Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for fysikk

BOKMÅL

EKSAMEN I EMNE TFY4180 FYSIKK

Eksamensdato: Torsdag 31. mai 2007
Eksamenstid: 09:00 - 13:00

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

Sensurdato: Innen 22. juni 2007.

Eksamenspapirene består av:

1. Førstesida (denne sida) med generell informasjon
2. En oppgave med flervalgsspørsmål, Oppgave 1 (VEDLEGG A)
3. "Tradisjonelle oppgaver", Oppgaver 2-5 (VEDLEGG B)
4. Formelark 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 0 p, blank (ubesvart) gir 1 p.**

Svar på flervalgsspørsmål i VEDLEGG A skriver du på første innleveringsark i en tabell liknende dette:

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

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Institutt for fysikk

NYNORSK
Side 1 av 1
(pluss VEDLEGG)

EKSAMEN I EMNE TFY4180 FYSIKK

Eksamensdato: Torsdag 31. mai 2007
Eksamenstid: 09:00 - 13:00

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

Sensurdato: Innan 22. juni 2007.

Eksamenpapira består av:

1. Førstesida (denne sida) med generell informasjon
2. Ei oppgåve med fleirvalsspørsmål, Oppgåve 1 (VEDLEGG A)
3. "Tradisjonelle oppgåver", Oppgåver 2-5 (VEDLEGG B)
4. Formelark 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 0 p, blank (ubesvart) gir 1 p.

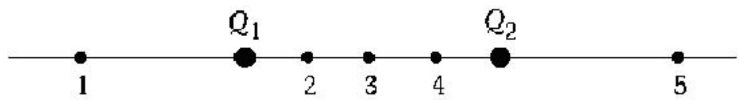
Svar på fleirvalsspørsmåla i VEDLEGG A skriv du på første innleveringsark i ein tabell liknande dette:

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

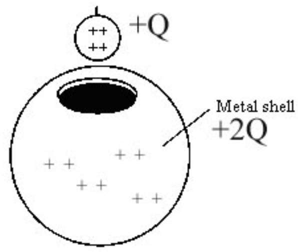
Oppgave 1. Flervalgsspørsmål (teller 30%)

a) To ladninger $Q_1 = -q$ og $Q_2 = +4q$ blir plassert som vist i figuren. Av de fem nummererte posisjoner vist er det elektriske feltet null i en posisjon. Det er null ved posisjonen

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



b) Ei lita metallkule med positiv ladning Q føres gjennom et hull og inn i et metallskall som er ladd med positiv ladning $2Q$. Når kula kommer i kontakt med det indre av metallskallet vil kulas ladning

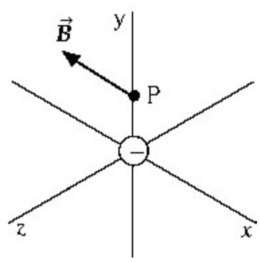


A) forbli Q
B) bli $3Q$
C) bli $\frac{3}{2}Q$
D) bli 0
E) ikke kunne bestemmes uten å kjenne dimensjon på kule og skall

c) Hvis et dielektrisk materiale blir satt inn mellom platene i en parallellplatekondensator når den er forbundet til en spenningsforsyning på 100V, vil

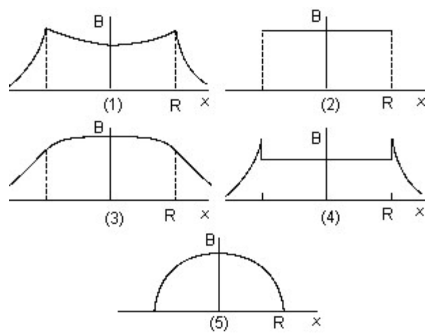
A) spenningen over kondensatoren avta
B) elektrisk felt mellom platene avta
C) elektrisk felt mellom platene øke
D) ladningen på kondensatoren avta
E) ladningen på kondensatoren øke

d) I det øyeblikket den negative ladningen passerer origo har magnetfeltet i punktet P pga. denne ladningen retning i negativ x-retning. Ladningen må da bevege seg



A) i negativ z-retning
B) i positiv y-retning
C) i positiv x-retning
D) i negativ y-retning
E) i positiv z-retning

e) En Helmholzspole består at to spoler med samme radius R stilt opp normalt på samme akse i en optimal avstand $a = R$. Den grafen som best representerer magnetfeltet B langs aksen som funksjon av avstanden er



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

f) En tett viklet solenoide er 15 cm lang, har 350 viklinger, fører en strøm på 3,0 A og har en aluminiumskjerne med $\chi_m = 2,3 \cdot 10^{-5}$. Hvis du ser bort fra endeeffekter, vil du finne at verdien til magnetiseringen M i sentrum er omtrentlig

