

ELEKTRISITET OG MAGNETISME

Oversikt:

I. Elektrostatikk. Ledere, isolatorer

YF 21-24 ; LHL 19-20

II. Strøm. Likestrømkretser (DC)

YF 25-26 ; LHL 21-22

III. Magnetostatikk. Magnetisme

YF 27-28 ; LHL 23, 26

IV. Elektromagnetisk induksjon.

Vekselstrømkretser (AC)

YF 29-31 ; LHL 24, 25, 27

I. Elektrostatiske [YF 21-24; LHL 19-20]

Elektrisk ladning [YF 21.1; LHL 19.1]

Materie er molekyler og atomer.

Atom = kjerne + elektroner

Kjerne = protoner + nøytroner = kjernepartikler

Kjernepartikkel = 3 kvarker

Elementærpartikler = naturens udeklige byggeklosser, med kvantisert elektrisk ladning (evt. elektrisk nøytrale). Eksempler:

<u>Partikkel</u>	<u>(Symbol)</u>	<u>Ladning</u>
Elektron	(e)	-e
Opp-kvark	(u)	+ 2e/3
Ned-kvark	(d)	- e/3
Elektron-nøytrino	(ν_e)	0
Foton	(γ)	0

OSU.

(17 elementærpartikler i "Standardmodellen")

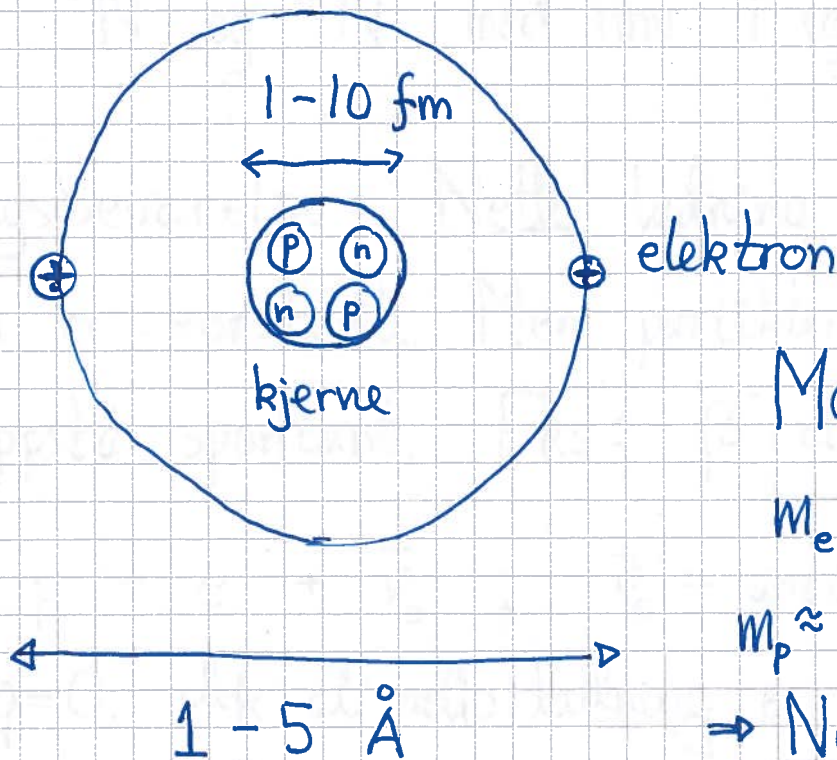
e = elementarladningen, påvist av Robert Millikan (1909; Nobelpris 1923) med små oljedråper, med ladning $q = N \cdot e$ ($N = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$)

Nøytronet (n) : $1u + 2d \Rightarrow q_n = 0$

Protonet (p) : $2u + 1d \Rightarrow q_p = e$

Symbol for ladning : q, Q

Klassisk bilde av atom : (Niels Bohr, 1913) NP1922



Masser :

$$m_e \approx 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p \approx m_n \approx 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

\Rightarrow Nesten all masse i kjernen.

$$1 \text{ \AA} (\text{\AA} \text{ngstr\AA}m) = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m} \quad (f = \text{femto})$$

Nøytralt atom, atomnummer Z :

Z protoner, Z elektroner; $Q = Ze - Ze = 0$

Ioner: Atomer eller molekyler med $Q \neq 0$

Eks: N^{3-} = nitrogenatom med 10 elektroner;

$$Z = 7; q = -3e$$

N_2^+ = nitrogenmolekyl med 13 elektroner;

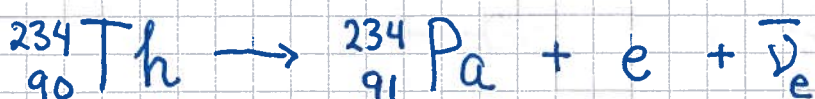
$$q = +e$$

Isotoper: Varianter av grunnstoff med ulikt antall nøytroner i kjernen.

