



1. Forelesning i Fysikk

Elektriske krefter og fluks.

Hans Jakob Rivertz
IDI-avdeling-kalvskinnet
1. oktober 2019

Plan



Læringsmål

Krefter i naturen

Grunnleggende om ladning

Elektriske krefter / Couloumbs lov

Elektrisk felt

Utdeling av elektriske felt

Oversikt



Læringsmål

Krefter i naturen

Grunnleggende om ladning

Elektriske krefter / Couloumbs lov

Elektrisk felt

Utdeling av elektriske felt

Læringsmål



- Kjenne til grunnelegende egenskaper til elektrisk ladning
- Kjenne til Coulombs lov for elektriske krefter
- Kjenne definisjonen til et elektrisk felt
- Hva er en testladning?
- Vite hvordan elektrisk felt adderer.

Oversikt



Læringsmål

Krefter i naturen

Grunnleggende om ladning

Elektriske krefter / Couloumbs lov

Elektrisk felt

Utdeling av elektriske felt

Krefter i naturen



I naturen finnes 4 grunnleggende krefter.

- **Gravitasjon** Krefter som virker mellom masser.
- **Elektromagnetiske krefter** Krefter som virker mellom ladde partikler.
- **Svake kjernekrefter** Svake krefter som virker i kjernen til et atom.
- **Sterke kjernekrefter** Krefter mellom elementærpartiklene som utgjør kjernen til et atom.

Oversikt



Læringsmål

Krefter i naturen

Grunnleggende om ladning

Elektriske krefter / Couloumbs lov

Elektrisk felt

Utdeling av elektriske felt

Elektrisk Ladning

For 2600 år siden oppdaget Grekerne at om man gned en rav-klump (Gresk: $\eta\lambda\varepsilon\chi\tau\rho\sigma$) med ull så tiltrakket ravklumpen seg små papirusbiter (datidens “papir”). Nå vet vi at elektroner fra ullen rives løs og overføres til ravklumpen. Ravklumpen får netto overskudd av elektroner.



Bilde av en ravklump (Wikipedia).

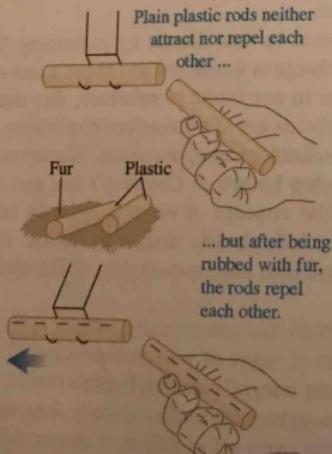
Moderne versjoner av grekernes eksperiment



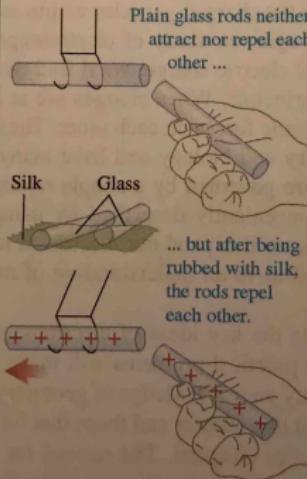
- Plast og pels kan erstatte rav og ull i det gamle greske eksperimentet. Om vi gnir en plasst stav med pels (ekte eller syntetisk) vil elektroner i pelsen overføres til plaststaven.
- Om vi gnir en glass stav med silke vil elektroner fra glass staven gå over til silken. Glass-staven vil derfor få netto underskudd av elektroner.

21.1 Experiments in electrostatics. (a) Negatively charged objects repel each other. (b) Positively charged objects repel each other. (c) Positively charged objects and negatively charged objects attract each other.

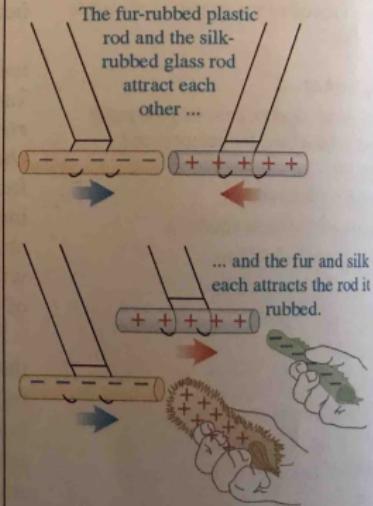
(a) Interaction between plastic rods rubbed on fur



(b) Interaction between glass rods rubbed on silk



(c) Interaction between objects with opposite charges



Figuren er hentet fra læreboka

Grunnleggende egenskaper til ladning.



