

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



Faglig kontakt under eksamen:
Professor Randi Holmestad, 73593880 / 48170066
Institutt for fysikk, Gløshaugen.

EKSAMEN I EMNE TFY4180 FYSIKK

Tirsdag 31. mai 2005

Tid: 09.00 -13.00

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

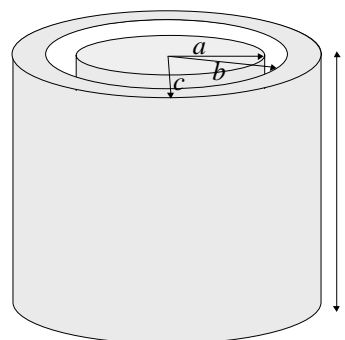
Språkform: bokmål
Antall sider bokmål:

Sensuren faller: 21.juni

En del formler, uttrykk og definisjoner er vedlagt. Ved bedømmingen teller alle ti deloppgaver like mye (1a, 1b.... ,4, 5). Denne eksamen teller 80% av total karakteren i emnet. Midtsemesterprøven teller 20%.

OPPGAVE 1.

En sylinderkondensator består av en metallstav med radius a og en metallsylinder med indre radius b og ytre radius c . Kondensatoren har lengde l , og det er luft mellom staven og sylinderen som vist på figuren. $l \gg b-a$ slik at vi kan se bort fra randeffekter. Kondensatoren lades opp ved hjelp av en likespenningskilde, som deretter koples fra. Ladningen på metallstaven er nå Q og ladningen på sylinderen er $-Q$.



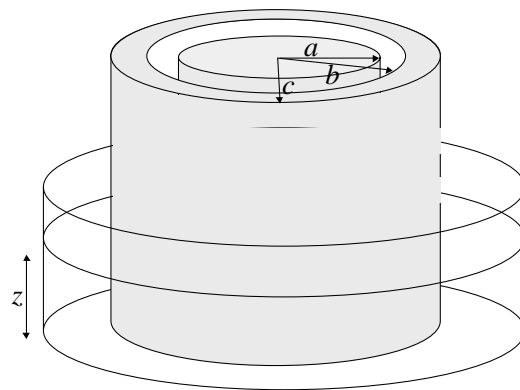
- a) Bruk Gauss lov til å vise at størrelsen på den elektriske feltstyrken $E(r)$ i området $a < r < b$ er

$$E(r) = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r l}$$

hvor ϵ_0 = permittiviteten i luft. Tegn figur og forklar hvordan du velger Gaussflater.
Hva er retningen til $E(r)$? Hva er den elektriske feltstyrken for $r < a$ og $r > b$?
Lag en skisse av $E(r)$ for alle r .

- b) Bruk resultatet i a) til å finne det elektriske potensialet for $r \geq 0$. Anta potensial $V=0$ uendelig langt borte fra sylinderen. Skisser $V(r)$ for alle r . Hva er spenningen over kondensatoren? Finn kondensatorens kapasitans C_0 uttrykt ved dimensjonene a , b og l og permittiviteten ϵ_0 .

- c) Kondensatoren settes nå vertikalt ned i et kar med rent vann med relativ permittivitet ϵ_r , som vist på figuren. Vi vil bestemme vannivået ut fra måling av kapasitansen til kondensatoren, og trenger en likning for omregning av målt kapasitans til vannivå. Finn kondensatorens kapasitans C_z som funksjon av høyden z av vannet i kondensatoren. Anta at kondensatoren står på bunnen av karet og Q er uforandret.



Finn et uttrykk for høyden av vannet i karet når kapasitansen (C_z) har økt 10 ganger i forhold til den uten vann (C_0)?

Finn tallverdi for denne høyden når $\epsilon_r = 80$ og $l = 0.1$ m.

OPPGAVE 2.

En dielektrisk kule av et materiale med $\epsilon_r = 5.7$ og radius $R = 0.1$ m har en punktladning på $Q = 2$ pF plassert i sentrum. Finn industert ladningstetthet σ_i på overflata av denne kula.

OPPGAVE 3.

