Ark nummer: ____________________

Studentnummer: ____________________

Studieretning: ____________________

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for fysikk

BOKMÅL
Side 1 av 1
(pluss VEDLEGG)

EKSAMEN I EMNE TFY4180 FYSIKK

Eksamensdato: Tirsdag 30. mai 2006
Eksamenstid: 09:00 - 13:00

Faglig kontakt under eksamen: Institutt for fysikk, Arne Mikkelsen, tlf. 7359 3433
Vekttall: 2,5
Tillatte hjelpemidler (kode C):
Bestemt enkel godkjent kalkulator
Rottmann: Matematisk formelsamling (norsk eller tysk utgave).
Vedlagt formelliste (VEDLEGG C)

Sensurdato: Innen 21. juni 2006.

Eksamenpapirene består av:

1. Førstesida (denne sida) som skal leveres inn som svar på flervalgsspørsmålene.
2. Ett sett med flervalgsspørsmål, Oppgave 1 (VEDLEGG A)
3. Tre "tradisjonelle oppgaver", Oppgaver 2-4 (VEDLEGG B)
4. Formelliste med aktuelle formler og konstanter (VEDLEGG C)

Prosenttallene i parantes etter hver oppgave angir hvor mye den i utgangspunktet vektlegges ved bedømmelsen. I de fleste tilfeller er det fullt mulig å løse etterfølgende punkter selv om et punkt foran skulle være ubesvart.

Noen generelle merknader:
- Symboler er angitt i kursiv (f.eks. V for potensial), mens enheter angis uten kursiv (f.eks. V for volt)
- $\hat{\mathbf{i}}$, $\hat{\mathbf{j}}$ og $\hat{\mathbf{k}}$ er enhetsvektorer i henholdsvis x-, y- og z-retning.
- Metall er synonymt med elektrisk leder. Isolator er synonymt med dielektrikum.
- Dersom ikke annet er oppgitt
  - antas det at systemet er i elektrostatisk likevekt,
  - er "potensial" underforstått "elektrostatisk potensial" og tilsvarende for "potensiell energi",
  - er nullpunkt for elektrostatisk potensial og potensiell energi valgt uendelig langt borte,
  - er Q, ρ og σ (uten indeks) fri ladning.

I flervalgsspørsmålene er kun ett av svarene rett. Du skal altså svare A, B, C, D eller E eller du kan svare blankt. Rett svar gir 5 p, galt svar eller flere svar gir -1 p, blank (ubesvart) gir 0 p.

Svar på flervalgsspørsmål i VEDLEGG A:

Spørsmål:	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
Svar:												

På side 1 av 1 skal studentnummer førast på og sida skal innleverast.

Ark nummer: ____________________

Studentnummer: ____________________

Studieretning: ____________________

Noregs teknisk-naturvitskapelege universitet
Institutt for fysikk

NYNORSK
Side 1 av 1
(pluss VEDLEGG)

EKSAMEN I EMNE TFY4180 FYSIKK

Eksamensdato: Tirsdag 30. mai 2006
Eksamenstid: 09:00 - 13:00

Fagleg kontakt under eksamen: Institutt for fysikk, Arne Mikkelsen, tlf. 7359 3433
Vekttal: 2,5
Tilletne hjelpemiddel (kode C):
Bestemt enkel godkjend kalkulator
Rottmann: Matematisk formelsamling (norsk eller tysk utgåve).
Vedlagt formelliste (VEDLEGG C)

Sensurdato: Innan 21. juni 2006.

Eksamenpapira består av:

1. Førstesida (denne sida) som skal leverast inn som svar på fleirvalsspørsmåla.
2. Eit sett med fleirvalgsspørsmål, Oppgåve 1 (VEDLEGG A)
3. Tre "tradisjonelle oppgåver", Oppgåver 2-4 (VEDLEGG B)
4. Formelliste med aktuelle formlar og konstantar (VEDLEGG C)

Prosenttala i parantes etter kvar oppgåve syner normal vektlegging av oppgåva ved bedømminga.
I dei fleste døme er det fullt mogeleg å løyse etterfølgjande punkt sjølv om eit punkt foran skulle vere utan svar.

