

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)

16. August 1995

Tid: kl. 0900-1500

Marius :

ikke oppg. 1

Tillatte hjelpebidler: 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

- a) Vi har en uendelig lang sylinder av et elektrisk ledende materiale som gis en ladning pr. lengdeenhet λ . Sylinderens tverrsnitt er en sirkel med radius R og den er plassert i vakuum.
 - i. Tegn et tverrsnitt gjennom sylinderen og vis hvordan ladningene fordeler seg. Forklar hvorfor.
 - ii. Tegn inn feltlinjene.
 - iii. Hvorfor er feltlinjene alltid rettet normalt på overflaten av et ledende materiale?
- b) i. Tegn inn en formuig Gaussflate.
 - ii. Bruk Gauss lov til å finne det elektriskefeltet i en vilkårlig avstand fra sylinderens sentrum.
 - iii. Tegn $E(r)$ hvor r er avstanden fra sylinderens sentrum.
- c) Et metallisk plan dekker nå hele xz-planet. Vi legger sylinderen fra pkt. a) parallelt med z-aksen i avstand a fra xz-planet. Fig. 1 viser oppsettet i xy-planet. Vi antar at sylinderens radius $R \ll a$, slik at sylinderen i resten av oppgaven kan betraktes som en linjeladning.

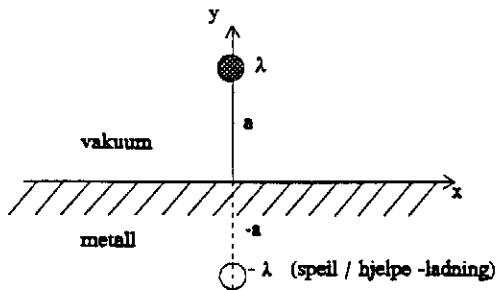


Fig. 1

Feltet i rommet over plata er en sum av feltet fra linjeladningen og en indusert ladningsfordeling på platas overflate. Det viser seg at vi kan finne feltet i rommet over plata på en enklere måte, nemlig ved det som kalles speilprinsippet. Vi plasserer en speil/hjelpeladning i avstand $-a$ fra xz-planet. Ladning pr. lengdeenhet på denne er $-\lambda$. Feltet kan nå beregnes som totalfeltet fra linjeladningen med ladningstetthet λ og speil/hjelpeladningen med ladningstetthet $-\lambda$. Vi må regne som om speil/hjelpe-ladningen også lå i vakuum.

- i. Vis at denne geometrien tilfredsstiller betingelsen om at feltet på overflaten av metall er orientert normalt på overflaten.
- ii. Finn det elektriske feltet i et vilkårlig punkt på platas overflate. Uttrykk svaret i λ , a og x .
- d) En bruker samme resonnement som under pkt. c) dersom det i nærheten av linjeladningen er flere metalliske plan.

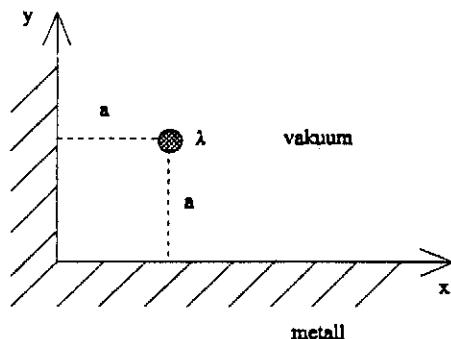


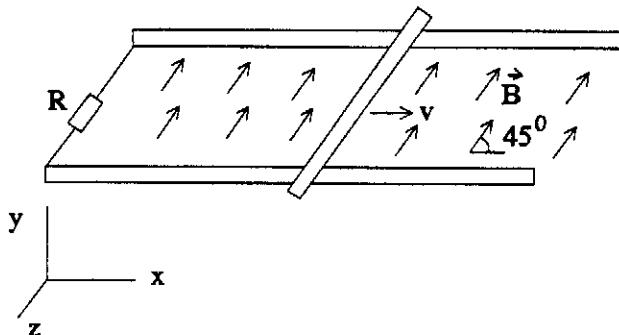
Fig. 2

Vi plasserer linjeladningen som vist på fig. 2 nær 2 metalliske plan, som begge har utstrekning i z-retning. Linjeladningen har samme avstand a til begge planene. Betingelsen om at feltet skal være orientert normalt på overflatene kan nå oppfylles ved å plassere 3 speil-/hjelpeladninger.