Eks: ^{14}N og ^{15}N med hhv 7 og 8 nøytroner

Ladningsbevarelse: Netto ladning i et isolert system er konstant. Men partikler med ladning kan oppstå spontant. Eks: β^- decay.

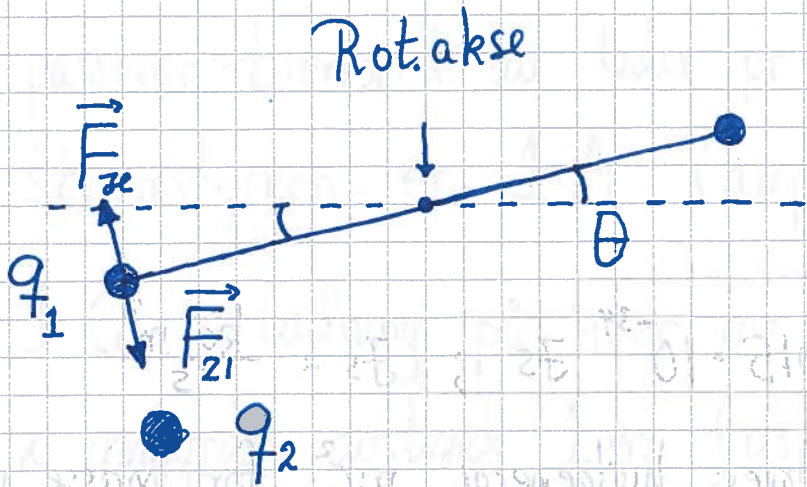
$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$; $\bar{\nu}_e$ = antielektronnøytrino med $q=0$, slik at netto ladning er uendret. Eks:



(Halveringstid $t_{1/2} \approx 24$ døgn)

Coulombs lov [YF 21.3; LHL 19.3]

C. A. de Coulomb, exp. ca 1785:



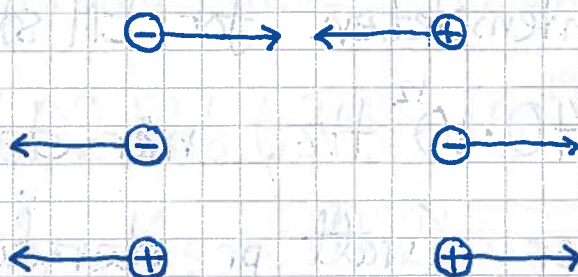
Torsjonspendel,
sett ovenfra
(se s. 96)

$$F_z = \frac{\tau}{L/2} = \frac{2\pi\theta}{L}$$

Coulomb fant $F_{z1} \sim q_1 \cdot q_2 / r_{12}^2$

$$\Rightarrow \vec{F}_{21} = K_e \cdot \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

- Samme form som Newtons gravitasjonslov
- Oppfyller Newtons 3.lov; $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$
- Tiltrekning mellom ulike typer ladning;
frastøtning mellom samme type ladning:



Enhet for ladning [YF 21.3 ; LHL 19.1] (102)

- $1 \text{ C (coulomb)} = 1 \text{ A} \cdot \text{s} =$ mengde ladning som passerer tverrsnitt av leder pr sekund når strømstyrken er 1 A (ampere)
- $1 \text{ C} =$ ladning på hver av to like legemer som, i innbyrdes avstand 1 m , frastøter hverandre med kraft $8.987551787 \dots \cdot 10^9 \text{ N}$. Dermed:

$$K_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2, \quad \text{med}$$

$$\epsilon_0 = 8.854187817 \dots \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

= vakuumpermittiviteten

- $e = 1.602176621 \dots \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 $\approx 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

