NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Program for lærerutdanning

Eksamensoppgave i FY6020 Lys, optikk og fysikkfaget i skolen

Faglig kontakt under eksamen: Jorunn Grip

Tlf.: 93255281

Eksamensdato: 28/5 2015

Eksamenstid 9.00 – 13.00

Tillatte hjelpemidler: Lommeregner (alle typer er tillatt), ulike typer linjaler, vinkelmåler, blyanter og passer

Vurderingskriterier:

Ved vurderingen vektlegges din evne til å

- gjøre greie for fysiske fenomener
- gjøre greie for kvalitative vurderinger
- vise regneferdighet
- vise eksperimentelle ferdigheter
- presentere besvarelsen
- tegne gode, illustrerende figurer

Prosentene på hver oppgave indikerer hvor mye den teller i det endelige resultatet.

Side 15 leveres med besvarelsen.

Målform: bokmål

Antall sider (uten forside): 14

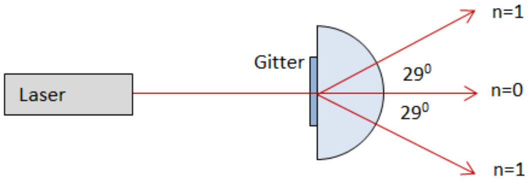
Antall sider vedlegg: 10

Kontrollert av:

____

Oppgave 1 (10 %)

Laserlys treffer et gitter som ligger tett inntil ei glassplate. Se figur 1. Laserlyset har bølgelengden 633nm i luft. Gitteret har 1180 streker per mm. Regn ut brytningsindeksen for glassplaten.



Figur 1

Løsning:

Finner først vinkelen for 1. ordens konstruktiv interferens til gitteret med luft bak gitteret.

$\lambda = 633nm, \quad N = 1180\ striper\ \ pr.mm$

$d \sin\theta = n\lambda \qquad n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots.$ hvor $d = \dfrac{1}{N}$

Med luft og første orden: $\sin\theta_1 = \dfrac{\lambda}{d}$

Snells brytningslov: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

Venstre side er i luft og høyre i glasset. Da er $n_1 = 1$ og $\theta_2 = 29°$

Vi får:

$$\underline{\underline{n_{glass}}} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\lambda N}{\sin\theta_2} = \frac{633 \cdot 10^{-9} \cdot 1180 \cdot 10^{3}}{\sin 29} = \underline{\underline{1{,}54}}$$

Oppgave 2 (10 %)

Vi har en dobbeltspalte med spaltebredder a og en avstand mellom de sto spaltene *d = 2,5 a*. Du sender lys med bølgelengde 633 nm inn mot dobbeltspalten. Vil det bli utslokning av maksimum i interferensmønsteret fra denne spalten? I så fall, hvilke mangler?

Løsning

Vi har utslokning i interferensmønsteret når diffraksjonsminimum overlapper interferensmaksimum.

Interferensmaksimum: $d\sin\theta = n\cdot\lambda \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, ...$ hvor *d*er avstanden mellom spaltene

Diffraksjonsminimum: $a\sin\theta = m\cdot\lambda \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3......$ hvor *a* er spaltebredden

Vi deler de to ligningene på hverandre og forkorter:

$$\frac{a\cancel{\sin\theta}}{d\cancel{\sin\theta}} = \frac{m\cancel{\lambda}}{n\cancel{\lambda}} \qquad d = 2,5a$$

Vi får: $\frac{a}{2,5a} = \frac{m}{n} \Rightarrow n = 2,5\cdot m$

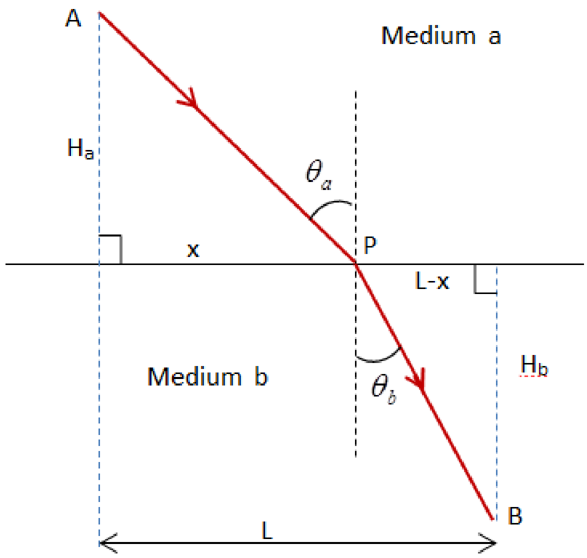
Utslokning for: $\begin{array}{l} m = 2 \Rightarrow n = 5 \\ m = 4 \Rightarrow n = 10 \ osv \end{array}$

Oppgave 3 (15 %)

På 1600 – tallet kom den franske matematikeren Pierre de Fermat fram til det vi nå kaller Fermats prinsipp: *Når en lysstråle går fra et punkt A til et annet punkt B, går lyset alltid langs den veien som krever kortest tid fra A til B.*

Du skal nå utlede Snells brytningslov: $n_a \sin\theta_a = n_b \sin\theta_b$ fra Fermats prinsipp

Ta utgangspunkt i tidsaspektet i Fermats prinsipp og figur 2 der en lysstråle går fra A til B og blir brutt i punktet P på grenseflaten mellom to medier med hver sin lysfart.



