



El.mag. er grunnlag for:

- Kretselementer (motstand, kondensator, spole, diode, transistor)
- Kretsteknikk
- Elkraftforsyning: Generatorer og overføring
- Motorer
- Elek. apparater / elektronikk / datamaskiner
- El.magn. stråling, eks. lys-, radio- og μ bølger
- Telekommunikasjon
- Magnetisk materiale
- Atomet. Kjemiske bindinger.
- Atmosfæriske forhold
- m.m.m.

Fire fundamentale krefter i naturen: (sortert ut lengde etter Newton):

1. **Gravitasjonskraft** – tiltrekning mellom masser
2. **Elektromagnetisk kraft** – frastøtning/ tiltrekning mellom like/ulike elektriske ladninger
3. Sterk kjernekraft – kraft mellom subatomære partikler
4. Svak kjernekraft – kraft mellom subatomære partikler under spesielle radioaktive prosesser.

Pensum

Pensumliste på emnets nettsider:

<http://home.phys.ntnu.no/brukdef/undervisning/tfy4155>

(lenke fra It's learning)

1. Forelesninger (95% dekket i Young & Freedman)
2. Fem ekstra notatark (utover læreboka).
3. Regneøvinger.
4. Laboratorieoppgaver.

13 regneøvinger (minst 8 må godkjennes)

- Veiledning i grupperom i Realfagbygget.
- Innlevering i bokser utenfor Aud-R1.
- Løsningsforslag (ingen gjennomgåing).
- Godkjenningslister på nettet.

- Nettside:
- home.phys.ntnu.no/brukdef/undervisning/tfy4155/ovinger

Laboratoriekurs (obligatorisk):

- Følg med på labens nettsider
 - Første grupper starter 30. januar
 - Påmelding på nettsidene fra ons 11. jan 12:00.
 - Lab.hefte i salg på instituttadministrasjonen

<http://home.phys.ntnu.no/brukdef/undervisning/tfy4155>

Bruk av matematikk:

- Vektorregning. Vektor: F eller \vec{F}
- Integrasjon
- Differensiallikninger
- Nabla-operator $\vec{\nabla}$

- Kort repetisjon fra matematikken dersom behov.

Kap. 21

Elektrisk ladning og felt

Vi skal se på:

- Elektrisk ladning Q
- Coulombs lov
- Superposisjonsprinsippet
- Elektrisk felt og feltlinjer E
- Elektrisk dipol.

Elektrisk ladning

Observasjoner:

- Gnidning skaper elektrisitet: 700 f.Kr.
 rav = ἤλεκτρον = elektron
- Elektrisk ladning = skalar (+ / -)
 Benjamin Franklin 1700-tallet
- Totalladning i isolert system konstant
- Ladning overføres ved kontakt eller gnist
- 1785: Coulombs lov $\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \hat{r}$
 Kraftvirkning.
 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$
 $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$
- Elektriske ladninger er kvantiserte. Millikan 1909
- Superposisjonsprinsippet.
- Maxwells likninger. James Clerk Maxwell samlet elektromagnetismen i 1873

Gravitasjon

- Newtons gravitasjon har samme likningsform som Coulombs lov:

- Coulomb: $\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \hat{r}$ $q_1 q_2 > 0$: frastøtende
 $q_1 q_2 < 0$: tiltrekkende

- Newton:

$$\vec{F} = G \frac{-m_1 m_2}{r^2} \cdot \hat{r} \quad -m_1 m_2 < 0 : \text{alltid tiltrekkende}$$

Coulombs lov i ulike enhetssystemer

SI: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \hat{r} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \hat{r}$

cgs (Gauss): $\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \hat{r}$

HL (Heaviside-Lorenz): $\vec{F} = \frac{1}{4\pi} \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \hat{r}$

Oppgave:

Hvor stor er 1 coulomb ?

- Du og din kamerat/vennine holder hver ei kule med ladning +1,0 C. Dere beveger dere mot hverandre fra uendelig i et ellers elektrisk nøytralt rom.
- Hvor nærme kan dere komme hverandre?
 Anta dere greier å trykke med kraft $F = 500 \text{ N}$ hver.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$r = \sqrt{k \frac{q_1 q_2}{F}} = \sqrt{9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2 \cdot \frac{1,0 \text{ C} \cdot 1,0 \text{ C}}{500 \text{ N}}}$$

$$= 4,24 \text{ km} = \underline{4,2 \text{ km}}$$

r	F
4,2 km	500 N
1 km	9 kN (ca 1 tonn)
10 m	90000 kN

Størrelser for frie ladninger

- "Laboratorie" størrelser: μC og nC
- van der Waal-kula: $Q = 1,0 \mu\text{C}$ ved 100 kV
- Store ladninger:
 - Tordenskyer: $0,1 \text{ kC}$
 - Jordkloden: $-0,6 \text{ MC}$
 - Batterier: $\sim 1 \text{ Ah} = 1 \text{ C/s} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \text{ kC}$ (kjemisk lagra!)

