NORGES TEKNISK NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:
Navn: Kristian Fossheim
Tlf. 93638

KONTINUASJONSEKSAMEN I FAG SIF 4007
Mandag 7. august 2000
Tid: 0900-1500

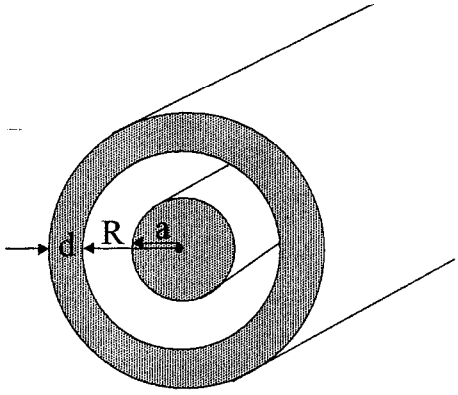
Tillatte hjelpemidler: Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i henhold til utarbeidet liste fra NTNU

K.Rottmann: Matematisk formelsamling
K.Rottmann: Matematische Formelsammlung
S. Barrett og T.M Cronin: Mathematical Formulae

En del formler, uttrykk og definisjoner er vedlagt. Ved bedømmingen teller oppgave 1 og 4 30% hver, og oppgave 2 og 3 teller 20% hver. For oppgave 4 skal vedlagt svar-tabell fylles ut, og denne utgjør hele besvarelsen for oppgaven 4.

OPPGAVE 1 (30%).

I denne oppgaven studerer vi en koaksialkabel. Denne består av en uendelig lang, rett, massiv sylinder av metall med radius a ('indre sylinder') og en uendelig lang hul metallsylinder med indre radius R og veggtykkelse d ('ytre sylinder'), slik som vist i figuren.
Mellom sylinderne er det vakuum.



a) Vi tilfører indre sylinder en ladning λ_1 pr. meter sylinderlengde og ytre sylinder en ladning λ_2 pr. meter sylinderlengde. Vis at uttrykket for elektrisk feltstyrke $\vec{E}(r)$ som funksjon av radiell avstand r fra sylinderaksen kan skrives som $\vec{E}(r) = (E_0/r)\hat{r}$ og bestem E_0 for alle r.
(Tips: Bruk Gauss' lov og del opp i fire områder; 1) r<a, 2) a<r<R, 3) R<r<R+d, 4)r>R+d)

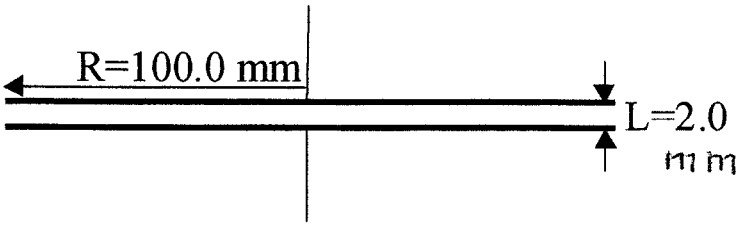
b) Forklar kort begrepet elektrostatisk energitetthet. Bestem hvor mye energi som er lagret i det elektriske feltet pr. meter sylinderlengde for det tilfellet at $\lambda_1 = -\lambda_2 =$ $2.0\ 10^{-6}$ C/m , a = 2 cm og R = 5 cm. (Angi tallsvar.)

c) Vi sender nå likestrøm gjennom indre og ytre sylinder parallelt med aksen, I_1 gjennom indre og I_2 gjennom ytre. Anta at strømtransporten er jevnt fordelt over metalltverrsnittet for hver av sylinderne. Bruk Ampéres lov til å finne et uttrykk for magnetisk flukstetthet $\vec{B}(r)$ for alle r når metallet har relativ permeabilitet K_m. Vis spesielt retningen til $\vec{B}(r)$. Undersøk om $\vec{B}(r)$ er kontinuerlig.

d) Vi setter nå $I_1 = -I_2$. Finn uttrykk for feltet B(r) for alle r. Sjekk spesielt for kontinuitet mellom de forskjellige områdene. Lag en skisse av B(r) som funksjon av r.

