



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
- Atom. Kjemiske bindinger.
- Ulike 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).
- Godkjenningsskjermer på nettet.

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

Laboratoriekurs (obligatorisk):

- Følg med på labens nettsider
 - Første grupper starter x. februar
 - Påmelding på nettsidene xx.-xx. jan.
 - 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:

1. Gnidning skaper elektrisitet: 700 f.Kr.
raβ = ηλεκτρον = elektron
2. Elektrisk ladning = skalar (+ / -)
Benjamin Franklin 1700-tallet
3. Totalladning i isolert system konstant
4. Ladning overføres ved kontakt eller gnist
5. 1785: Coulombs lov $\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \hat{r}$
 Kraftvirkning.
 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
 $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$
6. Elektriske ladninger er kvantiserte. Millikan 1909
7. Superposisjonsprinsippet.
8. **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: $\vec{F} = G \frac{-m_1 m_2}{r^2} \cdot \hat{r}$ $-m_1 m_2 < 0$:
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/venninnne 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 kC
 - Jordkloden: -0,6 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 = fysisk størrelse
- 3,0 = måltall: $\{s\} = 3,0$
- m = enhet (dimensjon): $[s] = m$

OBS: Fysisk størrelse i *kursiv (italic)*, enhet opprettet (roman)

(I skikkelig teknisk litteratur, vanskeligere i håndskrift.)

- Eksempler fra elmagen:
 - $q = 3,4 \text{ C}$
 - $I = 2,5 \text{ A}$
 - $V = 30 \text{ V}$ (V = symbol for spenning, V = volt) $[V] = V$
 - $C = 30 \text{ nF} = 30 \text{ nC/V}$
(C =symbol for kapasitans, C = coulomb)

Størrelsesforhold:

Kjerne og elektron:

Kjernediam.: 10^{-15} m

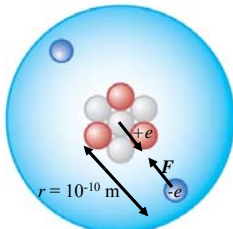
Elektronbaneradius: 10^{-10} m

Daglige dimensjoner:

5 km !!

5 cm

Kjerne og elektron:



Elektrisk kraft mellom kjerne og elektron:

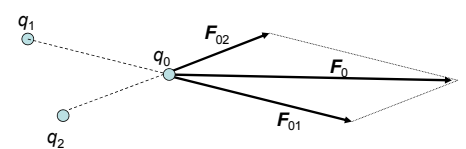
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{e \cdot e}{r^2} = 20 \text{ nN}$$

Dette er 10^{38} x gravitasjonstiltrekning og 10^{20} ganger elektronets vekt ved 1g !

Stor kraft på elektronet!

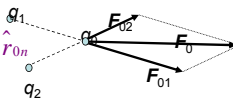
Superposisjonsprinsippet

- Kraft fra flere ladninger kan summeres til totalkraft:
- $F_0 = F_{01} + F_{02}$



Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

- Elektrisk ladning, q, Q . + eller - Enhet coulomb, C.
- Coulombs lov: $\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \hat{r}$ (Coul) = (21.2)
- Superposisjonsprinsippet: $\vec{F}_0 = k q_0 \sum_n \frac{q_n}{r_{0n}^2} \hat{r}_{0n}$



uendelig mange små ladninger dq : $\vec{F}_0 = k q_0 \int \frac{dq}{r^2} \cdot \hat{r}$
(mer under elek. felt)

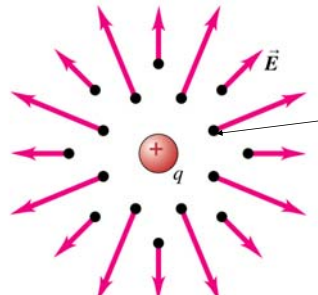
Elektrisk felt E og feltlinjer

superposisjonsprinsippet
=> Integrasjonsmetoder

I dag

- Dipoler

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



$F = q_0 E(x,y,z)$

Vektorfelt:
 $E(x,y,z)$
 $= [E_x(x,y,z), E_y(x,y,z), E_z(x,y,z)]$

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

=> E UT fra pos. ladning og INN mot neg. ladning.

Hvor stort felt rundt 1 coulombs kule?

Oppgave: Hvor stor er 1 coulomb ?