- i. Hvor må disse plasseres for å tilfredsstille denne betingelsen?
- ii. Hva er ladning pr. lengdeenhet for hver av de 3 hjelpeladningene? Tegn og forklar!
- iii. Finn det elektriske feltet i et vilkårlig pkt. i xz-planet. Uttrykk svaret i λ , a og x .

Oppgave 2

En ledende stav kan gli friksjonsfritt på to parallele skinner slik som vist på figuren. Skinnene er i ene enden forbundet gjennom en motstand R , slik at systemet danner en lukket strømsløyfe som vist på figuren.



Figur 2.1.

Sløyfa ligger i x-z-planet (horizontalplanet) med skinnene langs x-aksen. Avstanden mellom skinnene er a . Systemet befinner seg i et magnetfelt B . Magnetfeltet ligger i x-y-planet og danner 45° med sløyfas plan. $B_x = B_y > 0$, $B_z = 0$. Styrken av magnetfeltet er gitt av:

$$B(x) = B_0 + B_1 x$$

- a) Vis at fluksen gjennom sløyfa, som funksjon av posisjonen x til staven, er

$$\Phi_B = \frac{1}{2} \sqrt{2} a \left(B_0 x + \frac{1}{2} B_1 x^2 \right)$$

x regnes fra sløyfas venstre kant.

Staven beveges med en konstant hastighet v mot høyre (se figur). Beregn strømmen i sløyfa som funksjon av x . Angi retningen av strømmen.

- b) På grunn av strømmen i sløyfa og det ytre feltet $B(x)$ vil det virke en kraft på staven. Finn størrelse og retning av denne kraften. Beregn også den mekaniske effekt vi må bruke for å bevege staven og sammenlign denne med varmeutviklingen i motstanden R .
- c) Kraften under b) vil ha en vertikal komponent. For en bestemt verdi av x vil denne bli så stor at staven et lite øyeblikk vil løfte fra skinnene. Beregn denne posisjonen når stavens masse er m og tyngdens akselerasjon er g .

Oppgave 3

- a) Illustrer ved hjelp av energibånd og en kort forklaring hvordan n- og p- doping øker ledningsevnen til halvledere.
- b) i. Hva slags funksjon har en p-n-diode i en vekselstrømkrets?
 ii. Vis i diagram hvordan strømmen gjennom en p-n-diode varierer med påtrykt spenning både i lederretning og sperreretning. Kommenter og forklar diagrammet.

En seriekrets består av en vekselspenningskilde med amplitude V_0 og varierbar frekvens f , en motstand med resistans R , en kondensator med kapasitans C og en spole med induktans L . Spolen har neglisjerbar resistans.

- c) Vekselspenningens amplitude er $V_0 = 200$ volt. Spolens induktans $L = 0.200$ H. Strømmen i kretsen måles som funksjon av spenningens frekvens, og vi finner at strømmen har sin største effektiv-verdi (rms-verdi) $I_e = 3.10$ A når frekvensen er $f_1 = 70,0$ Hz.
- Hvor stor er kapasitansen C og resistansen R?
 - Finn midlere effekt P som utvikles i kretsen i dette tilfellet.
- d) Spenningens frekvens endres nå til $f_2 = 50,0$ Hz. Hvor stor er den største spenningen V_c over kondensatoren?

Oppgave 4

- a) En streng er fastspent i begge ender. Skisser utsvinget for grunntonen og første overtone. Vis på figurene, eller forklar med ord, hvilke punkter på strengen som svinger i fase med hverandre.
- b) Ei stemmefløyte spiller kammertonen som har frekvensen 440 Hz. Fløyta er lukket i den ene enden. Skisser utsvinget for grunntonen og første overtone. Forklar kort figuren. Hvor lang er fløyta?
- c) En fiolin skal stemmes etter fløyta. Strengen er 32 cm lang mellom de fastspente punktene og masse pr. lengdeenhet er $5,0 \cdot 10^{-4}$ kg/m. Hva blir strekkraften/-strammingen på strengen?
- d) To violinister stemmer instrumentene. Den ene har en litt annen frekvens enn den andre. Forklar hvordan dette vil høres. Hva kalles denne effekten?