- Ladning er en størrelse som ikke forsvinner eller oppstår.
- Elektroner har negativ ladning.
- Atomkjerner har positiv ladning. Atomkjerner består av et antall protoner med positiv ladning og et antall nøytroner uten ladning.
- Alle elektroner har den samme ladningen.
- Størrelsen til elektronets ladning og protonets ladning er den samme. (Elementærladningen $1e$)
- Ladninger med likt fortegn frastøter hverandre
- Ladninger med forskjellig fortegn tiltrekker hverandre

Atomer

- Atomer er kjemiens minste byggestener.
- Ordet “atom” kommer fra det greske ordet “Ατομος” som betyr udelelig.
- Et atom består av en kjerne som er positivt ladd.
- Kjernens ladning er $q = Ze$ der Z er antall protoner i kjernen.
- Et atom har også et antall nøytroner i kjernen. (Hydrogen har ingen nøytroner i kjernen). Nøytonene er nødvendig for å “lime” sammen flere protoner.
- Z kalles Atomnummeret til et atom.
- I elektrisk nøytralt atom vil summen av ladningen være null. (Dvs det er like mange elektroner i baner rundt kjernen som protoner i kjernen.)

$$Q = Ze - Ze = 0.$$

Ioner



- Et atom med negativ netto ladning kalles et **negativt ladet ion**.
- Et atom med positiv netto ladning kalles et **positivt ladet ion**.
- Det er ioner som står for elektrisk ledning i mange vesker.
- Ioner spiller en viktig rolle i mange kjemiske stoffer og i kjemien i sin alminnelighet.

Egenskaper til elektroner, nøytroner og protoner

Atomet er bygd opp av en tung kjerne som består av elektrisk nøytrale nøytroner og positivt ladde protoner. Elektronene “går i bane rundt” kjernen.

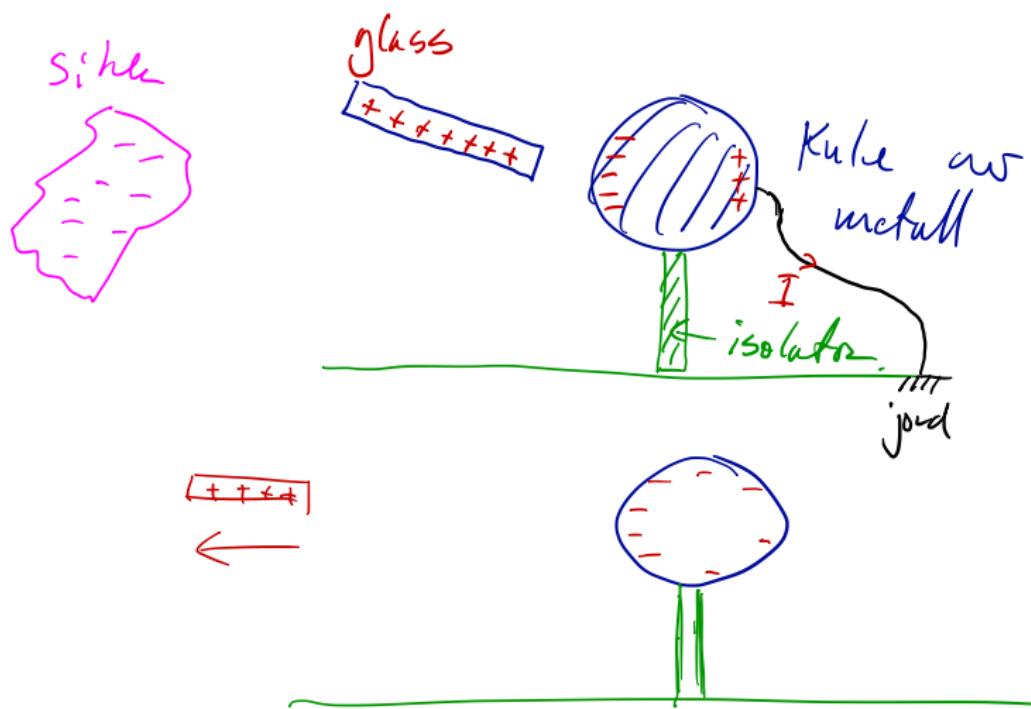
- Massen til elektronet er $m_e = 9.10938291 \cdot 10^{-31}$ kg
- Massen til protonet er $m_p = 1.67261777 \cdot 10^{-27}$ kg
- Massen til nøytronet er $m_n = 1.674927351 \cdot 10^{-27}$ kg
- Protoner og nøytroner er bygget opp av kvarker som har ladning $\frac{2}{3}e$ og $-\frac{1}{3}e$. Ingen har “sett” en kvark. De kan ikke eksistere alene.
 $p=[uud]$, $n=[udd]$.
- Elektroner er udelelige

Ledere og isolatorer.