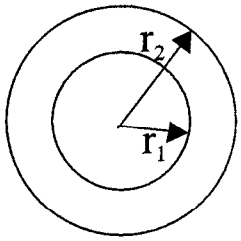
OPPGAVE 2 (20%).

En platekondensator (kondensator I, se fig.) består av to plane, sirkulære plater med radius R = 100 mm plassert rett ovenfor hverandre i luft (vakuum) i avstand L = 2.0 mm.



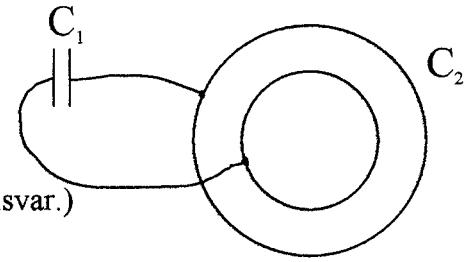
a) Finn kapasitansen C_1 av denne kondensatoren. Kondensatoren er ladet opp til spenningen V_1=100 V. Finn ladning Q på hver plate og størrelsen på det elektriske feltet i rommet mellom dem. Forklar kort hvordan en kondensator virker og hvilken funksjon den kan ha i en elektrisk krets.

b) En kulekondensator (kondensator II, se fig.) består av to konsentriske kuleskall med radier r_1 og r_2. Anta at kondensatoren har ladning Q. Finn feltstyrken $\vec{E}(r)$ mellom kuleskallene og vis at potensialforskjellen er gitt ved $V_2 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$.



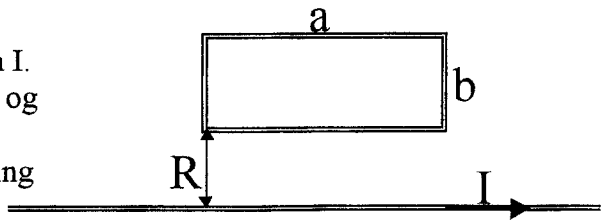
Finn uttrykk for kapasitansen C_2 for kulekondensatoren. Beregn tallverdi når r_1=50 mm og r_2 = 80 mm.

c) Kondensator I blir ladet opp til V_1 = 100 V og forbindelsen med spenningskilden brutt. Kondensator II er uten ladning. Vi forbinder så polene i de to kondensatorene parvis med hverandre, som vist på figuren. Hva blir den felles spenning V_3 på kondensatorene? (Angi tallsvar.)



OPPGAVE 3 (20%).

En uendelig lang, rett ledning i vakuum fører strømmen I. Vi setter en metallisk, rektangulær sløyfe med lengde a og bredde b med en sidekant parallelt med ledningen og i avstand R fra senterlinjen av ledningen. Sløyfe og ledning er i samme plan, som vist i figuren.



a) Vi antar først at I er en likestrøm. Vis at magnetisk fluks gjennom sløyfa er gitt ved $\Phi_B = \frac{\mu_0 I a}{2\pi}\ln\left(\frac{R+b}{R}\right)$.

b) Sløyfa blir flyttet med jevn fart v parallelt med ledningen. Hva blir den elektromotoriske spenningen $\mathcal{E}_i$ i sløyfa? Vi flytter så sløyfa med jevn fart v radielt utover fra ledningen.

Finn uttrykk for elektromotorisk spenning $\mathcal{E}_2$. Anta I = 10 A, a = 5 cm, b = 3 cm, v = 0.5 m/s og R= 2 cm. Finn tallsvaret for $\mathcal{E}_2$.

c) Anta at sløyfa i er ro, mens strømmen I varierer periodisk som $I(t) = I_0 \cdot \cos\omega t$. Finn et uttrykk for indusert elektromotorisk spenning $\mathcal{E}_3$. Finn den største verdien $\mathcal{E}_3$ kan ha når I_0 = 10 A, ω = 314 rad/s og en ellers bruker verdier fra oppgave b).

OPPGAVE 4 (30%).

