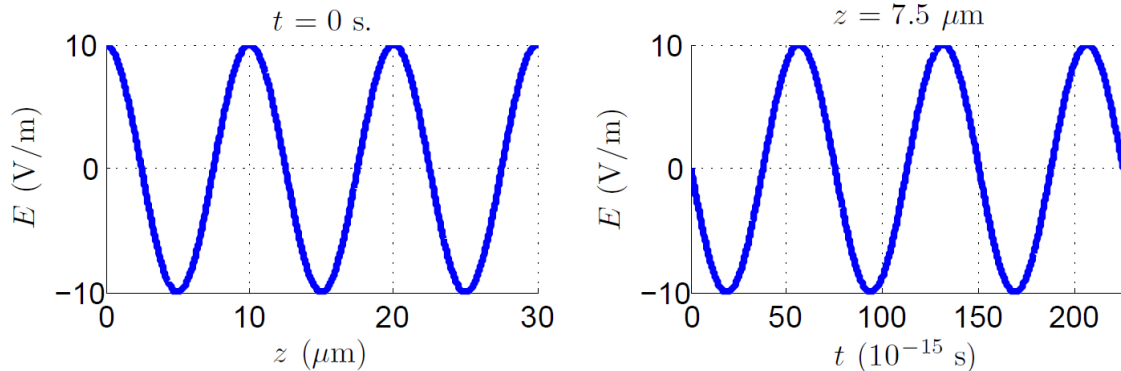


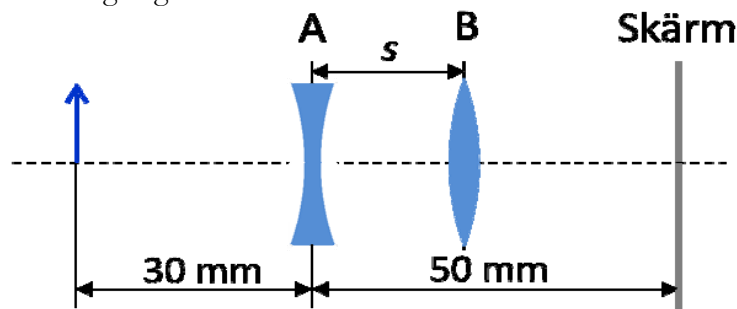
Tentamen i Fotonik - 2015-08-21, kl. 08.00-13.00

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.



- Diagrammen ovan visar svängningen hos det elektriska fältet i en elektromagnetisk våg som utbreder sig i ett icke-magnetiskt material ($\mu_r=1$). Bestäm med hjälp av diagrammen:
 - Vågens våglängd i materialet
 - Vågens frekvens
 - Vågens hastighet
 - Vilken riktning vågen rör sig i
 - Materialets brytningsindex
 - Vågens vakuumvåglängd



- En kombination av en negativ lens med brännvidden $f_A = -20$ mm och en positiv lens med brännvidden $f_B = 9$ mm används för att avbilda ett objekt på en skärm enligt figuren ovan.
 - Var hamnar bilden av objektet som skapas av enbart den negativa linsen?
 - Är denna bild virtuell eller reell?
 - På vilket avstånd s från den negativa linsen skall den positiva linsen placeras för att bilden av objektet skall bli skarp på skärmen?
 - Är bilden på skärmen reell eller virtuell?
 - Är bilden på skärmen rättvänd eller felvänd?
 - Rita en strålkonstruktion för fallet med de båda linserna.

3. *Diskussionsuppgift.*

Ändras förstoringen om man använder en lupp under vatten istället för i luft?

Ökar eller minskar förstoringen?