Oppgitt:

Lydhastigheten i luft: $v_l = 343$ m/s

Oppgitte formler og enheter

Linjetetthet av ladning:

$$\lambda = dQ/dl; l = \text{lengde}$$

Elektrisk feltstyrke:

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

Gauss lov:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = Q/\epsilon \quad \epsilon = \text{permittivitet}$$

$Q = \text{netto ladning innenfor volumet den lukkede flaten begrenser}$

Permittivitet:

$$\epsilon = K\epsilon_0 \quad \epsilon_0 = \text{permittivitet for vakuum/luft}$$

$K = \text{dielektrisitetskonstant (relativ permittivitet)}$

Elektrisk feltstyrke for punktladning:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

Magnetfelt fra en lang rett ledер (i luft):

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

$\mu_0 = \text{permeabilitet for luft}$

$I = \text{strøm i lederen}$

$r = \text{avstand fra lederen}$

Amperes lov:

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

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

$I = \text{nettostrøm gjennom det areal den lukkede kurven begrenser}$

Magnetisk fluks gjennom et areal A:

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

$\vec{B} = \text{magnetfelt}$

Faradays induksjonslov:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt}$$

ϕ_B = magnetisk fluks, t = tid

ε = elektromotorisk spenning (ems)

Indusert elektromotorisk spenning, leder i magnetfelt:

$$d\varepsilon = \vec{v} \times \vec{B} \cdot d\vec{l}$$

$d\varepsilon$ = elektromotorisk spenning

v = lederelementets fart

dl = lederelementet

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

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

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

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

I = strømmen i ledning

Effekt:

$$P = dW/dt \text{ (generelt)}$$

W = arbeid

$$P = \frac{d}{dt} (Fs) = F \frac{ds}{dt} = Fv$$

Ohms lov:

$$\varepsilon = R \cdot I$$

ε = elektromotorisk spenning

R = resistans

Elektrisk effekt (likestrøm):

$$P = dW/dt = UI = RI^2$$

U = spenning

Vekselspenning:

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

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.

Spennings effektivverdi:

$$U_{\text{eff}} = U_{\max}/\sqrt{2} = 0.7071 \cdot U_{\max}$$

Strømmens effektivverdi:

$$I_{\text{eff}} = I_{\max}/\sqrt{2} = 0.7071 \cdot I_{\max}$$

Induktiv reaktans:

$$X_L = 2\pi fL$$

Kapasitiv reaktans:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Total reaktans (seriekrets):

$$X = X_L + X_C$$

Resonansfrekvens:

$$f_R = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Maksimale spenninger over komponentene i en vekselstrømskrets:

I resistansen:

$$U_R = I_{\max} \cdot R$$

I induktansen:

$$U_L = I_{\max} X_L = I_{\max} \cdot 2\pi fL$$

I kapasitansen:

$$U_C = I_{\max} X_C = I_{\max} \cdot 1/(2\pi fC)$$

For hele kretsen:

$$U_{\max} = I_{\max} \cdot Z$$

Midlere effektutvikling:

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} U_{\max} \cdot I_{\max} \cos\phi = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos\phi$$

Fasefart, bølgefart:

$$v = \omega/k$$

ω = vinkelfrekvens

$k = 2\pi/\lambda$

λ = bølgelengde

Bølgefart på streng:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

F = strekk-kraft

μ = masse pr. lengdeenhet

Frekvens for svingende streng:

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

L = lengde av streng

$n = 1, 2, 3, \dots$

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	1
elektromotorisk spenning	ϵ , u	volt	V
alinksfrekvens	ω	invers-sekund	s ⁻¹
inkel	α, β, γ ---	radian	rad
rominkel	Ω	steradian	sr
lengde	l	meter	m
areal	A	kvadratmeter	m ²
volum	V	kubikkmeter	m ³
tid	t	sekund	s
frekvens	f,v	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
vei	s	meter	m

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.