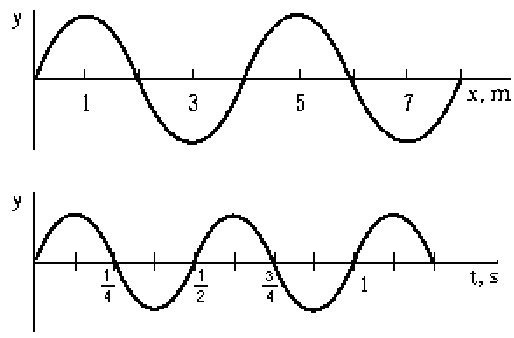
A) 161 mA/m
B) 88 mA/m
C) 18 mA/m
D) 242 mA/m
E) 62 mA/m

g) Hvilken av de følgende påstander strider mot en av Maxwells likninger?

A) Et tidsvarierende magnetisk felt produserer et elektrisk felt
B) Netto magnetisk fluks gjennom en lukket overflate avhenger av strømmen inni
C) Et tidsvarierende elektrisk felt produserer et magnetisk felt.
D) Netto elektrisk fluks gjennom en lukket overflate avhenger av ladningen innenfor
E) Ingen av disse påstander strider mot noen av Maxwells likninger.

h) En bølge brer seg i positiv x-retning med fart v. Den øvre grafen viser utsvinget y som funksjon av avstand x for et gitt tidspunkt. Den nedre grafen viser utsvinget y som funksjon av tida t for et gitt punkt x. Fra informasjonen i grafen, hva er bølgefarten v?

A) 8,0 m/s
B) 4,0 m/s
C) 6,0 m/s
D) Det er ikke nok informasjon til å løse problemet.
E) Ingen av svarene er riktige.

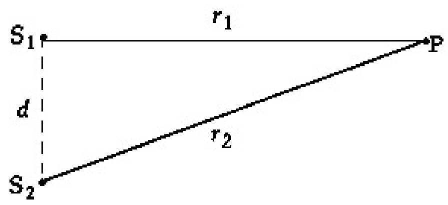


i) En lysstråle passerer fra medium 1 og inn i medium 2 og brytes med innfallsvinkel θ_1 og brytningsvinkel θ_2. Lyset har fart v_1 i medium 1 og fart v_2 i medium 2. Hvilken av de følgende likninger er rett for forholdet mellom frekvensen f_1 i medium 1 og frekvensen f_2 i medium 2?

A) $f_1 \sin\theta_1 = f_2 \sin\theta_2$
B) $f_1 v_2 = f_2 v_1$
C) $f_1 = f_2$
D) $f_1 v_1 = f_2 v_2$
E) $f_1 \sin\theta_2 = f_2 \sin\theta_1$

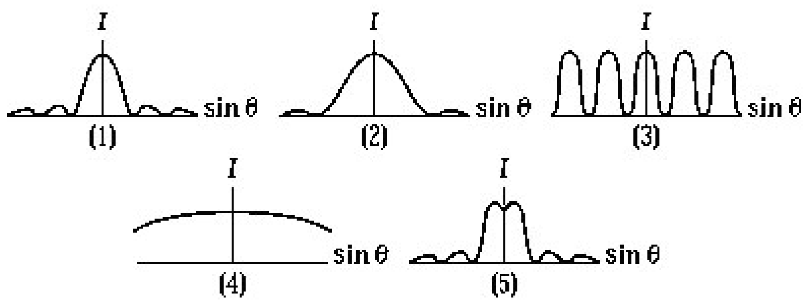
j) To koherente kilder med monokromatisk lys er lokalisert ved S_1 og S_2 som vist i figuren. Hvis kildene er i fase, har intensiteten ved punkt P maksimum når

A) $d = \lambda$
B) $r_2 + r_1 = \lambda$
C) $r_2 - r_1 = \lambda$
D) $r_2 + r_1 = \lambda/2$
E) $r_2 - r_1 = \lambda/2$



k) Grafene viser den relative intensiteten til diffraksjonsmønstre fra forskjellige spaltesammensetninger som funksjon av $\sin\theta$, der θ er vinkelen mellom aktuell stråle og direktestrålen. Grafen som representerer diffraksjonsmønsteret fra den bredeste enkeltspalten er

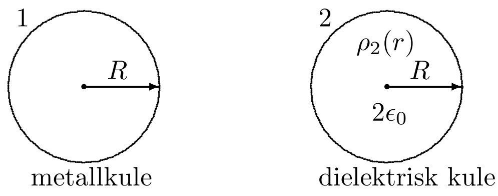
A) 1
B) 2
C) 3
D) 4
E) 5



Oppgave 2. Elektrostatikk. (teller 20%)