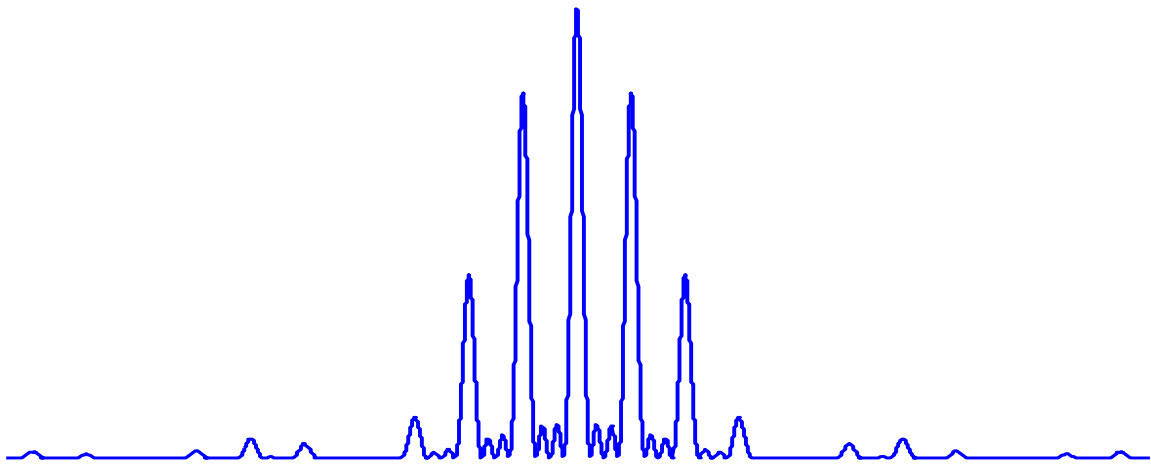
Motivera ditt svar.

4. Bilden nedan visar intensitetsmönstret hos ljus som har passerat ett antal likadana spalter.

a) Hur många spalter har belysts?

b) Vilket är förhållandet mellan spaltavståndet och spaltbredden? Motivera!

c) På vilket sätt påverkas intensitetsmönstret ovan om ytterligare en likadan spalt belyses? Motivera (t.ex. genom att göra en "skiss" över det nya intensitetsmönstret i vilken det tydligt framgår hur mönstret förändras)!

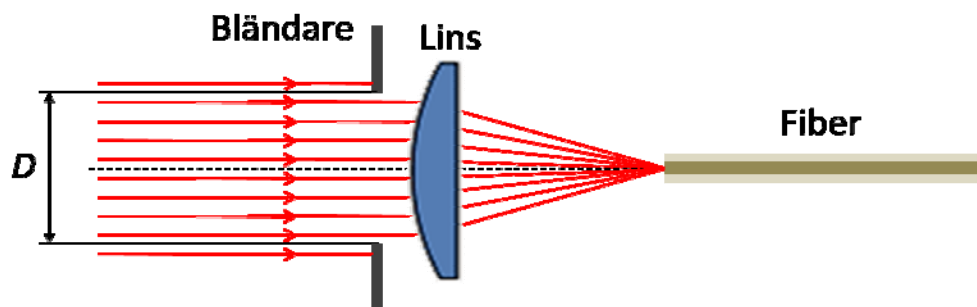
5. SPOT 5 är en av de satelliter som förser till exempel GoogleEarthTM med högupplösta bilder av jorden. Bilden till höger visar en bild av Paris tagen med denna satellit. SPOT 5 kretsar i en bana 832 km över jordytan och ett av dess avbildningssystem kan på detta avstånd upplösa föremål med storleken 10 m. Satelliten avbildar ett 120 km brett stycke av jorden på en bildsensor som är 84 mm lång och bara har en rad av bildelement (pixlar).

a) Anta att avbildningen sker med en tunn lins och bestäm linsens brännvidd.

b) Hur stor diameter måste den avbildande linsen minst ha om inte avbildningen ska begränsas av diffraktion? Räkna på en våglängd mitt i det synliga området.

6. Lasrar görs ofta med Brewsterfönster så att de ger linjärpolariserat ljus. I ett fall faller laserljuset som har intensiteten $I_0 = 0,2 \text{ W/m}^2$, vars polarisationsriktning är horisontell, in mot ett system av två polaroider (polarisationsfilter). Den första polaroiden har genomsläppsriktningen 45° medsols från horisontalplanet och för den andra är genomsläppsriktningen vriden 60° medsols från horisontalplanet. Vad är ljusets intensitet efter genomgång av hela systemet?

