

**NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR FYSIKK**



Faglig kontakt under eksamen:
Professor Randi Holmestad, 73593880,
Institutt for fysikk, Gløshaugen.

EKSAMENSOPPGAVE I SIF4029 FYSIKK

Mandag 5. mai 2003

Tid: 09.00 -14.00

Hjelpemidler: C Bestemt, enkel kalkulator.
K.Rottmann: Matematisk formelsamling
K.Rottmann: Matematische Formelsammlung
O. Jahren og K.J.Knutsen: Formelsamling i matematikk
S. Barrett og T.M Cronin: Mathematical Formulae

Språkform: bokmål
Antall sider bokmål: 10

Sensuren faller: 26. mai

En del formler, uttrykk og definisjoner er vedlagt. Ved bedømmingen teller alle oppgaver 1, 2 og 3 like mye (dvs 1/3 hver). Merk at side 10 av dette oppgavesettet skal fylles ut og leveres sammen med resten av besvarelsen.

OPPGAVE 1.

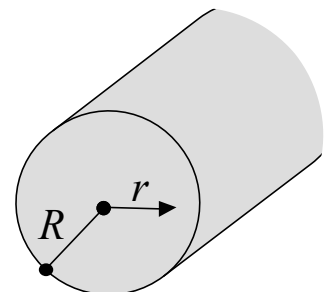
- a) En uendelig lang massiv sylinder med radius R og permittivitet ϵ_0 har en ladning λ_0 pr. lengdeenhet. Denne ladningen er fordelt over sylindertverrsnittet slik at ladningstettheten er

$$\rho = \rho(r) = \frac{2\lambda_0}{\pi R^2} \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right), \text{ for } r < R,$$

hvor r er avstand fra senteraksen (se figur). Anta $\lambda_0 > 0$.

Finn ladningen pr. lengdeenhet $\lambda = \lambda(r)$ for $r < R$.

Benytt Gauss lov til å bestemme det elektriske feltet $\vec{E}(r)$ for alle r .
Er det elektriske feltet kontinuerlig for $r = R$?



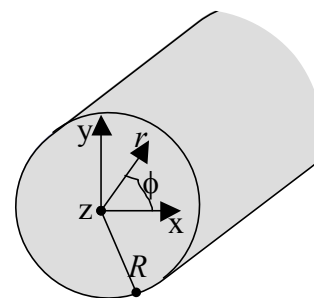
- b) En uladet metallsylder med radius R plasseres i et ytre elektrisk felt som er rettet langs x-aksen. Sylinderens akse ligger langs z-aksen. Ladninger i den ledende metallsylden blir da forskjøvet slik at det resulterende elektriske potensialet for $r > R$ blir

$$V(r, \phi) = Ax + B \frac{\cos \phi}{r}$$

der $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ er radialavstanden fra sentrum av sylden og ϕ er vinkelen med x-aksen ($x = r \cos \phi$).

Beregn det resulterende elektriske feltet $\vec{E}(r, \phi)$ utenfor sylden når koeffisientene A og B antas kjente.

Lag en grov skisse av de elektriske feltlinjene i syldens tverrsnittplan.



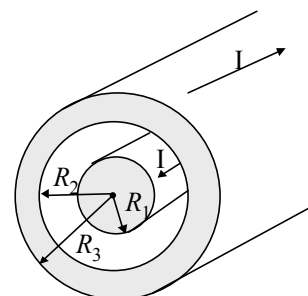
Finn sammenhengen mellom koeffisientene A og B .

- c) En dielektrisk plate med tykkelse d og permittivitet ϵ puttes inn i en parallell-platekondensator med plateavstand D ($d < D$). Hva blir kapasitansen til den nye kondensatoren gitt at arealet av alle plater er A ? ($\sqrt{A} \gg D$)

Vi måler kapasitansen med plata inni til å være 125.4 pF. Hva er den relative permittiviteten ϵ_r til plata når $A = 300 \text{ cm}^2$, $d = 1.25 \text{ mm}$ og $D = 3.00 \text{ mm}$?

OPPGAVE 2.