Nokre generelle merknadar:
- Symbol er gjevne i kursiv (t.d. V for potensial), medan einingar er gjeven utan kursiv (t.d. V for volt)
- $\hat{\mathbf{i}}$, $\hat{\mathbf{j}}$ og $\hat{\mathbf{k}}$ er einingsvektorar i x-, y- og z-retning.
- Metall er synonymt med elektrisk leiar. Isolator er synonymt med dielektrikum.
- Dersom ikkje anna er gjeven
  - kan du anta at systemet er i elektrostatisk likevekt,
  - er med "potensial" meint "elektrostatisk potensial" og tilsvarande for "potensiell energi",
  - er nullpunktet for elektrostatisk potensial og potensiell energi vald uendeleg langt borte,
  - er Q, ρ og σ (utan indeks) fri ladning.

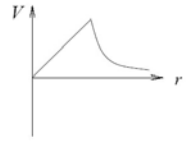
I fleirvalsspørsmåla er kun eitt av svara rett. Du skal altså svare A, B, C, D eller E eller du kan svare blankt.
Rett svar gir 5 p, galt svar eller fleire svar gir -1 p, blank (ubesvart) gir 0 p.

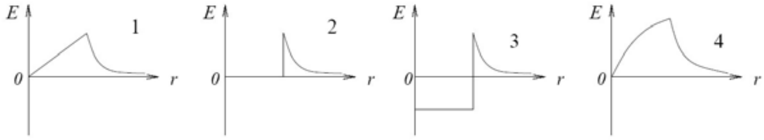
Svar på fleirvalsspørsmåla i VEDLEGG A:

Spørsmål:	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
Svar:												

Oppgave 1. Flervalgsspørsmål (teller 30%)

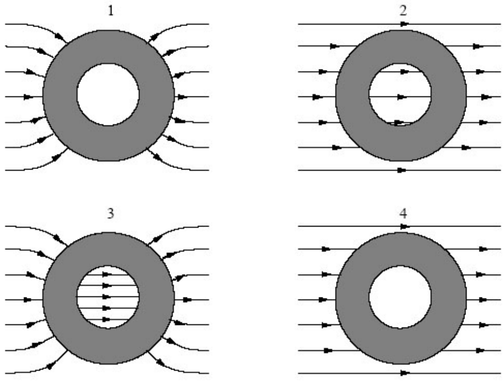
a) Hvis det elektriske potensialet V som funksjon av r er som vist i den øverste grafen, hvilken graf viser da den elektriske feltstyrken E som funksjon av r?





A) 1
B) 2
C) 3
D) 4
E) Både 2 og 3 kan være riktig, avhengig av referansepunkt.

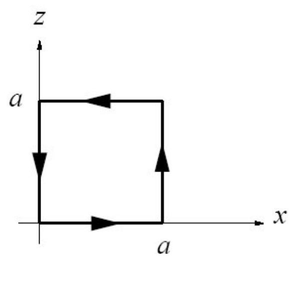
b) Ei nøytral metallkule har et kuleformet hulrom i sentrum. Kula er plassert i det elektriske feltet mellom to tilnærmet uendelig store metallplater med ladning henholdsvis $+\sigma$ og $-\sigma$ per flateenhet. Hvilken figur angir korrekt feltlinjene for det resulterende (totale) feltet i området omkring kula?



A) 1
B) 2
C) 3
D) 4
E) Ingen av figurene

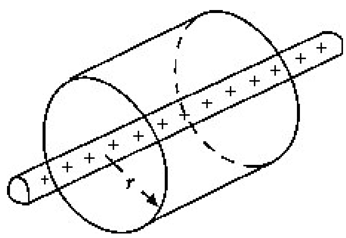
c) Hvilket av disse er et mulig konservativt elektrostatisk felt? Tips i figuren til høyre.

A) $E = E_0 \left(\frac{x}{a} \hat{\mathbf{i}} - \frac{z}{a} \hat{\mathbf{k}} \right)$
B) $E = E_0 \frac{x}{a} \hat{\mathbf{k}}$
C) $E = E_0 \left(\frac{x}{a} \hat{\mathbf{i}} + \frac{x}{a} \hat{\mathbf{k}} \right)$
D) $E = E_0 \frac{z}{a} \hat{\mathbf{i}}$
E) $E = E_0 \left(\frac{z}{a} \hat{\mathbf{i}} + \frac{z}{a} \hat{\mathbf{k}} \right)$



d) En uendelig lang stav plassert i vakuum har en ladning $\lambda(= q/\ell)$ per lengdeenhet. Gauss' lov gjør det enkelt å bestemme det elektriske feltet i en avstand r fra staven. Med $k = (4\pi\epsilon_0)^{-1}$ er feltet

A) $k\lambda/r^2$ B) $k\lambda/r$ C) $4\pi k\lambda/r$ D) $2k\lambda/r$ E) 0.