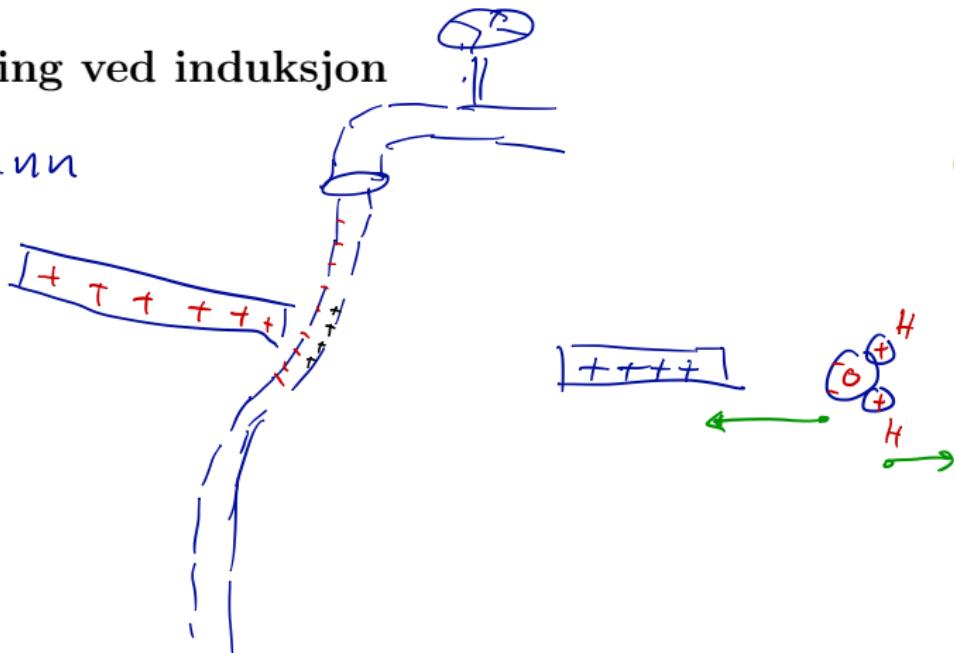
- I **ledere** kan ladde partikler (elektroner) bevege seg nesten helt fritt.
Eksempler på ledere er metaller.
- I **isolatorer** kan ladde vil ladde partikler nesten ikke bevege seg eller bevege seg svært tregt.
 - Keramiske stoffer er eksempler på isolatorer.
 - Rent vann er også en isolator.
 - Glass og plast er som regel gode isolatorer.
- Materialer i grenselandet mellom ledere og isolatorer kalles **halvledere**.

