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 μbølger
- Telekommunikasjon
- Magnetisk materiale
- Atomet. Kjemiske bindinger
- Ulike atmosfæriske forhold
- m.m.m.

Fire fundamentale krefter i naturen:

(sortert ut lenge 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% dekka i Young & Freedman)
2. 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:

home.phys.ntnu.no/brukdef/undervisning/tfy4155_lab

– Første grupper starter man 25. jan
– Påmelding på nettsiden fra nå til fre 22. jan.

– Lab.hefte ligger som pdf på labens nettside.

Fysikk

..er grunnlaget for all ingeniørvitenskap.

Elmag er fysikk

(Ampere, Coulomb, Faraday, Maxwell, Lorentz, Einstein……)

.. og bruker matematikk som verktøy.

Bruk av matematikk:

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

- Kort repetisjon fra matematikken dersom behov.

Kap. 21-24: Elektrostatikk

Kap. 21 Elektrisk ladning og felt

Vi skal se på:

- Elektrisk ladning Q
- Coulombs lov
- Superposisjonsprinsippet
- Elektrisk felt og feltlinjer $\boldsymbol{E}$
- Elektrisk dipol.

Elektrisk ladning

Observasjoner:

1. Gnidning skaper elektrisitet: 700 f.Kr.
   rav = 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 $\vec{F} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\cdot\hat{r}$
   Uttrykk for kraft
   $$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8{,}99\cdot 10^9\,\mathrm{Nm^2C^{-2}}$$
   $$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot 10^{-12}\,\mathrm{C^2N^{-1}m^{-2}}$$
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

Coulumbs lov i ulike enhetssystemer

SI: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\cdot\hat{r} = k\frac{q_1q_2}{r^2}\cdot\hat{r}$

cgs (Gauss): $\vec{F} = \frac{q_1q_2}{r^2}\cdot\hat{r}$

HL (Heaviside-Lorenz): $\vec{F} = \frac{1}{4\pi}\frac{q_1q_2}{r^2}\cdot\hat{r}$

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 N hver.

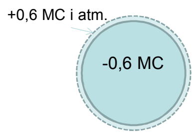
$$F = k\frac{q_1q_2}{r^2} \qquad r = \sqrt{k\frac{q_1q_2}{F}} = \sqrt{9{,}0\cdot10^9\,\mathrm{Nm^2/C^2}\cdot\frac{1{,}0\,\mathrm{C}\cdot1{,}0\,\mathrm{C}}{500\,\mathrm{N}}}$$

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

r	*F*
4,2 km	0,50 kN
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 μC ved 100 kV
- Store ladninger:
  - Tordenskyer: 0,1 kC
  - Jordkloden: -0,6 MC



  - Batterier: ~ 1 Ah = 1 C/s ·3600 s = 3,6 kC (kjemisk lagra!)

Måltall og enheter

- s = 3,0 m
- s = fysisk størrelse
- 3,0 = måltall: $\{s\}$ = 3,0
- m = enhet (dimensjon): $\boxed{[s] = \mathrm{m}}$

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

Dekadiske prefikser, mest vanlige:

- $10^9 = \mathrm{G} = \text{giga}$
- $10^6 = \mathrm{M} = \text{mega}$
- $10^3 = \mathrm{k} = \text{kilo}$
- $10^0 = 1$
- $10^{-3} = \mathrm{m} = \text{milli}$
- $10^{-6} = \mu = \text{mikro}$
- $10^{-9} = \mathrm{n} = \text{nano}$
- $10^{-12} = \mathrm{p} = \text{piko}$

Flere i Angell og Lian

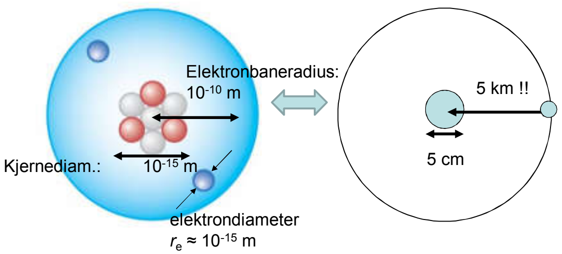
Elektrisk ladning

Observasjoner:

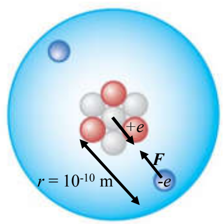
1. Gnidning skaper elektrisitet: 700 f.Kr.
   rav = ηλεκτρον = elektron
2. Elektrisk ladning = skalar (+ / -)
   Benjamin Franklin 1700-tallet
3. Totalladning i isolert system konstant
4. Ladning overføres ved kontakt eller gnist
5. 1785: Coulombs lov $\vec{F} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\cdot\hat{r}$
   Uttrykk for kraft
   $$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8{,}99\cdot 10^9\,\mathrm{Nm^2C^{-2}}$$
   $$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot 10^{-12}\,\mathrm{C^2N^{-1}m^{-2}}$$
6. Elektriske ladninger er kvantiserte. Millikan 1909
   $1e = 0{,}1602 \cdot 10^{-18}$ C
   $q = N\cdot e$
   N stort tall, eks: 1 μC = $6{,}25\cdot 10^{12}\cdot e$

Størrelsesforhold:

Kjerne og elektron: Daglige dimensjoner:



Kjerne og elektron:



Elektrisk kraft mellom kjerne og elektron:

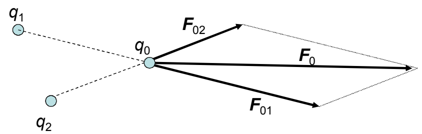
$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = k\frac{e\cdot e}{r^2} = 20\ \mathrm{nN}$$

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

Stor kraft på elektronet!

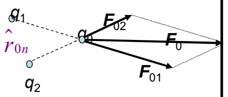
Superposisjonsprinsippet

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



Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

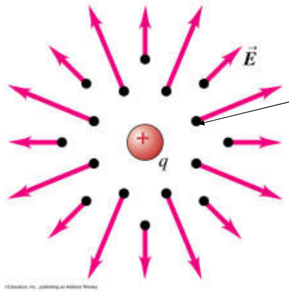
- Elektrisk ladning, q, Q. + eller - Enhet coulomb, C.
- Coulombs lov - punktladning: $\vec{F} = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}\cdot\hat{r}$ (Coul) = (21.2)
- Superposisjonsprinsippet: $\vec{F}_0 = k\,q_0 \sum_n \dfrac{q_n}{r_{0n}^2}\,\hat{r}_{0n}$



- Elektrisk felt ***E*** og feltlinjer
- Eksempler
- Superpos.prinsippet med uendelig mange små ladninger dq: $\vec{F}_0 = k\,q_0 \displaystyle\int_{tot.ladn.} \frac{dq}{r^2}\cdot\hat{r}$ (integrasjon):
- Dipoler

$\Big\}$ I dag

Et ladet legeme lager et elektrisk felt i <u>alle</u> punkter i rommet!



Def. elektrisk vektorfelt ***E:***
F = q_0 ***E****(x,y,z)*

q_0

$$\vec{E}(x,y,z) = E_x\hat{i} + E_y\hat{j} + E_z\hat{k}$$
$$= \left[E_x(x,y,z),\ E_y(x,y,z),\ E_z(x,y,z)\right]$$

Kartesiske enhetsvektorer:

$$\left(\hat{i},\hat{j},\hat{k}\right) \text{ eller } \left(\hat{x},\hat{y},\hat{z}\right) \text{ eller } \left(\vec{e}_x,\vec{e}_y,\vec{e}_z\right)$$

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

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

Hvor stort felt rundt 1 coulombs kule?

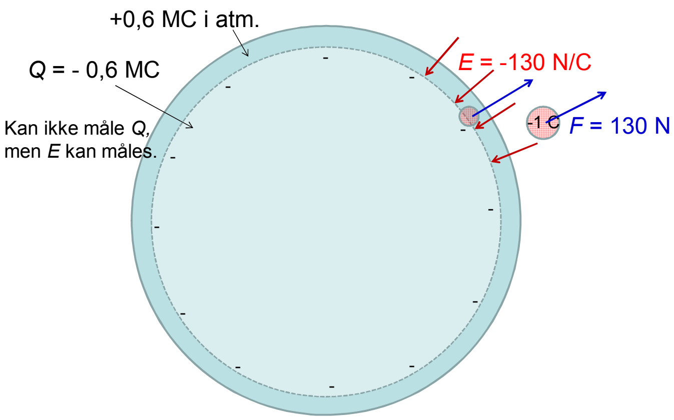
Oppgave: Hvor stor er 1 coulomb ?

