

NORGES TEKNISK- NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET  
INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:  
Institutt for fysikk, Realfagbygget  
Professor Catharina Davies  
Tel: 73593688

Bokmål

**EKSAMEN I EMNE SIF4005 FYSIKK**

For kjemi og materialteknologi

Onsdag 11. desember 2002 kl. 09.00 – 14.00.

Tillatte hjelpemidler: Enkel kalkulator HP30S  
O. Jähren og K.J. Knutsen: Formelsamling i matematikk  
K. Rottmann: Mathematische Formelsammlung  
K. Rottmann; Matematisk formelsamling  
S. Barrett og T.M. Cronin: Mathematical Formulae

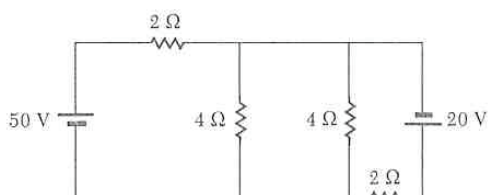
En del formler, uttrykk og definisjoner er vedlagt.

Sensur faller uke 2, 2003.

**Oppgave 1: Elektrostatikk**

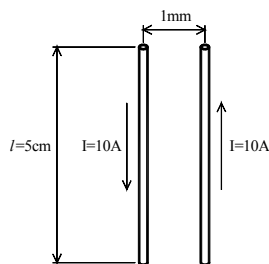
- En ledende massiv kule med radius  $R$  har en total ladning lik  $Q$ . Bruk Gauss lov og bestem det elektriske feltet  $E(r)$  inne i kula for  $r \leq R$  og utenfor kula for  $r \geq R$ .
- Den ledende kula byttes ut med en massiv kule av et ikke-ledende materiale med permittivitet  $\epsilon_0$ . Kula har samme radius  $R$ . Den totale ladningen i kula er  $Q$ , men ladningsfordelingen er ikke uniform, men varierer med radien  $r$  som  $\rho(r) = A \cdot r^2$  der  $A$  er konstant. Finn  $A$  uttrykt ved  $Q$  ved å integrere over hele kula. Bruk Gauss lov og bestem det elektriske feltet  $E(r)$  inne i kula for  $r \leq R$  og utenfor kula for  $r \geq R$ . Angi svaret med  $Q$ . Vis at det elektriske feltet er kontinuerlig for  $r=R$ .
- Det elektriske feltet er knyttet til et elektrisk potensiale  $V(r)$ . Beregn det elektriske potensialet for den ledende og den ikke-ledende kula omtalt i punkt a og b. Beregn potensialet utenfor kula  $r \geq R$  og inne i kula  $r \leq R$ . Sett  $V(\infty) = 0$ , dvs potensialet er 0 når  $r \rightarrow \infty$ . Sammenlikn potensialet for de to ladete kulene ved å tegne  $V(r)$  som en funksjon av  $r$  i samme graf. Kommenter likheter og forskjeller.

**Oppgave 2: Elektriske kretser. Magnetisme.**



- Anta at det i mobiltelefonen din er en elektrisk krets som vist på figuren. Beregn strømmen som går gjennom hver av motstandene i kretsen vist på figuren.

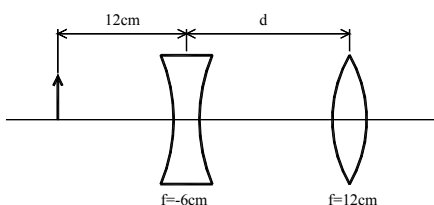
Når strømmen går gjennom motstandene tapes effekt  $P = V \cdot I$  i form av varme. (Når du snakker for lenge blir øret ditt varmt). Beregn effekttapet i hver av motstandene i kretsen.