Figur 2

Løsning

Pytagoras gir: $AP = \sqrt{x^2 + H_a^{\,2}}$ og $PB = \sqrt{(L-x)^2 + H_b^{\,2}}$

Tida lyset bruker fra A til B er: $t(x) = \dfrac{\sqrt{x^2 + H_a^{\,2}}}{c_1} + \dfrac{\sqrt{(L-x)^2 + H_b^{\,2}}}{c_2}$ hvor c_1 og c_2 er lysfarten i medium 1 og medium 2.

Minst mulig tid når $t'(x) = 0$

$$t'(\mathrm{x}) = \frac{2x \cdot \frac{1}{2}\left(x^2 + H_a^{\,2}\right)^{-\frac{1}{2}}}{c_1} + \frac{-2 \cdot \frac{1}{2}(L-x)\left((L-x)^2 + H_b^{\,2}\right)^{-\frac{1}{2}}}{c_2} = 0$$

Vi ordner og får: $\dfrac{x}{c_1\sqrt{x^2 + H_a^{\,2}}} = \dfrac{L-x}{c_2\sqrt{(L-x)^2 + H_b^{\,2}}}$

Av figuren kjenner vi igjen sinus til innfallsvinkel og refleksjonsvinkel: $\frac{\sin\theta_a}{c_1} = \frac{\sin\theta_b}{c_2}$

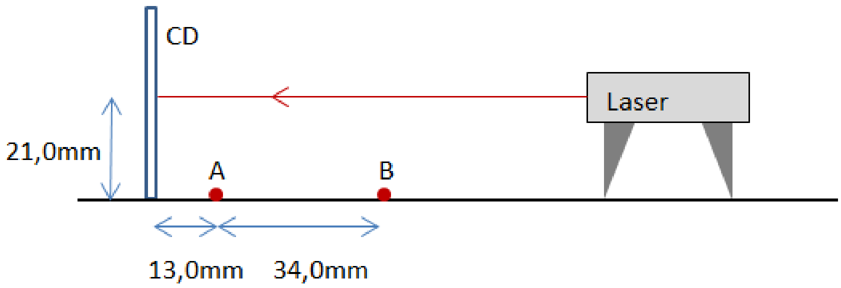
Videre har vi: $n_1 = \frac{c}{c_1}\, og\, n_2 = \frac{c}{c_2}$ hvor *c* er lysfarten i vakuum/luft.

Vi har Snells Brytningslov: $n_a \sin\theta_a = n_b \sin\theta_b$ q.e.d.

Oppgave 4 (10 %)

Du gjør et fysikkforsøk på laben ved å sende laserlys med bølgelengde 632,8 nm vinkelrett på en CD – plate, se figur 3 På bordet ser du to lysflekker, ved A og ved B. Se figur 3.

a) Hvordan vil du forklare at disse lysflekkene oppstår?
b) Hva blir avstanden mellom to nabospor på CD – platen ut fra dine målinger?
c) Hvorfor blir det ikke flere enn to lysflekker på bordet?

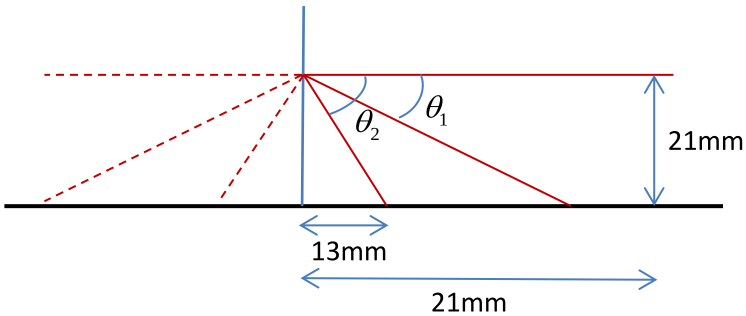


Figur 3

Løsning

a) CD – platen fungerer som et refleksjonsgitter. 0'te orden går rett tilbake til laseren.

Vi har: $d\sin\theta = n\cdot\lambda \qquad n = 0, \pm1, \pm2, \ldots..$



Figuren viser hvordan strålen går (heltrukket rød linje) og hvordan den ville gått dersom det var et vanlig transmisjonsgitter. Vi kan regne på det som om det var et transmisjonsgitter.

Vi får:

$$\tan\theta_1 = \frac{21}{47} \Rightarrow \theta_1 = 24,08°$$

$$\tan\theta_2 = \frac{21}{13} \Rightarrow \theta_2 = 58,24°$$

Første orden, beregning av rilleavstanden: $d\sin\theta_1 = \lambda \Rightarrow d = \frac{\lambda}{\sin\theta_1} = \frac{632,8nm}{\sin 24,08} \Rightarrow d = 1,55\mu m$

Andre orden, beregning av rilleavstanden:

$$d\sin\theta_2 = \lambda \Rightarrow d = \frac{2\lambda}{\sin\theta_2} = \frac{2\cdot 632,8nm}{\sin 58,24} \Rightarrow d = 1,49\mu m$$

Rilleavstanden er: $\underline{\underline{(1,5 \pm 0,1)\,\mu m}}$

Neste flekk ville vært 34mm til venstre for A og det blir fysisk umulig.

