

UNIVERSITETET I TRONDHEIM
NORGES TEKNISKE HØGSKOLE
INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:

Navn: Anne Borg

Tlf.: 93413

EKSAMEN I FAG 74135 - FYSIKK

Avd. VI (Maskin)

11. januar 1995

Tid: kl. 0900-1500

Tillatte hjelpemidler: Godkjent lommekalkulator

K.J. Knutsen: Formler og data i fysikk

O.H. Jahren og K.J. Knutsen: Formelsamling i matematikk

K. Rottmann: Matematische Formelsammlung

S. Barrett og T.M. Cronin: Mathematical Formulae

Oppgave 1

Et plan med uendelig utstrekning har uniformt fordelt ladning. Ladningen pr. arealenhet er σ .

a) Bruk Gauss' lov til å vise at den elektriske feltstyrken på hver side av planet er gitt av

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Tegn en figur som viser retningen på det elektriske feltet for det tilfellet at planet har negativ ladning.

En platekondensator består av to kvadratiske plater, med sidekant $a = 30,0$ cm, stilt rett overfor hverandre som vist i Figur 1.1. Avstanden mellom platene kan varieres og er til å begynne med $l_1 = 2,00$ mm. Det er luft mellom platene. Kondensatoren lades opp til en spenning $U_1 = 200$ V.

b) Beregn den elektriske feltstyrken E mellom kondensatorplatene og kondensatorens kapasitans C .

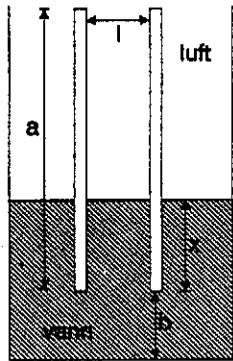


Figur 1.1.

Forbindelsen til spenningskilden brytes. Deretter økes avstanden mellom kondensatorplatene slik at en skive av et dielektrikum (dielektrisk materiale), som har tykkelse $l_2 = 4,00$ mm, akkurat kan skyves inn mellom kondensatorplatene. Skiven fyller hele rommet mellom platene. Det viser seg at kondensatorens spenning har sunket til $1/3$ av den opprinnelige verdien (U_1).

- c) Finn dielektrisitetskonstanten (relativ permittivitet) K for materialet i skiven.

Platekondensatoren skal brukes til å måle vannnivået i et kar, som indikert i Figur 1.2. Avstanden mellom kondensatorplatene er nå l , og kondensatoren sitter i plassert $b = 5,00$ cm over bunnen av karet. Vannnivået måles ved at en måler kapasitansen til kondensatoren. Systemet kan betraktes som en parallellkopling av to kondensatorer.

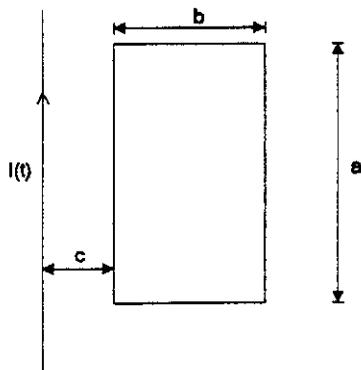


- d) Finn uttrykket for kapasitansen til kondensatoren som funksjon av vannivået x , målt fra nedre kant av kondensatoren. Hva er vannnivået i karet, målt fra bunnen av karet, for det tilfellet at kapasitansen er økt med en faktor 30 i forhold til kapasitansen for kondensatoren uten vann til stede?

Oppgitt: Permittiviteten for luft $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m
Dielektrisitetskonstanten for vann $K_v = 78,0$

Figur 1.2.

Oppgave 2



En lang, rett høyspentledning, som fører strømmen $I(t) = I_0 \sin(2\pi ft)$, er plassert nær en rektangulær strømsløyfe, se Figur 2.1. Strømsløyfa har sidekantene $a = 10,0$ cm parallelt og $b = 5,00$ cm normalt høyspentledningen og er plassert i en avstand $c = 2,50$ cm fra denne.

- a) Bruk Amperes lov til å finne størrelsen på magnetfeltet \vec{B} satt opp av strømmen i høyspentledningen som funksjon av avstanden r fra ledningen.

Figur 2.1.