7. En glasögonlins är tillverkad av plast med brytningsindex $n_{\text{plast}} = 1,74$. Linsen skall antireflexbehandlas för våglängden $\lambda = 550 \text{ nm}$ och du väljer att använda ett dielektriskt material med brytningsindex $n = 1,34$.
- Vilken är den fysikaliska förklaringen till att linser med högt brytningsindex alltid bör antireflexbehandlas?
 - Beräkna den minsta skiktjocklek som kan användas som antireflexbehandling för normalt infallande ljus. Du behöver bara ta hänsyn till en reflex i vardera ytan. Rita en figur och markera eventuella fasförskjutningar.
 - Beräkna hur stor del av den inkommande intensiteten som reflekteras.
8. Du vill använda en lins med en brännvidd $f = 10 \text{ cm}$ till att koppla in laserljus med våglängden 780 nm i en fiber enligt bilden nedan. Vid den aktuella våglängden är brytningsindex $1,444$ för materialet i fiberns kärna och $1,441$ för materialet i fiberns mantel. Linsen placeras så att laserljuset fokuseras på fiberändan och till din hjälp har du en bländare med diameter D till att begränsa laserstrålens storlek på linsen.
- Vilken är den största bländaröppning D du kan använda så att det ljus som kopplas in i fiberändan propagerar i fiberns kärna och inte läcker ut till fiberns mantel?
 - 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 använder den bländaröppning du bestämde i uppgift a), vilken är den minsta diameter fiberns kärna kan ha så att hela centralmaximat i diffraktionsmönstret faller inom fiberns kärna? Har du inte fått något resultat i uppgift a) kan du räkna med $D = 1 \text{ cm}$.



Uppg. 4

(a) Från vänster figur: $\lambda = 10 \mu\text{m}$

(b) Från höger figur: $2T = 150 \text{ fs}$

$$\Rightarrow T = 75 \text{ fs}$$

$$\nu = \frac{1}{T} = 13,3 \text{ THz}$$

(c) $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{75 \cdot 10^{-15}} = 1,33 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

(d) Vänster figur: $z = 7,5 \mu\text{m} \Rightarrow E$ minskar om vågen rör sig åt höger.

Höger figur: $t = 0 \text{ s} \Rightarrow E$ minskar

$$\Rightarrow \text{Vågen rör sig } \underline{\text{åt höger.}}$$

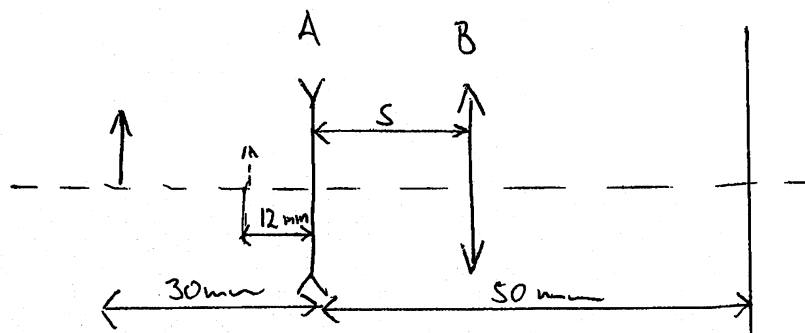
(e) $n = \frac{c}{v} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,33 \cdot 10^8} = 2,26$

(f) $\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \Rightarrow \lambda_0 = 2,26 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = \underline{22,6 \mu\text{m}}$

Uppg. 2

(a)

1



$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$$

$$f_A = -20 \text{ mm}, \quad u = 30 \text{ mm}$$

$$v = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{u}} = \frac{1}{-\frac{1}{20} - \frac{1}{30}} = -12 \text{ mm}$$

Svar: 12 mm till vänster om den negativa linser

(b)

Virtuell.

(c)

$$f_B = 9 \text{ mm}, \quad u = 12 + s \text{ mm}, \quad v = 50 - s \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{f_B} &= \frac{1}{50-s} - \frac{1}{-12-s} = \frac{1}{50-s} + \frac{1}{12+s} = \frac{50-s+12+s}{(50-s)(12+s)} = \\ &= \frac{62}{600+50s-12s+s^2} = \frac{62}{-s^2+38s+600} \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow s^2 - 38s - 600 = -62 f_B = -62 \cdot 9 = -558$$

$$\Leftrightarrow s^2 - 38s - 42 = 0 \Rightarrow s = \frac{38 \pm \sqrt{\frac{38^2}{2^2} + 42}}{2} = \begin{cases} 39,1 \\ -1,1 \end{cases} \leftarrow$$