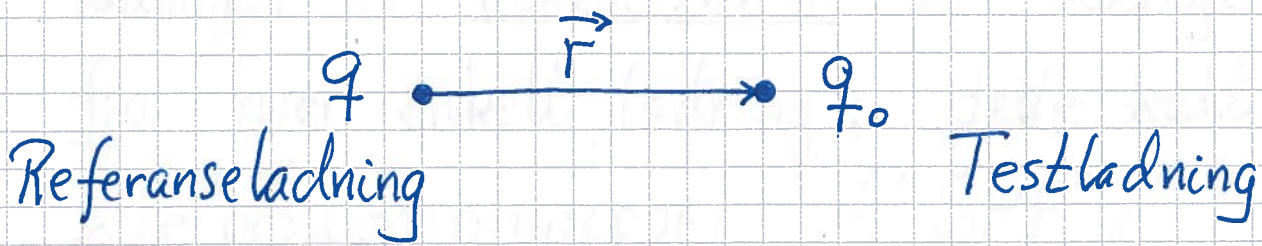
- Etter redefinisjon av SI-grunnenhetene kg, A, K og mol (2018 - 2019):

$$e \equiv 1.602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$\Rightarrow 1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$; $1 \text{ s} = 9192631770$ perioder av stråling pga overgang mellom "hyperfinsplittede" nivåer i ^{133}Cs

Elektrisk felt [YF 21.3-5 ; LHL 19.3-5]

(103)



Kraft fra q på q_0 :

$$\vec{F} = \frac{q q_0}{4\pi \epsilon_0 r^2} \hat{r}$$

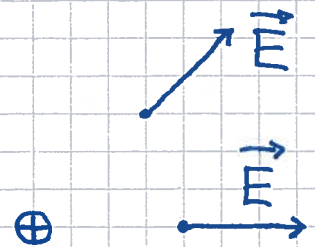
Elektrisk felt def El. kraft pr ladningsenhet

$$\Rightarrow \boxed{\vec{E} = \vec{F} / q_0 \quad ; \quad [E] = N/C}$$

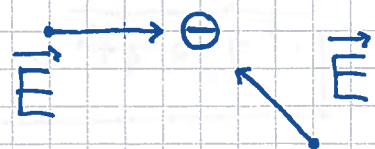
En punktladning q "omgir seg" derfor med et el. felt \vec{E} , som i avstand \vec{r} er

$$\boxed{\vec{E} = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 r^2} \hat{r}}$$

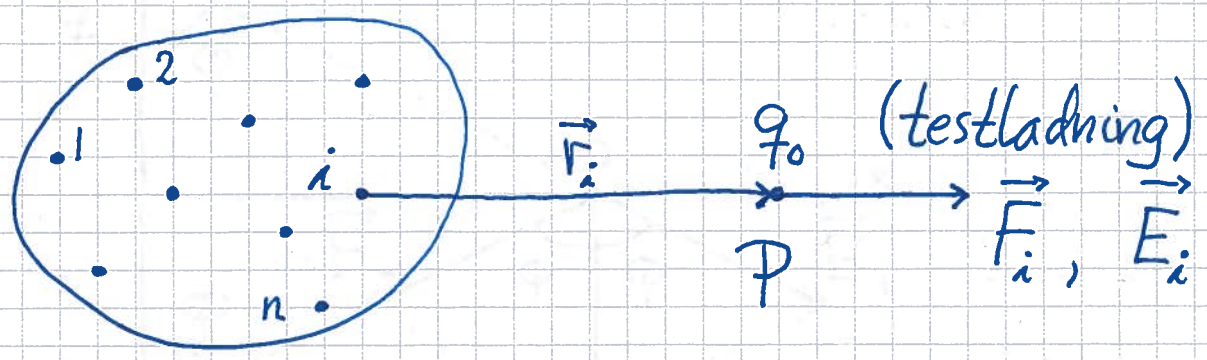
Radielt bort fra pos. ladm.:



Radielt inn mot neg. ladm.:



Total kraft og totalt felt fra flere
ladninger er vektorsummen av bidragene
fra hver enkelt ladning; dette kalles
superposisjonsprinsippet ("SPP").



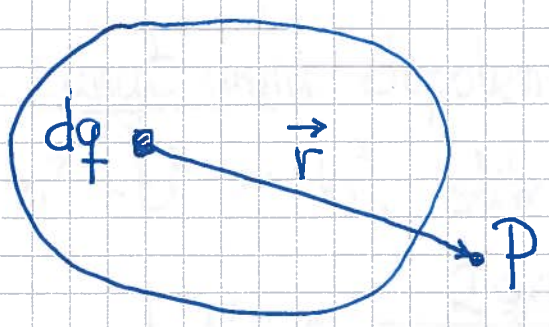
Ref. ladninger
{q1, q2, ..., qn}

$$\vec{E} = \vec{F} / q_0 = \sum_{i=1}^n \frac{q_i q_0 \hat{r}_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^2 q_0} = \sum_i \frac{q_i \hat{r}_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^2} = \sum_i \vec{E}_i$$