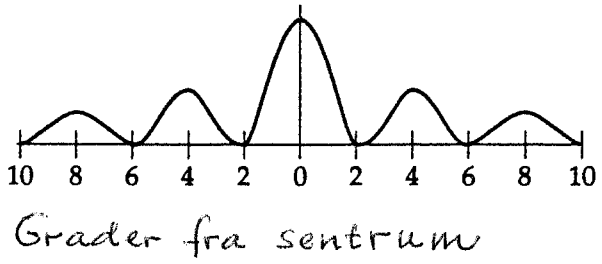
Oppgaven består av 9 delspørsmål; disse skal besvares i tabellen som er gitt på siste side av eksamensoppgaven (riv arket ut og lever sammen med resten av besvarelsen). Kun side 9 skal leveres som svar på oppgave 4.

A) En 60 watt lyspære sender ut lys uniformt i alle retninger. Hvis 50% av den innsendte effekten i en slik lyspære sendes ut som elektromagnetisk stråling, hva er stråleintensiteten i en avstand på 2.00 m fra lyspæra?

a) 15 W/m^2; b) 4.8 W/m^2 ; c) 2.4 W/m^2 ; d) 0.60 W/m^2 ; e) 1.2 W/m^2

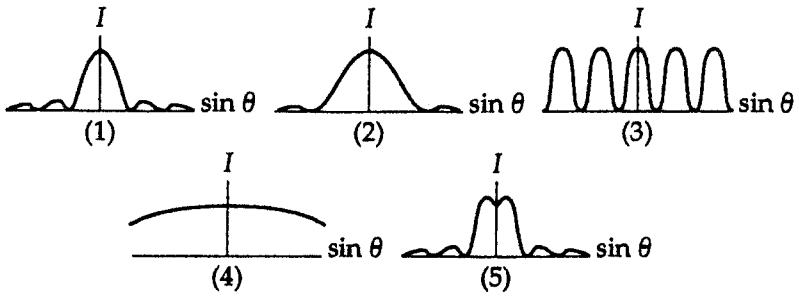
B) To smale spalter med senteravstand 15 cm blir belyst med monokromatisk stråling. Intensitetsfordelingen på en skjerm langt unna blir som vist på figuren. Vi kan konkludere at strålingen har bølgelengde

a) 0.52 cm ; b) 1.0 cm ; c) 1.6 m; d) 2.1 m; e) 3.0 m.



C) Grafene nedenfor viser forskjellige diffraksjonsmønster, her som relativ intensitet som funksjon av vinkel fra forover-retningen. Den grafen som viser mønsteret for den smaleste spalten er

a) 1; b) 2; c) 3; d) 4; e) 5.



D) Den klassiske elektron teorien for metaller er utilstrekkelig ved at den

a. antar at gjennomsnittlig energi for elektroner er 3kT/2
b. antar at Maxwell-Boltzmanns energifordeling gjelder
c. ikke tar hensyn til eksklusjonsprinsippet
d. antar at ekvipartisjonsprinsippet (lik energi per frihetsgrad) gjelder
e. antar at alle ovenstående utsagn gjelder.

E) Fermi-energien til en elektrongass ved T= 0 K er gitt av

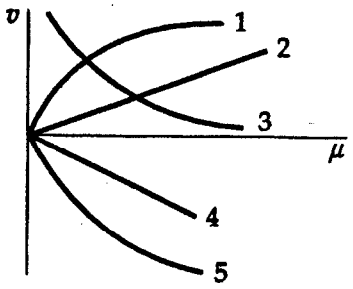
$E_F = 0.365\text{eV}\cdot\text{nm}^2(N/V)^{2/3}$

Fermi-energien er dermed a) 11.7 eV; b) 3.24 eV; c)5.53 eV; d) 2.11 eV; e) 9.46 eV

F) Resistiviteten i kopper ved 20 C er $1.7\text{x}10^{-8}$ Ωm. Du har en koppertråd med diameter 2.00 mm, og trenger en motstand på 1.00 Ω. Tråden du trenger, må da ha en lengde på
a) 19.6 m; b) 49.1 m; c) 185 m; d) 317 m; e) 542 m.