e) En ledning A med viss lengde og diameter har resistans R. En ledning B som har samme lengde og er laget av samme materiale som ledning A, har den dobbelte diameter av ledning A. Resistansen i B er:

A) R B) $2R$ C) $R/2$ D) $4R$ E) $R/4$

f) En partikkel med ladning q og masse m beveger seg i en bane normalt til et magnetisk felt B. Kurveradien til banen er gitt av

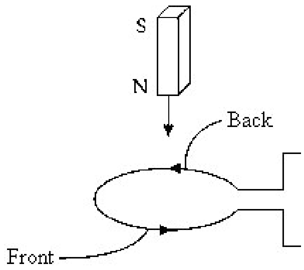
A) $\frac{qE}{m}$ B) $\frac{Bm}{qv}$ C) $\frac{Bv}{qm}$ D) $\frac{mv}{qB}$ E) $\frac{Bq}{mv}$

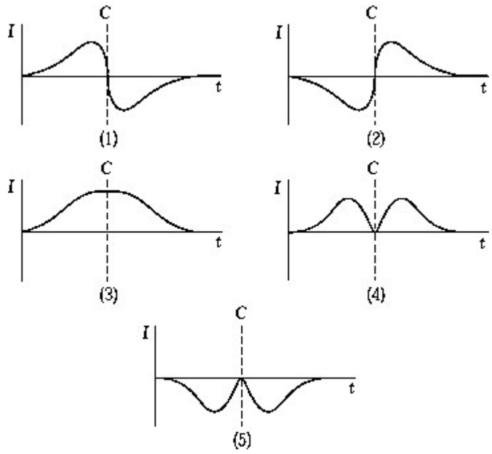
g) Alle ladde partikler som passerer gjennom et krysset elektrisk og magnetisk felt uten å bli avbøyd har samme

A) masse B) fart C) bevegelsesmengde D) energi E) ladning-til-masse-forhold

h) En stavmagnet slippes gjennom en strømsløyfe som vist i figuren til venstre under. Husk at magnetiske feltlinjer går ut fra nordpol og inn mot sydpol på en magnet. Positiv strømretning for den induserte strømsløyfa er vist med piler på sløyfa. Strømmen I som funksjon av tida t når magneten faller gjennom sløyfa er illustrert kvalitativt med hvilken graf? Tidspunktet som midtpunktet av magneten passerer sløyfa er vist med C.

A) 1
B) 2
C) 3
D) 4
E) 5





i) Det elektriske feltet for en elektromagnetisk bølge er gitt ved
$E_y = 25\,\mathrm{V} \cdot \sin(\pi \cdot 2,4 \cdot 10^6\,\mathrm{m}^{-1}\,(x - t \cdot 3,0 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}))$. Hva er bølgelengden for bølgen?

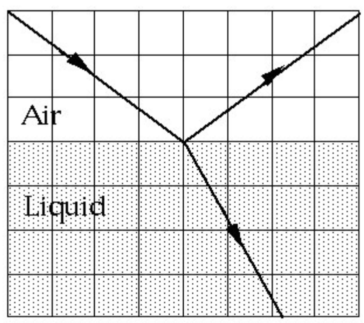
A) $4,8 \cdot 10^7$ m B) $2,1 \cdot 10^{-8}$ m C) $2,1 \cdot 10^{-7}$ m D) $8,3 \cdot 10^{-7}$ m E) $7,5 \cdot 10^{-6}$ m

j) En lysstråle passerer fra luft til vann idet den treffer overflata på vannet med en innfallsvinkel på 45°. Hvilke av de følgende fire størrelser endrer idet lyset passerer inn i vannet:
(1) bølgelengden, (2) frekvensen, (3) bølgehastigheten, (4) bølgetallet.

A) Bare 1 og 2.
B) Bare 2, 3 og 4.
C) Bare 1, 3 og 4.
D) Bare 3 og 4.
E) Alle 1, 2, 3 og 4.

k) En lysstråle treffer en væskeoverflate og blir reflektert og refraktert (brutt). Fra figuren kan du bestemme lysfarten i væska til å være omtrent

A) $1,83 \cdot 10^8$ m/s
B) $2,24 \cdot 10^8$ m/s
C) $3,00 \cdot 10^8$ m/s
D) $4,02 \cdot 10^8$ m/s
E) $2,50 \cdot 10^8$ m/s



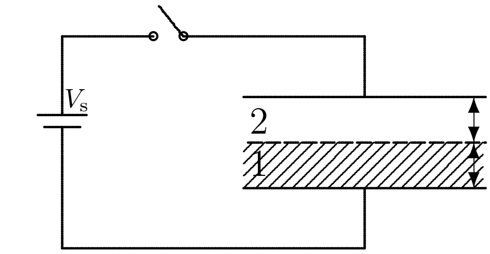
l) Hvilket av de følgende utsagn er *ikke* sant?