Oppgave 5 (10 %)

a) Hva er det fysiske prinsippet bak en mikrobølgeovn? Hva slags egenskaper må to av de innvendige veggene i mikrobølgeovnen ha?
b) Vann absorberer stråling med bølgelengde på 12,2 cm sterkt. Foreslå og begrunn en lengde på en mikrobølgeovn.
c) Hvorfor roterer maten i mikrobølgeovnen?

Figur 4

Løsning

a) Noen mulige punkter:
    a. Tegne en elektromagnetisk bølge normalt inn på endeflaten i ovnen i negativ x -retning.
    b. Varierende elektrisk felt i fører til en oscillerende strøm i metallet og dermed et nytt elektrisk felt som produserer en reflektert bølge i x – retning.
    c. Det elektriske feltet har ingen komponent parallelt med en metallflate, følgelig må det være et knutepunkt for det elektriske feltet i endeflata.
    d. Summerer innkommende og reflektert bølge og får en stående bølge.

b) Velger bølgelengde $\lambda = 12,2cm$ pga absorbsjon i vann.

Knutepunkt for det elektriske feltet for: $x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, ...$ Lengden til ovnen kan da være:

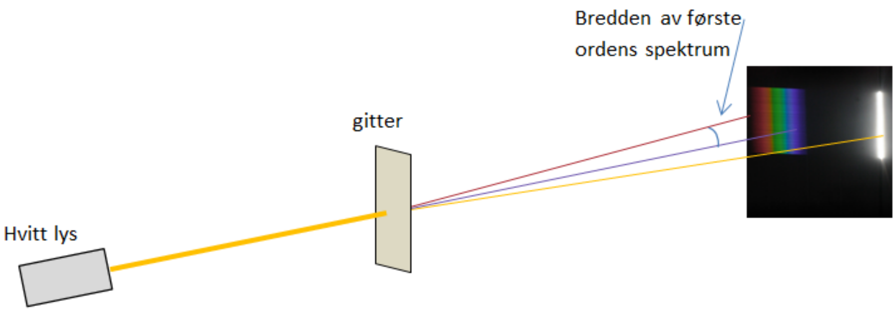
$6,1cm,\ 12,2cm,\ 18,3cm,\ 24,4cm,\ 30,5cm$

Forslag 30,5 cm

c) I ro ville oppvarmingen skjedd i bukene og maten i knutepunktene for det elektriske feltet ville forblit kalde. (forskjell på figurene av elektromagnetiske bølger på side 1061 og 1069)

Oppgave 6 (15 %)

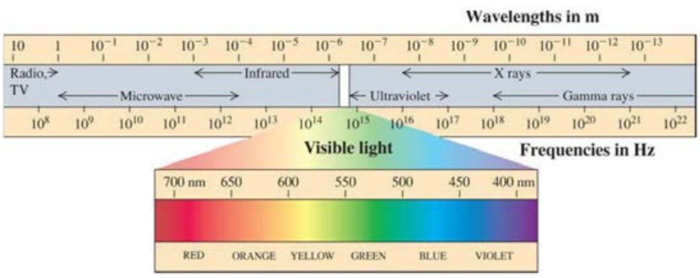
Du skal lage et enkelt spektrometer med følgende spesifikasjon: Bredden til første ordens spektrum av synlig hvitt lys skal være $10,0^{\circ}$. Se figur 5 og 6.



Figur 5

Du skal bruke et diffraksjonsgitter.
Du kan få bruk for denne formelen: $\sin(u+v) = \sin(u)\cos v + \cos(u)\sin(v)$

a) Hvor mange spalter pr cm må gitteret ha?
b) Ved hvilke vinkler vil første ordens synlig spekter starte og slutte?



Figur 6

Løsning

Vinkelspenn på 10^0 for første ordens spektrum. Bruker fiolett ca 400nm og rødt ca 700nm.

$$d \sin\theta = n \cdot \lambda \qquad n = 0, \pm 1, \pm 2, ...$$

$$n = 1 \Rightarrow d \sin\theta = \lambda$$

$$d = \frac{1}{N} \Rightarrow \frac{1}{N}\sin\theta = \lambda$$

Rød: $\frac{1}{N}\sin\theta_R = 700nm$

Fiolett: $\frac{1}{N}\sin\theta_F = 400nm$ Vi får: $\frac{\sin\theta_R}{\sin\theta_F} = \frac{700}{400} = \frac{7}{4}$