Du har to kuler med like stor radius R og like stor nettoladning Q. Kulene har stor innbyrdes avstand og vekselvirker derfor ikke med hverandre. Kule 1 er ei metallkule. Kule 2 er ei dielektrisk kule med relativ permittivitet $\epsilon_\mathrm{r} = 2,00$ og med ladningstetthet $\rho_2(r)$ som er konstant over hele kulas volum:

$$\rho_2(r) = \frac{3Q}{4\pi R^3} \quad (r < R)$$



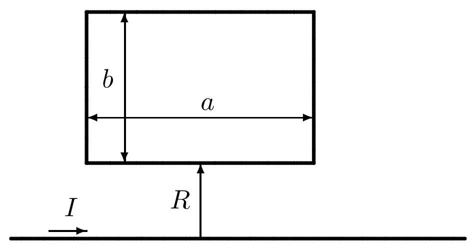
a) Bruk Gauss' lov til å bestemme det elektriske feltet som funksjon av avstanden r fra kulas sentrum, dvs. henholdsvis $E_1(r)$ for kule 1 og $E_2(r)$ for kule 2. Feltene skal bestemmes både inni kula ($r < R$) og utenfor kula ($r > R$) og uttrykkes med bl.a. Q.

b) I hvilken avstand, henholdsvis r_1 og r_2, har feltet fra de to kulene sin maksimale verdi? Bestem de tilhørende maksimale feltverdiene og skisser $E_1(r)$ og $E_2(r)$ mellom $r = 0$ og $r = 2R$.

c) Finn uttrykk for polariseringen $P_2(r)$ i kule 2 for $r \leq R$. Hvilken retning har $\vec{P}_2$?

Oppgave 3. Magnetisk induksjon (teller 20%)

En uendelig lang, rett ledning i vakuum fører strømmen I. Ei metallisk, rektangulær sløyfe med lengde a og bredde (høyde) b ligger i samme plan som ledningen, med nærmeste sidekant parallelt med ledningen og i avstand R fra ledningen. I a), b) og c) er strømmen I likestrøm.



a) Vis at magnetisk fluks Φ_B gjennom sløyfa kan uttrykkes

$$\Phi_B = A \cdot \ln \frac{R+b}{R}$$

der A er en konstant som skal bestemmes.

b) Sløyfa blir flytta med jamn fart v parallelt med ledningen. Finn uttrykk for indusert elektromotorisk spenning, $\mathcal{E}_\mathrm{h}$ i sløyfa.

c) Sløyfa blir nå flytta med jamn fart $v = \mathrm{d}R/\mathrm{d}t$ radielt utover fra ledningen. Finn uttrykk for indusert elektromotorisk spenning $\mathcal{E}_\mathrm{R}$ i sløyfa.

d) Nå er sløyfa i ro, men strømmen I varierer periodisk

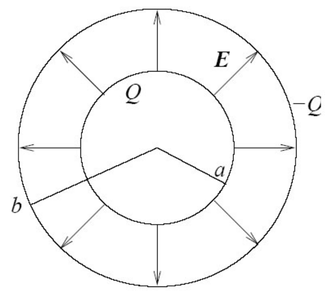
$$I = I_0 \cdot \cos \omega t$$

og det induseres en elektromotorisk spenning $\mathcal{E}_I$ i sløyfa. Finn amplitudeverdien til $\mathcal{E}_I$, når $I_0 = 10,0$ A, $\omega = 314\,\mathrm{s}^{-1}$, $a = 5{,}00$ cm, $b = 3{,}00$ cm, $R = 2{,}00$ cm.

Oppgave 4. Diverse oppgaver (teller 30%)

a) To konsentriske metalliske kuleskall med radius henholdsvis a og b ($b > a$) har uniformt fordelt ladning henholdsvis Q og $-Q$. Mellom kuleskallene er det luft.

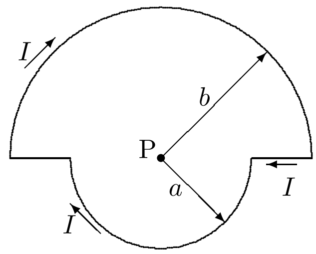
Finn uttrykk for den potensielle energien U lagra i det elektriske feltet mellom kuleskallene.



b) En strømkrets består av to halvsirkler som vist i figuren. Radiene er henholdsvis a og b. Det går går strøm I i kretsen i retning med klokka.

Bruk Biot-Savarts lov til å finne magnetisk flukstetthet $\vec{B}$ i sentrum P.