G) Hvilken kurve illustrerer best variasjonen av bølgehastighet som funksjon av masse/meter i en vibrerende streng?

a) 1
b) 2
c) 3
d) 4
e) 5



H) En streng med lengde 1 m er fastspent i begge ender, og vibrerer ifølge ligningen

$y(x,t) = 0.04 \sin\pi x \cos 2\pi t$

der enhetene er i SI. Totalt antall knuter i svingemønsteret er da
a) 1; b) 2; c) 3; d) 4; e) 5.

I) Den fundamentale frekvensen i en svingende streng er f_1. Vi dobler strekket i strengen. Frekvensen blir nå: a) $f_1/2$; b) $f_1/2^{½}$; c) f_1; d) $2^{½}f_1$; e) $2f_1$

Formelliste og data

Ved eksamen i SIF 4007 og Fysikk 74136

Oppsatte formler og konstanter

Coulomb: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}$; $\vec{E}$ – felt: $\vec{E} = \vec{F}/q$;

Gauss: $\oint_S d\vec{A}\cdot\vec{E} = Q/\varepsilon_0$ (Q: nettoladning innenfor lukket flate S) ;

Elektrostatisk potensial: $\vec{E} = -\nabla V$;

Kapasitans: $C = \frac{Q}{V}$; Energi i kondensator: $U_c = \frac{1}{2}CV^2$;

Elektrisk feltenergi pr. volumenhet: $u_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$ (i vakuum)

I dielektrisk medium: $\varepsilon_0 \rightarrow K\varepsilon_0 = \varepsilon$ (K: relativ dielektrisitetskonstant) ;

Kraft på ladning i bevegelse: $\vec{F} = q\left(\vec{v}x\vec{B}\right)$;

Kraft på leder: $d\vec{F} = Id\vec{l}x\vec{B}$

Magnetiske monopoler finnes ikke: $\oint_S d\vec{A}\cdot\vec{B} = 0$;

Biot-Savart: $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\vec{l}x\hat{r}}{r^2}$;

Ampère: $\oint d\vec{l}\cdot\vec{B} = \mu_0 I$ (I: strøm omsluttet av integrasjonsvegen) ;

Faraday: $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ (Φ_B : magnetisk fluks gjennom sløyfe) ;

Selvinduktans: $L = \frac{N\Phi_B}{I}$ ($N\Phi_B$: magnetisk fluks gjennom spole med N viklinger);

Magnetisk energi i spole: $U_L = \frac{1}{2}LI^2$;

Magnetisk feltenergi pr. volumenhet: $u_B = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$ (i vakuum) ;

I materielt medium: $\mu_0 \rightarrow K_m\mu_0 = \mu$ (K_m: relativ permeabilitet) ;
Resistans: $R = \rho\ell/A$ (ρ : resistivitet; ℓ : lengde; A: tverrsnitt) ;

Vekselspenning: $v(t) = V\cos(\omega t + \varphi)$ (φ : fase relativt til $i(t)$) ;

Vekselstrøm: $i(t) = I\cos\omega t$;

Impedans (vekselstrømsmotstand): $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$; $\tan\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$;

Bølgeligning: $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$;

Bølgehastighet på streng: $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

Bølgelengde/frekvens ved lineær dispersjonsrelasjon: $\lambda f = v$; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; $\omega = 2\pi f$; $\omega = vk$;

Elektromagnetiske bølger: $v = c = 1/\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$; (i vakuum)

Interferens fra N parallelle spalter med naboavstand d: $I(\theta) = I_1(0)\frac{\sin^2\frac{N\varphi}{2}}{\sin^2\frac{\varphi}{2}}$

Diffraksjon fra én spalt med bredde a: $I(\theta) = I(0)\frac{\sin^2\frac{\psi}{2}}{(\psi/2)^2}$

Plancks strålingslov: $I(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5(e^{hc/\lambda k_B T} - 1)}$;

Fotoners energi og bevegelsesmengde: $E = hf = \hbar\omega$; $p = \frac{h}{\lambda} = \hbar k$;

Partiklers de Broglie bølgelengde: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$;

Heisenbergs usikkerhetsrelasjon: $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$.