Gitt: $\theta_R - \theta_F = 10,0° \Rightarrow \frac{\sin(\theta_F + 10,0)}{\sin\theta_F} = \frac{7}{4}$

$$\frac{\sin\theta_F \cdot \cos 10,0 + \cos\theta_F \cdot \sin 10,0}{\sin\theta_F} = \frac{7}{4}$$

$$\cos 10,0 + \frac{\sin 10,0}{\tan\theta_F} = \frac{7}{4}$$

Videre: $\frac{\sin 10,0}{\tan\theta_F} = \frac{7}{4} - \cos 10,0$

$$\tan\theta_F = \frac{\sin 10,0}{\frac{7}{4} - \cos 10,0} \Rightarrow \theta_F = 12,7°$$

$$\theta_R = \theta_F + 10,0° = 22,7°$$

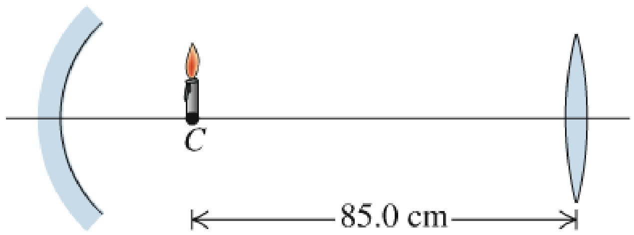
$$\frac{1}{N}\sin\theta_R = 700nm \Rightarrow N = \frac{\sin\theta_R}{700nm} = \frac{\sin 22,7°}{700 \cdot 10^{-9} m} = 551294 l/m$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{N = 5510 l/cm}}$$

Starter på $12,7^0$ og slutter på $22,7^0$

Oppgave 7

Et stearinlys er plassert i sentrum av krumningsradien til et konkavt speil, C. Speilets brennvidde er 10,0 cm. Se figur 7. Til høyre på figuren er ei linse med brennvidde 32,0 cm. Den er plassert 85,0 cm til høyre for stearinlyset. Vi ser på lyste fra høyre side på figuren gjennom linsa og ser da to bilder av talglyset. Det ene dannes av lys som passerer direkte gjennom linsa. Det andre dannes av lys som først reflekteres av speilet og deretter går gjennom linsa.



Figur 7

a) Tegn en figur som tydelig viser hvordan hovedstrålene for de to bildene konstrueres. (Hvis det er nødvendig på grunn av størrelsen så kan du dele det opp i to bilder.)
b) Finn for begge bildene
   a. hvor bildet er
   b. om bildet reelt eller virtuelt
   c. om bildet er opprett eller snudd i forhold til objektet

34.94. **IDENTIFY:** $\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$ gives $s'=\frac{sf}{s-f}$, for both the mirror and the lens.

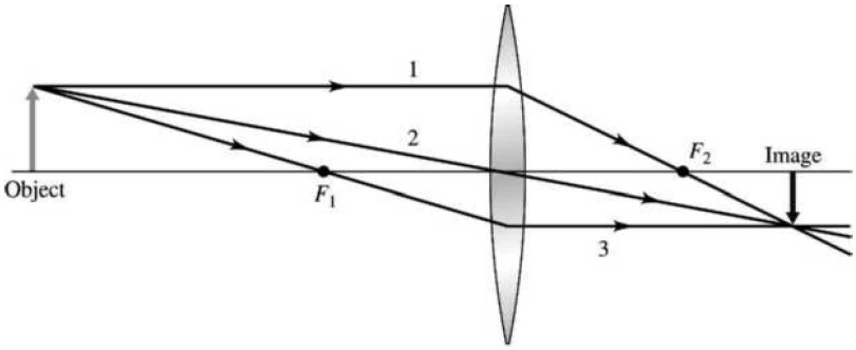
SET UP: For the second image, the image formed by the mirror serves as the object for the lens. For the mirror, $f_m = +10.0$ cm. For the lens, $f = 32.0$ cm. The center of curvature of the mirror is $R = 2f_m = 20.0$ cm to the right of the mirror vertex.

EXECUTE: **(a)** The principal-ray diagrams from the two images are sketched in Figures 34.94a–b. In Figure 34.94b, only the image formed by the mirror is shown. This image is at the location of the candle so the principal-ray diagram that shows the image formation when the image of the mirror serves as the object for the lens is analogous to that in Figure 34.94a and is not drawn.

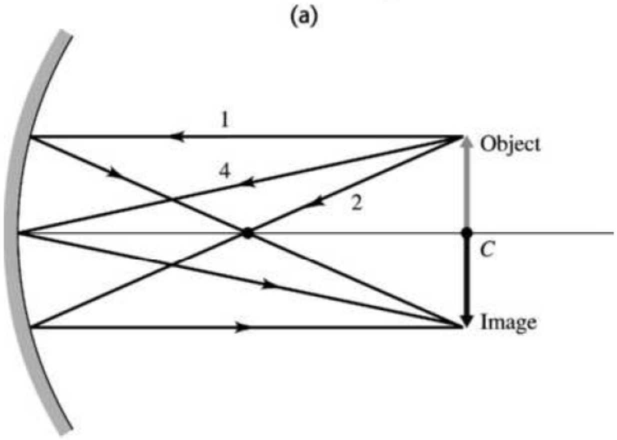
(b) Image formed by the light that passes directly through the lens: The candle is 85.0 cm to the left of the lens. $s'=\frac{sf}{s-f}=\frac{(85.0\text{ cm})(32.0\text{ cm})}{85.0\text{ cm}-32.0\text{ cm}}=+51.3$ cm. $m=-\frac{s'}{s}=-\frac{51.3\text{ cm}}{85.0\text{ cm}}=-0.604$. This image is 51.3 cm to the right of the lens. $s'>0$ so the image is real. $m<0$ so the image is inverted. Image formed by the light that first reflects off the mirror: First consider the image formed by the mirror. The candle is 20.0 cm to the right of the mirror, so $s=+20.0$ cm. $s'=\frac{sf}{s-f}=\frac{(20.0\text{ cm})(10.0\text{ cm})}{20.0\text{ cm}-10.0\text{ cm}}=20.0$ cm.