- b) Vis at den induerte elektromotoriske spenningen (emsen) induert i strømsløyfa på grunn av den tidsvarierende strømmen i høyspentledningen er gitt ved

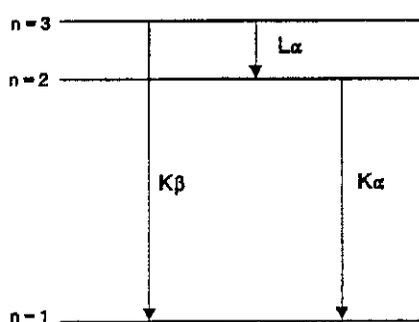
$$\epsilon = -\mu_0 a f \left[\ln \left(\frac{b+c}{c} \right) \right] I_0 \cos(2\pi ft)$$

Beregn amplituden på den induerte emsen for det tilfellet at strøamplituden $I_0 = 250$ A og frekvensen $f = 60,0$ Hz.

Strømsløyfa har en indre motstand R . Den induerte emsen vil gi opphav til en strøm i sløyfa.

- c) Finn den resulterende kraften på sløyfa pga. strømmen i sløyfa og magnetfeltet satt opp av høyspentledningen. Kommenter kort resultatet.

Oppgitt: Permeabiliteteten for luft $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m = 1,256 μ H/m

Oppgave 3

Figur 3.1.

Elektromagnetisk stråling (i røntgenområdet) genereres (emitteres) ved elektronoverganger i materialer, som indikert i Figur 3.1. Eksempelvis får vi såkalt K β stråling ved at et elektron i nivå med $n = 3$ "faller ned i" en ledig elektrontilstand med $n = 1$. For grunnstoffet mangan (Mn) er energien for K β -overgangen 6,51 keV mens den for L α -overgangen er 0,721 keV.

- a) Hva er bølgelengden til strålingen fra disse to overgangene? Hva er energien til K α -overgangen?

Fotoelektrisk effekt kan observeres når lys sendes mot metalloverflater.

- b) Hva er den maksimale kinetiske energien og hastigheten til et elektron sendt ut fra en natriumoverflate, som har frigjøringsarbeid $\phi = 2,28$ eV, når den belyses med lys med bølgelengde

- i) $\lambda_1 = 410$ nm
ii) $\lambda_2 = 550$ nm?

Bohrs modell kan brukes til å bestemme energinivåene i hydrogenlike atom, som f.eks. enkeltionisert He, He $^+$ (He-atom, med atomnummer 2, som mangler ett elektron). Energinivåene for elektronet i hydrogenlike atom er gitt ved:

$$E_n = -hcR \frac{Z^2}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

der

R = Rydbergs konstant
Z = atomnummer
h = Plancks konstant
c = lyshastigheten

- c) Hva er største og minste bølgelengde for lys emittert fra He $^+$ for det tilfellet at slutttilstanden for elektronet er $n = 3$? Ligger disse bølgelengdene i det infrarøde, synlige eller ultrafiolette området?

Oppgitt: Lyshastigheten $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s
Plancks konstant $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Js
Elektronets ladning $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C
Elektronets masse $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg
Rydbergs konstant $R = 1,097 \cdot 10^7$ m $^{-1}$

Oppgave 4

I det gule lyset fra natrium (Na) er det to emisjonslinjer som (i vakuum) har bølgelengder $\lambda_a = 589,0$ nm og $\lambda_b = 589,6$ nm. Dette lyset skal undersøkes med et diffraksjonsgitter med gitterkonstant (spalteavstand) $d = 2,500 \cdot 10^{-6}$ m. Lyset kommer vinkelrett inn mot gitteret, og det diffrakterte lyset faller på en skjerm, som er plassert i stor avstand fra gitteret og som er parallell med dette.

- Hvor store er avbøyningsvinklene θ_a og θ_b for de to bølgelengdene i 2. ordens hovedmaksimum? Skriv opp både bokstavsvar og tallsvar.
- Hvor mange hovedmaksimum kan vi observere for bølgelengden λ_a ?
- Hvor mange spalter N må gitteret minst ha for at de to bølgelengdene λ_a og λ_b skal kunne skilles fra hverandre i 2. ordens hovedmaksimum?

Da gitterspaltene har en endelig bredde D ($0 < D < d$) vil vi også få Fraunhoferdiffraksjon fra gitteret.