Svar: $s = 39,1 \text{ mm}$

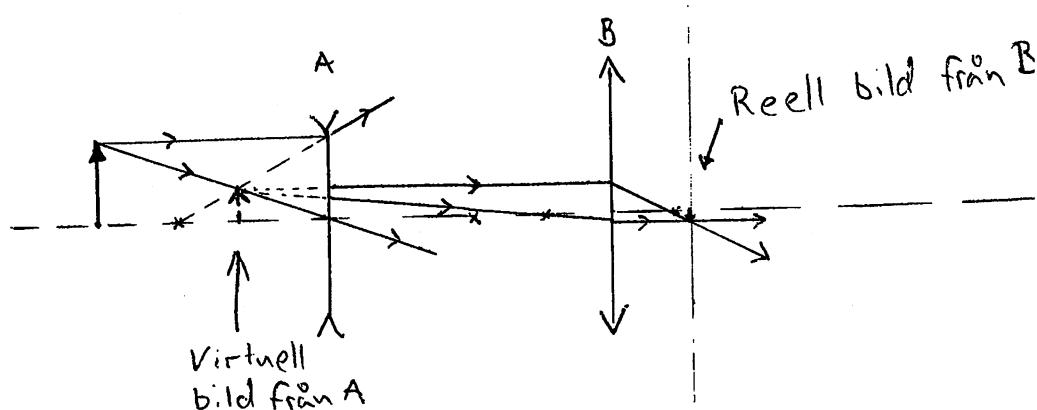
(d)

Reell

(e)

Felvänd

(f)



③ Under vatten är brytningsstyrkan i luppen mindre därför att skillnaderna i brytningsindex mellan linsen och omgivningen är mindre i vatten än i luft. Brännvidden i vatten är alltså längre än i luft och därmed blir vinkelförstoringen mindre i vatten.

Uppg. 4

(a) 2 bi-max, 3 bi-minimum
 \Rightarrow 4 spalter

(b) Min. vid diffraction: $w \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda$
 Max. vid interferens $d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda$

Första minimum i diffraction sammanfaller
 med fjärde maximum i interferens:

$$\Rightarrow \frac{w}{1 \cdot \lambda} = \sin \theta = \frac{d}{4 \lambda} \Leftrightarrow w = \frac{d}{4}$$

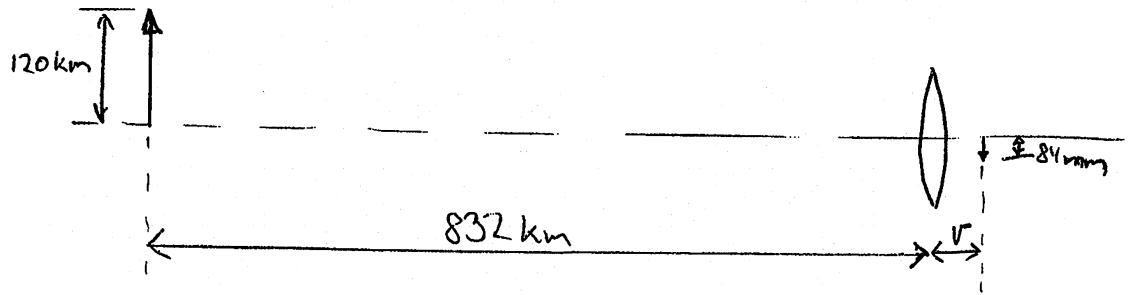
Svar: Spaltavståndet är 4 x spaltbredden.

(c) Svar: Interferensstopparna blir smalare.
 Huvudmaxima kvar på samma
 ställe men nu fås 3 bi-maxima
 mellan huvudmaxima.
 Diffraktionsminima kvar på
 samma ställe.

Uppg. 5

(5)

(a)



$$y_1 = 120 \text{ km} \quad y_2 = 84 \text{ mm}$$

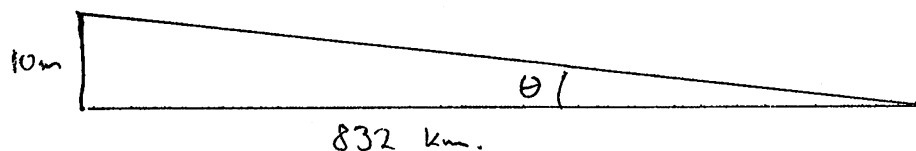
$$m_T \equiv \frac{y_2}{y_1} = \frac{-84 \cdot 10^{-3}}{120 \cdot 10^3} = -7 \cdot 10^{-7} = -\frac{v}{u}$$

$$u = 832 \text{ km} \Rightarrow v = -m_T \cdot u = -7 \cdot 10^{-7} \cdot 832 \cdot 10^3 = 0,58 \text{ m}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u} \Leftrightarrow f = \frac{1}{\frac{1}{v} + \frac{1}{u}} = \frac{1}{\frac{1}{0,58} + \frac{1}{832 \cdot 10^3}} = 0,58 \text{ m}$$

Svar: $f = 0,58 \text{ m}$.