$m_1=-\frac{s_1'}{s_1}=-\frac{20.0\text{ cm}}{20.0\text{ cm}}=-1.00$. The image formed by the mirror is at the location of the candle, so $s_2=+85.0$ cm and $s_2'=51.3$ cm. $m_2=-0.604$. $m_{\text{tot}}=m_1m_2=(-1.00)(-0.604)=0.604$. The second image is 51.3 cm to the right of the lens. $s_2'>0$, so the final image is real. $m_{\text{tot}}>0$, so the final image is erect.

EVALUATE: The two images are at the same place. They are the same size. One is erect and one is inverted.



(a)



(b)

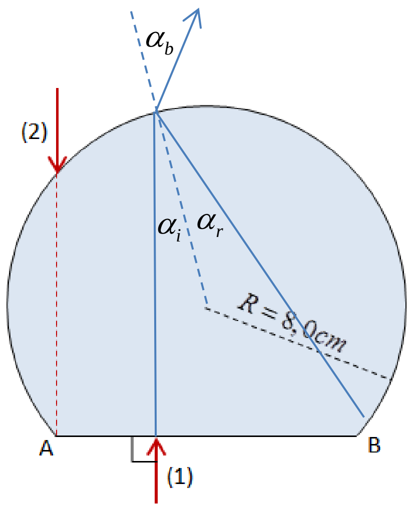
Oppgave 8 (15 %)

Figur 8 viser et snitt gjennom sentrum av en massiv glasskule der vi har skåret vekk en skalk (et segment) slik at vi får en plan, horisontal flate AB. Glasset har brytningsindeksen 1,60 og er omgitt av luft. Radien i kula er 8,0 cm, og avstanden AB er 12,0 cm. Alle lysstrålene som blir drøftet i oppgaven ligger i «papirplanet». En lysstråle (1) går normalt inn mot den plane flaten AB, 4,0 cm fra A.

a) Beregn strålegangen videre. Tegn den inn på kopien av figur 8 i vedlegg 3. Denne siden legges ved besvarelsen.
b) I hvilke avstander fra A må strålen treffe normalt på AB for at den skal bli totalreflektert?

Vi antar nå at brytningsindeksen for glasslegemet er ukjent. Vi plasserer legemet med flaten AB oppå et plant horisontalt speil. En stråle (2) sendes loddrett ned mot kuleflaten. Den treffer kuleflaten i et punkt loddrett ovenfor punktet A. Se figur 8.

c) Hva må brytningsindeksen for glasset være dersom strålen (2) skal bli reflektert fra kanten AB og inn mot sentrum av kula? Tegn strålegangen inn på kopien av figur 8 i vedlegg 3.



Figur 8

Løsning

a) Strålegangen er tegnet inn på figuren. Innfallsloddet er stiplet linje. Det meste av lyset brytes ut av kula. Brytningsvinkel α_b. Noe lys reflekteres i kuleflaten og går inn i kula mer refleksjonsvinkel, α_r lik innfallsvinkel, α_i.

n_g = 1,60 R = 8,0 cm AB = 12,0 cm I (1) er avstanden fra A 4,0 cm.

$$\sin\alpha_i = \frac{2,0}{8,0} \Rightarrow \underline{\underline{\alpha_i}} = 14,48^\circ = \underline{\underline{14^\circ}}$$

Snells brytningslov: $n_{glass}\sin\alpha_i = n_{luft}\sin\alpha_b$ Brytningsindeksen i luft $n_{luft} = 1$

Vi får: $\sin\alpha_b = n_{glass}\sin\alpha_i = 1,60\cdot\frac{2,0}{8,0} \Rightarrow \underline{\underline{\alpha_b}} = 23,58° = \underline{\underline{24°}}$

b) Totalrefleksjon når $\sin\alpha_b = 1 \Rightarrow n_{glass}\cdot\sin\alpha_i = 1 \Rightarrow \sin\alpha_i = \frac{1}{n_{glass}} \Rightarrow \underline{\alpha_i = 38,68°}$