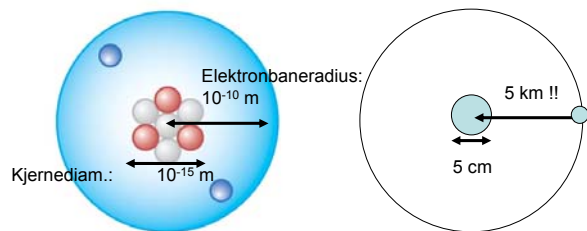
Måltall og enheter

- $s = 3,0 \text{ m}$
- $s = \text{fysisk størrelse}$
- $3,0 = \text{måltall: } \{s\} = 3,0$
- $\text{m} = \text{enhet (dimensjon): } [s] = \text{m}$
- OBS: Fysisk størrelse i *kursiv (italic)*,
enhet opprettet (roman)
- (I skikkelige teknisk litteratur, vanskeligere i håndskrift.)
- Eksempler fra elmagen:
 - $q = 3,4 \text{ C}$
 - $I = 2,5 \text{ A}$
 - $V = 30 \text{ V}$ ($V = \text{symbol for spenning, V} = \text{volt}$)
 - $C = 30 \text{ nF} = 30 \text{ nC/V}$
($C = \text{symbol for kapasitans, C} = \text{coulomb}$)

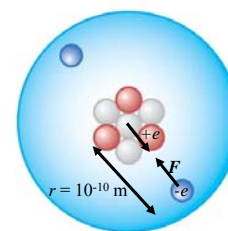
Størrelsesforhold:

Kjerne og elektron:

Tennisball og "tennisbane":



Kjerne og elektron:



Elektrisk kraft mellom kjerne og elektron:

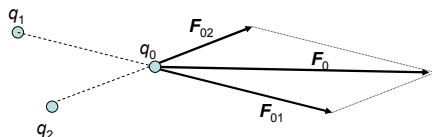
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{e \cdot e}{r^2} = 20 \text{ nN}$$

Dette er 10^{20} ganger elektronets vekt!

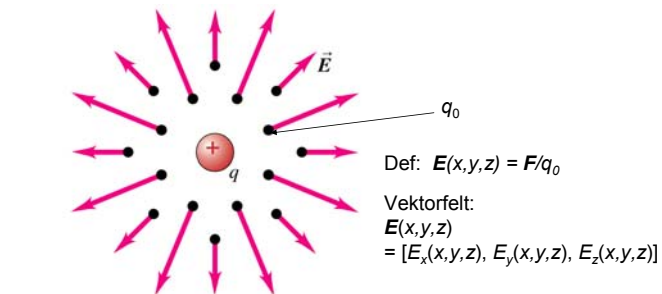
Stor kraft på elektronet!

Superposisjonsprinsippet

- Kraft fra flere ladninger kan summeres til totalkraft:
- $\mathbf{F}_0 = \mathbf{F}_{01} + \mathbf{F}_{02}$



Et ladet legeme lager et elektrisk felt i alle punkter i rommet!



Rundt punktladning: $\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \cdot \hat{r}$ (21.7) = (Coul)

Hvor stort felt rundt 1 coulombs kule?

Oppgave:

Hvor stor er 1 coulomb ?

- Du og din kamerat/venninen holder hver ei kule med ladning +1,0 C. Dere beveger dere mot hverandre fra uendelig i et ellers elektrisk nøytralt rom
- a) Hvor nærme kan dere komme hverandre?
Anta dere kan trykke med $F = 500$ N hver.
- b) Hvor stort er det elektriske feltet i avstand 4,2 km?

Enklest fra definisjon:

$$E = F/q = 500 \text{ N} / 1 \text{ C} = 500 \text{ N/C}$$

Fra formel (21.7):

$$E = k q / r^2 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \cdot 1,0 \text{ C} / (4,24 \text{ km})^2 = 500 \text{ N/C}$$

Overslag ved $E = 3,0 \text{ MN/C} = 30 \text{ kV/cm}$

Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

- Elektrisk ladning, q, Q . + eller - Enhet coulomb, C.