= el. felt i posisjon P fra ref.ladn. {q1, ..., qn}

Hvis kontinuerlig fordeling av ref.ladn.:

$$q_i \rightarrow dq ; \quad \sum_i \rightarrow \int$$



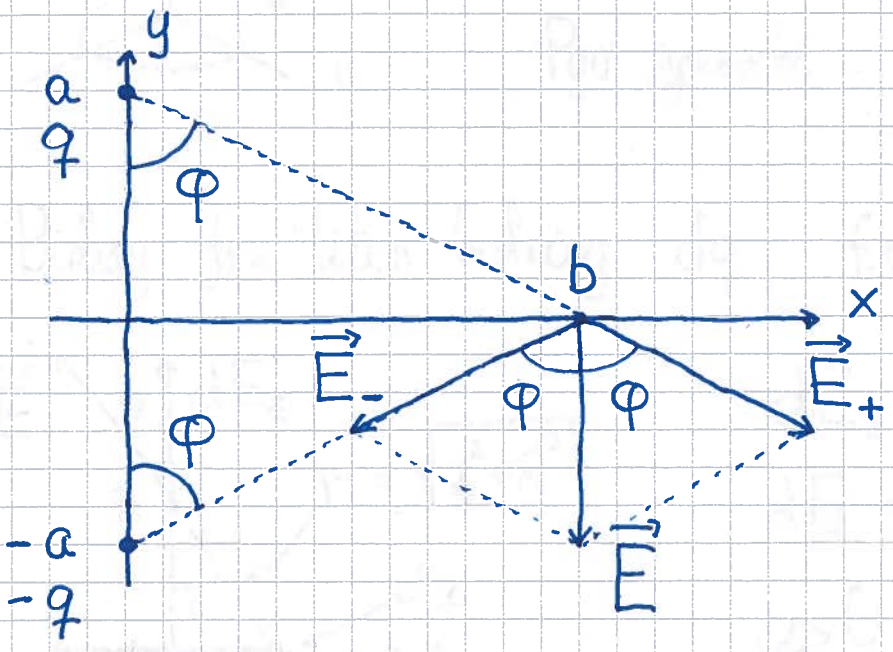
El. felt i pos. P:

$$\vec{E} = \int \frac{\hat{r} dq}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Eks 1: Elektrisk dipol

Punktladn. $\pm q$ i $y = \pm a$.

Hva er \vec{E} i $x = b$ (på x-aksen)?



Figur / symmetribetraktning gir

$$\vec{E} = -\hat{y} E ; E = 2E_+ \cos \varphi \quad (E_- = E_+)$$

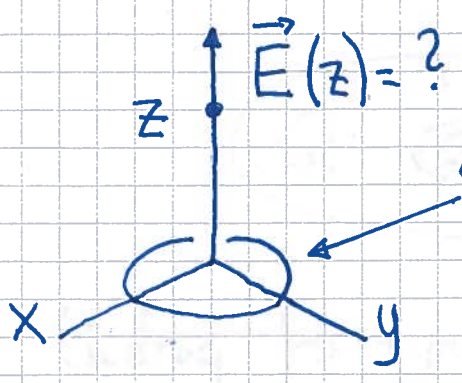
$$E_+ = q / 4\pi\epsilon_0 (a^2 + b^2) ; \cos \varphi = a / \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\Rightarrow \underline{\vec{E} = -\hat{y} \cdot 2qa / (a^2 + b^2)^{3/2} 4\pi\epsilon_0}$$

Langt unna dipolen, dvs $b \gg a$, kan vi sette $a^2 + b^2 \approx b^2$, slik at

$$E(b) \approx \frac{2qa}{4\pi\epsilon_0 b^3} ; \text{dvs } E \text{ g\aa r raskere mot null enn for en punktladn.}$$

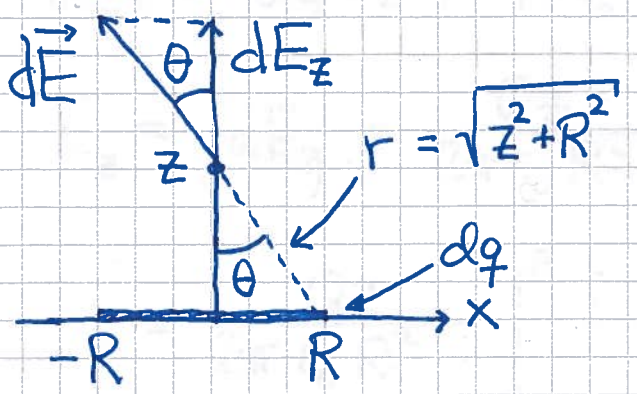
Eks 2: Jevnt ladet ring



Radius R, ladning Q

Pga symmetri: $\vec{E}(z) = E_z(z) \hat{z}$

Bidrag fra liten ladning dq, f.eks. på x-aksen:



$$dE_z = dE \cdot \cos \theta$$

$$dE = dq / 4\pi\epsilon_0 r^2$$

$$\cos \theta = z/r$$

$$\Rightarrow E_z(z) = \int dE_z = \frac{z}{4\pi\epsilon_0 r^3} \int dq = \underline{\underline{\frac{Qz}{4\pi\epsilon_0 (z^2 + R^2)^{3/2}}}}$$

