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.
- 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. 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 4. februar
  - Påmelding på nettsidene 14.-18. jan.
  - Lab.hefte i salg på instituttadministrasjonen

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

Bruk av matematikk:

- Vektorregning. Vektor: $\boldsymbol{F}$ 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 $\boldsymbol{E}$
- 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
   Kraftvirkning.
   $$\vec{F} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\cdot\hat{r}$$
   $$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8{,}99\cdot 10^9\,\mathrm{Nm^2C^{-2}}$$
   $$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot 10^{-12}\,\mathrm{C^2N^{-1}m^{-2}}$$
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: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\cdot\hat{r} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\cdot\hat{r}$

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 N hver.

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

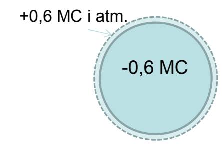
$$r = \sqrt{k\frac{q_1 q_2}{F}} = \sqrt{9{,}0\cdot 10^9\,\mathrm{Nm^2/C^2}\cdot\frac{1{,}0\,\mathrm{C}\cdot 1{,}0\,\mathrm{C}}{500\,\mathrm{N}}}$$

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

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 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)

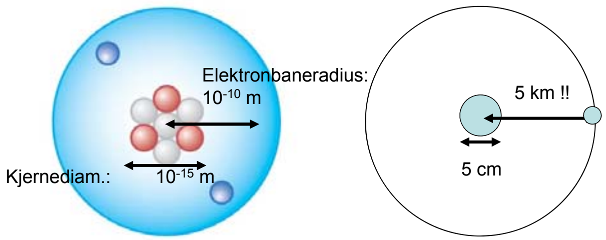
Dekadiske prefikser, mest vanlige:

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

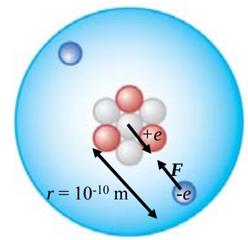
Flere i Angell og Lian

Størrelsesforhold:

Kjerne og elektron: Daglige dimensjoner:



Kjerne og elektron:



Elektrisk kraft mellom kjerne og elektron:

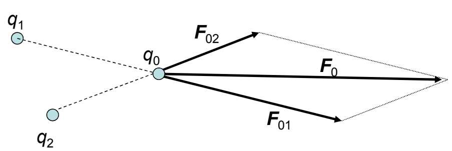
$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = k\frac{e \cdot e}{r^2} = 20 \text{ nN}$$

Dette er 10^{20} ganger elektronets vekt!

Stor kraft på elektronet!

Superposisjonsprinsippet

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



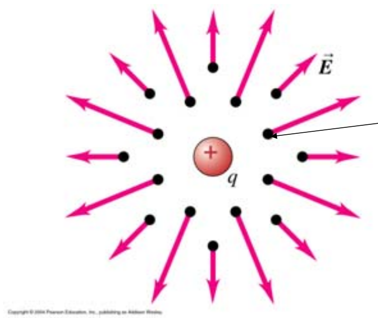
Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

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

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

$$\left.\begin{array}{l}\text{Elektrisk felt } \boldsymbol{E} \text{ og feltlinjer} \\ \quad \text{superposisjonsprinsippet} \\ \quad \text{=> Integrasjonsmetoder} \\ \bullet\ \text{Dipoler}\end{array}\right\} \text{I dag}$$

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



Def: $\boldsymbol{E}(x,y,z) = \boldsymbol{F}/q_0$

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

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?