Coulombs lov: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{q}{r^2} \cdot \hat{r}$ (21.7)

Superposisjonsprinsippet: $\vec{E} = k \sum_n \frac{q_n}{r_{0n}^2} \hat{r}_{0n}$ (21.7B)

uendelig mange små ladninger dq: $\vec{E} = k \int \frac{dq}{r^2} \cdot \hat{r}$ (21.7C)

Eksempler:

- +q +q
- q +q (dipol)
- Linjeladning
- Tynn ring
- Flateladninger

Integrasjon

Eks. 3 Linjeladning. = Y&F, Ex. 21.11 (mer i Øving 2)

Løsning: $E_y = k \frac{\lambda}{y} \frac{2L}{\sqrt{L^2 + y^2}}$

Grensetilfeller:

$y \gg L \Rightarrow E_y = k \frac{2L\lambda}{y^2} = k \frac{Q}{y^2}$
(staven som et punkt)

$y \ll L \Rightarrow E_y = k \frac{2\lambda}{y}$
(nærme)

OBS:
Y&F motsatt aksesystem x-y

Integrasjonsmetoder i fysikken:

1. Infinitesimale størrelser (dq) brukes i formler som gjelder punkter.
 - Utnytt symmetri
2. Setter sammen med sup.pos.prinsippet, der $\sum \rightarrow \int$
3. Vanlige integrasjonsregler og derivasjonsregler, f.eks. substitusjon.

Eks. 4: Ladet ring.
= Y&F: Ex. 21.9 (fig. 21.23)

Løsning: $E_x = k Q x / r^3$ (21.8)

Grensetilfelle:
 $x \gg a \Rightarrow r \approx x$
 $\Rightarrow E_x = k Q / x^2$
(ringen \approx punkt)

Eks. 5: Ladet sirkulær plate.
= Y&F: Ex. 21.11 (fig. 21.25)

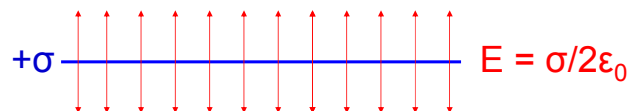
= sum av mange tynne ringer = $\int dE_x$, med dE_x fra forrige eksempel
 $E_x = k Q x / r^3$
 $\rightarrow dE_x = k dQ x / r^3$

Løsning: $E_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (R/x)^2}} \right]$ (21.11)

med $\sigma = Q/\pi R^2$

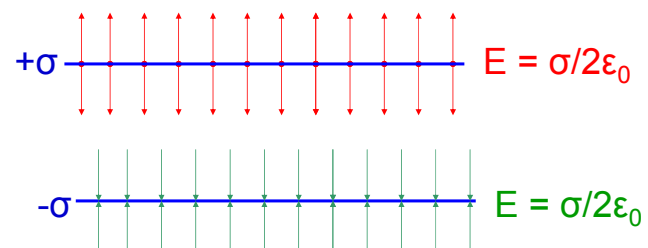
Grensetilfeller:
 $x \gg R \Rightarrow$ skiva \approx punkt
 $x \ll R \Rightarrow E_x = \sigma/2\epsilon_0$

Eks 6: Nærme en flateladning



Eks 7: To parallelle plater

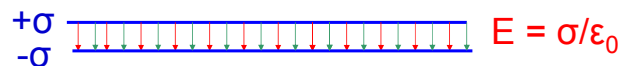
= Y&F: Ex. 21.12



nærme

Eks 7: To parallelle plater

(eller: uendelig store)



Resultat: E-felt kun mellom platene

Randeffekter for ikke nærme plater

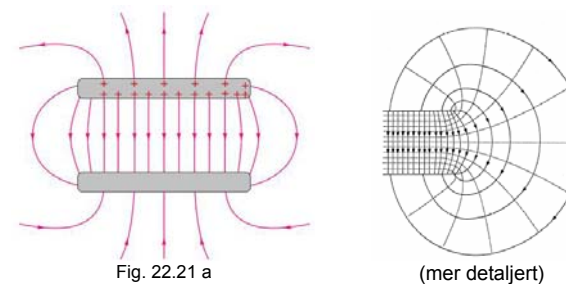
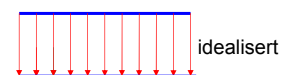
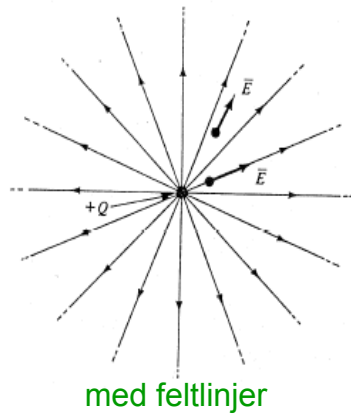


Fig. 22.21 a

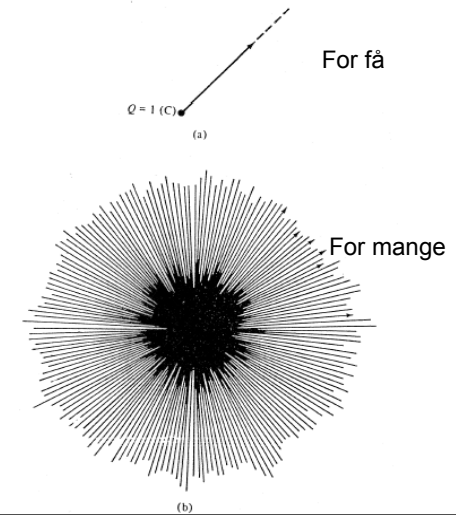
(mer detaljert)