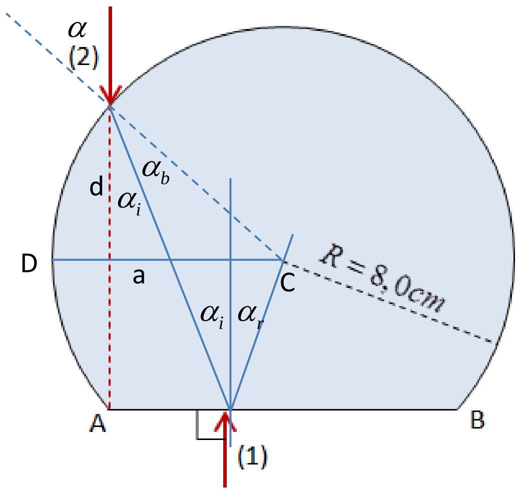
Avstand fra A er x. Vi får: $\sin\alpha_i = \frac{6,0cm - x}{R} = \frac{1}{n_{glass}}$

Vi løser ligninga:

$$n_{glass}(6,0 - x) = R$$
$$n_{glass}\cdot 6,0 - n_{glass}\cdot x = R$$
$$x = \frac{n_{glass}\cdot 6,0 - 8,0}{n_{glass}} = 1,0cm$$

<u>Vi får totalrefleksjon når avstanden fra A er mellom 0 og 1,0 cm.</u>

c) Strålegangen er tegnet på figuren.



Det er tegnet inn innfallsvinkel fra luft inn i glasskula, α , innfallslodd og brytningsvinkel α_b . Videre innfallslodd, innfallsvinkel, α_i og refleksjonsvinkel, $\alpha_r = \alpha_i$ i refleksjonen fra den flate delen. Innfallsvinkelen finnes igjen som vist på figuren pga parallelle overskjæringslinjer. Strålen kommer inn i kula symmetrisk med punktet A om CD. Vi får dermed tre like trekanter, to med innfallsvinkelen, α_i og en med den like store refleksjonsvinkelen α_r .

Vi har Snelles brytningslov: $\sin\alpha = n\sin\alpha_b$

Fra figuren: $\sin\alpha = \dfrac{6,0}{8,0} = 48,59° \Rightarrow \underline{n\sin\alpha_b = \dfrac{6}{8}}$

Vi må finne brytningsvinkelen. Pga toppvinkler: $\alpha = \alpha_i + \alpha_b \Rightarrow \alpha_b = \alpha - \alpha_i$

$$\tan\alpha = \frac{6}{d} \Rightarrow d = \frac{6}{\tan\alpha} = 5,29cm$$

$$\tan\alpha_i = \frac{a}{d} = \frac{a\tan\alpha}{6,0cm} = \frac{2,0cm\cdot\tan 48,59}{6,0} \Rightarrow \alpha_i = 20,71°$$

$$\alpha_b = \alpha - \alpha_i = 48,59° - 20,71°$$

Brytningsindeksen: $\underline{\underline{n}} = \dfrac{6,0cm}{8,0cm\cdot\sin 27,88°} = \underline{\underline{1,60}}$ som vi kunne vente.

Vedlegg 1

Fysiske enheter, konstanter og

Noen SI – enheter:

Navn	Enheter	Navn	Enheter	Navn	Enheter
volt	$V = kg \cdot m^2 / (s^3 \cdot A)$	**pascal**	$Pa = N / m^2$	**weber**	$Wb = V \cdot s$
radian	rad	**joule**	$J = N \cdot m$	**tesla**	$T = Wb / m^2$
meter	m	**watt**	$W = J / s$	**ohm**	$\Omega = V / A$
sekund	s	**kelvin**	K		
hertz	Hz	**ampere**	A		
kilogram	kg	**coloumb**	$C = A \cdot s$		
newton	$N = kg \cdot m / s^2$	**farad**	$F = A \cdot s / V$		

Fysiske størrelser:

Utvidelseskoeffisient:	**Materiale:**	**Symbol: α, enhet: (K^{-1})**
	Aluminium	$2,4 \times 10^{-5}$
	Glass	$0,5 \times 10^{-5}$
	Stål	$1,2 \times 10^{-5}$
Varmekapasitet:	**Materiale:**	**Symbol: c, enhet: J/kg·K**
	Is	2100
	Vann (ferskvann)	4190
	Saltvann (fra havet)	3985
Molar varmekapasitet:	**Materiale:**	**Symbol: C, enhet: J/mol·K**
	Is	37,8
	Vann	75,4
Smeltevarme:	**Materiale:**	**Symbol: L_f, enhet: J/kg**
	Vann (ferskvann)	334×10^3
	Hydrogen	$58,6 \times 10^3$
	Oksygen	$13,8 \times 10^3$
Fordampningsvarme:	**Materiale:**	**Symbol: L_V, enhet: J/kg**
	Vann (ferskvann)	2256×10^3
	Hydrogen	452×10^3
	Oksygen	213×10^3
Tetthet:	**Materiale**	**Symbol: ρ, enhet: kg/m³**
	Saltvann (fra havet)	1030
	Vann (ferskvann)	1000
	Isfjell	920