Oppladning ved induksjon



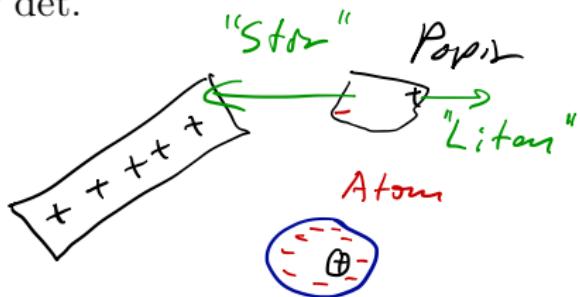
Oppladning ved induksjon

Vann

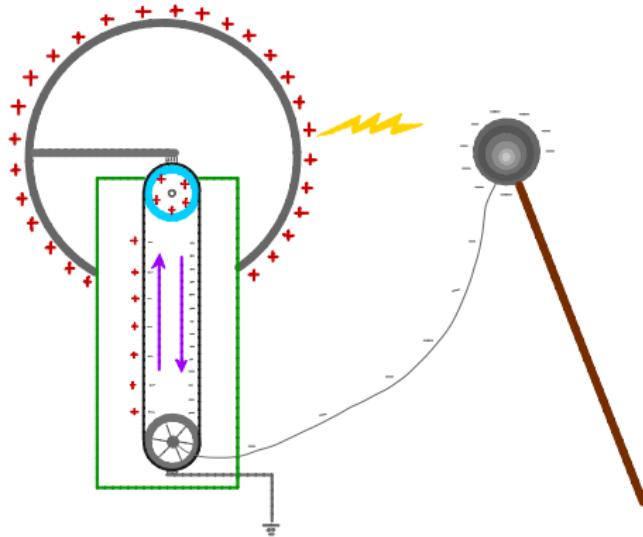


Elektriske krefter på uladede objekter

- En elektrisk ladning tiltrekker motsatt laddede partikler (positivt/negativt) og frastøter partikler med samme ladning (for eksempel positiv/positiv.)
- Elektrisk kraft avtar med avstanden.
- Derfor trekker en ladning mer på et nøytralt objekt enn de frastøter det.



Van de Graaff generator



En Van de Graaff generator kan produsere spenninger fra noen kilovolt til flere megavolt.

Oversikt



Læringsmål

Krefter i naturen

Grunnleggende om ladning

Elektriske krefter / Couloumbs lov

Elektrisk felt

Utdeling av elektriske felt

Couloumbs lov



En **punktladning** er en ladning der all ladningen er samlet i ett punkt.

Lov (Couloumbs lov)

Størrelsen til de elektriske kreftene mellom to punkt-ladninger er proposjonal med produktet av ladningene og omvend proposjonal med kvadratet av avstanden mellom ladningene.

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

Eksperimentelt viser $\log F \propto \log r + \log q_1$,
 $\log F \propto -\log r + \log q_2$
 $\log F \propto -\log r - 2 \log V$

Fundamentale elektriske konstanter.

Proposjonalitetskonstanten i Couloumbs lov er lik

$$k = 8.9877551787 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

Den er definert ved

$$k = (10^7 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{C}^2)c^2$$

der $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ er lyshastigheten i vakum.

Vi skriver også $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ Da har vi

$$\textcolor{red}{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}.$$



størrelse.

$4\pi r^2 =$
Arealet av
lauke med
radius r

Elektriske krefter på vektorform

Addisjon av krefter.



Krefter i naturen har alltid en retning og en størrelse. Vi kan skrive krefter som en vektor.

$$\mathbf{F} = [F_1, F_2, F_3].$$

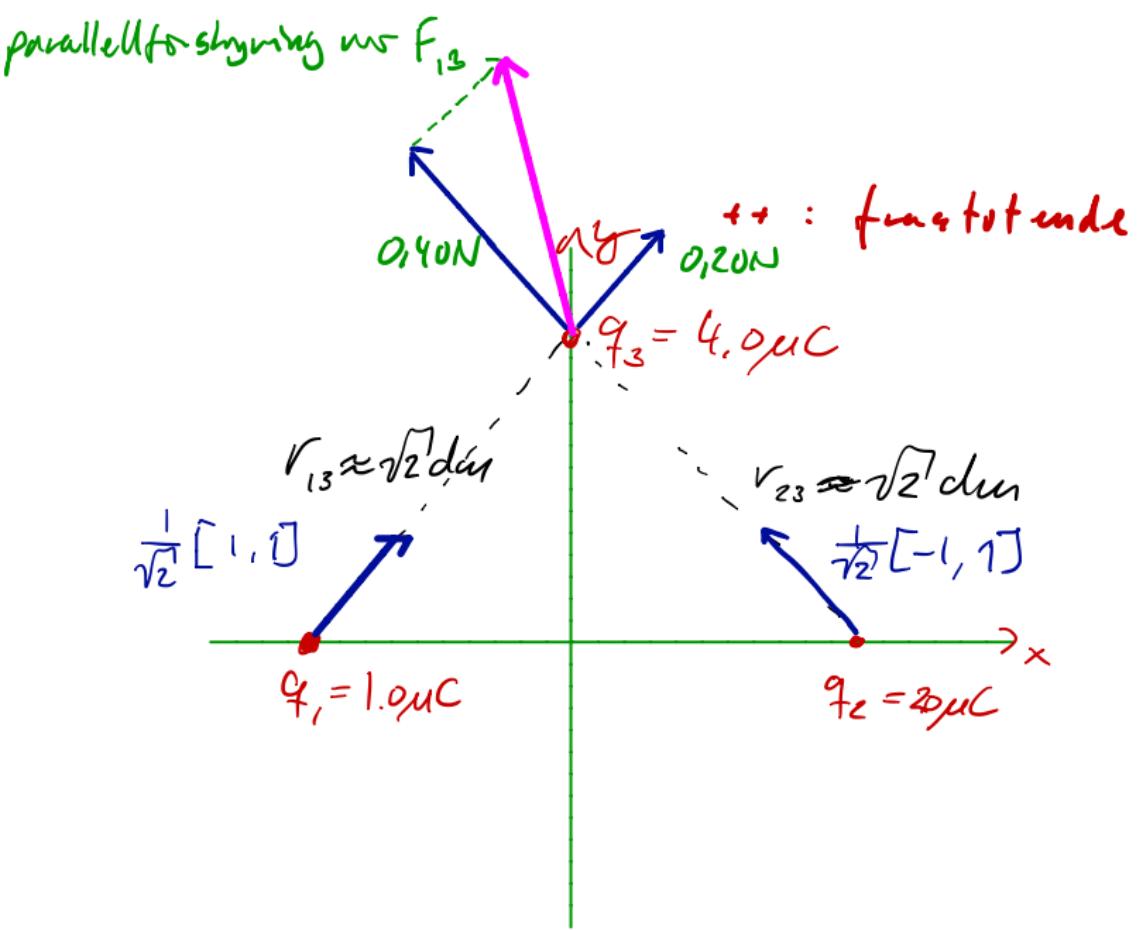
To krefter kan bare legges sammen ved å addere vektorene.