- Du og din kamerat/vennine 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 N / 1 C = 500 N/C
Fra formel (21.7):
$E = k\,q / r^2$ = 9,0·10^9 Nm^2/C^2 · 1,0 C / (4,24 km)^2 = 500 N/C

⟵ Overslag ved E = 3,0 MN/C = 30 kV/cm

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



Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

- Elektrisk ladning, q, Q. + eller - Enhet coulomb, C.
- Coulombs lov - linjeladning: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k\frac{q}{r^2}\cdot\hat{r}$ (Coul) = (21.7)
- Superposisjonsprinsippet:

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

uendelig mange små ladninger d*q*:

$$\vec{E} = k\int_{tot.ladn.} \frac{dq}{r^2}\cdot\hat{r} \quad \text{(21.7C)}$$

Eksempler:

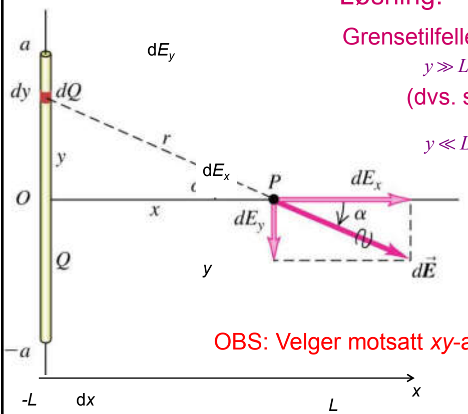
1) +q +q
2) -q +q (dipol)

Sum: (21.7B)

3) Linjeladning
4) Tynn ring
5) Flateladninger

Integrasjon: (21.7C)

Eks. 3 Linjeladning. = Y&F, Ex. 21.10 (mer i Øving 2)



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

Grensetilfeller:

$y \gg L \;\Rightarrow\; E_y = k\frac{2L\lambda}{y^2} = k\frac{Q}{y^2}$

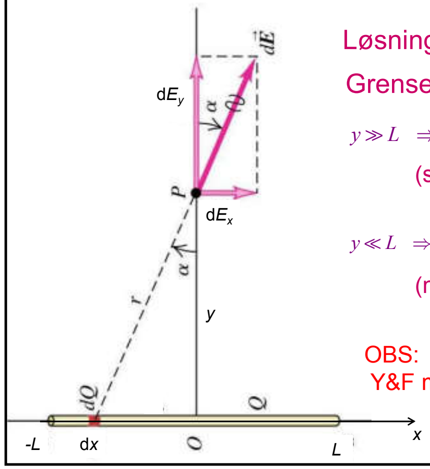
(dvs. staven som et punkt)

$y \ll L \;\Rightarrow\; E_y = k\frac{2\lambda}{y}$

(nærme)

OBS: Velger motsatt *xy*-aksesystem av Y&F

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)

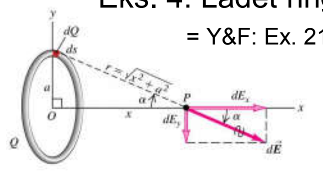
OBS:
Y&F motsatt aksesystem x-y

Integrasjonsmetoder i fysikken:

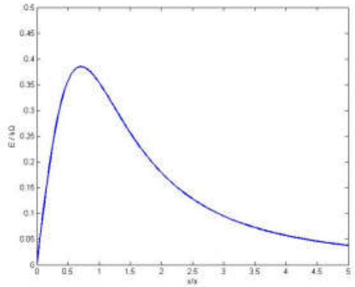
1. Infinitesimale størrelser ($\mathrm{d}q$) brukes i formler som gjelder punkter.
   - Utnytt symmetri
2. Setter sammen med sup.pos.prinsippet, der $\sum \rightarrow \int$
3. Vanlige integrasjonsregler og derivasjonsregler, f.eks. substitusjon.

Eks. 4: Ladet ring, midtnormalen.

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



$E_x = k\,Q\,x\,/\,r^3$ (21.8)
$r^2 = x^2 + a^2$



Grensetilfeller:

$x >> a \Rightarrow r \approx x$
$\Rightarrow E_x = k\,Q\,/r^2$
(ringen ≈ punkt)

$x << a \Rightarrow r \approx a$
$\Rightarrow E_x = k\,Qx\,/a^3$

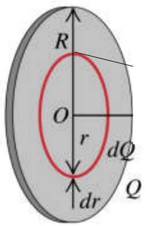
Eks. 5: Ladet sirkulær plate, midtnormalen.

