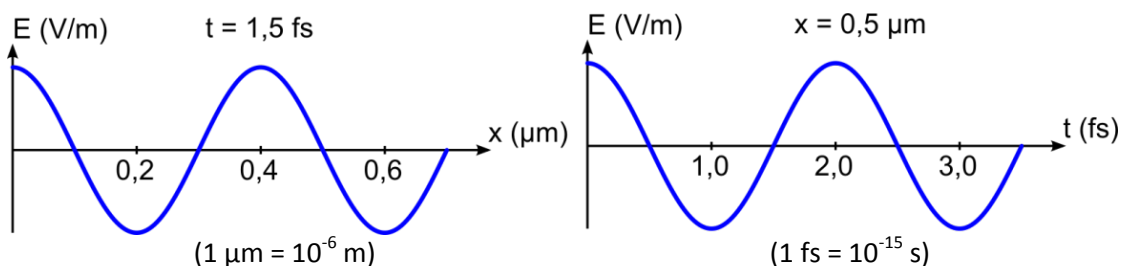
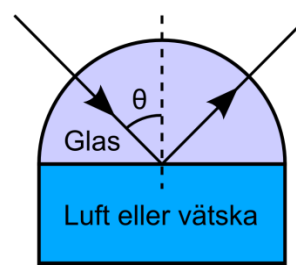


Tentamen i Fotonik - 2012-04-10, kl. 08.00-13.00

FAFF25 - Fysik för C och D, Delkurs i Fotonik

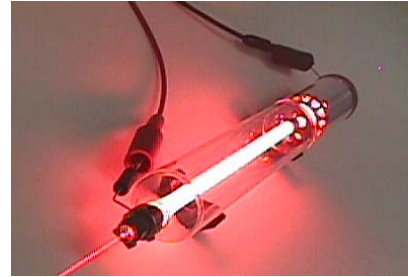
- **Tillåtna hjälpmedel:** Miniräknare, godkänd formelsamling (t ex TeFyMa), utdelat formelblad.
- **OBS! Mobiltelefon** får ej finnas i fickan eller framme på bordet. Lägg denna i väskan med ljudet avstängt.
- Börja varje ny uppgift på ett nytt blad och skriv bara på en sida av pappret.
- Skriv namn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



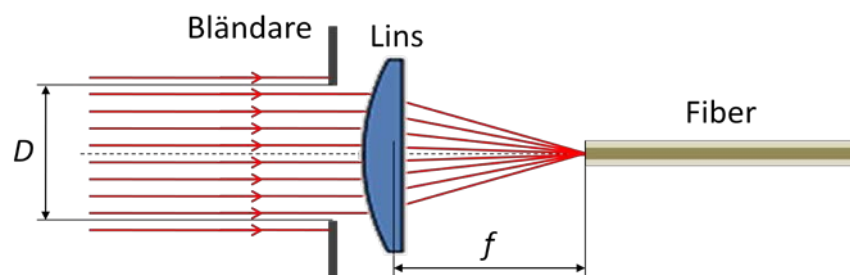
- Diagrammen ovan visar svängningen hos det elektriska fältet i en elektromagnetisk våg som utbreder sig i ett material. Bestäm med hjälp av diagrammen:
 - Ljusets våglängd i materialet
 - Ljusets frekvens
 - Ljusets hastighet i materialet
 - Materialets brytningsindex
 - Ljusets våglängd i vakuum
 - Ljusets utbredningsriktning (höger eller vänster i vänstra diagrammet)
- En halvcylinder av glas används för att bestämma brytningsindex i vätskor. Med hjälp av en laser bestäms först gränsvinkeln för totalreflektion mot luft till 41,1 grader. Därefter placeras halvcylindern så att den raka delen kommer i kontakt med en vätska. Gränsvinkeln för totalreflektion uppmäts då till 63,5 grader. Bestäm vätskans brytningsindex.
 
- I ett mörkt rum placeras ett stearinljus 150 cm från en vit vägg. En positiv lens flyttas från stearinljuset vinkelrätt in mot väggen. I ett visst läge får man en uppochnervänd bild av stearinljuset på väggen. När linsen flyttas ytterligare 90 cm närmare väggen får man på nytt en skarp bild av stearinljuset.
 - Vilken brännvidd har linsen?
 - Bestäm lateralförstoringen i det senare läget. Det ska tydligt framgå om bilden är rättvänd eller inte.
- Både radiovågor och ljus är elektromagnetiska vågor. Hur kan det komma sig att man kan lyssna på FM-radio (frekvenser runt 100 MHz) bakom en kulle där man inte kan se sändarantennen? Observera att radiovågor av denna typ inte reflekteras i atmosfären.