Eksempel addering av krefter



- En partikkel med ladningen $q_1 = 1.0 \mu\text{C}$ befinner seg i punktet $x=-1.0\text{dm}$ langs x-aksen.
- En annen partikkel med ladningen $q_2 = 2.0 \mu\text{C}$ befinner seg i punktet $x=1.0\text{dm}$ langs x-aksen.
- En tredje partikkel med ladningen $q_3 = 4.0 \mu\text{C}$ befinner seg i punktet $y=1.0\text{dm}$ langs y-aksen.

Finn kraften på q_3 fra de to andre ladningene.



Løsning

Avstanden mellom q_1 og q_3 er $r = \sqrt{2}$ dm.

Avstanden mellom q_2 og q_3 er også $r = \sqrt{2}$ dm.

Kraften fra q_1 på q_3

$$F_{1 \text{ på } 3} = k \frac{q_1 q_3}{r^2} = 10^9 [\text{Nm}^2/\text{C}^2] \frac{4.0 \cdot 10^{-12} \text{C}^2}{0.02 \text{m}^2} = 0.20 \text{ N}$$

$$F_{2 \text{ på } 3} = k \frac{q_1 q_3}{r^2} = 10^9 [\text{Nm}^2/\text{C}^2] \frac{8.0 \cdot 10^{-12} \text{C}^2}{0.02 \text{m}^2} = 0.40 \text{ N}$$

Begge kreftene har en retning og virker frastøtende.

$$\mathbf{F}_{1 \text{ på } 3} = \left[\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right] 0.20 \text{ N}$$

$$\mathbf{F}_{2 \text{ på } 3} = \left[\frac{-\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right] 0.40 \text{ N}$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{1 \text{ på } 3} + \mathbf{F}_{2 \text{ på } 3} = \sqrt{2} [-1, 3] 0.10 \text{ N} \approx 0.45 \text{ N} \underline{\underline{[-0.32, 0.95]}}$$

Kraftens størrelse er $F \approx 0.45 \text{ N}$,
retningen er $[-0.32, 0.95]$.



Oversikt



Læringsmål

Krefter i naturen

Grunnleggende om ladning

Elektriske krefter / Couloumbs lov

Elektrisk felt

Utdeling av elektriske felt

Elektrisk felt

- Ladde partikler virker på hverandre på avstand. Hvordan skjer det?
- En måte å tenke på avstandskrefter er at en ladd partikkell q_1 i et punkt A endrer egenskapene til rommet i alle punkter.
- Gitt at en partikkell q_2 befinner seg i et punkt B . Kraften \mathbf{F} fra q_1 på q_2 vil være proposjonal med både q_1 og q_2 , omvendt proposjonal med avstanden $d(A, B)$ og ha en retning langs linjen AB .

kundatet av

$$F_{q_1 \text{ på } q_2} = q_2 \left(k \frac{q_1}{d(A, B)^3} \overrightarrow{AB} \right) = q_2 \left(k \frac{q_1}{d(A, B)^2} \cdot \frac{\overrightarrow{AB}}{d(A, B)} \right)$$

- Vi har i formelen over skilt ut q_2 .