Beregn også magnetisk dipolmoment til kretsen (uttrykk og retning).



b) En helium-neon-laser av den typen som ofte brukes i fysikklaboratorier har en stråleintensitet på 5,00 mW ved en bølgelengde på 633 nm. I et eksperiment blir denne strålen fokusert med linser til en sirkulær flekk med diameter lik 3,00 bølgelengder.

Beregn intensiteten til den fokuserte strålen på denne flekken.

Finn deretter strålingstrykket på flekken.

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_i, ρ_i og σ_i er indusert ladning)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$E_0 = \mp c\cdot B_0 \qquad c = \sqrt{\frac{1}{\mu\epsilon}}$$

Poyntingvektoren: $\vec{S}(x,t) = \vec{E}(x,t) \times \vec{H}(x,t)$ Med $S = |\vec{S}|$ er videre

Energitetthet (J/m^3) : $u = S/c$ Intensitet (W/m^2) : $I = \langle S\rangle$ Strålingstrykk: $\langle S\rangle/c$

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 $\hat{\mathbf{r}}$, $\hat{\theta}$, $\hat{\phi}$:

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

Divergensteoremet og Stokes' teorem for et tilfeldig vektorfelt $\vec{F}$:

$$\iint \vec{F}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = \iiint \vec{\nabla}\cdot\vec{F}\ \mathrm{d}V$$

$$\oint \vec{F}\cdot \mathrm{d}\vec{s} = \iint \left(\vec{\nabla}\times\vec{F}\right)\cdot \mathrm{d}\vec{A}$$

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	Transkripsjon
alfa	A	α	a
beta	B	β	b
gamma	Γ	γ	g
delta	Δ	δ	d
epsilon	E	ϵ, ε	e (kort)
zeta	Z	ζ	z
eta	H	η	e (lang), i
theta	Θ	θ, ϑ	th
iota	I	ι	i
kappa	K	κ	k
lambda	Λ	λ	l
my	M	μ	m
ny	N	ν	n
ksi	Ξ	ξ	x, ks
omikron	O	o	o (kort)
pi	Π	π, ϖ	p
rho	P	ρ, ϱ	r
sigma	Σ	σ, ς	s
tau	T	τ	t
ypsilon	Υ	υ	u, y
phi	Φ	ϕ, φ	f
khi	X	χ	ch
psi	Ψ	ψ	ps
omega	Ω	ω	o (lang)

Størrelse		**SI-enhet**	
Navn	**Symbol og def.**	**Symbol**	**Navn**
elektrisk feltstyrke	$\vec{E} = \vec{F}/q$	$\mathrm{V/m} = \mathrm{N/C}$	
elektrisk potensial	V	$\mathrm{V} = \mathrm{J/C} = \mathrm{kg\,m^2s^{-3}A^{-1}}$	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	$\mathrm{C} = \mathrm{As}$	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	$\Phi_E = \int \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{A}$	$\mathrm{Vm} = \mathrm{Nm^2C^{-1}}$	
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	$C = Q/V$	$\mathrm{F} = \mathrm{A\,s\,V^{-1}}$	farad
magnetisk feltstyrke	$\vec{H}$	$\mathrm{A/m}$	
magnetisk fluks	$\Phi_B = \int \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{A}$	$\mathrm{Wb} = \mathrm{Vs}$	weber
magnetisk flukstetthet	$\vec{B} = \mu\vec{H}$	$\mathrm{T} = \mathrm{Wb/m^2} = \mathrm{NA^{-1}m^{-1}}$	tesla $=10^4$gauss
magnetisering	$\vec{M} = \chi_\mathrm{m}\vec{H}$	$\mathrm{A/m}$	
permeabilitet	μ	$\mathrm{H/m} = \mathrm{Tm/A} = \mathrm{VsA^{-1}m^{-1}}$	
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	$\vec{\tau} = \vec{T} = \vec{\mu}\times\vec{B}$	$\mathrm{A\,T\,m^2} = \mathrm{Nm}$	
intensitet	I	$\mathrm{W/m^2}$	
induktans	L	$\mathrm{H} = \mathrm{VsA^{-1}}$	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	$\vec{F}$	$\mathrm{N} = \mathrm{kg\,m\,s^{-2}}$	newton
trykk	p	$\mathrm{Pa} = \mathrm{N\,m^{-2}}$	pascal
arbeid, energi	E, W	$\mathrm{J} = \mathrm{Nm}$	joule
effekt	P	$\mathrm{W} = \mathrm{J/s}$	watt
vinkel	$\alpha, \theta, \gamma, \ldots$	rad	radian
vinkelfrekvens	ω	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	$\mathrm{Hz} = 1/\mathrm{s}$	hertz
bølgelengde	λ	m	
bølgetall	$k = 2\pi/\lambda$	$1/\mathrm{m}$	