5. En plan optisk yta med brytningsindex 1,70 har antireflexbehandlats med ett dielektriskt material med brytningsindex 1,30. Ljus med intensiteten I_0 , amplituden E_0 och våglängden 520 nm infaller vinkelrätt mot ytan.
- Vilken är den minsta skiktjocklek d som ger minimal intensitet i reflekterat ljus?
 - Hur stor intensitet skulle ha reflekterats utan antireflexbehandling? Förutsätt att omgivningen är luft.
 - Hur stor är den reflekterade intensiteten med antireflexbehandling?

6. En Helium-Neon laser som arbetar på våglängden 633 nm består av en 15 cm lång tub fylld med en gasblandning av Helium och Neon som placeras mellan två ändspegel. Den ena ändspegeln har 100% reflektans medan den andra har en reflektans på 98% för att koppla ut ljuset från lasern. Genom en elektrisk urladdning exciteras Neon-atomerna via kollisioner med Helium-atomerna och lasring kan ske mellan två energinivåer i Neon-atomerna. Den övre lasernivån har en livstid på 300 ns och maximum på linjeprofilen är $g(f_0)=380$ ps. Vid ett experiment placeras Helium-Neon lasern i en försöksupställning där andelen Neon-atomer som är exciterade till den övre laser-nivån kan mätas, varpå det upptäcks att lasring fås då mer än 80% av Neon-atomerna är exciterade till den övre nivån. Vad är Neon-atomernas densitet i lasertuben?



7. En lins med brännvidden $f=15$ mm används för att koppla in ljuset från en diodlaser med våglängden 780 nm i en stegindexfiber. Före linsen placeras en bländare med varierbar öppning D för att välja ut hur stor del av laserstrålen som infaller mot linsen (se bilden nedan). Fiberns numeriska apertur är 0,15 och fiberns kärna har diametern 150 μm och är tillverkad av ett material med brytningsindex 1,430.
- Vad är brytningsindex för fiberns mantel?
 - 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?
 - Är fibern en singelmodfiber för den aktuella våglängden? Om inte, vad är det ungefärliga antalet moder som kan propagera i fibern?



8. Du har en 500 m lång fiber där kärnans brytningsindex är 1,5. Enligt tillverkarens specifikation är dämpningskoefficienten för fibern 5,4 dB/km. Du får anta att inkopplingen till fibern är ideal, dvs. allt ljus faller inom den numeriska aperturen och strålfleckens diameter är mindre än fiberkärnans diameter.
- Beräkna transmissionen genom fibern om du bara inkluderar reflektionsförluster vid in- och utkoppling. Ange också dämpningen i decibel.
 - Vad blir den totala dämpningen i fibern om du också tar hänsyn till den interna dämpningen? Svara i decibel.

UPPGIFT 1

2012-04-10

a) $\lambda = \underline{400 \text{ nm}}$

b) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-15}} = \underline{5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}}$

c) $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{400 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-15}} = \underline{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}}$

d) $n = \frac{c}{v} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^8} = \underline{1,5}$

e) $n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Rightarrow \lambda_0 = n \cdot \lambda = 1,5 \cdot 400 \cdot 10^{-9} = \underline{600 \text{ nm}}$
 $\Rightarrow \underline{\lambda_0 = 600 \text{ nm}}$