(b)



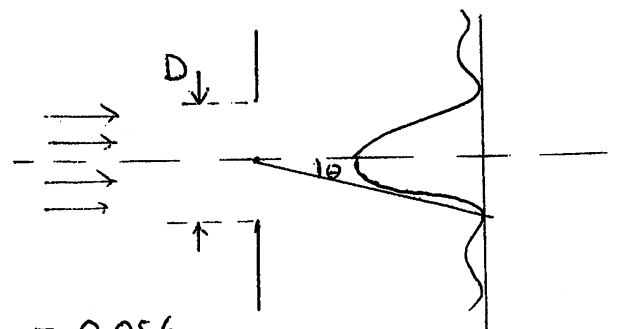
$$\tan \theta = \frac{10}{832 \cdot 10^3} \Rightarrow \theta = \arctan\left(\frac{10}{832 \cdot 10^3}\right) = 6,89 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

Diffractionsminima:

$$D \sin \theta = k \lambda$$

$$k = 1,22, \quad \lambda = 550 \text{ nm}$$

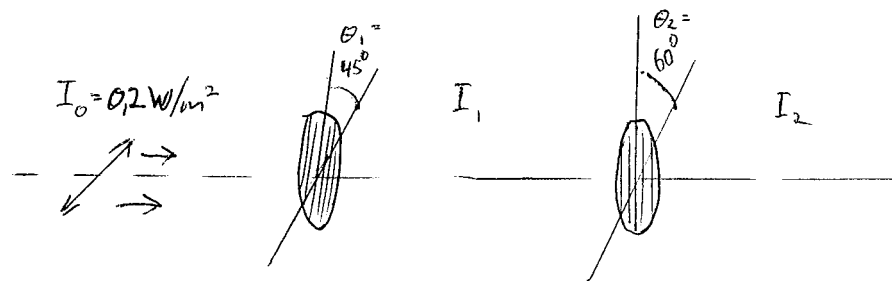
$$D = \frac{k \lambda}{\sin \theta} = \frac{1,22 \cdot 550 \cdot 10^{-9}}{\sin(6,89 \cdot 10^{-4})} = 0,056 \text{ m}$$



Svar: Minst 5,6 cm

Uppg. 6

6.



$$I_1 = I_0 \cos^2 \theta_1$$

$$I_2 = I_1 \cos^2 (\theta_2 - \theta_1) = I_0 \cos^2 \theta_1 \cos^2 (\theta_2 - \theta_1) =$$

$$= 0.2 \cos^2 (45^\circ) \cos^2 (60^\circ - 45^\circ) =$$

$$= 0.2 \cdot 0.467 = 0.09 \text{ W/m}^2$$

Svar: 90 mW/m²

Uppg. 7

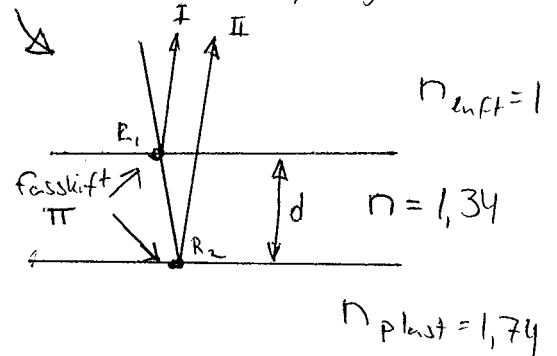
7.

$$(a) \quad R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$$

Svar: En stor skillnad i brytningsindex ger stark reflex.

(b) Ritad med liten vinkel för tydlighetens skull!

• Båda refl. från tunnare till tätare material \Rightarrow samma fasskift.



