ps}$

$\lambda_0 = 694 \text{ nm}$ ,  $n = 1,78 \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n} = 389,9 \text{ nm}$

$R_1 = 1$ ,  $R_2 = 0,98$

(a)

AR-behandling: inga ytterligare förluster i kaviteten.

$\gamma(f_0) > \frac{\ln(R_1 R_2)}{2L} = 0,144 \text{ m}^{-1}$

Relativ exciterad population,  $\delta$ :  $N_2 = \delta N$ ,  $N_1 = (1 - \delta)N$

$N_2 - N_1 = \delta N - (1 - \delta)N = (2\delta - 1)N$

$\gamma(f_0) = (2\delta - 1) \frac{N\lambda^2}{8\pi\tau} g(f_0) > 0,144 \text{ m}^{-1}$

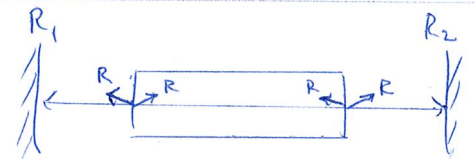
$2\delta - 1 > \frac{8\pi\tau}{N\lambda^2 g(f_0)} \cdot 0,144 = 0,107 \Rightarrow \delta > 0,553$

Svar: 55,3%

(b)

Förluster pga. refl. i ändylorna:

80%  $\Rightarrow \delta = 0,8 \Rightarrow \gamma(f_0) = 0,811 \text{ m}^{-1}$



$R$  inkluderas i totala förluster:  $R_1 R_2 \Rightarrow R_1 R_2 (1-R)^4$

transmission genom ändylorna.

$\Rightarrow R_1 R_2 (1-R)^4 e^{2\gamma(f_0)L} > 1 \Leftrightarrow (1-R)^4 > \frac{e^{-2\gamma(f_0)L}}{R_1 R_2}$

$1-R > \sqrt[4]{\frac{e^{-2\gamma(f_0)L}}{R_1 R_2}} \Leftrightarrow R < 1 - \sqrt[4]{\frac{e^{-2\gamma(f_0)L}}{R_1 R_2}} = 0,023$

Svar:  $R < 0,023$  (2,3%)

# Lösningförslag, uppgift 8, 12-03-09

- a. Maximala förluster:
- 4 kontakter:  $4 \cdot 0,7 = 2,8 \text{ dB}$
  - 2 cirkulatorer:  $2 \cdot 1,0 = 2,0 \text{ dB}$
  - Fiber:  $2,8 L \text{ dB}$
  - 5 reparationer:  $5 \cdot 0,1 \text{ dB}$
  - Säkerhetsmarginal:  $3 \text{ dB}$

- Sändare: minst:  $-8 \text{ dBm}$
- Mottagare: minst:  $-28 \text{ dBm}$

$$-8 - 2,8 - 2,0 - 2,8L - 0,5 - 3 = -16,3 - 2,8L > -28$$
$$\Rightarrow 2,8L < 28 - 16,3 \Rightarrow L < \frac{28 - 16,3}{2,8} = \underline{4,2 \text{ km}}$$

Svar:  $L < 4,2 \text{ km}$

- b. Bästa fallet:
- 4 kontakter:  $4 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ dB}$
  - 2 cirkulatorer:  $2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ dB}$
  - Fiber:  $2,5 \cdot 4,2 = 10,5 \text{ dB}$

Sändare: max  $-1 \text{ dBm}$

Mottagare: max  $-15 \text{ dBm}$

Effekt vid mottagaren:  $-1 - 1,6 - 1,6 - 10,5 = \underline{-14,7 \text{ dBm}} > -15 \text{ dBm}$

Svar:  $P_{Rx} = -14,7 \text{ dBm}$ . För mycket!

c.  $L = 4,2 \text{ km}$ ,  $D = 70 \text{ ps/nm.km}$ ,  $\Delta\lambda = 5 \text{ nm}$

$$\tau_{\text{disp}} = D \cdot \Delta\lambda \cdot L = 70 \cdot 5 \cdot 4,2 = 1470 \text{ ps} = 1,47 \text{ ns}$$

$$f_{\text{BW fiber}} = \frac{0,44}{\tau_{\text{disp}}} = 299,3 \text{ MHz}, \quad t_{\text{r fiber}} = \frac{0,35}{f_{\text{BW fiber}}} = 1,17 \text{ ns}$$

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

$$t_{\text{r sys}} = \sqrt{t_{\text{r RX}}^2 + t_{\text{r TX}}^2 + t_{\text{r fiber}}^2} = 2,52 \text{ ns} \quad f_{\text{BW sys}} = \frac{0,35}{t_{\text{r sys}}} = 138,7 \text{ MHz}$$

Svar:  $f_{\text{BW sys}} = 139 \text{ MHz}$