Resten kalles **det elektriskefeltet** til q_1 i punktet B .

$$\mathbf{E} = k \frac{q_1}{d(A, B)^3} \overrightarrow{AB}$$

$$= \vec{E}(x, y, z) \quad \text{der} \quad B = (x, y, z)$$

$$\vec{F}_{q_1 \text{ på } q_2} = q_2 \cdot \vec{E}$$

Elektrisk felt



- Gitt en ladning q i punktet A
- Det elektriskefeltet til en ladning q målt i punktet B består av en størrelse

$$E = k \frac{q}{d(A, B)^2}$$

og en retning

$$\hat{\mathbf{r}} = \frac{\overrightarrow{AB}}{d(A, B)}$$

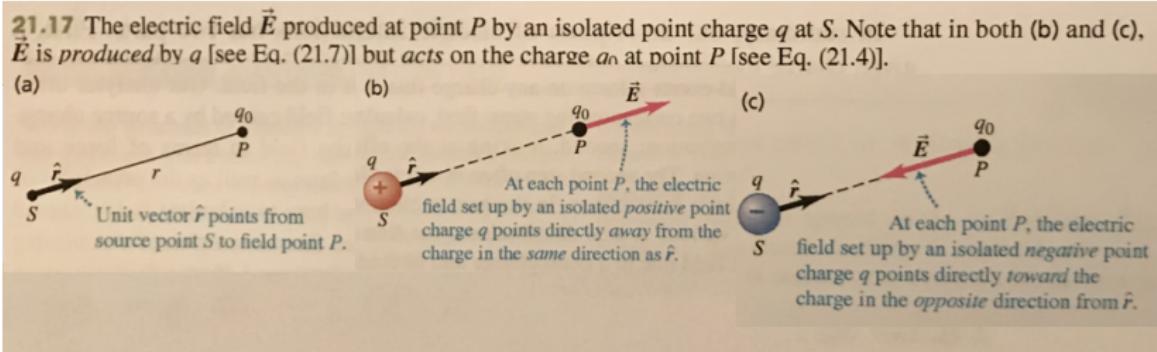
Det er også vanlig å bruke $k = 1/(4\pi\epsilon_0)$.

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Elektrisk felt

Læreboka viser svært godt hvordan elektriske felt rundt en punktladning fungerer:

Her er figur 21.17:

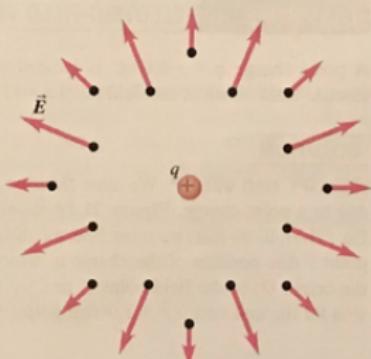


Elektriske felt

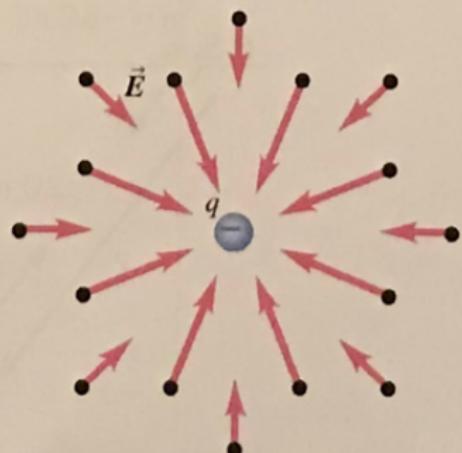
Her er figur 21.17 fra læreboka:

21.18 A point charge q produces an electric field \vec{E} at all points in space. The field strength decreases with increasing distance.

(a) The field produced by a positive point charge points *away from* the charge.



(b) The field produced by a negative point charge points *toward* the charge.



Elektrisk felt



Elektrisk felt adderer som vektorer akkurat som for elektriske krefter.
Når mange ladninger lager et felt vil feltet fra de være definert som

$$\mathbf{E}(x, y, z) = \mathbf{F}/q_0$$

der \mathbf{F} er kreftene på en tenkt ladd partikkel q_0 plassert i punktet (x, y, z) .