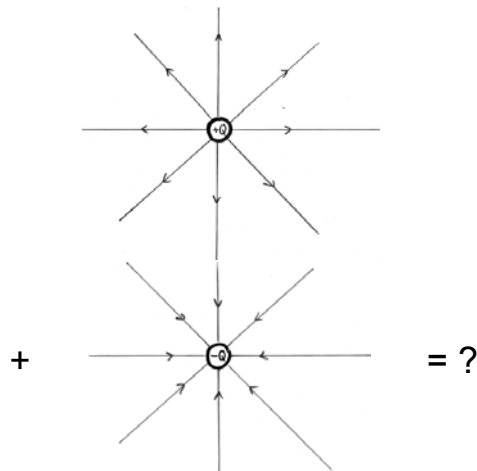
Visualisering elektrisk felt:



Velg et
høvelig
antall
feltlinjer
!

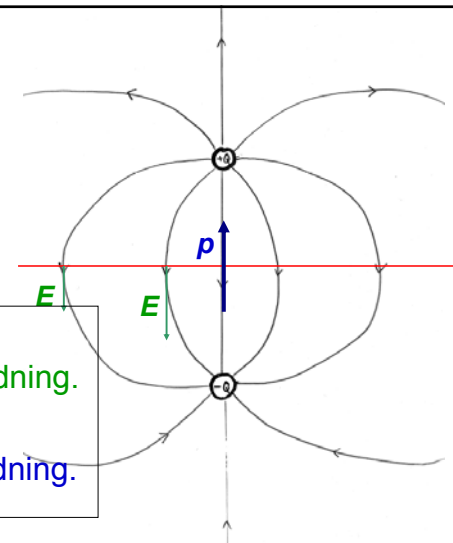


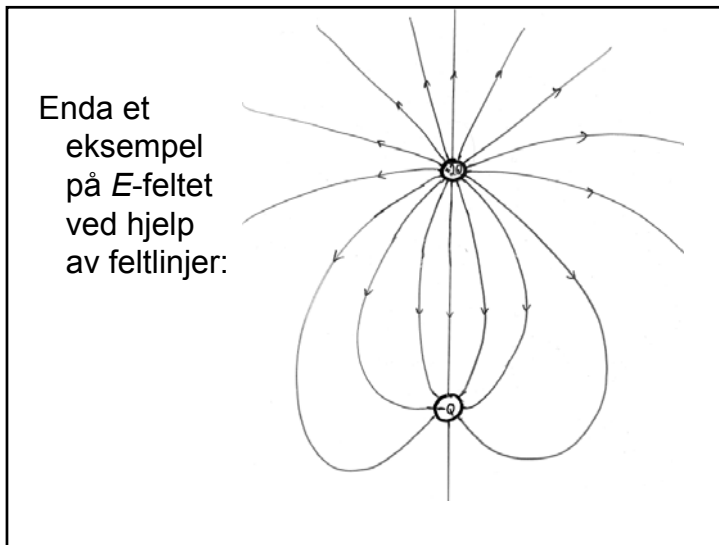
E -feltet kan
finnes ved
hjelp av
feltlinjer:



E -feltet kan
finnes ved
hjelp av
feltlinjer:

OBS:
 E fra + til - ladning.
Dipolmoment
 p fra - til + ladning.





Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

Elektrisk ladning, q, Q . + eller - Enhet coulomb, C.

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

Superpos.prinsippet:
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_n \frac{q_n q_0}{r_{0n}^2} \hat{r}_{0n}$$
 kont. ladn.fordeling $\frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \int_{\text{ladning}} \frac{dq}{r^2} \hat{r}$

Elektrisk felt:
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

def punktledning

Diverse eksempler, bl.a.: Elektrisk dipol med dipolmoment $\mathbf{p} = q \mathbf{a}$.

E visualiseres ved **elektriske feltlinjer**, der E er tangent til feltlinjene.

Ladningstetthet:

	Symbol:	Infinitesimal ladm:
Brukes kap 22	Rom- ρ (C/m ³)	$dq = \rho dV$
Brukt kap 21	Flate- σ (C/m ²)	$dq = \sigma dA$
	Linje- λ (C/m)	$dq = \lambda dl$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \vec{E} = k \int \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

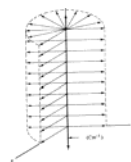
Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

Viktige eksempler \vec{E} :

Rundt punktladning:
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$



Nærme lang stav:
$$\vec{E} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r} \hat{r}$$



Nærme stor plate:
$$\vec{E} = \frac{1}{2\epsilon_0} \sigma \hat{n}$$

