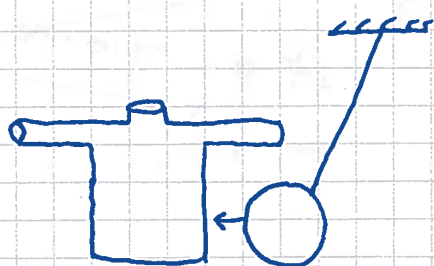


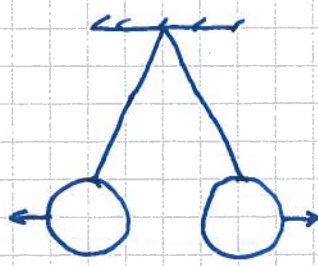
- Elektrisitet og magnetisme (17, 22, 23, 24)
- Elektrisk energiproduksjon (24)
- Lys og bølger (14, 15, 16)
- Termisk stråling og drivhuseffekt (13)

ELEKTROSTATIKK (17, 22)

Ballongforsøk viser at vi har to typer ladning:



Tiltrekning

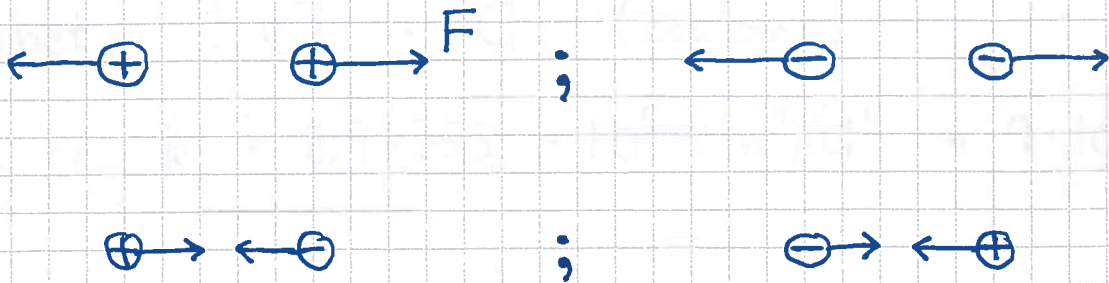


Frastøtning

⇒ Like ladninger frastøter hverandre
Ulike — " — tiltrekker — " —

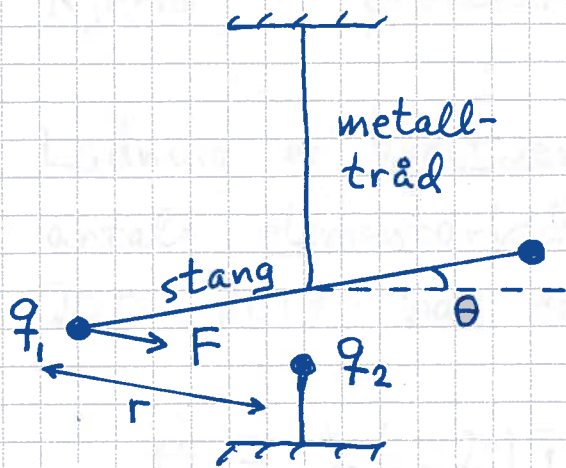
⇒ Naturlig å snakke om positiv og negativ Ladning.

(2)



Coulombs lov

Exp. ca 1785 :



Metalltråden motsetter seg vridning; dreid vinkel θ gir grunnlag for å bestemme kraften F

Coulomb fant :

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

med $\vec{F}$ rettet langs forbindelseslinjen mellom q_1 og q_2

Cavendish (1798) målte tyngdekrefter (gravitasjon) mellom blykuler på samme måte.

Newtons gravitasjonslov :

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

med $G \approx 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$

Enhet: $[q] = C$ (coulomb)

(3)

Da er $k_e = 8.98755... \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \approx 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Materie og ladning

Materie = atomer

Atom = kjerne + elektroner

Kjerne = protoner + nøytroner = kjernepartikler

Ladning er kvantisert: Opptrer alltid i et helt antall elementærladninger e , som fra og med 20.05. 2019 har den eksakte verdien

$$e \equiv 1.602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Robert Millikan gjorde exp. med små, ladde oljedråper 1909-1913 og påviste at dråpene alltid hadde ladning $q = \pm N \cdot e$ med heltallig N . Fikk nobelprisen i fysikk for dette i 1923.

