Institutt for fysikk 2011 **TFY4155/FY1003 Elektromagnetisme**

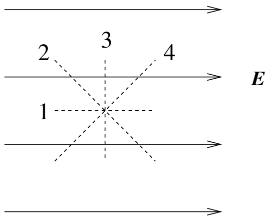
Øving 4
Elektrisk potensial og Gauss' lov.

Veiledning: Uke 5 ifølge nettsider.
Innlevering: Tirsdag 8. feb. kl. 11:00 Lever øvinger i bokser utenfor R1.

Oppgave 1. Flervalgsoppgaver.

(Eksamen har 30% flervalgsoppgaver. Der viser du ingen utregning/begrunnelse, men det kan du gjerne her.)

a) Figuren viser et uniformt elektrisk felt $\vec{E}$ (heltrukne linjer). Langs hvilken stiplet linje endrer potensialet seg ikke?



A 1
B 2
C 3
D 4
E Endrer seg langs alle linjer 1,2,3 og 4

b) En partikkel med negativ ladning plasseres med null starthastighet i et elektrostatisk felt $\vec{E}$. Partikkelens bevegelse blir
A i retning lavere potensial.
B i retning lavere potensiell energi.
C i samme retning som $\vec{E}$.
D i retning normalt på $\vec{E}$.
E i retning høyere potensiell energi.

c) Den potensielle energien til to elektroner i innbyrdes avstand 1,0 Å ($= 1,0 \cdot 10^{-10}$ m) har verdi nærmest (1 eV $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ J)

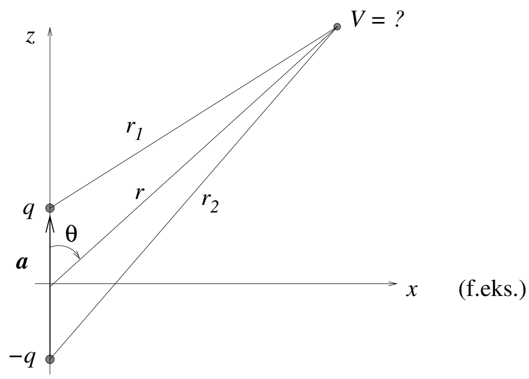
A $2,3 \cdot 10^{-18}$ eV
B 1,4 neV
C 14 meV
D 14 eV
E 29 eV

d) En berylliumkjerne med ladning $4e$ og masse $9m_p$ og en α-partikkel (dvs. en heliumkjerne) med ladning $2e$ og masse $4m_p$ er i ro. De to partiklene kan gis like stor hastighet ved å

A akselerere dem over en like stor potensialforskjell.
B akselerere α-partikkelen over en potensialforskjell V og berylliumkjernen over $V/2$.
C akselerere α-partikkelen over en potensialforskjell V og berylliumkjernen over $8V/9$.
D akselerere α-partikkelen over en potensialforskjell V og berylliumkjernen over $9V/8$.
E akselerere α-partikkelen over en potensialforskjell V og berylliumkjernen over $9V/4$.

Oppgave 2. Potensial rundt elektrisk dipol.

En elektrisk dipol som består av to punktladninger $\pm q$, er plassert langs z-aksen med sentrum i origo, som vist i figuren. Det elektriske *dipolmomentet* er da $\vec{p} = q\vec{a}$, der $\vec{a} = a\,\hat{z}$ er vektoren fra $-q$ til q.



Siden vi her opplagt må ha *symmetri* med hensyn til rotasjon omkring z-aksen, er det tilstrekkelig å se på forholdene i et halvplan som inneholder z-aksen, f.eks. xz-planet, med $x > 0$.

Vi kan videre velge mellom kartesiske koordinater (x, z) eller polarkoordinater (r, θ) for å angi en vilkårlig posisjon i dette planet. Vi skal se på begge deler i denne oppgaven. Vinkelen θ kan vi selvsagt velge i forhold til hvilken kartesiske akse vi vil; her lar vi θ være vinkelen som $\vec{r}$ danner i forhold til z-aksen (se figuren).

a) Bestem først sammenhengen mellom de kartesiske koordinatene og polarkoordinatene, dvs. $x(r, \theta)$, $z(r, \theta)$ og $r(x, z)$.

b) Vis at potensialet fra en slik dipol i kartesiske koordinater blir

$$V(x, z) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\sqrt{x^2 + (z - a/2)^2}} - \frac{1}{\sqrt{x^2 + (z + a/2)^2}}\right).$$

c) Hva blir potensialet på x-aksen, $V(x, 0)$? Enn på z-aksen, $V(0, z)$? (På *hele* z-aksen; pass på fortegnene...!) Skisser funksjonen $V(0, z)$.

d) Vis at i stor avstand fra dipolen (dvs $r \gg a$) er potensialet med god tilnærmelse gitt i polarkoordinater ved

$$V(r, \theta) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p\cos\theta}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{p}\cdot\vec{r}}{r^3}.$$

TIPS: Ta utgangspunkt i at

$$\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} = \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2},$$

og bruk figuren til å finne et tilnærmet uttrykk for dette når $r \gg a$.

Mens potensialet fra en enkelt punktladning avtar som $1/r$, avtar altså potensialet fra en dipol *raskere*, nemlig som $1/r^2$. Er dette rimelig?

Oppgave 3. To kuleskall.

To svært tynne, konsentriske, metalliske kuleskall har radier henholdsvis R og $\frac{3}{2}R$. Det indre skallet har ladningen q, og det ytre skallet har ladningen $-3q$.

a) Finn uttrykk for det elektriske feltet $\vec{E}(r)$ i alle deler av rommet.

b) Hva er potensialdifferansen mellom skallene?

c) Hvordan vil ladningen fordele seg dersom de to skallene forbindes med en tynn ledende tråd?

Oppgave 4. Kule med gitt $Q(r)$.

Ei kule med radius R har en ladningfordeling slik at ladningen $Q(r)$ innenfor radius r er gitt ved

$$Q(r) = 4\pi\rho_0\left(\frac{4}{3}r^3 - \frac{1}{R}r^4\right) \qquad \text{for } r \le R$$

Den totale ladningen for kula er således

$$Q_0 = Q(R) = \frac{4\pi}{3}R^3\rho_0,$$

hvor vi ser at ρ_0 er gjennomsnittsverdien av $\rho(r)$ i kula. Utenfor kula er det ladningsfritt.

a) Bestem det elektriske feltet utenfor kula ($r > R$) og inne i kula ($r \le R$).

b) Bestem det elektriske potensialet $V(r)$ utenfor kula og inne i kula. Sett referansepunktet ved $r \to \infty$, dvs. $V(\infty) = 0$.

c) Er potensialet kontinuerlig ved overflata av kula ($r = R$)?

d) Finn uttrykk for romladningstettheten $\rho(r)$ for $r \le R$.

Utvalgte fasitsvar:

3b) $-q/(12\pi\epsilon_0 R)$,
4a) $E(r < R) = \frac{\rho_0}{3\epsilon_0}\left(4r - \frac{3}{R}r^2\right)$, 4b) $V(r < R) = \frac{\rho_0}{3\epsilon_0}\left[2R^2 - 2r^2 + \frac{r^3}{R}\right]$, 4d) $4\rho_0\left(1 - \frac{r}{R}\right)$.