Brytningsindekser for gult lys, λ = 589 nm	Luft	1,00	
	Diamant	2,419	
	Pleksiglass	1,48 – 1,51	
	Flintglass (rent)	1,61	
Brytningsindekser for lys i vann	Rødt lys	1,330	
	Gult lys	1,333	
	Fiolett lys	1,342	
Vanndampens metningstrykk:	**Temperatur i ^0C**	**$P_d(T)$ i Pa**	**Fukt (g/m^3)**
	-10	**260**	**2,14**
	20	**2335**	**17,29**

Noen fysiske konstanter:

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} Tm / A$

$\varepsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} C^2 / N \cdot m^2$

$e = 1,6019 \cdot 10^{-19} C$ (elementærladningen)

$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} kg$ (elektronets masse)

$g = 9,807 m / s^2$

$c = 3,00 \cdot 10^8 m / s$

$R = 8,314 \ J / (mol\,K)$

$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \ J / K$ (Boltzmanns konstant)

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} Js$ (Plancks konstant)

Vedlegg 2

FORMELLISTE

n = antall mol N = antall molkyler

Fluidmekanikk

$$p = \frac{dF_\perp}{dA} \qquad p = p_0 + \rho g h$$

Varmelære

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 \qquad T = 273{,}15 \cdot \frac{p}{p_{trippel}}$$

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \qquad \Delta V = \beta V_0 \Delta T \qquad pV = nRT = NkT$$

$$K_{tr} = \frac{3}{2}nRT \qquad v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \qquad \lambda = \frac{V}{4\pi\sqrt{2}r^2 N}$$

van der Waals ligning: $\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$

$$Q_f = m \cdot L_f \qquad Q_v = m \cdot L_v$$

$$\Delta W = p\Delta V \qquad W = \int_1^2 p dV \qquad \gamma = \frac{C_p}{C_V}$$

$\gamma = 1,67$ for en enatomig ideell gass og $\gamma = 1,40$ for en toatomig ideell gass

$$C_p = C_V + R \qquad \Delta U = Q - W \qquad Q = mc\Delta T = nC\Delta T$$

$$dU = nC_V dT \qquad pV^\gamma = konst \qquad TV^{\gamma-1} = konst$$

$$p^{1-\gamma}T^\gamma = konst$$

Virkningsgrad for varmekraftmaskiner: $e = \frac{W}{Q_H}$ Carnot: $e = 1 - \frac{T_C}{T_H}$

$K = \left|\frac{Q_C}{W}\right|$ Carnot: $K = \frac{T_C}{T_H - T_C}$ Entropi: $\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$

Damptrykksformelen: $p(T) = p_0 e^{\frac{L_m}{R}\left(\frac{1}{T_0}-\frac{1}{T}\right)}$

Relativ fuktighet: $\varphi = \dfrac{p_{H_2O}}{p_d(T)} \cdot 100\%$

Varmetransport:

Fouriers lov: $\Phi(x) = -\kappa A \dfrac{dT}{dt}$

Varmemotstanden: $R = \dfrac{L}{\kappa \cdot A}$

Konveksjon: $\Phi = hA(T_v - T_l)$

Stefan – Boltzmanns lov: $j_S = \sigma T^4$

$r + a + t = 1$

Plancks fordelingslov: $F(\lambda, T) = \dfrac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \dfrac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$

Wiens forskyvningslov: $\lambda_{maks} \cdot T = 2{,}898 \cdot 10^{-3}\, mK$

Elektromagnetisme

Coulombs lov: $F = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \dfrac{|q_1 q_2|}{r^2}$

$\vec{E} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \dfrac{q}{r^2} \hat{r}$

Elektrisk dipolmoment: $\vec{p} = q\vec{d}$ (fra – til +)

Dreiemoment på en elektrisk dipol: $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

Potensiell energi til en elektrisk dipol: $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$

Elektrisk fluks: $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

Elektrisk potensiell energi: $U = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \dfrac{qq_0}{r}$

Elektrik potensial fra en punktladning: $V = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \dfrac{q}{r}$

Potensialforskjellen mellom to punkter: $V_a - V_b = \int \vec{E} \cdot \vec{dl}$

Kraft på en ladning i bevegelse: $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

Magnetisk kraft på en strømførende leder: $\vec{F} = I\vec{dl} \times \vec{B}$

Dreiemoment på ei strømsløyfe: $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

Potensiell energi til en magnetisk dipol: $U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$

Hall – effekten: $nq = \frac{-J_x B_y}{E_z}$

Magnetfelt fra en punktladning med konstant fart: $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$

Biot – Savarts lov: $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$

Magnetisk fluks: $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$

Faradays lov: $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

Indusert ems i en lukket strømsløyfe som beveger seg i et magnetfelt: $\varepsilon = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$

Maxwells likninger:

hvor det elektriske feltet er gitt av: $\vec{E} = \vec{E}_c + \vec{E}_n$

1. Gauss lov for $\vec{E}$: $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{encl}}{\varepsilon_0}$
2. Gauss lov for $\vec{B}$: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
3. Amperes lov: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i_C + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)_{encl}$
4. Faradays lov: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

Noen formler fra mekanikk

Bevegelseslikninger ved konstant akselerasjon i x – retning:

$$v = v_0 + at$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v^2 = v_0^{\,2} + 2a(x - x_0)$$