En sylindrisk solenoide (spole) med lengde $l = 40$ cm diameter $d_1 = 2$ cm har $N_1 = 500$ viklinger. Strømmen i viklingene er $I = 5$ A. Inni solenoiden er det luft.

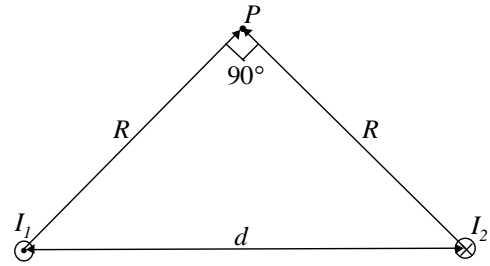
- a) Bruk Amperes lov til å finne det magnetiske feltet inne i solenoiden. Tegn figur som viser strømretning, feltretning og integrasjonsvei. Gi både formel og tallsva

En annen spole med diameter $d_2 = 0.5$ cm og $N_2 = 30$ antall viklinger er plassert inni solenoiden over med aksene parallell med den første solenoidens akse.

- b) Hva er den gjensidige induktansen for spolene? Oppgi induktansen som funksjon av diametre og antall viklinger. Finn også tallsva.
- c) Hvilken elektromotorisk spenning blir industert i den indre spolen dersom strømmen i viklingene på den ytre spolen forandrer seg med $\frac{dI}{dt} = 200$ A/s? Gi både formel og tallsva.
- d) Hva blir det industerte elektriske feltet i en radiell avstand $R = 4$ cm fra sentrum av spolene? Gi både formel og tallsva.

OPPGAVE 4.

Figuren viser to lange, rette parallelle ledere som fører strømmene $I_1 = 15 \text{ A}$ og $I_2 = 32 \text{ A}$ i motsatte retninger. Avstanden mellom lederne er $d = 10 \text{ cm}$. Punktet P ligger like langt fra hver leder. Finn størrelse og retning av magnetfeltet \vec{B} i punktet P . Tegn figur som viser retningen av magnetfeltet i forhold til retningen av linjen d .

**OPPGAVE 5.**

En plan elektromagnetisk bølge forplanter seg i vakuum i x -retningen. Det magnetiske feltet til denne bølgen er rettet langs z -aksen og er gitt ved $B_z = B_0 \sin(\omega t - kx)$. Hva vet vi om det elektriske feltet for at denne bølgen skal tilfredsstille Faradays og Amperes lover? Lag en skisse av magnetisk og elektrisk felt som funksjon av x ved tiden $t = 0$.

Magnetfeltet har amplituden $B_0 = 500 \mu\text{T}$. Hva er amplituden for det elektriske feltet? Finn størrelse og retning på Poyntingsvektoren.

Hvis den gitte magnetfeltamplituden ble målt i et glassmedium med brytningsindeks $n = 1.5$, hva ville da vært amplituden for det elektriske feltet?

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:

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

$$\varepsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

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

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

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

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 forskyvningsvektor	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

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
kubikkmeter	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

kapasitans	C	Farad	$A^{-1}s^{-1}$
magnetisk feltstyrke	H	Ampere pr. meter	$F = As V^{-1}$
magnetisk fluks	Φ_B	Weber	A/m
magnetisk flukstetthet	B	Tesla	$Wb = Vs$
magnetisering	M	Ampere pr. meter	$T = Wb/m^2 = N/Am$
permeabilitet	μ	Henry pr. meter	A/m
relativ permeabilitet	μ_r	en	H/m
magnetisk suceptibilitet	χ_m	en	1
magnetisk dipolmoment	m, μ	Ampere meter ²	1
magnetisk dreiemoment	τ, T	Ampere · Tesla · meter ²	Am^2
intensitet	I	Watt pr. kvadratmeter	$ATm^2 = Nm$
induktans	L	Henry	W/m^2
resistans	R	Ohm	$H = V A^{-1} s$
resistivitet	ρ	Ohm-meter	$\Omega = V A^{-1}$
impedans	Z	Ohm	Ωm
magnetomotorisk spenning (mmf)	\mathcal{F}	Ampere	Ω
reluktans	\mathcal{R}	invers-Henry	A
pointingsvektor	S	Watt pr. kvadratmeter	H^{-1}
			W/m^2