- Du og din kamerat/venninne 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 $E = 3,0 \text{ MN/C} = 30 \text{ kV/cm}$

E -felt rundt jordkloden (Y&F Ex. 22.13)

$Q = -0,6 \text{ MC}$

$E = -130 \text{ N/C}$

$F = 130 \text{ N}$

$+0,6 \text{ MC i atm.}$

Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

- Elektrisk ladning, q, Q . + eller - Enhet coulomb, C.
- Coulombs lov: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{q}{r^2} \cdot \hat{r}$ (Coul) = (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:

1) $+q$ $+q$	} Sum: (21.7B)
2) $-q$ $+q$ (dipol)	
3) Linjeladning	} Integrasjon: (21.7C)
4) Tynn ring	
5) Flateladninger	

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)

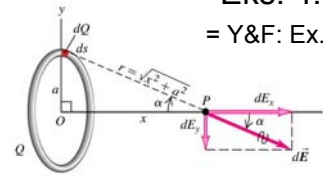
OBS:
Y&F motsatt aksestystem x-y

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.

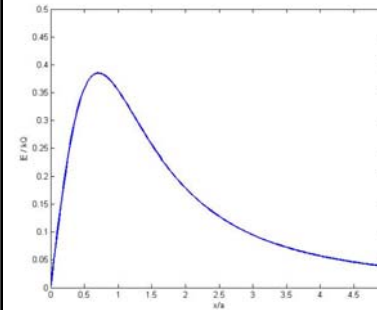
Eks. 4: Ladet ring.

= Y&F: Ex. 21.9 (fig. 21.23)



$$E_x = k Q x / r^3 \quad (21.8)$$

$$r^2 = x^2 + a^2$$



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

$x \ll a \Rightarrow r \approx a$
 $\Rightarrow E_x = k Q x / a^3$

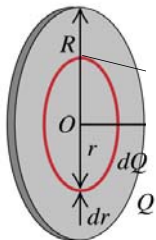
Eks. 5: Ladet sirkulær plate.

= 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
 $x \ll R \Rightarrow E_x \approx \sigma / 2\epsilon_0$

Viktig approksimasjon:

$$(1+x)^n \approx 1+nx \quad \text{når } x \ll 1$$

(Taylorrekke). Matematikk. Eller se Støvnengs notat om rekkeutvikling:
web.phys.ntnu.no/~stovnenq/TFY4155_2009/rekkeutvikling.pdf

Eksempler:

$$(1+x)^2 \approx 1+2x \quad [+x^2]$$

$$(1+x)^3 \approx 1+3x \quad [+3x^2 + x^3]$$

$$(1+x)^{-1} \approx 1-x$$

$$\sqrt{1+x} = (1+x)^{1/2} \approx 1 + \frac{1}{2}x$$

$$(1+1/x)^{-1} \approx 1 - 1/x \quad \text{når } x \gg 1$$

$$(1+(R/x)^2)^{-1/2} \approx 1 - \frac{1}{2} (R/x)^2 \quad \text{for } x \gg R, \text{ dvs. } R/x \ll 1$$

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

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

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

Langt unna: $x \gg R$, dvs. $R/x \ll 1$:
 $(1 + (R/x)^2)^{-1/2} \approx 1 - \frac{1}{2} (R/x)^2$

Nærme: $x \ll R$, dvs. $x/R \ll 1$:
 $(1 + (R/x)^2)^{-1/2} = x/R (1 + (x/R)^2)^{-1/2} \approx x/R (1 - \frac{1}{2} (x/R)^2) \approx x/R$

Eks 6: Svært nærme en flateladning

$+ \sigma$ $E = \sigma/2\epsilon_0$

Eks 7: To parallelle plater
 (eller: uendelig store)

