



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).
- 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 26. jan
- Påmelding på nettsidene man 12.- man 19. jan.:
web.phys.ntnu.no/ovsys/lab/index.php?db=tfy4155_fy1003-lab-V2015

- 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: 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.
raν = 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/venninn 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.

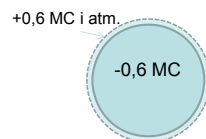
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad r = \sqrt{k \frac{q_1 q_2}{F}} = \sqrt{9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{1,0\text{C} \cdot 1,0\text{C}}{500\text{N}}}$$

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

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: $\{s\} = 3,0$
- $\text{m} =$ enhet (dimensjon): $[s] = \text{m}$
- 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) $[V] = \text{V}$
 - $C = 30 \text{ nF} = 30 \text{ nC/V}$
($C =$ symbol for kapasitans, $C =$ coulomb)

Dekadiske prefikser, mest vanlige:

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

Flere i Angell og Lian

Elektrisk ladning

Observasjoner:

1. Gnidning skaper elektrisitet: 700 f.Kr.
raν = 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

$$1e = 0,1602 \cdot 10^{-18} \text{ C}$$

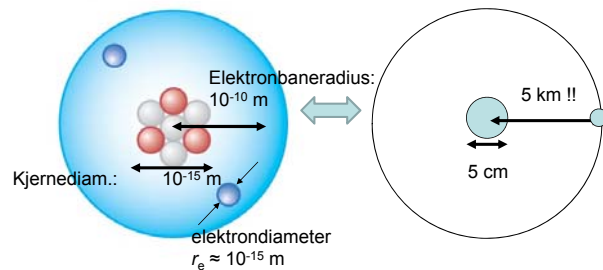
$$q = N \cdot e$$

N stort tall, eks: $1 \mu\text{C} = 6,25 \cdot 10^{12} \cdot e$

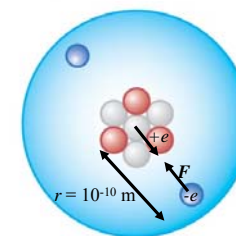
Størrelsesforhold:

Kjerne og elektron:

Daglige dimensjoner:



Kjerne og elektron:



Elektrisk kraft mellom kjerne og elektron:

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

Dette er 10^{36} x gravitasjonstiltrekning og 10^{20} ganger elektronets vekt ved 1g!

Stor kraft på elektronet!

Superposisjonsprinsippet

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

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

Elektrisk felt \mathbf{E} og feltlinjer

superposisjonsprinsippet
=> Integrasjonsmetoder

} I dag

- Dipoler

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

Def. elektrisk vektorfelt \mathbf{E} :
 $\mathbf{F} = q_0 \mathbf{E}(x,y,z)$

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

Kartesiske enhetsvektorer:
 $(\hat{i}, \hat{j}, \hat{k})$ eller $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ eller $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$

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

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

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

+0,6 MC i atm.
 $Q = -0,6 \text{ MC}$
 Kan ikke måle Q , men E kan måles.
 $E = -130 \text{ N/C}$
 $F = 130 \text{ N}$

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 : $\vec{E} = k \int_{\text{tot.ladn.}} \frac{dq}{r^2} \cdot \hat{r}$ (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. 21.10 (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: Y&F motsatt aksestystem x-y

Integrasjonsmetoder i fysikken:

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

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

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

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

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

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

Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley

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

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

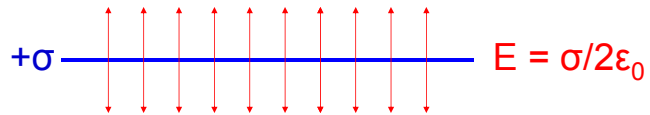
Grensetilfeller:

- $x \gg R$
 \Rightarrow skiva \approx punkt
- $x \ll R$
 $\Rightarrow E_x \approx \sigma/2\epsilon_0 (1-x/R) \approx \sigma/2\epsilon_0$

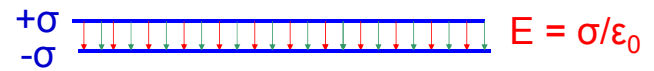
Langt unna: $x \gg R$, dvs. $R/x \ll 1$:
 $(1+(R/x)^2)^{-1/2} \approx 1 - \frac{1}{2} (R/x)^2$