- a) En lang rett spole har lengde ℓ og n viklinger av isolert ledning pr. lengdeenhet, jevnt fordelt. Spolens radius er R og $R \ll \ell$. Inni spolen er det luft. Strømmen i spolen er I . Bruk Ampères lov til å vise at størrelsen på B -feltet inni spolen kan skrives som $B = \mu_0 n I$. Tegn strømretning, feltretning og integrasjonsvei inn på en figur og forklar framgangsmåten. Finn spolens selvinduktans L . Vis at den kan uttrykkes kun som funksjon av ℓ , R , n og μ_0 .
- b) Vi ser på en solenoide som i a) i luft, med n viklinger pr. lengdeenhet og radius R . Solenoiden fører nå strømmen $I = I_0 \cos(\omega t)$. Finn et uttrykk for det magnetiske feltet inne i solenoiden. Beregn det induerte elektriske feltet inne i solenoiden som funksjon av avstanden r fra senteraksen. Tegn figur og angi retninger på \vec{B} og \vec{E} . Beregn Pointingsvektoren $\vec{S}(r)$ og angi spesielt retningen(e) til denne.
- c) Like store, men motsatt rettede strømmer I går i henholdsvis inner- og ytterlederen i en lang koaksialkabel. Innerlederen er massiv, og har radius R_1 . Ytterlederen har indre radius R_2 og ytre radius R_3 . Vi antar at strømmen er jevnt fordelt over tverrsnittet. Anta først at permeabiliteten er μ_0 overalt. Finn magnetfeltet $\vec{B}(r)$ som funksjon av avstanden r fra midtaksen for alle r . Lag en skisse av $\vec{B}(r)$ for alle r . Undersøk om $\vec{B}(r)$ er kontinuerlig.



Vi antar nå at lederne består av et materiale med $\mu \neq \mu_0$. Forklar hva som være forskjellen fra tilfellet over (kort – ingen beregninger).

OPPGAVE 3.

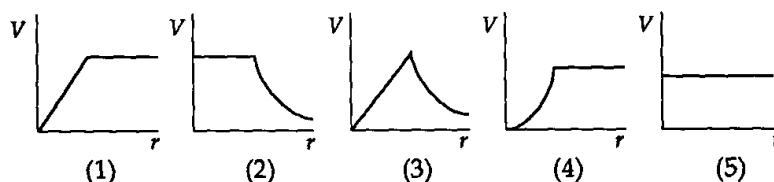
Opgaven består av 10 delspørsmål; disse skal besvares i tabellen som er gitt på siste side av eksamensoppgaven. Riv arket ut og lever det sammen med resten av besvarelsen. Det er ikke lov til å gardere. Kun side 10 skal leveres som svar på oppgave 3.

- 1) En harmonisk bølge passerer et observasjonspunkt. I dette punktet er tiden mellom to nabotopper 0.2 s. Hvilket av følgende utsagn er rett?

- Bølgelengden er 5 m.
- Frekvensen er 5 Hz.
- Forplantningshastigheten er 5 m/s.
- Bølgelengden er 0.2 m.
- Det er ikke nok informasjon til å bekrefte noen av disse utsagnene.

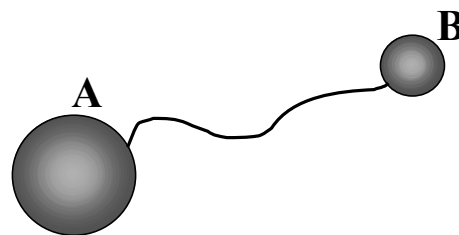
- 2) Grafen som best representerer det elektriske potensialet av et uniformt ladet sfærisk kuleskall som funksjon av avstanden fra sentrum av skallet er

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5



- 3) To ladede metallkuler er forbundet med en ledning. Kule A er større enn kule B, som vist på figuren. Størrelsen på det elektriske potensialet på kule A

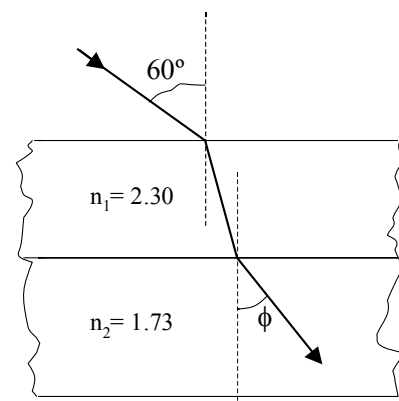
- er større enn det på overflata av kule B.
- er mindre enn det på overflata av kule B.
- er det samme som på overflata til kule B.
- kan være større eller mindre enn det på overflata av kule B, avhengig av radiene på kulene.
- kan være større eller mindre enn det på overflata av kule B, avhengig av ladningen på kulene.