f) Höger

UPPGIFT 2

2012-04-10

$$n_{\text{glas}} \sin \theta_1 = n_{\text{luft}} \sin 90^\circ = 1$$

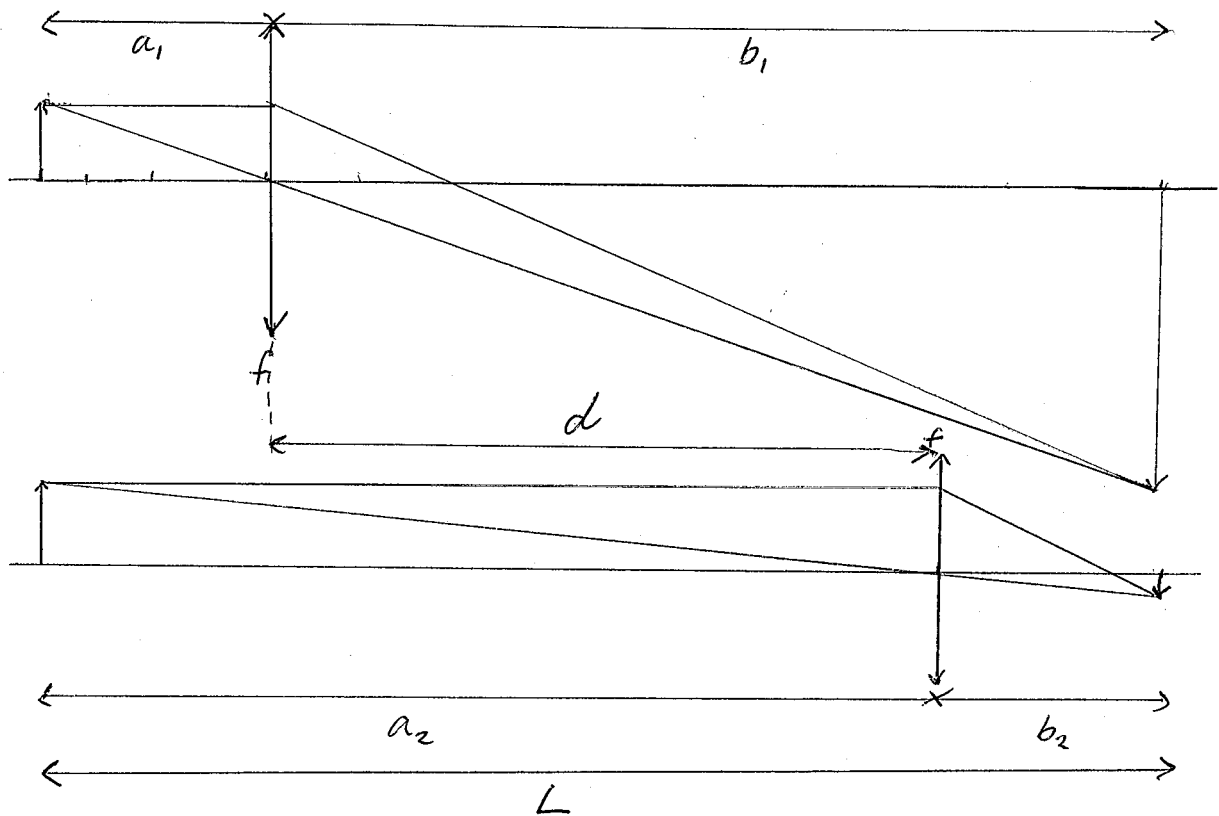
$$n_{\text{glas}} \sin \theta_2 = n_{\text{vätska}} \sin 90^\circ = n_{\text{vätska}}$$

$$\Rightarrow n_{\text{vätska}} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{\sin 63,5^\circ}{\sin 41,1^\circ} = 1,36$$

Svar: $n_{\text{vätska}} = 1,36$

UPPGIFT 3

2012-04-10



- a) P.g.a symmetrin är $a_1 = b_2$ och $b_1 = a_2$
Det ger: $L = a_1 + d + b_2 = 2a_1 + d$

$$\Rightarrow a_1 = \frac{L - d}{2} = \frac{150 - 90}{2} = 30 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1}} = \frac{1}{\frac{1}{30} + \frac{1}{120}} = 24 \text{ cm}$$

$\Rightarrow b_1 = L - a_1 = 120 \text{ cm}$

Svar: $f = 24 \text{ cm}$

b) $M = -\frac{b_2}{a_2} = -\frac{30}{120} = -0,25$

Svar: $M = -0,25$ (uppochner)

Svar: På grund av ljusets böjning.

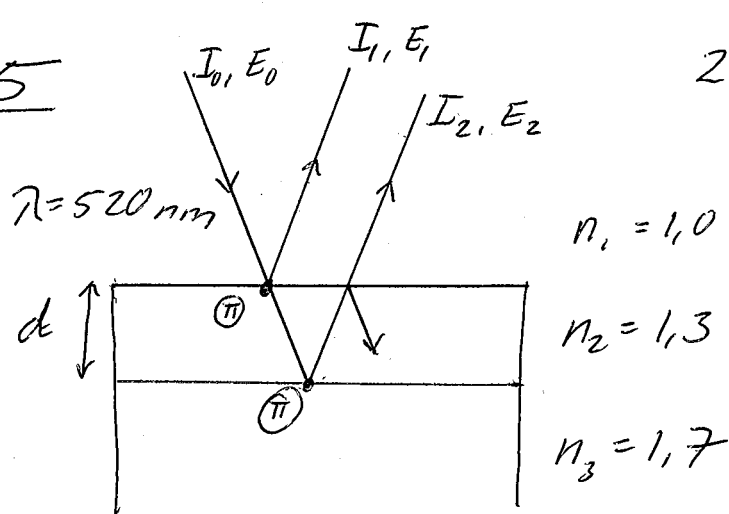
$$\text{Böjningsmin. för: } b \sin \theta = m \lambda$$

\Rightarrow Större $\lambda \rightarrow$ större böjningsvinkel.