A) Både $\vec{B}$- og $\vec{E}$-komponentene til en elektromagnetisk bølge tilfredsstiller bølgelikningen.
B) Elektromagnetiske bølger er transverselle bølger.
C) Lysfarten til en elektromagnetisk bølge i vakuum er gitt av $\sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$.
D) Absoluttverdien til $\vec{E}$ er større enn $\vec{B}$ med en faktor c.
E) $\vec{E}$ og $\vec{B}$ er gjensidig 90° ute av fase i en elektromagnetisk bølge i vakuum.

Oppgave 2. Parallellplatekondensator (teller 25%)

Alle endelige svar i oppgave 2 skal gis som tallsvar med fortegn og enheter, men regn med symboler og sett inn tallsvar til slutt. For vektorer skal retning angis.

To parallelle, ledende plater har innbyrdes avstand $d =$ 5,0 mm. Utstrekningen på platene er så stor at vi kan se bort fra randeffekter. Rommet mellom platene er delt i to halvdeler. Nedre halvdel (1) består av et dielektrikum med relativ permittivitet $\epsilon_{\mathrm{r},1} = 2,5$. Øvre halvdel (2) er fra starten luftfylt, men i pkt b) og c) føres i øvre halvdel inn et dielektrisk materiale. De ledende platene kan gjennom en bryter koples til en spenningsforsyning med konstant spenning, $V_\mathrm{s} = 200$ V, med positiv spenning på øvre plate.



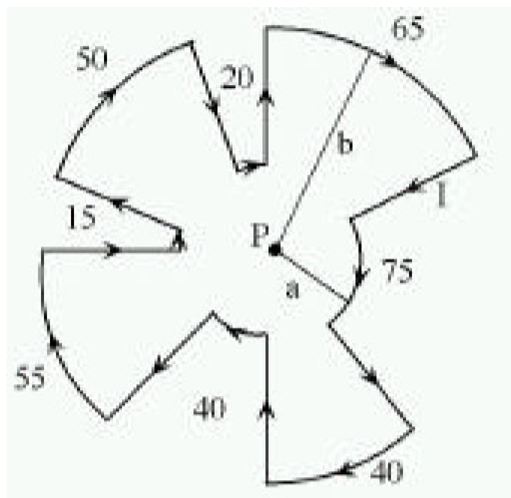
a) Platene er forbundet til spenningsforsyningen (bryteren er slått på). Beregn hva den elektriske flukstettheten $\vec{D}$ og det elektriske feltet $\vec{E}$ er i hele rommet mellom platene.
Tips: $\vec{D}$ er har lik verdi over hele mellomrommet.

b) Mens platene er oppladet koples spenningsforsyningen fra (bryteren åpnes) og det skyves deretter inn et dielektrisk materiale med relativ permittivitet $\epsilon_{\mathrm{r},2} = 5{,}0$ i området med luft (øvre halvdel). Hva blir potensialforskjellen mellom platene?

c) Beregn bundet overflateladning (ved grenseflatene) og bundet romladning (utenfor grenseflatene) i rommet mellom platene i situasjonen i b). Angi fortegn med en figur. Bundet ladning kalles også iblant indusert ladning.

Oppgave 3. Magnetfelt (teller 12%)

En tynn strømførende leder danner ei lukka sløyfe som ligger delvis langs periferien til to konsentriske sirkler med radius henholdsvis $a = 0{,}10$ m og $b = 0{,}25$ m og delvis langs radielt rettede forbindelseslinjer mellom de to periferiene, se figuren. Sløyfa fører en strøm $I =$ 4,0 A. I figuren er det angitt hvor mange grader de åtte sirkelbuene spenner over. Punktet P ligger i sentrum av de to sirklene. Bestem magnetisk flukstetthet $\vec{B}$ (størrelse og retning) i punktet P.



Oppgitt:
1. På symmetriaksen til ei sirkulær strømsløyfe med strømstyrke I og med radius R er størrelsen på $\vec{B}$

$$B = \mu_0 \frac{IR^2}{2(R^2+d^2)^{3/2}} \qquad \left(\text{var gitt feil til eksamen:} \quad B = \mu_0 \frac{IR}{2(R^2+d^2)^{3/2}}\right)$$

i en avstand d fra strømsløyfas sentrum.