- 4) En massiv sfærisk leder med radius 15 cm har ladning $Q = 6.5 \text{ nC}$. En annen, uladet sfærisk leder med radius 10 cm flyttes mot den første inntil de berører hverandre. Omtrent hvor mye ladning er det på den andre kula etter at de to kulene har blitt flyttet langt fra hverandre?

- 2.6 nC
- 2.2 nC
- 3.2 nC
- 3.9 nC
- ingen ladning

- 5) En lang solenoide med 15 viklinger pr. centimeter har en kjerne av jern. Når strømmen er 1.00 A, er det magnetiske feltet inni kjernen lik 2.46 T. Relativ permeabilitet μ_r er omtrent lik
- 1800
 - 1310
 - $7.64 \cdot 10^{-4}$
 - $5.56 \cdot 10^{-4}$
 - 1540
- 6) Vi plasserer en spole med 200 viklinger og tverrsnittareal på 0.050m^2 slik at tverrsnittplanet er normalt på et felt på 3.0 T. Vi minker feltet uniformt ned til null i løpet av 5.0 s. Hva blir induisert ems i spolen?
- 0.15 kV
 - 0.12 kV
 - 6.0 V
 - 50 mV
 - 10 mV
- 7) En 60 W lyspære sender ut sfæriske elektromagnetiske bølger uniformt i alle retninger. Anta at 50% av den innsendte effekten i en slik lyspære sendes ut som elektromagnetisk stråling. Hva blir maksimalverdien av det elektriske feltet i en avstand på 2.00 m fra lyspæra?
- 43 V/m
 - 0.11 mV/m
 - 60 V/m
 - 30 V/m
 - 21 V/m
- 8) En stråle av monokromatisk lys i luft faller inn mot den øvre overflata av to parallelle plater av transparent materiale som vist på figuren. Brytningsvinkelen ϕ i den nederste platen er omtrent
- 22°
 - 30°
 - 37°
 - 53°
 - 60°



- 10) Et objekt er plassert 4 cm fra en konvergerende linse med fokallengde 3 cm. Forstørrelsen av bildet vil bli
- a) 3
 - b) 4
 - c) 9
 - d) 12
 - e) 16

Oppgitte formler og enheter:

Definer alle størrelser du bruker i formlene.

Gauss' lov:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{encl}}{\epsilon_0}, \quad \oint \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q_{encl-free}$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

Gauss' lov for magnetfeltet:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0, \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0$$

Amperes lov:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left[i_c + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} \cdot d\vec{A} \right],$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = i_{c-free} + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{D} \cdot d\vec{A}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_f + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Faradays lov:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad \vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - \vec{M}$$

$$\text{Isotrope media: } \vec{D} = \epsilon \vec{E}, \quad \vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B}$$

Coulombs lov:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r$$

Elektrisk potensial

$$V_a - V_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

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

Kraft i elektrisk og magnetisk felt:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Permittivitet:

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

Permeabilitet:

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

Induktans:

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} \quad U = \frac{1}{2} LI^2$$

Kapasitans:

$$C = \frac{Q}{V} \quad U = \frac{1}{2} CV^2$$

Kapasitans for platekondensator:

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

Parallellkopling av kapasitanser:

$$C = \sum_i C_i$$

Seriekopling av kapasitanser:

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

Poyntingsvektor:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

Elektromagnetisk energitetthet:

$$u = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} + \frac{1}{2} \vec{H} \cdot \vec{B}$$

Biot-Savarts lov:

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

Magnetisk kraft på strømførende leder:

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

Lenz lov: En indusert strøm er alltid slik at den forsøker å motvirke forandringen i den magnetiske fluks som er årsak til strømmen.