Sirkelbevegelse med konstant baneakselerasjon: $a_{rad} = \frac{v^2}{R}$

Vinkelfart: $\omega = \frac{d\theta}{dt}$

Elektromagnetiske bølger, lys og optikk

$E_{\max} = cB_{\max}$

Farten i vakuum: $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$

Poynting vektor: $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$

Intensiteten: $I = \frac{E_{\max} \cdot B_{ax}}{2\mu_0}$

Brytningsindeksen: $n = \frac{c}{v}$

Snells lov: $n_a \sin\theta_a = n_b \sin\theta_b$

Malus's lov: $I = I_{\max} \cos^2 \phi$

Brewsters lov: $\tan\theta_p = \frac{n_b}{n_a}$

Speilformelen for sfæriske speil: $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f}$

Brytning i sfærisk flate: $\frac{n_a}{s} + \frac{n_b}{s'} = \frac{n_b - n_a}{R}$

Lateral forstørrelse: $m = \frac{y'}{y}$

Linseformelen: $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$

Linsemakerens formel: $\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

Intensitet i interferens fra to spalter: $I = I_0 \cos^2 \frac{\phi}{2}$ hvor $\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1)$

Konstruktiv refleksjon fra tynn film, ingen relative faseskift: $2t = m\lambda \quad (m = 0,1,2,......)$

Intensitet fra diffraksjon i enkeltspalt: $I = I_0 \left\{ \frac{\sin \beta / 2}{\beta / 2} \right\}^2$ hvor $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin\theta$

Diffraksjon i enkeltspalt, mørke streker: $\frac{a \sin\theta}{\lambda} = m \quad (m = \pm 1, \pm 2, ...)$

Intensitetsfordeling fra dobbeltspalt med diffraksjon:

$$I = I_0 \cos^2 \frac{\phi}{2} \left\{ \frac{\sin \beta / 2}{\beta / 2} \right\}^2 \; hvor \; \phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin\theta \; og \; \beta = \frac{2\pi a}{\lambda} \sin\theta$$

Intensitetsmaksima fra mange spalter: $d \sin\theta = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...)$

Kromatisk oppløsning: $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = Nm$

Braggs betingelse for konstruktiv interferens: $2d \sin\theta = m\lambda \quad (m = 1, 2, 3, ...)$

Diffraksjon i sirkulær apertur: $\sin\theta_1 = 1,22 \frac{\lambda}{D}$

Noen matte – formler

Potensregning:

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$$

$$(a \cdot b)^n = a^n \cdot b^n$$

$$\left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{a^n}{b^n}$$

$$\left(a^m\right)^n = a^{m \cdot n}$$

$$a^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a}$$

Derivasjon

$$f(x) = a \Rightarrow f'(x) = 0$$

$$f(x) = ax + b \Rightarrow f'(x) = a$$

$$f(x) = ax^r \Rightarrow f'(x) = a \cdot r \cdot x^{r-1}$$

$$f(x) = a \cdot e^{-bx} \Rightarrow f'(x) = a \cdot (-b) \cdot e^{-bx}$$

Integrasjon:

$$\int axdx = a\int xdx$$

$$\int x^r dx = \frac{1}{r+1} x^{r+1} + C, \quad r \neq -1$$

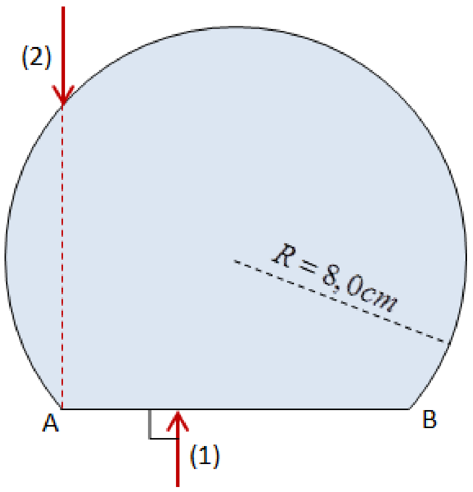
$$\int e^{kx} dx = \frac{1}{k} e^{kx} + C$$

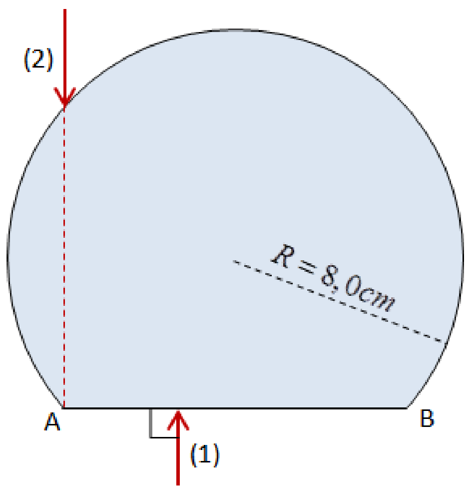
$$\int \frac{1}{x} dx = \ln x + C, \quad x > 0$$

Vedlegg 3 Kandidatnummer:________________

KOPI AV FIGURER

Vedlegg 3 legges ved besvarelsen





Figur 8