2. Magnetisk flukstetthet $\mathrm{d}\vec{B}$ fra strømelement $I\mathrm{d}\vec{s}$:

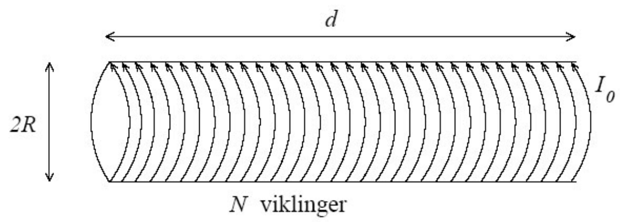
$$\mathrm{d}\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\mathrm{d}\vec{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Oppgave 4. Solenoide (teller 33%)

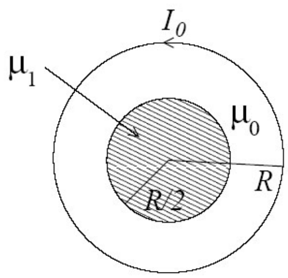
a) Magnetisk feltstyrke inne i en (tilnærmet uendelig) lang, luftfylt spole med lengde d og med N jamne og tette viklinger av en tynn spoletråd som fører en strøm I_0 er homogen og lik

$$H_0 = I_0 \cdot \frac{N}{d}\,.$$

Utled herfra et uttrykk for sjølvinduktansen L_0 til en slik spole når spolen har radius R. Bruk formel for spolers sjøvinduktans gitt i formellista.



b) Spolen fylles så delvis med en ferromagnetisk sylinder med lengde d og radius $R/2$. Figuren til høyre viser et tverrsnitt av spolen. Det ferromagnetiske materialet har permeabilitet $\mu_1 = \mu_r\mu_0$. Det går fortsatt en strøm I_0 i spoletråden.



Hva er den magnetiske feltstyrken $H(r)$ og den magnetiske flukstettheten $B(r)$ for forskjellige verdier av $r \in [0, R]$ inne i spolen?

c) Finn uttrykk for total magnetisk energi, U, inni denne delvis fylte spolen når strømmen er I_0.

d) Bruk uttrykket for U til å bestemme uttrykk for sjølvinduktansen L til denne delvis fylte spolen. Finn tallverdi når $R = 2,00$ cm, $d = 10,0$ cm, $N = 100$ og $\mu_r = 2000$.

Hvis du ikke har funnet uttrykk for energien i forrige punkt så kan du bruke $U = 500$ mJ når er strømstyrken $I_0 = 4{,}0$ A. Dette gir ikke nødvendigvis rett tallverdi for fasitsvar i c), men det gir en mulighet å løse oppgaven, om ikke på fullstendig vis.

e) Vi betrakter igjen den luftfylte spolen i a). Spolen tilføres nå en vekselstrøm $I = I_0 \cdot \sin\omega t$. Bruk Faradays lov til å finne amplituden til det elektriske feltet som induseres i et punkt P som ligger like langt fra hver ende av solenoiden og i en radiell avstand $r = 3R/4$ fra solenoideaksen. Bruk tallverdier for R, d og N gitt ovenfor samt at $I_0 = 4{,}0$ A og $\omega = 2\pi \cdot 1,0$ kHz.

FORMELLISTE.

Formlenes gyldighetsområde og de ulike symbolenes betydning antas å være kjent. Symbolbruk som i forelesningsnotatene. Lista "Størrelser og enheter" inneholder også mange definisjoner.

Fysiske konstanter:

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{F/m}$ $\quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\mathrm{H/m}$ $\quad e = 1,61 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$ $\quad m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}$

$g = 9,81\,\mathrm{m/s^2}$ $\quad N_\mathrm{A} = 6,02 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$ $\quad c_0 = 2,998 \cdot 10^8\mathrm{m/s}$

Elektromagnetisme:

(Q, ρ og σ uten indeks viser til *frie* ladninger. Q_b, ρ_b og σ_b er bundet ladning)

Coulombs lov: $\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2}\,\hat{\mathbf{r}} \qquad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q}{r^2}\,\hat{\mathbf{r}}$

Gauss' lov integralform: $\oint \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = Q \qquad \oint \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = Q/\epsilon \qquad \oint \vec{P}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = -Q_\mathrm{b} \qquad \oint \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = 0$

Gauss' lov differensialform: $\mathrm{div}\vec{D} = \rho \qquad \mathrm{div}\vec{E} = \rho/\epsilon \qquad \mathrm{div}\,\vec{P} = -\rho_\mathrm{b} \qquad \mathrm{div}\vec{B} = 0$