Elektrisk fluks:

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

Magnetisk fluks:

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

Bølge i +x retning:

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

Intensitetsfordeling ved diffraksjon og interferens fra gitter:

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

Sylinderkoordinater (r, ϕ, z):

$$\nabla V = \hat{e}_r \frac{\partial V}{\partial r} + \hat{e}_\phi \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \phi} + \hat{e}_z \frac{\partial V}{\partial z}$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r D_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial D_\phi}{\partial \phi} + \frac{\partial D_z}{\partial z}$$

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}$$

Kulekoordinater (r, θ, ϕ):

$$\nabla V = \hat{e}_r \frac{\partial V}{\partial r} + \hat{e}_\theta \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} + \hat{e}_\phi \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \phi}$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 D_r) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (D_\theta \sin \theta) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial D_\phi}{\partial \phi}$$

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2}$$

Fysiske konstanter:

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

$$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$e = 1.6019 \cdot 10^{-19} \text{ C (elementærladning)}$$

$$m_e = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg (elektronets masse)}$$

$$g = 9.807 \text{ m/s}^2$$

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}

Størrelse

Navn	Symbol
elektrisk feltstyrke	E
elektrisk potensial	V
elektrisk flukstetthet	D
elektrisk polarisasjon	P
elektrisk ladning	Q, q
elektrisk ladningstetthet; rom- flate- linje-	ρ σ λ
elektrisk fluks	Φ_E
permittivitet	ϵ
relativ permittivitet	ϵ_r
elektrisk suceptibilitet	χ_e
elektromotorisk spenning/kraft (ems)	\mathcal{E}
vinkelfrekvens	ω
vinkel	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$
romvinkel	Ω
lengde	l
areal	A
volum	V
tid	t
frekvens	f
bølgetall	k
bølgelengde	λ
masse	m
hastighet	v
kraft	F
trykk	p
arbeid, energi	E, W
effekt	P
elektrisk strøm	I, i
elektrisk potensialdifferanse, spenning	U, V
kapasitans	C

SI – enhet

Navn	Symbol
Volt pr. meter	$V/m=N/C$
volt	V
coulomb pr. meter ²	C/m^2
coulomb pr. meter ²	C/m^2
coulomb	$C = As$
coulomb pr meter ³	C/m^3
coulomb pr meter ²	C/m^2
coulomb pr meter	C/m
Newton-meter ² pr. coulomb	$N m^2 C^{-1}$
farad pr meter	F/m
en	1
en	1
volt	V
radian pr. sekund	rad/s
radian	rad
steradian	sr
meter	m
kvadratmeter	m^2
kubikmeter	m^3
sekund	s
hertz	$Hz=1/s$
invers-meter	1/m
meter	m
kilogram	kg
meter pr. sekund	m/s
Newton	$N = kg m s^{-2}$
Pascal	$Pa = N m^{-2}$
Joule	$J = Nm$
watt	$W=J/s$
ampere	A
volt	$V = kg m^2 s^{-3} A^{-1} = J A^{-1} s^{-1}$
farad	$F = As V^{-1}$

magnetisk feltstyrke	H	ampere pr. meter	A/m
magnetisk fluks	Φ_B	weber	$Wb = Vs$
magnetisk flukstetthet	B	tesla	$T = Wb/m^2 = N/Am$
magnetisering	M	ampere pr. meter	A/m
permeabilitet	μ	henry pr. meter	H/m
relativ permeabilitet	μ_r	en	1
magnetisk suceptibilitet	χ_m	en	1
magnetisk dipolmoment	m, μ	ampere pr. meter ²	A/m^2
magnetisk dreiemoment	τ, T	ampere · tesla pr. meter ²	AT/m^2
intensitet	I	watt pr. kvadratmeter	W/m^2
induktans	L	henry	$H = V A^{-1} s$
resistans	R	ohm	$\Omega = V A^{-1}$
resistivitet	ρ	Ohm-meter	Ωm
impedans	Z	ohm	Ω
magnetomotorisk spenning (mmf)	\mathcal{F}	ampere	A
reluktans	\mathcal{R}	Invers-henry	H^{-1}
pointingsvektor	S	watt pr. kvadratmeter	W/m^2

Fag SIF4029
Eksamen 5. mai 2003

STUDENTNR: _____
STUDIEPROGRAM: _____

SVAR-ARK FOR OPPGAVE 3

Sett ett kryss for hver oppgave (gardering ikke tillatt; ingen minuspoeng for feil svar)

Oppgave	Svar-alternativer				
	a	b	c	d	e
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Dette arket leveres sammen med resten av eksamensbesvarelsen.