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

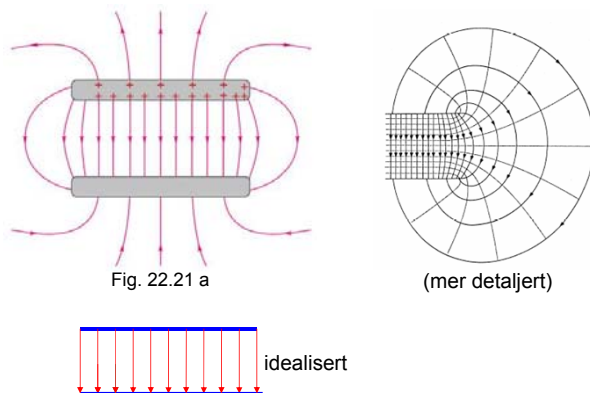


nærme
Eks 7: To parallelle plater
(eller: uendelig store)

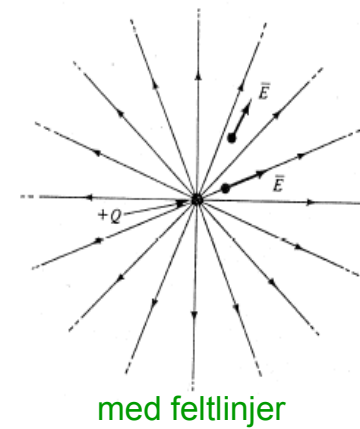


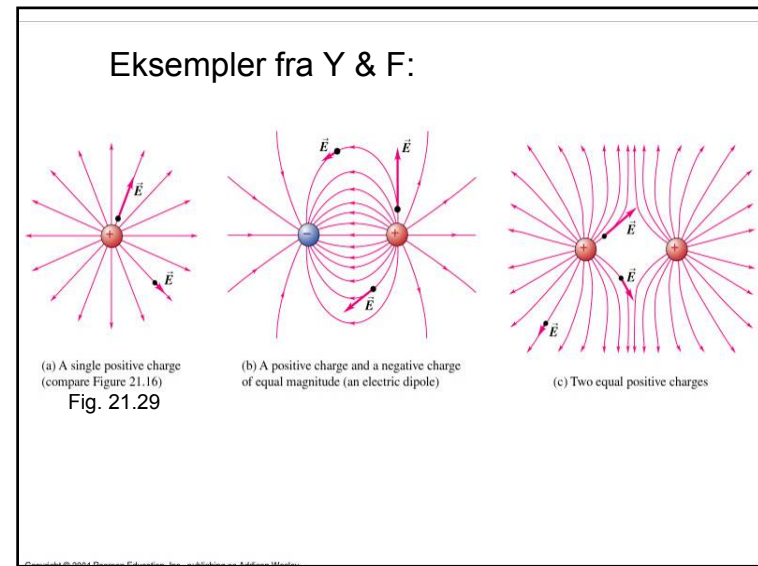
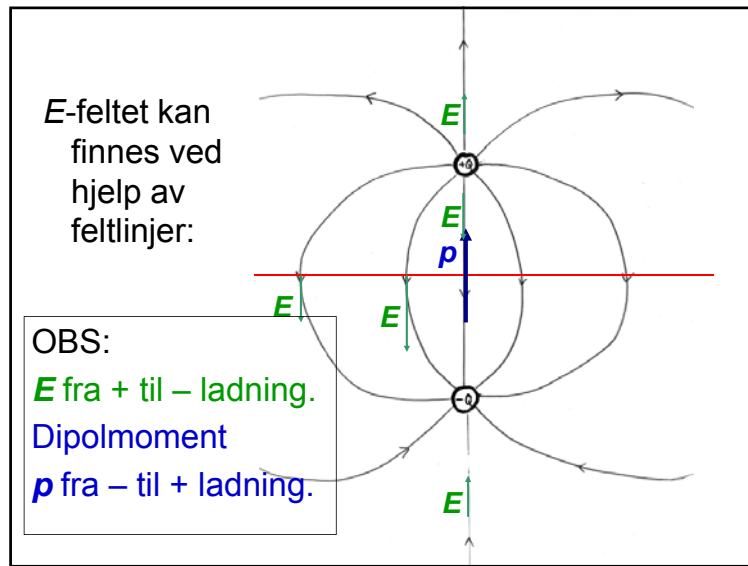
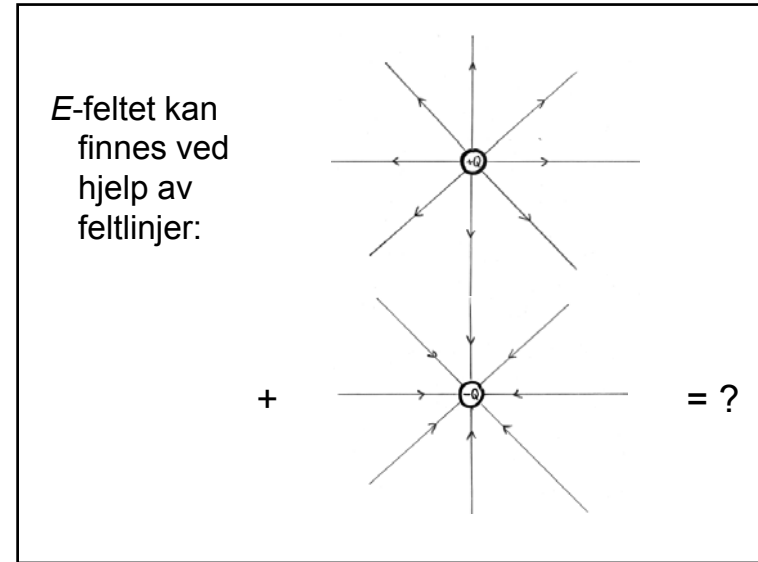
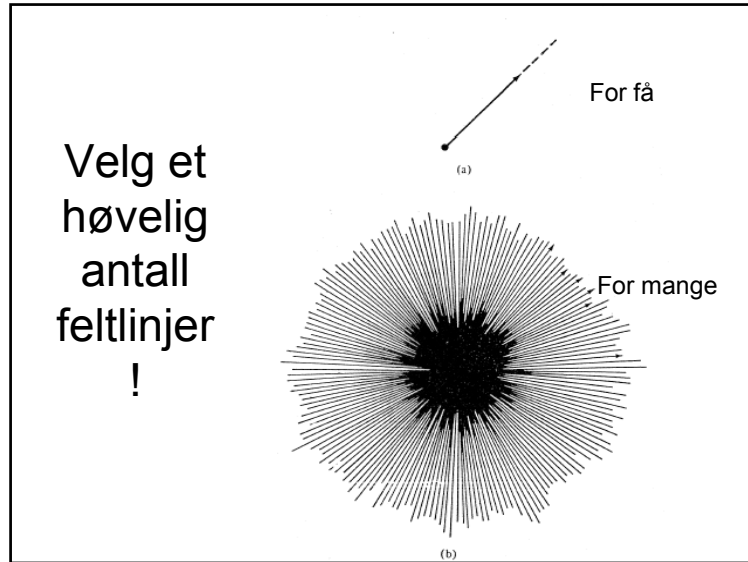
Resultat: E-felt kun mellom platene

Randeffekter for
ikke nærme plater



Visualisering elektrisk felt:





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

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

def punktladning

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

\mathbf{E} visualiseres ved **elektriske feltlinjer**, der \mathbf{E} er tangent til feltlinjene.

Ladningstetthet:

	Symbol:	Infinitesimal ladn:	}	$\vec{E} = k \int \frac{dq}{r^2} \hat{r}$
Brukes kap 22	Rom- ρ (C/m ³)	$dq = \rho dV$		
Brukt kap 21	Flate- σ (C/m ²)	$dq = \sigma dA$		
Brukt kap 21	Linje- λ (C/m)	$dq = \lambda d\ell$		

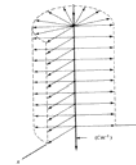
Kap. 21. Elektrisk ladning og felt

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

