

# EKSAMEN I FAG FY6017 "Elektromagnetisme"

for studenter ved videreutdanning i fysikk, KOMPIS.

Onsdag 18. desember 2012

Tid: 09.00 – 14.00

## Faglig kontakt under eksamen:

Jorunn Grip  
Tlf: 93255281

## Tillatte hjelpemidler:

Grafisk lommeregner  
Matematisk formelsamling.

## Sensur:

22. januar 2013

## Eksamenspapirene består av 9 sider:

1. Førstesida (denne sida).
2. Side 2: Oppgave 1. 4 små oppgaver med ulike tema.
3. Side 3: Oppgave 2. Oppgaven handler om ladde partikler.
4. Side 4: Oppgave 3. Oppgaven handler om induksjon.
5. Side 5: Oppgave 4. Oppgaven handler om magnetisme.
6. Side 6: Oppgave 5. Oppgaven handler om elektrostatikk.
7. Side 7 – 9: Vedlegg 1. Formelark

## Vurderingskriterier:

Ved vurderingen vektlegges din evne til å

- gjøre greie for fysiske fenomener
- gjøre greie for kvalitative vurderinger
- vise regneferdighet
- vise eksperimentelle ferdigheter
- presentere besvarelsen
- vise pedagogisk innsikt

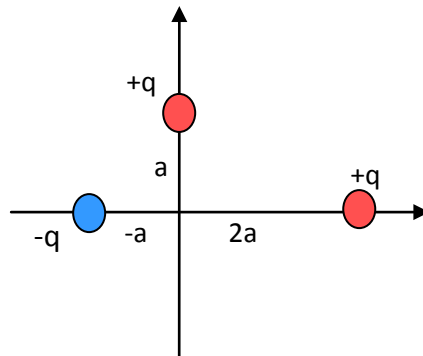
Prosentene på hver oppgave indikerer hvor mye den teller i det endelige resultatet, totalt 80 %.  
Midtsemestereksamen teller 20 %.

*Lykke til!*

## Oppgave 1

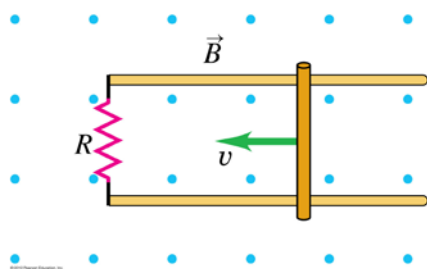
(Vektlegges med 10 % av endelig karakter)

- a) Finn det elektriske potensialet i origo fra ladningsfordelingen som vist på figur 1.

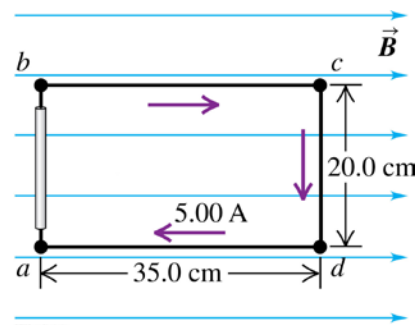


Figur 1. Ladningsfordeling

- b) Det fins to typer elektriske felt. Forklar kort hva som er kildene til disse to feltene og hvordan de to har betydning for Gauss lov og Faradays lov.
- c) En  $0,360\text{ m}$  lang metallstav beveger seg på to skinner som er koblet sammen slik figur 2 viser. Skinnene ligger i et magnetfelt,  $B = 0,650\text{ T}$  som står normalt på planet som skinnene ligger i. Metallstaven har farten  $v = 5,90\text{ m/s}$  mot venstre. Finn induisert strøm i strømsløyfa som dannes av skinnene, staven og ledningen med motstanden  $R = 45,0\Omega$ . Vi regner  $R$  som den totale motstanden i kretsen.