Schrödingerlikningen: $$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2}\psi + V(x)\psi = E_n\psi$$

Energinivåer for hydrogenatomet: $$E_n = -\frac{\hbar^2}{2ma_0^2}\frac{1}{n^2}$$

Konstanter: $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8{,}99\cdot 10^9\, Nm^2C^{-2}$; $k_B = 1{,}38\cdot 10^{-23}\frac{J}{K}$;

$\frac{\mu_0}{4\pi} = 1{,}00\cdot 10^{-7}\frac{H}{m}$; $c = 2{,}998\cdot 10^8\frac{m}{s}$ (lyshastigheten) ;

$h = 6{,}63\cdot 10^{-34}\, Js$ $m_e = 9{,}1\cdot 10^{-31}\, kg$ (elektronmassen);

$\hbar \equiv \frac{h}{2\pi}$

$e = 1{,}6\cdot 10^{-19}\, C$; 1eV = 1,60 10^{-19} J_

$a_0 = \varepsilon_0\frac{h^2}{\pi me^2} = 0.5292\cdot 10^{-10}$ m (Bohr - radius)

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		**SI – enhet**	
Navn	Symbol	Navn	Symbol
elektrisk feltstyrke	E	Volt pr. meter	V/m=N/C
elektrisk potensial	V	volt	V
elektrisk flukstetthet	D	coulomb pr. meter^2	C/m^2
elektrisk polarisasjon	P	coulomb pr. meter^2	C/m^2

elektrisk ladning	$Q,\ q$	coulumb	C = As
elektrisk ladningstetthet; rom-	ρ	coulomb pr meter^3	C/m^3
flate-	σ	coulomb pr meter^2	C/m^2
linje-	λ	coulomb pr meter	C/m
elektrisk fluks	Φ_E	Newton-meter^2 pr. coulomb	N m^{2}C^{-1}
permittivitet	ε	farad pr meter	F/m
relativ permittivitet	K	en	1
elektrisk suceptibilitet	χ_e	en	1
elektromotorisk spenning/kraft (ems)	$\mathcal{E}$	volt	V
vinkelfrekvens	ω	radian pr. sekund	rad/s
vinkel	$\alpha,\beta,\gamma, \ldots.$	radian	rad
romvinkel	Ω	steradian	sr
lengde	l	meter	m
areal	A	kvadratmeter	m^2
volum	V	kubikkmeter	m^3
tid	t	sekund	s
frekvens	f	hertz	Hz=1/s
bølgetall	k	invers-meter	1/m
bølgelengde	λ	meter	m
masse	m	kilogram	kg
hastighet	v	meter pr. sekund	m/s
kraft	F	Newton	N = kg m s^{-2}
trykk	p	Pascal	Pa =N m^{-2}
arbeid, energi	E,W	Joule	J = Nm
effekt	P	watt	W=J/s
elektrisk strøm	$I,\ i$	ampere	A
elektrisk potensialdifferanse, spenning	U,V	volt	V =kg m^{2}s^{-3} A^{-1} = J A^{-1}s^{-1}
kapasitans	C	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	K_m	en	1
magnetisk suceptibilitet	χ_m	en	1
magnetisk dipolmoment	m,μ	ampere · meter^2	A m^2
magnetisk dreiemoment	τ, T	ampere · tesla ·meter^2	A T m^2
intensitet	I	watt pr. kvadratmeter	W/m^2
induktans	L	henry	H = V A^{-1} s
resistans	R	ohm	Ω =V A^{-1}
resistivitet	ρ	Ohm-meter	Ω m
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 SIF4007
og Fysikk 74136
Eksamen 7. august 2000

Studentnummer:_____.

SVAR-ARK FOR OPPGAVE 4

Sett ett kryss for hver oppgave (gardering ikke tillatt)

	Svar-alternativer				
Oppgave	a	b	c	d	e
A					
B					
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					

Dette arket leveres sammen med resten av eksamensbesvarelsen.