Fluks: $\Phi = \int \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{A} \qquad \Phi_E = \int \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{A} \qquad \Phi_B = \int \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{A}$

Amperes lov: $\oint \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{s} = \mu_0\left(I_c + \epsilon_0 \frac{\partial \Phi_E}{\partial t}\right) \qquad \oint \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{s} = I_c + \frac{\partial \Phi}{\partial t} \qquad \mathrm{curl}\,\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

Faradays lov: $\mathcal{E} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t} = -L\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} \qquad \oint \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{s} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t} \qquad \mathrm{curl}\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

Maxwells likninger: $\mathrm{div}\vec{D} = \rho \qquad \mathrm{div}\vec{B} = 0 \qquad \mathrm{curl}\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad \mathrm{curl}\,\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

Elektrisk dipolmoment: $\vec{p} = q\vec{d}$ (fra $-$ til $+$) $\qquad$ Polarisering: $\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}}{V}$

Magnetisk moment: $\vec{\mu} = I\vec{A}$ $\qquad$ Magnetisering: $\vec{M} = \frac{\sum \vec{\mu}}{V}$

$\vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \vec{P} = \epsilon\vec{E} = \epsilon_\mathrm{r}\epsilon_0\vec{E} \qquad \vec{P} = \chi_\mathrm{e}\epsilon_0\vec{E} \qquad \epsilon_\mathrm{r} = 1 + \chi_\mathrm{e}$

$\vec{B} = \mu_0\vec{H} + \mu_0\vec{M} = \mu\vec{H} = \mu_\mathrm{r}\mu_0\vec{H} \qquad \vec{M} = \chi_\mathrm{m}\vec{H} \qquad \mu_\mathrm{r} = 1 + \chi_\mathrm{m}$

Elektrisk potensial: $V_a - V_b = -\int_b^a \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{s}, \qquad \vec{E} = -\vec{\nabla}V\,,$

Energi og energitetthet: $U = \frac{1}{2}\int V\mathrm{d}q$ $\qquad$ Elektrisk: $u = \frac{1}{2}\vec{D}\vec{E}$ $\qquad$ Magnetisk: $u = \frac{1}{2}\vec{B}\vec{H}$

Kondensatorer: $C = \frac{Q}{V}$ $\qquad$ Kulekondensator: $C = 4\pi\epsilon_0 R$ $\qquad$ Energi: $U = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2$

Platekondensator: $C = \epsilon\frac{A}{d}$ $\qquad$ Parallellkopling: $C = \sum_i C_i$ $\qquad$ Seriekopling: $\frac{1}{C} = \sum_i \frac{1}{C_i}$

Kraft på strømførende leder: $\mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{s}\times \mathrm{d}\vec{B}$ $\qquad$ Lorentzkrafta: $\vec{F} = q\left(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}\right)$

Biot-Savarts lov: $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\,\vec{v}\times\hat{\mathbf{r}}}{r^2} \qquad \mathrm{d}\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\vec{s}\times\hat{\mathbf{r}}}{r^2}$

H-felt rundt ∞ lang leder: $H_\theta = \frac{I}{2\pi r}$ $\qquad$ H-felt i lang, tynn solenoide: $H = I\cdot n = I\cdot\frac{N}{\ell}$

Ohms lov: $V = RI\,, \quad \sigma\vec{E} = \vec{J}$ Spoler: $L = N\dfrac{\Phi_B}{I}$ $\quad U = \dfrac{1}{2}LI^2$

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

(Formler om magnetiske kretser tas ikke med da det ikke gis til eksamen)

Bølger:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - v^2\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \qquad y(x,t) = f(x \pm vt)$$

Vandrebølge i $\pm x$-retning: $y(x,t) = y_0 \sin(kx \mp \omega t)$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad v = \pm\frac{\omega}{k} = \pm\frac{\lambda}{T} = \pm\lambda f\,, \quad \text{med } f = \omega/(2\pi)$$

Standbølge: $y(x,t) = \frac{1}{2}y_0 \sin(kx + \omega t) + \frac{1}{2}y_0 \sin(kx - \omega t) = y_0 \sin(kx)\cos(\omega t)\,, \qquad L = n \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad f_n = n \cdot \frac{v}{2L}$

Streng: $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$ hvor $\mu = \dfrac{\Delta m}{\Delta \ell}$

Elektromagnetiske bølger, f.eks. : $\vec{E}(x,t) = E_0\,\hat{\mathbf{j}}\cos(kx \pm \omega t) \qquad \vec{B}(x,t) = B_0\,\hat{\mathbf{k}}\cos(kx \pm \omega t)$