Figur 2. Metallstav i magnetfelt



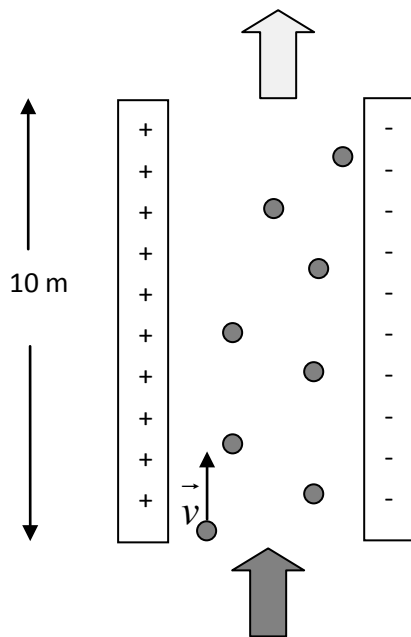
Figur 3 Strømsløyfe i magnetfelt

- d) Figur 3 viser en strømførende sløyfe som er festet slik at den kan rotere om siden ab. Lengden til sidekantene, strømrretning og størrelsen til strømmen står på figuren. Strømsløyfen ligger i et magnetfelt med retning som vist på figuren.  $B = 1,20\text{ T}$ . Tegn inn kreftene som virker på hver av sidekantene til strømsløyfa pga magnetfeltet og beregn dreiemomentet på strømsløyfa på grunn av magnetfeltet.

## Oppgave 2

(Vektlegges med 5 % av endelig karakter)

- a) En elektrostatiske presipitator er et system for å rense støv fra røyk i fabrikker. Den monteres inne i pipa. Hver støvpartikkel tilføres en positiv ladning  $q$  ved inngangen til presipitatoren. To ladde plater med en spenningsforskjell  $V$  er plassert inne i pipa. Se figur 4. Støvpartiklene kommer ut fra forbrenningsovnene med farten  $v$  vertikalt oppover, avbøyes av det elektriske feltet og samles opp på elektrodene. Systemet for oppsamling av støvet er ikke tegnet inn.



Figur 4. Presipitator til rensing av støvpartikler fra røyk. ● er støvpartikler med ladning  $q$  og fart  $v$ . De to platene på figuren er tredd ned i pipa som ikke vises på figuren. Pilene viser retningen som røyken strømmer, skitten røyk inn i pipa og renere ut på toppen etter at støvpartiklene er fjernet.

Støvpartiklenes masse er  $m = 1,0 \times 10^{-14} \text{ kg}$ . Hastigheten til røyken i vertikal retning er  $v = 1,0 \text{ m/s}$ . Avstanden mellom platene er  $d = 2,0 \text{ m}$ , lengden av presipitatoren er  $l = 10 \text{ m}$  og spenningen mellom platene er  $V = 50 \text{ V}$ . Vi ser bort fra tyngdekraften.

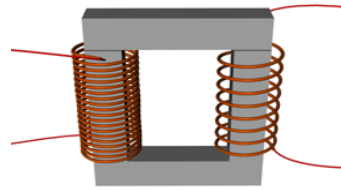
Hvor stor ladning må tilføres hver enkelt støvpartikkel for at alle støvpartiklene skal fanges opp i presipitatoren?

## Oppgave 3

(Vektlegges med 15 % av endelig karakter)

- a) En transformator er tegnet på figur 6. Den endrer spenningen på vekselstrømmen som kommer inn fra  $U_p = 240 \text{ V}$  til  $U_s = 24 \text{ V}$ , fremdeles vekselspenning. Transformatoren har en jernkjerne. Se figur 5 på neste side.

Figur 5. Transformator med jernkjerne

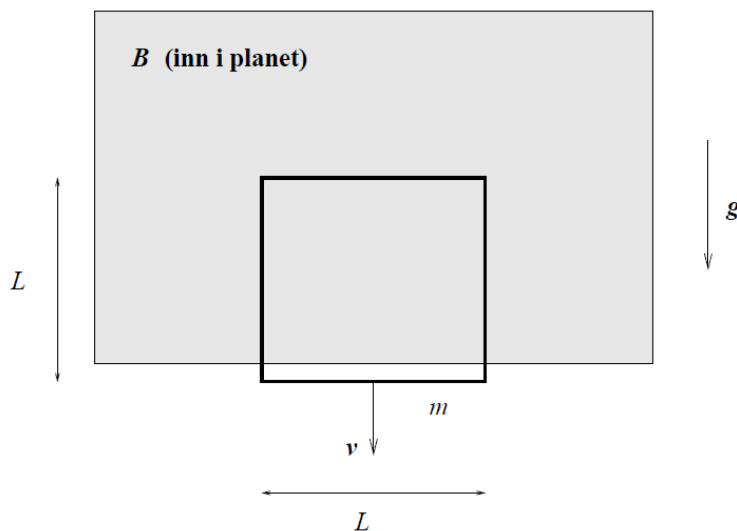


Skisser magnetfeltet i transformatoren. Forklar hvorfor jernkjernene i store transformatorer er laget av plater, (lameller). Vis at forholdet mellom de to spenningene er gitt av formelen:

$$\frac{U_P}{U_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

hvor  $N_S$  og  $N_P$  er antall vindinger i henholdsvis sekundær og primærspolen. Finn forholdet mellom antall vindinger i de to spolene i dette eksemplet.

- b) Ei kvadratisk ledersløyfe med masse  $m$  og sidekanter  $L$  faller med konstant hastighet,  $v$ , i tyngdefeltet. Nedre sidekant er under hele eksperimentet utenfor det homogene magnetfeltet,  $B$ , som dekker det grå området og er rettet normalt inn i papirplanet på figur 6. Øvre sidekant er under hele eksperimentet innenfor magnetfeltet. Magnetfeltet står normalt på tyngdens akselerasjon,  $g$  og dessuten normalt på arealvektoren til den fallende ledersløyfa. Motstanden i strømsløyfa er  $R$ .



Figur 6. Strømsløyfe i magnetfelt og gravitasjonsfelt.

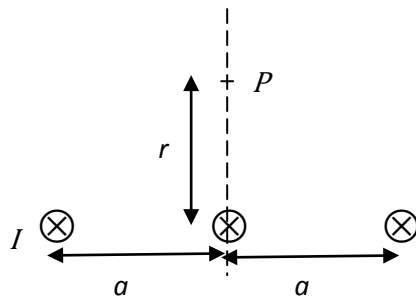
Bestem retningen til den induserte strømmen,  $I$  i ledersløyfa og finn farten til ledersløyfa uttrykt med  $m$ ,  $B$ ,  $L$ ,  $g$  og  $R$  når sløyfa faller med konstant hastighet.

#### Oppgave 4

(Vektlegges med 25 % av endelig karakter)

- a) Bruk Amperes lov til å finne magnetfeltet i avstand  $r$  fra en uendelig lang rett strømførende leder.

Tre lange, parallelle ledere, i innbyrdes avstand  $a$  og som fører strøm,  $I$  i samme retning er plassert som vist i figur 7.



Figur 7. Parallelle ledere normalt på papirplanet.

- b) Vis at magnetfeltet på grunn av strømmen i de tre lederne i punktet  $P$  på figuren i avstanden

$$r \text{ fra den midterste lederen kan skrives som } B_{tot} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \left[ 1 + \frac{2r^2}{a^2 + r^2} \right].$$

Hva er magnetfeltet når  $I = 10\text{ A}$ ,  $a = 10\text{ cm}$  og  $r = 5,0\text{ cm}$ ?

Vi lager et strømførende plan ved å legge mange ledere tett sammen. Alle lederne fører strømmen  $I$  i samme retning og det er  $n$  ledninger per meter målt på tvers av ledningene.

- c) Tegn figur og beskriv magnetfeltet i nærheten av planet når vi ser bort fra kanteffekter.
- d) Bruk Amperes lov til å finne et uttrykk for magnetfeltet i avstanden  $r$  fra planet. Kommenter resultatet.

Sterke magnetfelt kan brukes til å holde tunge gjenstander svevende, for eksempel et tog på magnetiske skinner. Dette kalles magnetisk levitasjon. Vi lager et strømførende plan med flere lag slik at vi kan regne med 5000 ledere per m. I hver av lederne går det en strøm på 600 A. Vi kan se bort fra tykkelsen av det strømførende planet. Vi plasserer en strømførende leder parallelt med det strømførende planet som du regnet på i punkt c og d.

- e) Tegn figur. Hvilken strøm må sendes gjennom lederen for at kraften på den skal bli stor nok til å løfte 500 kg per meter av lederen? I hvilken retning må denne strømmen gå i forhold til strømmen i planet?