= Y&F: Ex. 21.11 (fig. 21.25)

= sum av mange tynne ringer = $\int \mathrm{d}E_x$, med $\mathrm{d}E_x$ fra forrige eksempel
$E_x = k\,Q\,x\,/\,r^3$
$\rightarrow \mathrm{d}E_x = k\,\mathrm{d}Q\,x\,/\,s^3$

Løsning: $$E_x = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+(R/x)^2}}\right) \quad (21.11)$$

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



Viktig approksimasjon:

$(1+x)^n \approx 1+nx$ når $x << 1$

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

Eksempler:

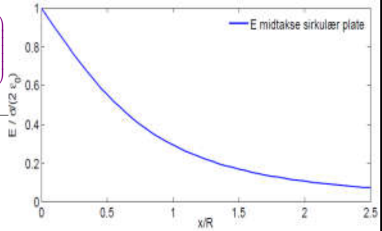
$(1+x)^2 \approx 1+2x$ eksakt: $1+2x+x^2$
$(1+x)^3 \approx 1+3x$ eksakt: $1+3x+3x^2+x^3$
$(1+x)^{-1} \approx 1-x$
$\sqrt{(1+x)} = (1+x)^{1/2} \approx 1+ \tfrac{1}{2}x$
$(1+1/x)^{-1} \approx 1-1/x$ når $x >> 1$

$(1+(R/x)^2)^{-1/2} \approx 1 - \tfrac{1}{2}(R/x)^2$ for $x >> R$, dvs. $R/x << 1$

Eks. 5: Ladet sirkulær plate, midtnormalen.

= Y&F: Ex. 21.11 (fig. 21.25)

$$E_x = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left(1 - \boxed{\frac{1}{\sqrt{1+(R/x)^2}}}\right)$$

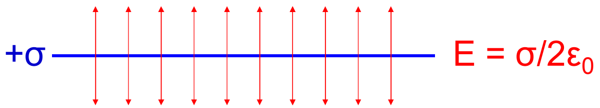


Grensetilfeller:
$x >> R$
=> skiva ≈ punkt
$x << R$
=> $E_x \approx \sigma/2\varepsilon_0 (1 - x/R) \approx \sigma/2\varepsilon_0$

Langt unna: $x >> R$, dvs. $R/x << 1$:
$\boxed{(1+(R/x)^2)^{-1/2}} \approx 1 - ½ (R/x)^2$

Nærme: $x << R$, dvs. $x/R << 1$:
$\boxed{(1+(R/x)^2)^{-1/2}} = x/R\,(1+(x/R)^2)^{-1/2} \approx x/R\,(1 - ½ (x/R)^2) \approx x/R$

Eks 6: Svært nærme en flateladning

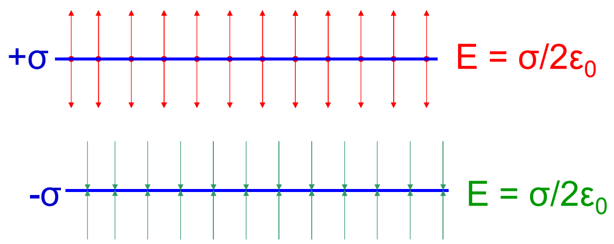


Eks 7: To $\underbrace{\text{parallelle}}_{}$ plater

nærme

Eks 7: To parallelle plater

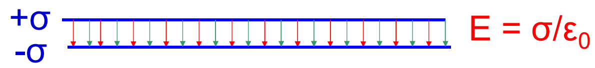
= Y&F: Ex. 21.12



Eks 7: To parallelle plater

nærme

(eller: uendelig store)



Resultat: E-felt kun mellom platene

Randeffekter for *ikke nærme* plater

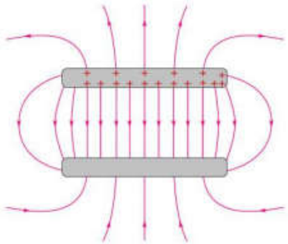
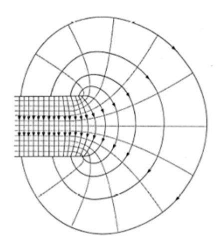
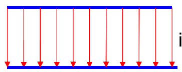