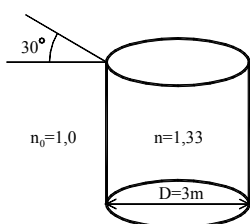
b) Anta at det i mobiltelefonen din er to parallelle strømførende ledere med lengde  $l=5,0$  cm og avstand  $1,0$  mm mellom lederne. Strømmen i de to lederne er like stor  $I=10,0$  A og går i motsatt retning som vist på figuren. Skisser de magnetiske feltlinjene rundt begge lederne og beregn størrelsen og retningen av det magnetiske feltet midt mellom de to lederne. Anta at lederne er plassert i  $x,y$ -planet parallelt med  $y$ -aksen.

c) Avstanden mellom lederne endres nå slik at det mellom de to lederne virker en frastøtende kraft lik  $F=0,10$  N over lengden  $l=5,0$  cm. Hva er da avstanden mellom lederne?

### Oppgave 3: Optikk

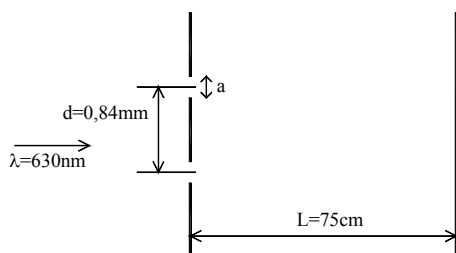


a) Et optisk instrument består av en konkav og en konvex linse som vist på figuren. Avstanden  $d$  mellom de to lensene kan varieres. Den konkave linsen har en fokallengde  $f=-6$  cm og den konvekse linsen har en fokallengde  $f=12$  cm. Et objekt er plassert  $12$  cm til venstre for den konkave linsen. Beregn avstanden  $d$  mellom lensene som plasserer bildet gitt av det sammensatte linsesystemet uendelig langt ute. Tegn strålegangen gjennom linsesystemet i dette tilfellet.



b) Solen skinner på en åpen sylindrisk tank med diameter  $3,0$  m, som vist på figuren. Tanken er helt full av vann med refraktiv indeks  $n=1,33$ . Når solen står  $30^\circ$  over horisonten når solstrålene akkurat ikke ned i bunnen av tanken. Hvor dyp er tanken?

Det er kommet oljesøl på toppen av tanken med vann og et fargemønster observeres. Oljen har en refraktiv indeks på  $n=1,45$ . Hva er den minste tykkelsen oljelaget kan ha når konstruktiv interferens observeres for rødt lys med bølglengde  $\lambda=630$  nm i luft?



c) To spalter adskilt med avstand  $d=0,84$  mm er plassert i en avstand  $L=75$  cm fra en skjerm som vist på figuren. Lys med bølglengde  $\lambda=630$  nm faller normalt inn på spaltene. Anta at åpningen av spalten er så liten at en kan se bort fra diffraksjon. På skjermen observeres et interferensmønster med vekselvis lyse og mørke områder. Bestem avstanden mellom det andre og tredje mørke området i interferensmønsteret på skjermen.

Åpningen av spalten økes slik at et kombinert interferens/diffraksjonsmønster observeres på skjermen. Mørke områder på grunn av diffraksjon inntreffer når  $\sin\theta = m\lambda/a$  der  $a$ =bredden av spalten og  $\theta$ =avbøyningsvinkelen. Interferens/diffraksjonsmønsteret viser at det tredje interferensmaksimumet mangler. Hva er da den minste bredden  $a$  spalten kan ha?