\Rightarrow Radiovågor (MHz), ljus (THz)

UPPGIFT 5

2012-04-10



$$a) 2n_2d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow d = \frac{\lambda}{4n_2} = \frac{520 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 1,3} = 100 \text{ nm}$$

Svar: $d = 100 \text{ nm}$

$$b) R = \left(\frac{n_3 - n_1}{n_3 + n_1} \right)^2 = \left(\frac{1,7 - 1}{1,7 + 1} \right)^2 = 0,0672$$

Svar: 6,7% av I_0

$$c) R_1 = \left(\frac{1,3 - 1,0}{1,3 + 1,0} \right)^2 = 0,017013$$

$$R_2 = \left(\frac{1,7 - 1,3}{1,7 + 1,3} \right)^2 = 0,017778$$

$$I_1 = R_1 I_0 = 0,017013 I_0$$

$$I_2 = R_2 (1 - R_1)^2 I_0 = 0,017178 I_0$$

$$I = kE^2 \Rightarrow E_1 = \sqrt{0,017013} E_0 = 0,13043 E_0$$

$$E_2 = \sqrt{0,017778} E_0 = 0,13106 E_0$$

$$E_t = E_2 - E_1 = 0,00063 E_0$$

$$I_t = (0,00063)^2 I_0 = 4 \cdot 10^{-7} I_0$$

Svar: $I_t = 4 \cdot 10^{-7} I_0$

UPPGIFT 6

2012-04-10

$R_1 = 1$

$N_2 = 0,8 N$

$R_2 = 0,98$

$N_1 = 0,2 N$

$g(f_0) = 380 \text{ ps}$

$L = 0,15 \text{ m}$

$\lambda = 633 \text{ nm}$

$\tau = 300 \text{ ns}$

* Förstärkning då

$$G = \frac{I_{\text{ut}}}{I_{\text{in}}} = R_1 R_2 e^{2\gamma(f_0)L} > 1$$

$$\Rightarrow \gamma(f_0) > -\frac{\ln(R_1 R_2)}{2L} = 0,067 \text{ m}^{-1}$$

* Förstärkningsfaktor:

$$\gamma(f_0) = (N_2 - N_1) \frac{\lambda^2}{8\pi\tau} \quad g(f_0) = (0,8 - 0,2) \frac{N\lambda^2}{8\pi\tau} g(f_0)$$

$$\Rightarrow N = \frac{8\pi\tau \gamma(f_0)}{0,6 g(f_0) \lambda^2} > \underline{5,5 \cdot 10^{15} \text{ m}^{-3}}$$

UPPGIFT 7

$f = 15 \text{ mm}$

$\lambda = 780 \text{ nm}$

$NA = 0,15$

$d_k = 150 \mu\text{m}$

$n_k = 1,430$

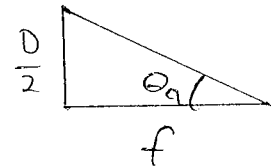
a.

$$NA = \sqrt{n_k^2 - n_m^2} \Rightarrow n_m = \sqrt{n_k^2 - NA^2} = \underline{1,422}$$

b.

$$NA = \sin \theta_a \Rightarrow \theta_a = 8,63^\circ$$

$$\tan \theta_a = \frac{D}{2f}$$



$$D = 2f \tan \theta_a = \underline{4,55 \text{ mm}}$$

c.

$$V = \frac{\pi d_k NA}{\lambda_0} = 90,6 > 2,405 \Rightarrow \begin{matrix} \text{Ej} \\ \text{Singelmodfiber} \end{matrix}$$

$$M \approx \frac{V^2}{2} = \underline{4106 \text{ moder}}$$

$$L = 500 \text{ m} \quad n_k = 1,5$$

$$\alpha = 5,4 \text{ dB/km}$$

$$\textcircled{a.} \quad R = \left(\frac{n_k - 1}{n_k + 1} \right)^2 = 0,04 \quad \Rightarrow \quad T = 0,96$$

$$T_{\text{tot}} = T^2 = 0,922 \quad \Rightarrow \quad 92,2\%$$

$$G_R = 10 \log T_{\text{tot}} = \underline{\underline{-0,35 \text{ dB}}}$$

$$\textcircled{b.} \quad G_{\alpha} = -\alpha \cdot L = -5,4 \cdot 0,5 = -2,7 \text{ dB}$$

$$G_{\text{tot}} = G_R + G_{\alpha} = \underline{\underline{-3,05 \text{ dB}}}$$