Minimal reflektion då I och II är ur fas.

$$\text{dvs. } 2 \cdot d = \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda_0}{2n} \Rightarrow d = \frac{\lambda_0}{4n} = \frac{550 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 1,34} = 1,03 \cdot 10^{-7} \text{ m.}$$

Svar: $d = 103 \text{ nm.}$

$$(c) \quad R_1 = \left(\frac{1 - 1,34}{1 + 1,34} \right)^2 = 0,021 \quad R_2 = \left(\frac{1,34 - 1,74}{1,34 + 1,74} \right)^2 = 0,017$$

$$I_I = R_1 I_0, \quad I_{II} = (1 - R_1) R_2 (1 - R_1) I_0 = R_2 (1 - R_1)^2 I_0$$

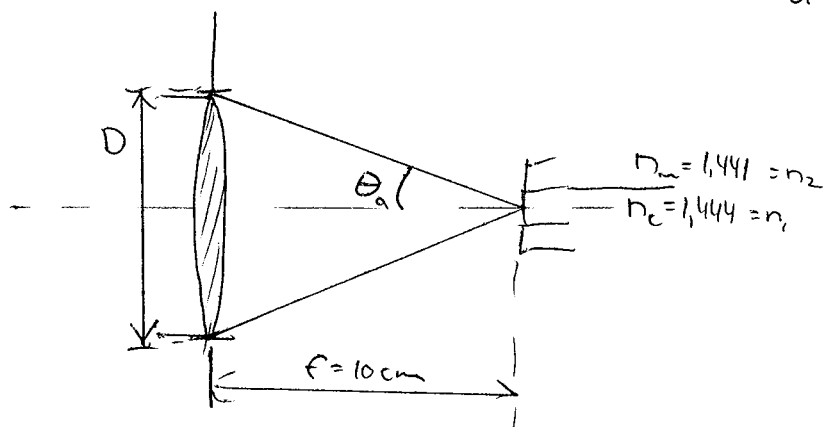
$$I_I = 0,021 I_0, \quad I_{II} = 0,017 (1 - 0,021)^2 I_0 = 0,016 I_0$$

Helt ur fas \Rightarrow E-fälten subtraheras: $E_{\text{tot}} = E_I - E_{II}$

$$\begin{aligned} I_{\text{tot}} &= k \cdot E_{\text{tot}}^2 = k (E_I - E_{II})^2 = k (E_I^2 + E_{II}^2 - 2E_I E_{II}) = k E_I^2 + k E_{II}^2 - 2\sqrt{k E_I^2 k E_{II}^2} = \\ &= I_I + I_{II} - 2\sqrt{I_I I_{II}} = I_0 (0,021 + 0,016 - 2\sqrt{0,021 \cdot 0,016}) = \underline{3,4 \cdot 10^{-4} I_0} \end{aligned}$$

Svar: $0,34 \text{ promille}$

(a.)



$$NA = \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1.444^2 - 1.441^2} = 0.093$$

$$\theta_a = \arcsin(0.093) = 5.34^\circ$$

$$\tan \theta_a = \frac{D}{2f} \Rightarrow D = 2f \tan \theta_a = 2 \cdot 0.1 \cdot \tan 5.34^\circ = 0.019 \text{ m}$$

Svar: $D < 1.9 \text{ cm}$

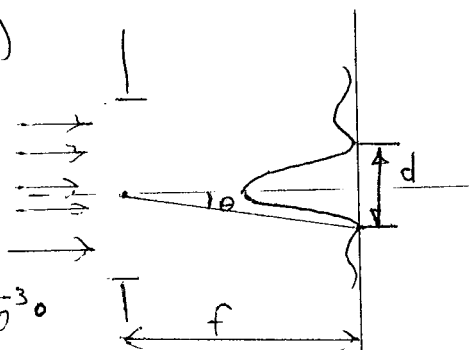
(b.)

Diffractionsminimum (1:a)

$$D \sin \theta = 1.22 \lambda$$

$$\lambda = 780 \text{ nm}$$

$$\theta = \arcsin \left(\frac{1.22 \cdot 780 \cdot 10^{-9}}{0.019} \right) = 2.87 \cdot 10^{-3}^\circ$$



$$\tan \theta = \frac{d}{2f} \Rightarrow d = 2f \tan \theta = 2 \cdot 0.1 \cdot \tan(2.87 \cdot 10^{-3}^\circ) = 1.00 \cdot 10^{-5} \text{ m} = \underline{10 \mu\text{m}}$$

Svar: $d > 10 \mu\text{m}$