#### Oppgave 4: Mekaniske svingninger

- a) Bilen din er gammel med dårlige støtdempere slik at vi kan anta ingen dempning. Bilen har 4 fjærer og alle har samme fjærkonstant  $k_1$ . Massen av bilen er  $m=1500$  kg. Bilen treffer en fartsdump og oscillerer deretter med periode  $T=1,5$ s. Utslaget i bilens oscillerende vertikale bevegelse betegnes  $x(t)$ . Anta at hele bilen svinger med alle 4 hjul i fase. Sett opp differensiallikningen for svingebevegelsen. Beregn den totale fjærkonstanten  $k$  for alle fjærene. Anta at den totale fjærkonstanten  $k=4k_1$ .
- b) Du bytter ut støtdemperne og beholder fjærene. Når bilen treffer fartsdumpen er perioden i den oscillerende bevegelsen økt til  $T=2,0$  s. Sett opp differensiallikningen for svingebevegelsen med dempning. Beregn den totale dempningskonstanten  $b$  for alle de 4 støtdemperne.
- c) Utslaget i bilens oscillerende vertikale bevegelse betegnes  $x(t)$ . Etter sammenstøtet med fartsdumpen følger bilen en bevegelse gitt ved:

$$x(t) = A e^{-\frac{b}{2m}t} \sin \omega_d t$$

Bilen treffer fartsdumpen ved tiden  $t=0$  med hastighet  $v_0$  i vertikalretning, og da er  $x(0)=0$ , dvs at fasevinkelen  $\varphi=0$  (og er derfor ikke med i uttrykket for  $x(t)$ ).

Hvor lang tid tar det før bilens hastighet i  $x$ -retningen er null,  $v_0=0$ , og bilen oppnår maksimalt utslag i  $x$ -retningen?

Hvor stort er dette utslaget når vi antar at  $A=1,0$ m?

Hva er energien for bilens bevegelse ved maksimalt utslag?

**OPPGITTE FORMLER OG ENHETER**

Definer alle størrelser du bruker i formlene.

For udempet harmonisk oscillator,

Bevegelseslikning:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

med løsning:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

der vinkelfrekvensen er:

$$\omega = \sqrt{k/m}$$

$$\text{Kinetisk energi } E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\text{Mekanisk energi } E_p = \frac{1}{2} k x^2$$

For dempet harmonisk oscillator,

Bevegelseslikning:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0$$

$$x(t) = A e^{-\left(\frac{b}{2m}\right)t} \sin(\omega_d t + \varphi)$$

$$\omega_d = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{b^2}{4m^2}}$$

For tvungne svingninger:

$$x(t) = \frac{F_0}{\omega_Y \sqrt{b^2 + \left(\omega_Y m - \frac{k}{\omega_Y}\right)^2}} \sin(\omega t + \varphi)$$

Resonansfrekvensen er:

$$\omega_Y = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{b^2}{2m^2}}$$

Bølge i +x-retning:

$$y(x,t) = y_o \sin(kx - \omega t), \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Coulombs lov:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{u}_r$$

Elektrisk feltstyrke fra en kontinuerlig ladningsfordeling:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \vec{u}_r$$

Elektrisk potensial

$$V(P_1) - V(P_2) = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$\vec{E} = -\nabla V$$

Potensiell energi til en ladning i elektrisk felt:

$$U = qV$$

Gauss lov:

$$\oiint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inne}}{\epsilon}$$

Permittivitet:

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

Kapasitans:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Kapasitans for platekondensator:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Elektrisk energi lagret i en kondensator:

$$U = \frac{1}{2} Q \cdot \Delta V = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Parallellkopling av kondensator:

$$C = \sum_i C_i$$

Seriekopling av kondensator:

$$\frac{1}{C} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

Et magnetisk felt forårsaker kraften F på en ladning med hastighet v:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Magnetisk kraft på strømførende leder:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

Biot-Savarts lov:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{u}_r}{r^2}$$

Amperes lov:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{innenfor}$$

Faradays lov:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

der  $\Phi_B$  er magnetisk fluks

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

Indusert elektromotorisk spenning skyldes et elektrisk felt E:

$$\mathcal{E} = -\oint \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Selvinduksjon:

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{dI}{dt}$$

Avbildning ved tynn linse:

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

Snells brytningslov

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Intensitetsfordeling pga interferens fra to spalter med avstand d som funksjon av avstand x fra det sentrale maksimum der  $I_0$  er intensitet av innfallende lys og L er avstand mellom spaltene og skjerm

$$I = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right)$$

Intensitetsfordelingen fra en spalte med spaltebredde a der  $I_M$  er maksimumsintensiteten i sentrum av skjerm for  $\theta=0$ .

$$I = I_M \frac{\sin^2 \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}}{\left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}\right)^2}$$

Intensitetsfordelingen fra to spalter diffraksjon som funksjon av avstand x fra det sentrale maksimum der  $I_M$  er maksimumsintensitet i sentrum av skjermen for  $\theta=0$  og L er avstand mellom spaltene og skjerm og d avstand mellom spaltene

$$I = 4I_M \frac{\sin^2 \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}}{\left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}\right)^2} \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right)$$

Fysiske konstanter:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\epsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

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

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

$$g = 9,807 \text{ m/s}^2$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s (lyshastighet)}$$

### Dekadiske prefikser

Symbol	Navn	Tallverdi
E	exa	$10^{18}$
P	peta	$10^{15}$
T	tera	$10^{12}$
G	giga	$10^9$
M	mega	$10^6$
K	kilo	$10^3$
h	hekto	$10^2$
da	deka	$10^1$
d	desi	$10^{-1}$
c	centi	$10^{-2}$
m	milli	$10^{-3}$
$\mu$	mikro	$10^{-6}$
n	nano	$10^{-9}$
p	piko	$10^{-12}$
f	femto	$10^{-15}$
a	atto	$10^{-18}$

**Størrelse**

Navn	Symbol
elektrisk feltstyrke	$E$
elektrisk potensial	$V$
permittivitet	$\epsilon$
relativ permittivitet	$\epsilon_r$
elektromotorisk spenning/kraft	$\epsilon$
vinkelfrekvens	$\omega$
vinkel	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$
romvinkel	$\Omega$
lengde	$l$
areal	$A$
volum	$V$
tid	$t$
frekvens	$f$
bølgelengde	$\lambda$
masse	$m$
kraft	$F$
trykk	$p$
arbeid	$A, W$
energi	$E, W$
effekt	$P$
termodynamisk temperatur	$T$
celcius temperatur	$t$
varme, varmemengde	$Q$
elektrisk strøm	$I$
elektrisk ladning	$Q, q$
elektrisk potensialdifferanse, spenning	$U, V$
kapasitans	$C$
magnetisk fluks	$\Phi_B$
magnetisk flukstetthet	$B$
hastighet	$v$
intensitet	$I$
induktans	$L$
resistans	$R$
kondutans	$G$
impedans	$Z$
reaktans	$X$

**SI – enhet**

Navn	Symbol
volt/meter	$N/C=V/m$
volt	$V$
farad/meter	$F/m$
volt	$V$
invers-sekund	$s^{-1}$
radian	$rad$
steradian	$sr$
meter	$m$
kvadratmeter	$m^2$
kubikmeter	$m^3$
sekund	$s$
hertz	$Hz$
meter	$m$
kilogram	$kg$
newton	$N = kg\ m\ s^{-2}$
pascal	$Pa = N\ m^{-2}$
joule	$J = Nm$
watt	$J$
kelvin	$W=J/s$
grad celcius	$K$
joule	$^{\circ}C$
ampere	$J$
coloumb	$A$
volt	$C = As$
farad	$V = kg\ m^2\ s^{-3}\ A^{-1}$
weber	$= J\ A^{-1}\ s^{-1}$
tesla	$F = As\ V^{-1}$
meter pr. sekund	$Wb = Vs$
watt pr. kvadratmeter	$T =$
henry	$(N/C)/(m/s)=Wb/m^2$
ohm	$m/s$
siemens	$W/m^2$
ohm	$H = V\ A^{-1}\ s$
ohm	$\Omega = V\ A^{-1}$
ohm	$S = \Omega^{-1}$
ohm	$\Omega$
ohm	$\Omega$