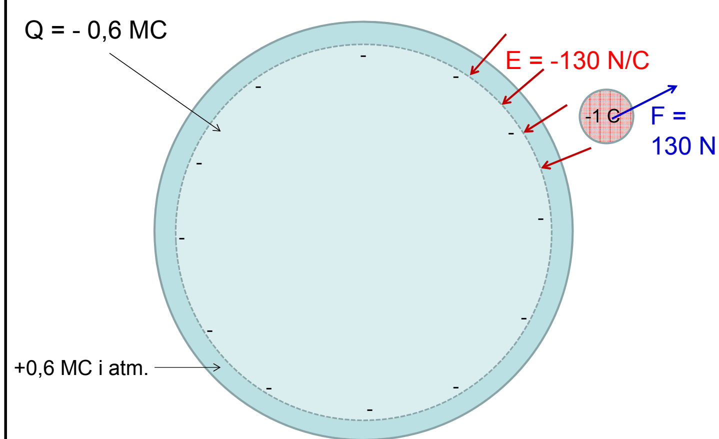
Oppgave:
Hvor stor er 1 coulomb ?

- 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):
$E = k\, q / r^2$ = $9{,}0\cdot10^9$ Nm²/C² · 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

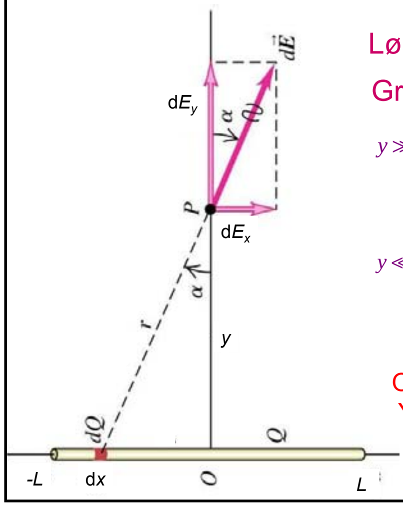
- Elektrisk ladning, q, Q. + eller - Enhet coulomb, C.
- Coulombs lov: $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}}{q} = k\dfrac{q}{r^2}\cdot\hat{r}$ (21.7)
- Superposisjonsprinsippet: $\vec{E} = k\sum_n \dfrac{q_n}{r_{0n}^{\;2}}\hat{r}_{0n}$ (21.7B)

uendelig mange små ladninger dq: $\vec{E} = k\displaystyle\int_{tot.ladn.}\frac{\mathrm{d}q}{r^2}\cdot\hat{r}$ (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: $E_y = k\dfrac{\lambda}{y}\dfrac{2L}{\sqrt{L^2+y^2}}$

Grensetilfeller:

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

(staven som et punkt)

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

(nærme)

OBS:
Y&F motsatt aksesystem x-y

Integrasjonsmetoder i fysikken:

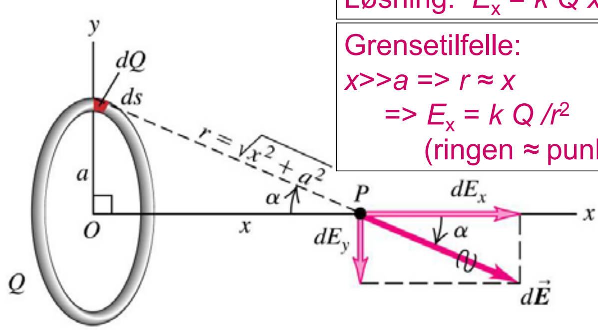
1. Infinitesimale størrelser (dq) brukes i formler som gjelder punkter.
   - Utnytt symmetri
2. Setter sammen med sup.pos.prinsippet, der $\sum \rightarrow \int$
3. Vanlige integrasjonsregler og derivasjonsregler, f.eks. substitusjon.

Eks. 4: Ladet ring.

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

Løsning: $E_x = k\,Q\,x / r^3$ (21.8)

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



Eks. 5: Ladet sirkulær plate.