nærme

$+ \sigma$
 $- \sigma$ $E = \sigma/\epsilon_0$

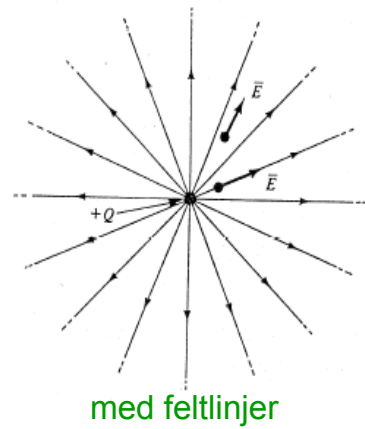
Resultat: E-felt kun mellom platene

Randeffekter for ikke nærme plater

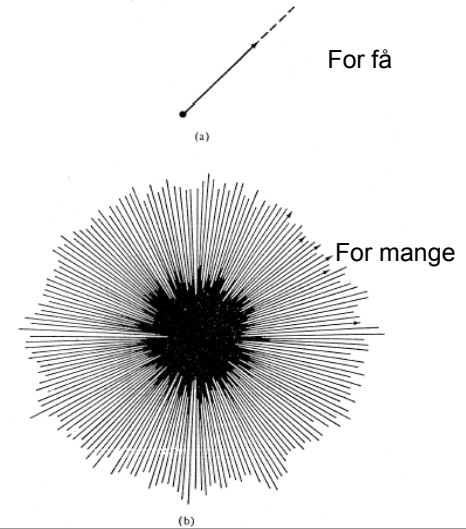
Fig. 22.21 a (mer detaljert)

idealisert

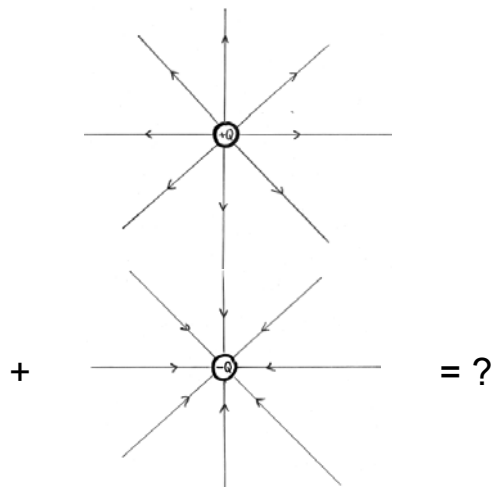
Visualisering elektrisk felt:



Velg et
høvelig
antall
feltlinjer
!



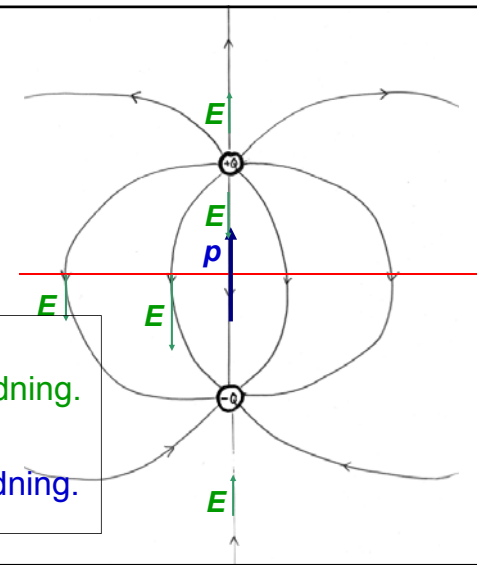
E -feltet kan
finnes ved
hjelp av
feltlinjer:

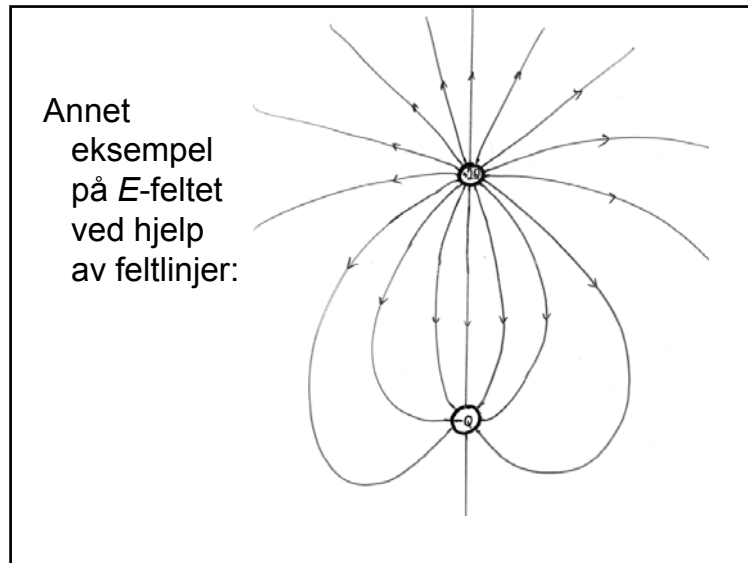


E -feltet kan
finnes ved
hjelp av
feltlinjer:

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

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

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:	} $\vec{E} = k \int \frac{dq}{r^2} \hat{r}$
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)	$dq = \lambda d\ell$	

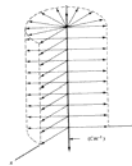
Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

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