Fig. 22.21 a

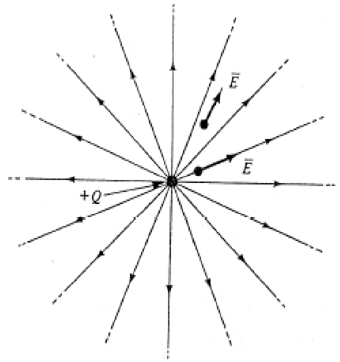


(mer detaljert)



idealisert

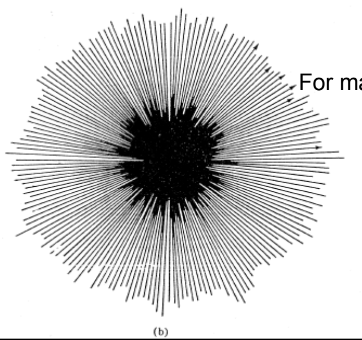
Visualisering elektrisk felt:



med feltlinjer

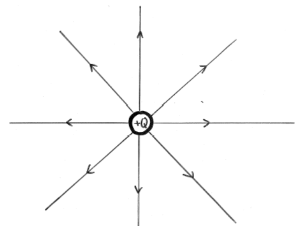
Velg et høvelig antall feltlinjer !

For få

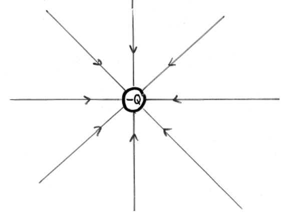


For mange

E-feltet kan finnes ved hjelp av feltlinjer:

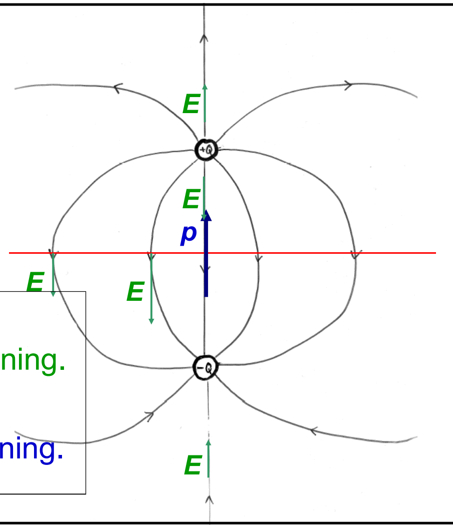


\+



= ?

E-feltet kan finnes ved hjelp av feltlinjer:



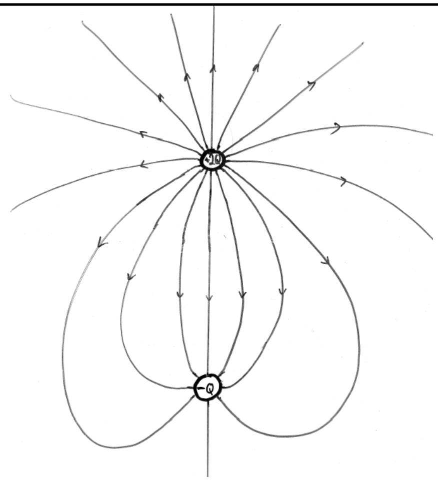
OBS:

E fra + til – ladning.

Dipolmoment

p fra – til + ladning.

Annet eksempel på *E*-feltet ved hjelp av feltlinjer:



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

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

Elektrisk dipol med dipolmoment ***p*** = *q* ***a*** . Retning: $\oplus \leftarrow \ominus$

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

Ladningstetthet:

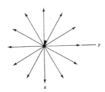
		Symbol:		Infinitesimal ladn:
Brukes kap 22	Rom-	ρ	(C/m³)	$dq = \rho dV$
Brukt kap 21	Flate-	σ	(C/m²)	$dq = \sigma dA$
	Linje-	λ	(C/m)	$dq = \lambda d\ell$

$\Big\}\ \vec{E} = k\int \frac{dq}{r^2}\hat{r}$

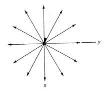
Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

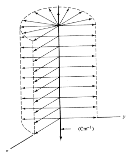
Viktige eksempler $\vec{E}$:

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