$E_0 = \mp c \cdot B_0 \quad c = \sqrt{\dfrac{1}{\mu\epsilon}}$ Poyntingvektoren: $\vec{S}(x,t) = \vec{E}(x,t) \times \vec{B}(x,t)$ Strålingstrykk: $\langle \vec{S} \rangle / c$

Energitetthet og intensitet: $u = |\vec{S}|/c \quad (\mathrm{J/m^3}) \qquad I = \langle |\vec{S}| \rangle \quad (\mathrm{W/m^2})$

Diffraksjon og interferens: $I = I_0 \left[\dfrac{\sin(\beta/2)}{\beta/2}\right]^2 \cdot \left[\dfrac{\sin(N\phi/2)}{\sin(\phi/2)}\right]^2$ med $\beta = \dfrac{2\pi a}{\lambda}\sin\theta, \quad \phi = \dfrac{2\pi d}{\lambda}\sin\theta$

Snells lov: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$ med $n_i = c_0/c_i$

Nablaoperatoren:

Kartesiske koordinater (x, y, z)*, med enhetsvektorer henholdsvis* $\hat{\mathbf{i}}$, $\hat{\mathbf{j}}$ *og* $\hat{\mathbf{k}}$*:*

$$\begin{aligned}
\mathrm{grad} V = \vec{\nabla} V &= \hat{\mathbf{i}}\,\frac{\partial V}{\partial x} + \hat{\mathbf{j}}\,\frac{\partial V}{\partial y} + \hat{\mathbf{k}}\,\frac{\partial V}{\partial z} \\
\mathrm{div}\vec{D} = \vec{\nabla}\cdot\vec{D} &= \frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} \\
\vec{\nabla}^2 V &= \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \\
\mathrm{curl}\,\vec{D} = \vec{\nabla}\times\vec{D} &= \begin{vmatrix} \hat{\mathbf{i}} & \hat{\mathbf{j}} & \hat{\mathbf{k}} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ D_x & D_y & D_z \end{vmatrix}
\end{aligned}$$

Sylinderkoordinater (r, ϕ, z)*, med enhetsvektorer henholdsvis* $\hat{\mathbf{r}}$, $\hat{\phi}$ *og* $\hat{\mathbf{k}}$:

$$\begin{aligned}
\vec{\nabla} V &= \hat{\mathbf{r}}\,\frac{\partial V}{\partial r} + \hat{\phi}\,\frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial \phi} + \hat{\mathbf{k}}\,\frac{\partial V}{\partial z} \\
\vec{\nabla}\cdot\vec{D} &= \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(rD_r) + \frac{1}{r}\frac{\partial D_\phi}{\partial \phi} + \frac{\partial D_z}{\partial z} \\
\vec{\nabla}^2 V &= \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial V}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}
\end{aligned}$$

Kulekoordinater (r, θ, ϕ)*, med enhetsvektorer henholdsvis* $\hat{\mathbf{r}}$, $\hat{\theta}$, $\hat{\phi}$:

$$\begin{aligned}
\vec{\nabla} V &= \hat{\mathbf{r}}\,\frac{\partial V}{\partial r} + \hat{\theta}\,\frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial \theta} + \hat{\phi}\,\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial V}{\partial \phi} \\
\vec{\nabla}\cdot\vec{D} &= \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(r^2 D_r) + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \theta}(D_\theta\sin\theta) + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial D_\phi}{\partial \phi} \\
\vec{\nabla}^2 V &= \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial V}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\sin\theta\frac{\partial V}{\partial \theta}\right) + \frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2}
\end{aligned}$$

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}

Greske bokstaver:

Navn	Stor	Liten
alfa	A	α
beta	B	β
gamma	Γ	γ
delta	Δ	δ
epsilon	E	ϵ, ε
zeta	Z	ζ
eta	H	η
theta	Θ	θ, ϑ
iota	I	ι
kappa	K	κ
lambda	Λ	λ
my	M	μ
ny	N	ν
ksi	Ξ	ξ
omikron	O	o
pi	Π	π, ϖ
rho	P	ρ, ϱ
sigma	Σ	σ, ς
tau	T	τ
ypsilon	Υ	υ
phi	Φ	ϕ, φ
khi	X	χ
psi	Ψ	ψ
omega	Ω	ω