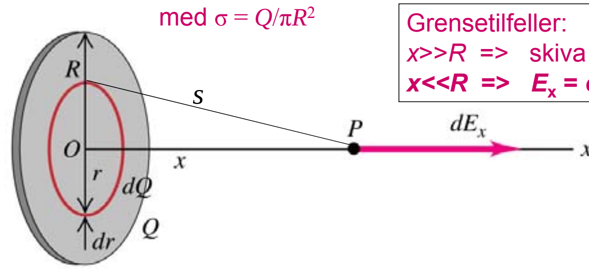
= Y&F: Ex. 21.11 (fig. 21.25)

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

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

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

Grensetilfeller:
$x >> R$ => skiva ≈ punkt
$x << R$ => $E_x = \sigma/2\varepsilon_0$



Viktig approksimasjon:

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

For spesielt interesserte:
Støvnengs notat om rekkeutvikling:
web.phys.ntnu.no/~stovneng/TFY4155_2009/rekkeutvikling.pdf

Eksempler:

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

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

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

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

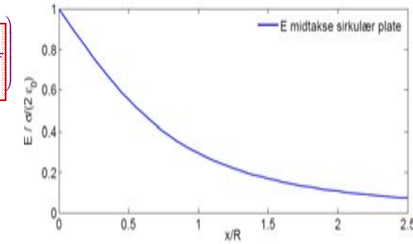
$(1+1/x)^{-1} \approx 1-1/x \quad$ når $x \gg 1$

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

Eks. 5: Ladet sirkulær plate.

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

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

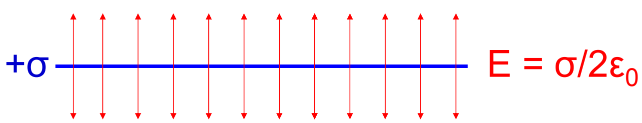


Grensetilfeller:
$x \gg R$ => skiva ≈ punkt
$x \ll R$ => $E_x = \sigma/2\varepsilon_0$

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

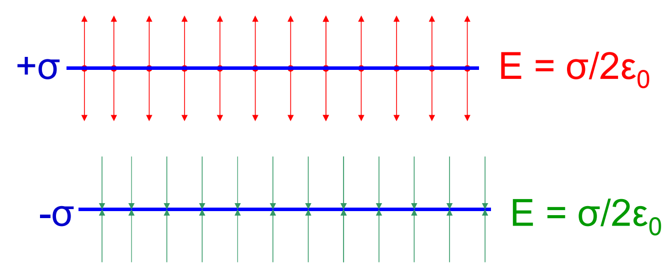
Nærme: $x \ll R$, dvs. $x/R \ll 1$:
$\boxed{(1+(R/x)^2)^{-1/2}} = x/R\,(1+(x/R)^2)^{-1/2} \approx x/R\,(1-\frac{1}{2}(x/R)^2) \approx x/R$

Eks 6: Nærme en flateladning



Eks 7: To parallelle plater

= Y&F: Ex. 21.12

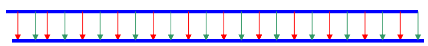


Eks 7: To nærme parallelle plater

(eller: uendelig store)

+σ

-σ



$E = \sigma/\varepsilon_0$

Resultat: E-felt kun mellom platene

Randeffekter for *ikke nærme* plater

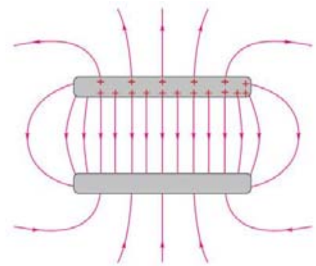
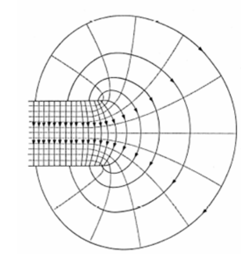
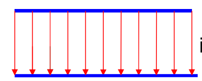


Fig. 22.21 a

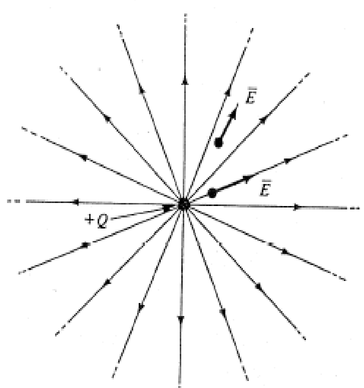


(mer detaljert)