NB! Merk at ikke q_0 ha noe å si for feltet hvis den er mye mindre enn de andre ladningene.

Uniformt elektrisk felt



Et **uniformt elektrisk felt** er et felt som har den samme verdi og retningen i et romlig område.

Feltet mellom to plater med ladning $Q > 0$ på den ene platen og $-Q$ på den andre platen har et uniformt felt mellom seg.

- Retningen til feltet går fra den ~~positive~~ladde platen til den ~~negative~~ladde platen.
- Størrelsen til feltet er

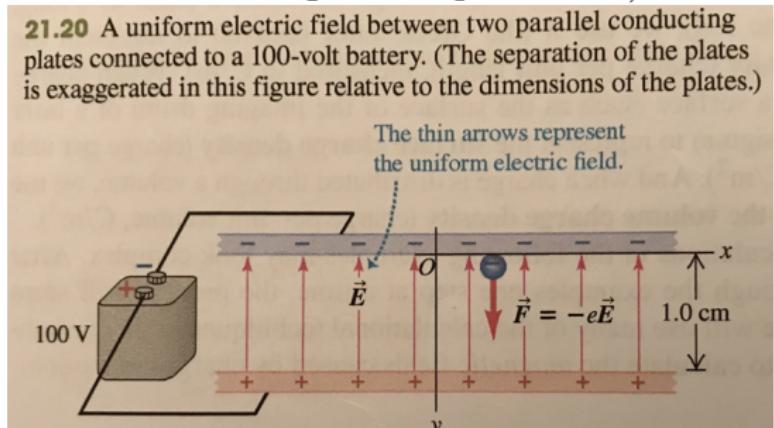
$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot A}$$

Eksempel på uniformt felt

To metall-plater med avstand 10 cm er koblet til polene til et 100 volt batteri.

Feltet mellom platene er da $E = V/d = 10000 \text{ N/C}$. (newton per couloumb men også volt per meter).

21.20 A uniform electric field between two parallel conducting plates connected to a 100-volt battery. (The separation of the plates is exaggerated in this figure relative to the dimensions of the plates.)



Eksempel på uniformt felt fortsettelse



Et elektron slippes løs fra den negativt ladde platen.

- Finn akselerasjonen til elektronet. $q = -e = -1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ og
 $m = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg.}$
- Hvilken hastighet og kinetisk energi har elektronet når det treffer den positive platen.
- Hvor lang tid bruker elektronet på denne reisen.

Eksempel på uniformt felt fortsettelse

a) Vi trenger

- newtons andre lov $F = ma$
- og formelen for kraft på ladning q en i et elektrisk felt $F = qE$.

$$E = 10000 \text{ N/C}$$

$$\begin{aligned} F = qE &= -1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^4 \text{ N/C} \\ &= \underline{-1,6 \cdot 10^{-15} \text{ N}} \end{aligned}$$

$$a = \frac{F}{m} = \dots$$

Eksempel på uniformt felt fortsettelse

b) Vi trenger

- Formel for konstant aksellerasjon $v_y^2 = v_{0y}^2 + 2a_y(y - y_0)$
- og formelen for kinetisk energi $K = \frac{1}{2}mv^2$

Eksempel på uniformt felt fortsettelse

c) Vi trenger

- Formel for konstant aksellerasjon $v_y = v_0 + a_y t$
- som løst for t gir $t = (v_y - v_{0y})/a_y$



Oversikt

Læringsmål

Krefter i naturen

Grunnleggende om ladning

Elektriske krefter / Couloumbs lov

Elektrisk felt

Utdeling av elektriske felt

utsattes for andre
ganger.

Summen av feltene fra flere ladninger.

Kreftene fra flere ladninger på en ladning q_0 adderes som vektorer.

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4 + \dots$$

derfor adderes også feltene

$$\mathbf{E} = \mathbf{F}/q_0 = \mathbf{F}_1/q_0 + \mathbf{F}_2/q_0 + \mathbf{F}_3/q_0 + \mathbf{F}_4/q_0 + \dots$$

Altså:

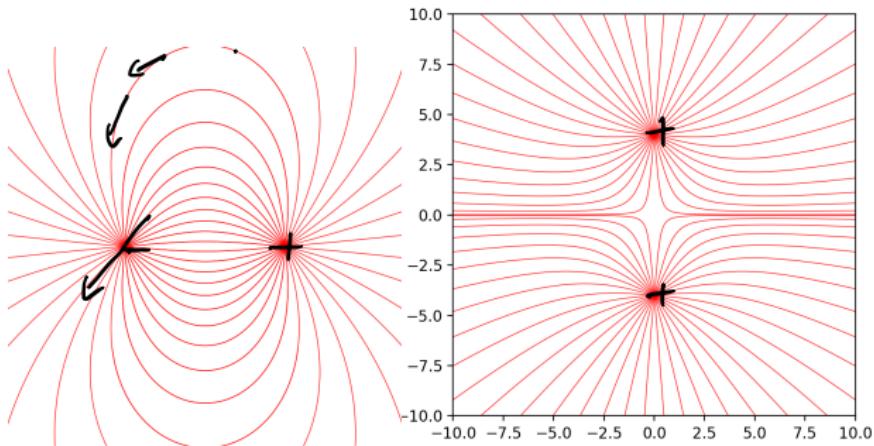
$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \mathbf{E}_3 + \mathbf{E}_4 + \dots$$

NB! Når ladningen blir svært mange brukes integraler for å beregne felter. Dette behandles på side 726 til 728 og er ikke pensum.

Elektriske feltlinjer



En **feltlinje** er kurve som starter i en ladning og som følger retningen til feltet i hvert punkt på kurven.



Elektriske dipoler

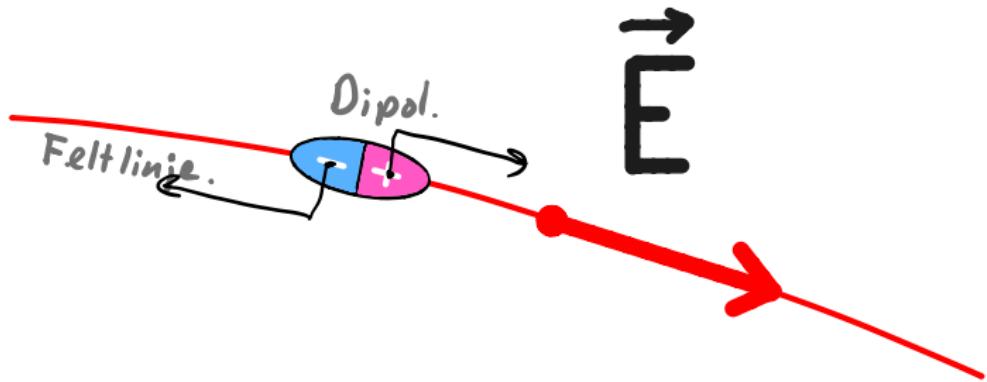


- Elektriske dipoler oppfører seg som en kompassnål og viser retningen til de elektriske feltlinjene. (Må ikke forveksles med magnetisk kompass.)
- En **elektrisk dipol** består av en negativ ladning $-q$ og en positiv ladning q med en gitt avstand d mellom de.
- Det **elektriske dipol momentet** til en dipol er gitt ved

$$\mathbf{p} = q\mathbf{d}.$$

der \mathbf{d} er vektoren som peker fra den negative ladningen $-q$ til den positive ladningen q .

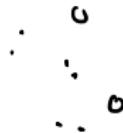
Elektriske dipoler



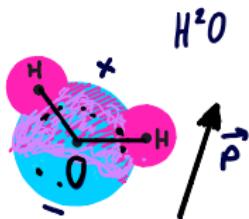
Vann molekyler er elektriske dipoler

$$\bar{z} = 8$$

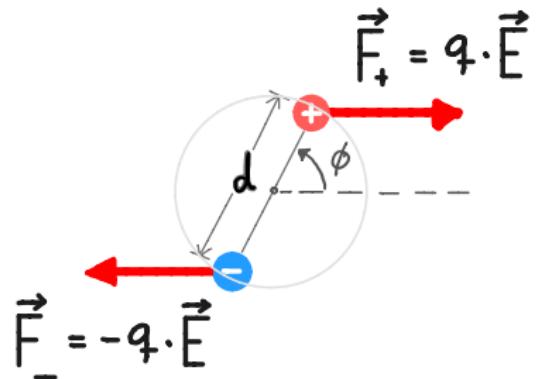
Oxygen



2 - innecke stoff
6 - gittere stoff



Energien til Elektriske dipoler



Den potensielle energien til en dipol som vist i figuren er

$$U(\phi) = -pE \cos \phi$$

Eller med prikkprodukt: $U = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$