### Oppgave 5

(Vektlegges med 25 % av endelig karakter)

En uendelig lang sylinder med radius  $R$  har en ladningsfordeling  $\rho(r)$ . Sylindren ligger langs  $z$  – akse slik at  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ . Ladningsfordelingen er gitt ved:

$$\rho = \rho_0 \left(1 - \frac{r}{R}\right) \text{ for } r \leq R$$

$$\rho = 0 \quad \text{for } r > R$$

der  $\rho_0 > 0$

a) Finn sylindrens totale ladning per lengdeenhet,  $Q_{tot} = \int_0^R \rho(r) \cdot 2\pi r \cdot dr$ .

$Q(r)$  er ladning per lengdeenhet som funksjon av avstanden fra sentrum av sylindren,  $r$ .

b) Vis at når  $r < R$  så er:  $Q(r) = \pi \cdot \rho_0 \cdot r^2 \left(1 - \frac{2}{3} \frac{r}{R}\right)$

c) Bruk Gauss lov til å finne det elektriske feltet i alle avstander fra  $z$  – akse.

d) Bestem verdien som  $r$  kan ha når  $r \leq R$  og som gir maksimalt elektrisk felt  $E_{maks}$ .

e) Skisser feltet  $E(r)$  for  $0 < r < 3R$  og angi maksimumsverdien  $E_{maks}$ .

## Vedlegg 1

### FORMELLISTE FOR FY6017 ELEKTROMAGNETISME

Coulombs lov:  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$        $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$

Elektrisk dipolmoment:  $\vec{p} = q\vec{d}$  (fra – til +)

Dreiemoment på en elektrisk dipol:  $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

Potensiell energi til en elektrisk dipol:  $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$

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

Elektrisk potensiell energi:  $U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r}$

Elektrisk potensial fra en punktladning:  $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$

Potensialforskjellen mellom to punkter:  $V_a - V_b = \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$

Kraft på en ladning i bevegelse:  $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

Magnetisk kraft på en strømførende leder:  $\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$

Dreiemoment på ei strømsløyfe:  $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

Potensiell energi til en magnetisk dipol:  $U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$

Hall – effekten:  $nq = \frac{-J_x B_y}{E_z}$

Magnetfelt fra en punktladning med konstant fart:  $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$

Biot – Savarts lov:  $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$

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

Faradays lov:  $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

Indusert emf i en lukket strømsløyfe som beveger seg i et magnetfelt:  $\mathcal{E} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$

### Maxwells likninger:

hvor det elektriske feltet er gitt av:  $\vec{E} = \vec{E}_c + \vec{E}_n$

1. Gauss lov for  $\vec{E}$ :  $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{encl}}{\epsilon_0}$
2. Gauss lov for  $\vec{B}$ :  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
3. Amperes lov:  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left( i_c + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)_{encl}$
4. Faradays lov:  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

### Noen formler fra mekanikk

Bevegelseslikninger ved konstant akselerasjon i x – retning:

$$v = v_0 + at$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

Sirkelbevegelse med konstant baneakselerasjon:  $a_{rad} = \frac{v^2}{R}$

Vinkelfart:  $\omega = \frac{d\theta}{dt}$

### Noen fysiske konstanter:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} Tm / A$$

$$\epsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} C^2 / N \cdot m^2$$

$$e = 1,6019 \cdot 10^{-19} C \text{ (elementærladningen)}$$

$$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} kg \text{ (elektronets masse)}$$

$$g = 9,807 m / s^2$$



**Noen SI – enheter:**

Navn	Symbol	Navn	Symbol	Navn	Symbol
volt	$V = kg \cdot m^2 / (s^3 \cdot A)$	pascal	$Pa = N / m^2$	weber	$Wb = V \cdot s$
radian	rad	joule	$J = N \cdot m$	tesla	$T = Wb / m^2$
meter	m	watt	$W = J / s$	ohm	$\Omega = V / A$
sekund	s	kelvin	K		
hertz	Hz	ampere	A		
kilogram	kg	coloumb	$C = A \cdot s$		
newton	$N = kg \cdot m / s^2$	farad	$F = A \cdot s / V$		