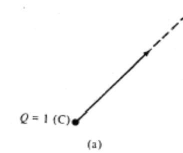
idealisert

Visualisering elektrisk felt:

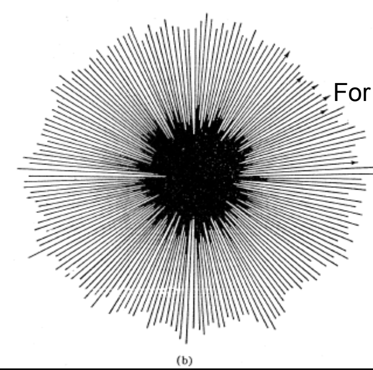


med feltlinjer

Velg et høvelig antall feltlinjer !

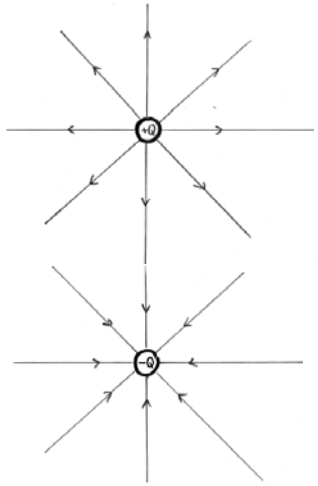


For få



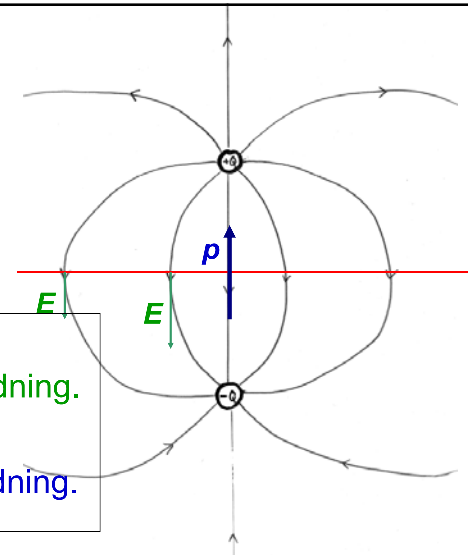
For mange

E-feltet kan
finnes ved
hjelp av
feltlinjer:



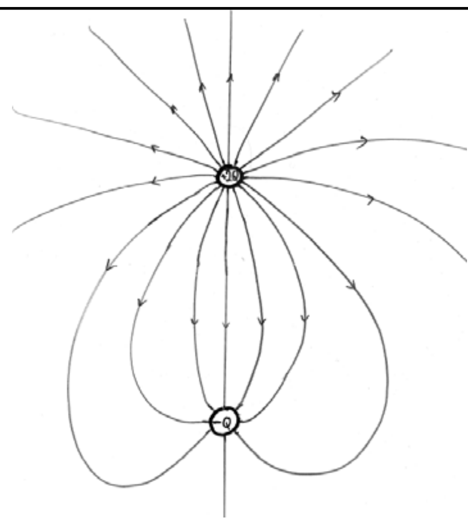
\+ = ?

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

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

Diverse eksempler, bl.a.: Elektrisk dipol med dipolmoment ***p*** = *q* ***a*** .

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

Ladningstetthet:

		Symbol:		Infinitesimal ladn:
Brukes kap 22	Rom-	ρ	(C/m^3)	$\mathrm{d}q = \rho\mathrm{d}V$
Brukt kap 21	Flate-	σ	(C/m^2)	$\mathrm{d}q = \sigma\mathrm{d}A$
	Linje-	λ	(C/m)	$\mathrm{d}q = \lambda\mathrm{d}\ell$

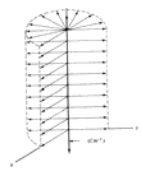
$\left.\right\} \vec{E} = k\int\frac{\mathrm{d}q}{r^2}\hat{r}$

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