Rimelig svar: Riktig enhet; $E_z(0) = 0$;

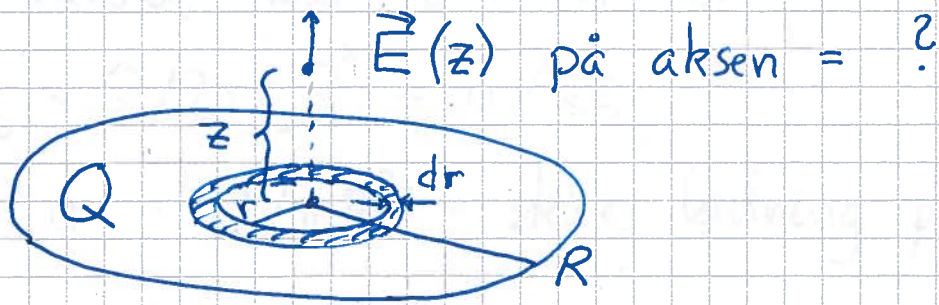
$E_z(-z) = -E_z(z)$; dessuten er

$$E_z(z) \approx Q / 4\pi\epsilon_0 z^2 \text{ når } z \gg R$$

OK; ringen ser da ut som punktladning Q i origo!

Eks 3: Jeunt ladet skive

107



Bidrag fra tynn ring, radius r , bredde dr , ladning

$$dq = Q \cdot dA/A = Q \cdot 2\pi r dr / \pi R^2 \text{ er}$$

$$dE_z = dq \cdot z / 4\pi\epsilon_0 (r^2 + z^2)^{3/2}, \text{ slik at}$$

$$E_z = \int dE_z = \frac{Qz}{2\pi\epsilon_0 R^2} \int_0^R \frac{r dr}{(r^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{Qz}{2\pi\epsilon_0 R^2} \int_0^R \left\{ - (r^2 + z^2)^{-1/2} \right\}$$

$$= \frac{Qz}{2\pi\epsilon_0 R^2} \left\{ \frac{1}{z} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right\}$$

$$= \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R^2} \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + R^2/z^2}} \right\}$$

Rimelig svar: Langt unna skiva er $z \gg R$

$$\Rightarrow \left(1 + R^2/z^2\right)^{-1/2} \approx 1 - R^2/2z^2$$

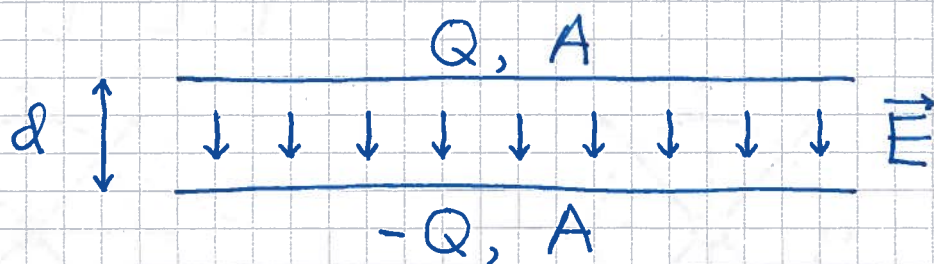
$\Rightarrow E_z \approx Q / 4\pi\epsilon_0 z^2$, som er feltet i avstand z fra punktladning Q i origo.

Nær skiva, når $z \ll R$, er

$$E_z \approx Q / 2\pi\epsilon_0 R^2 = \sigma / 2\epsilon_0$$

med $\sigma = Q / \pi R^2 =$ skivas ladning pr flateenhet.

Nyttig resultat: En mye brukt krets-komponent er parallellplatekondensatoren, som er to parallelle metallplater som kan tilføres like stor ladning med motsatt fortegn, $\pm Q$ (med f.eks. et batteri):



Med liten plateavstand d blir

$$E \approx 2 \cdot \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (\sigma = Q/A)$$

mellom platene, mens

$$E \approx 0$$

utenfor platene.