Størrelse		**SI-enhet**	
Navn	**Symbol og def.**	**Symbol**	**Navn**
elektrisk feltstyrke	$\vec{E} = \vec{F}/q$	$\mathrm{V/m = N/C}$	
elektrisk potensial	V	$\mathrm{V = J/C = kg\,m^2 s^{-3} A^{-1}}$	volt
elektrisk flukstetthet	$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$	$\mathrm{C/m^2}$	
elektrisk polarisering	$\vec{P} = \chi_{\mathrm{e}} \epsilon_0 \vec{E}$	$\mathrm{C/m^2}$	
elektrisk ladning	Q, q	$\mathrm{C = As}$	coulomb
elektrisk ladningstetthet; rom-	ρ	$\mathrm{C/m^3}$	
flate-	σ	$\mathrm{C/m^2}$	
linje-	λ	$\mathrm{C/m}$	
elektrisk dipolmoment	$\vec{p} = q\vec{d}$	Cm	
fluks til E-feltet	$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A}$	$\mathrm{Vm = Nm^2C^{-1}}$	
elektrisk fluks	$\Phi = \int \vec{D} \cdot \mathrm{d}\vec{A}$	C	
permittivitet	ϵ	$\mathrm{F/m}$	
relativ permittivitet	$\epsilon_{\mathrm{r}} = \epsilon/\epsilon_0$	1	
elektrisk suceptibilitet	$\chi_{\mathrm{e}} = \epsilon_{\mathrm{r}} - 1$	1	
elektromotorisk spenning, el.m.kraft (ems)	$\mathcal{E}, \mathcal{U}$	V	
elektrisk strøm	I, i	A	ampere
elektrisk strømtetthet	$\vec{J}, \vec{j}$	$\mathrm{A/m^2}$	
elektrisk potensialdifferanse, spenning	U, V	V	
kapasitans	$C = Q/V$	$\mathrm{F = A\,s\,V^{-1}}$	farad
magnetisk feltstyrke	$\vec{H}$	$\mathrm{A/m}$	
magnetisk fluks	$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{A}$	$\mathrm{Wb = Vs}$	weber
magnetisk flukstetthet	$\vec{B} = \mu \vec{H}$	$\mathrm{T = Wb/m^2 = NA^{-1}m^{-1}}$	tesla $=10^4$gauss
magnetisering	$\vec{M} = \chi_{\mathrm{m}} \vec{H}$	$\mathrm{A/m}$	
permeabilitet	μ	$\mathrm{H/m = Tm/A = VsA^{-1}m^{-1}}$	
relativ permeabilitet	$\mu_{\mathrm{r}} = \mu/\mu_0$	1	
magnetisk suceptibilitet	$\chi_{\mathrm{m}} = \mu_{\mathrm{r}} - 1$	1	
magnetisk moment	$\vec{m}, \vec{\mu}$	$\mathrm{A\,m^2}$	
magnetisk dreiemoment	$\vec{\tau} = \vec{T} = \vec{\mu} \times \vec{B}$	$\mathrm{A\,T\,m^2 = Nm}$	
intensitet	I	$\mathrm{W/m^2}$	
induktans	L	$\mathrm{H = VsA^{-1}}$	henry
resistans	R	$\Omega = \mathrm{VA^{-1}}$	ohm
resistivitet	ρ	$\Omega\mathrm{m}$	
konduktivitet	$\sigma = 1/\rho$	$(\Omega\,\mathrm{m})^{-1}$	
impedans	Z	Ω	
magnetomotorisk spenning (mmf)	$\mathcal{F}_{\mathrm{m}}$	A	
reluktans	$\Re$	$\mathrm{H^{-1}}$	
poyntingvektoren	$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$	$\mathrm{W/m^2}$	
masse	m	kg	kilogram
hastighet	v	$\mathrm{m/s}$	
kraft	$\vec{F}$	$\mathrm{N = kg\,m\,s^{-2}}$	newton
trykk	p	$\mathrm{Pa = N\,m^{-2}}$	pascal
arbeid, energi	E, W	$\mathrm{J = Nm}$	joule
effekt	P	$\mathrm{W = J/s}$	watt
vinkel	$\alpha, \theta, \gamma, \ldots$	rad	radian
vinkelfrekvens	ω	$\mathrm{rad/s}$	
romvinkel	Ω	sr	steradian
lengde	l	m	meter
areal	A	$\mathrm{m^2}$	
volum	V	$\mathrm{m^3}$	
tid	t	s	sekund
frekvens	f	$\mathrm{Hz = 1/s}$	hertz
bølgelengde	λ	m	
bølgetall	$k = 2\pi/\lambda$	$\mathrm{1/m}$	