- Forklar hvordan diffraksjonseffekten kan utnyttes til å gi null intensitet i 3. ordens hovedmaksimum i interferensmønsteret fra lyset med bølgelengde λ_a . Hva er den største mulige spaltebredden D i dette tilfellet?

Oppgitte formler og enheter

Flateladningstetthet:

$$\sigma = dQ/dA; A = \text{areal}$$

Elektrisk feltstyrke:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \vec{F}/Q & \vec{F} &= \text{kraft}; Q = \text{ladning} \\ \vec{E} &= -\nabla V & V &= \text{potensial} \end{aligned}$$

Potensialforskjell mellom platene i en platekondensator:

$$U = Ed \quad d = \text{avstand mellom platene}$$

Gauss lov:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = Q/\epsilon \quad \begin{aligned} \epsilon &= \text{permittivitet} \\ Q &= \text{netto ladning innenfor volumet den lukkede flaten begrenser} \end{aligned}$$

Permittivitet:

$$\epsilon = K\epsilon_0 \quad \begin{aligned} \epsilon_0 &= \text{permittivitet for vakuum/luft} \\ K &= \text{dielektrisitetskonstant (relativ permittivitet)} \end{aligned}$$

Kapasitans:

$$C = Q/U \quad Q = \text{ladning}; U = \text{spenning}$$

Kapasitans for platekondensator:

$$C = \epsilon A/d \quad \begin{aligned} \epsilon &= \text{permittivitet} \\ A &= \text{platens areal (p\u00e5 den ene siden)} \\ d &= \text{avstand mellom platene} \end{aligned}$$

Parallellkopling av kapasitanser:

$$C = \sum_p C_p = C_1 + C_2 + \dots$$

Seriekopling av kapasitanser:

$$\frac{1}{C} = \sum_s \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

C = koplignens kapasitans
 C_1, C_2, \dots de enkelte kapasitansene

Magnetfelt fra en lang rett leder (i luft):

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi r} I$$

μ_0 = permeabilitet for luft

I = strøm i lederen

r = avstand fra lederen

Amperes lov:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B \cos\theta dl = \mu_0 I$$

θ = vinkel mellom elementet av integrasjonsveien $d\vec{l}$ og magnetfeltet \vec{B}

I = nettostrøm gjennom det areal den lukkede kurven begrenser

Magnetisk fluks gjennom et areal A :

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

\vec{B} = magnetfelt

Faradays induksjonslov:

$$\varepsilon = - d\phi_B/dt$$

ϕ_B = magnetisk fluks, t = tid

ε = elektromotorisk spenning (ems)

Vekselspanning:

$$u = U_{\max} \cos(2\pi ft)$$

U_{\max} = maksimal spenning

f = frekvens

t = tid

For en vekselstrømskrets med resistans, induktans og kapasitans gjelder for strømstyrken:

$$i = (U_{\max}/Z) \cos(2\pi ft - \phi)$$

der Z kalles impedans og ϕ fasevinkel.

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL - 1/(2\pi fC))^2}$$

$$\tan\phi = \frac{2\pi fL - 1/(2\pi fC)}{R}$$

Vinkelfrekvensen $\omega = 2\pi f$ der $f =$ frekvensen.

Kraft på strømførende ledning i magnetfeltet \vec{B} :

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} = I \cdot B \cdot dl \cdot \sin\phi$$

$d\vec{l}$ = et lite element av ledningen

ϕ = vinkel mellom \vec{B} og $d\vec{l}$

I = strømmen i ledning

Fotonenergi:

$$E = hf = hc/\lambda$$

h = Plancks konstant

c = lyshastighet

λ = fotonets bølgelengde

f = fotonets frekvens

Fotoelektrisk effekt:

$$E_K = 1/2 m v_{\max}^2 = hf - \phi$$

E_K = fotoelektronets maksimale energi

h = Plancks konstant

f = frekvens til innfallende lys

ϕ = frigjøringsarbeidet til belyst overflate

v_{\max} = elektronets maksimale hastighet

m = elektronets masse

Elektromagnetisk stråling (lys) utsendt fra hydrogenatomet:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

λ = bølgelengde

R = Rydbergs konstant

Interferens ved flere spalter:

Hovedmaksima når:

$$d \sin\theta = m\lambda \quad m \in \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$$

d = gitterkonstant

θ = avbøyningsvinkel

λ = bølgelengde

Fraunhoferdiffraksjon fra en spalt:

$$I = I_0(\sin\gamma/\gamma)^2 \quad \gamma = \pi a \sin\theta/\lambda$$

I_0 = intensitet ved $\theta = 0$

a = spaltebredde

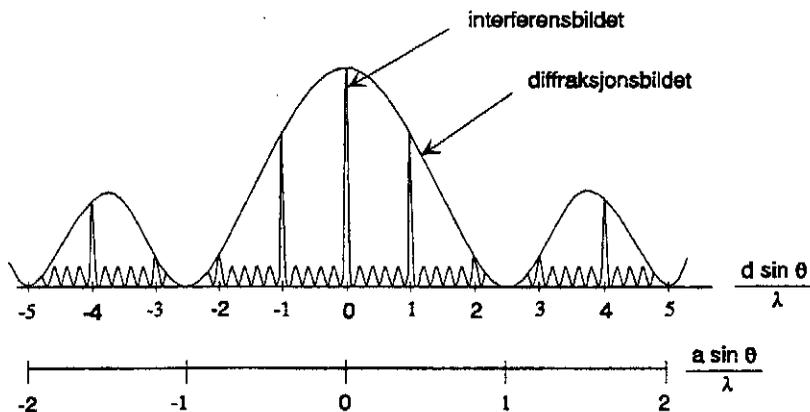
Minimum for $\sin\theta = m\lambda/a$; $m \in \{\pm 1, \pm 2, \dots\}$

Fraunhoferdiffraksjon og interferens fra mange spalter:

Intensitet:

$$I = I_0 \left[\frac{\sin(\pi a \sin\theta/\lambda)}{\pi a \sin\theta/\lambda} \right]^2 \left[\frac{\sin(N\pi d \sin\theta/\lambda)}{\sin(\pi d \sin\theta/\lambda)} \right]^2$$

N = antall spalter



Figur 4.1.

(Kromatisk) oppløsningsevne til diffraksjonsgitter:

$$R = \lambda/\Delta\lambda = Nm$$

m = ordenstall

N = antall spalter

$\Delta\lambda$ = bølgelengdeforskjell

λ = bølgelengde

Størrelse		SI-enhet	
Navn	Symbol	Navn	Symbol
elektrisk feltstyrke	E	volt/meter	V/m
elektrisk potensial	V	volt	V
permittivitet	ϵ	farad/meter	F/m
dielektrisitetskonstant/rel. permittivitet	K, ϵ_r		1
elektromotorisk spenning	ϵ, u	volt	V
vinkelfrekvens	ω	invers-sekund	s ⁻¹
vinkel	α, β, γ	radian	rad
romvinkel	Ω	steradian	sr
lengde	l	meter	m
areal	A	kvadratmeter	m ²
volum	V	kubikmeter	m ³
tid	t	sekund	s
frekvens	f, ν	hertz	Hz
bølgelengde	λ	meter	m
masse	m	kilogram	kg
kraft	F	newton	N
trykk	p	pascal	Pa
arbeid	A, W	joule	J
energi	E, W	joule	J
effekt	P	watt	W
termodynamisk temperatur	T, θ	kelvin	K
celsiustemperatur	t, θ	grad celsius	°C
varme, varmemengde	Q	joule	J
elektrisk strøm	I	ampere	A
elektrisk ladning	Q	coulomb	C
potensialdifferens, spenning	U	volt	V
kapasitans	C	farad	F
magnetisk feltstyrke	H	ampere pr. meter	A/m
magnetisk fluks	Φ	weber	Wb
magnetfelt/magnetisk flukstetthet	B	tesla	T = Tm ²
hastighet	v	meter pr. sekund	m/s
intensitet	I	watt pr. kvad.meter	W/m ²
induktans	L	henry	H
resistans	R	ohm	Ω
konduktans	G	siemens	S
impedans	Z	ohm	Ω
reaktans	X	ohm	Ω

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}
μ	mikro	10^{-6}
n	nano	10^{-9}
p	piko	10^{-12}
f	femto	10^{-15}
a	atto	10^{-18}

Prefiks som representerer 10^{3n} foretrekkes, hvor n er et positivt eller negativt heltall.

Bruk tall mellom 0 og 1000 for å angi en størrelse, f.eks. $15 \cdot 10^3$ m istedenfor 15000 m.