Partikkel	Symbol	Ladning	Masse
Elektron	e, e^-	$-e$	$m_e \approx 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Proton	p	$+e$	$m_p \approx 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Nøytron	n	0	$m_n \approx 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Foton	γ	0	$m_\gamma = 0$

Bohrs klassiske atommodell (mer i NAG014):

(4)

Elektroner i sirkelbaner rundt en svært liten kjerne.

Atommassen $\approx$ Kjernens masse (siden m_p og $m_n \gg m_e$)

Nøytralt atom med atomnummer Z :

Z protoner (og som regel ca Z nøytroner) i kjernen

Z elektroner "omkring"

$$\Rightarrow Q = Z \cdot e - Z \cdot e = 0$$

Ioner: Atomer og molekyler med netto ladning

Eks: O^{2-} = oksygenatom med $q = -2e$

O_2^- = oksygenmolekyl med $q = -e$

Ladningsbevarelse: Netto ladning i et lukket system er alltid bevart (dvs konstant).

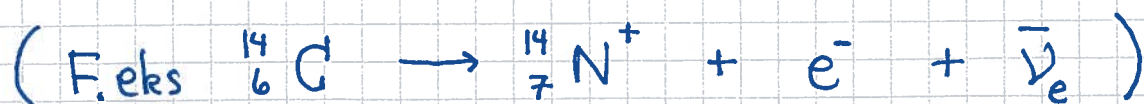
Men ladde partikler kan oppstå spontant!

Eks: β^- decay

↙ antineutrino ($q=0$)



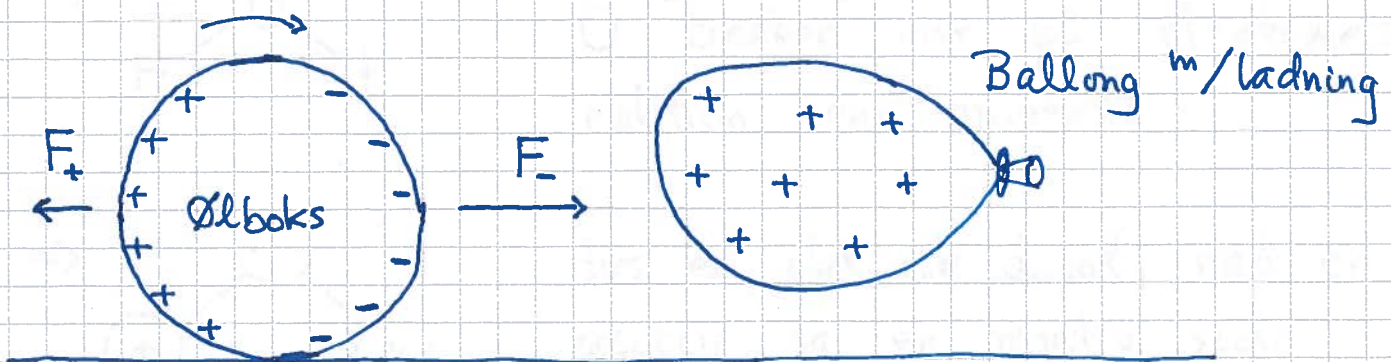
Ladning: $0 \rightarrow e - e + 0 = 0$; OK



Metaller (Ledere) og isolatorer

Metaller har frie, "mobile" elektroner, typisk ett eller to pr atom. Disse vil flytte seg hvis de påvirkes av en ytre elektrisk kraft.

Eks:



- Ballong med (f.eks.) pos. ladd. trekker frie elektroner i ølboksen til seg.
- Ølboksen får overskudd av elektroner på høyre side, og dermed tilsvarende underskudd på venstre side.
- Netto tiltrekkende kraft ($F_- > F_+$) pga kortere avstand fra ballongen til negativt ladd side.

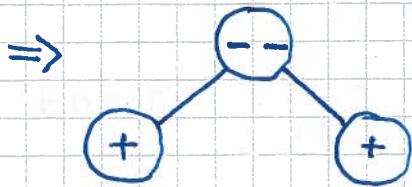
⑥

Isolatorer har ingen (eller svært få!) frie elektroner. Men hvert molekyl i isolatoren kan ha en "skjev" ladningsfordeling, slik at molekylet "orienterer seg" / rettes inn av en elektrisk kraft.

Eks: Vann og gnidd ballong

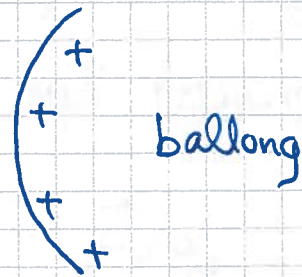
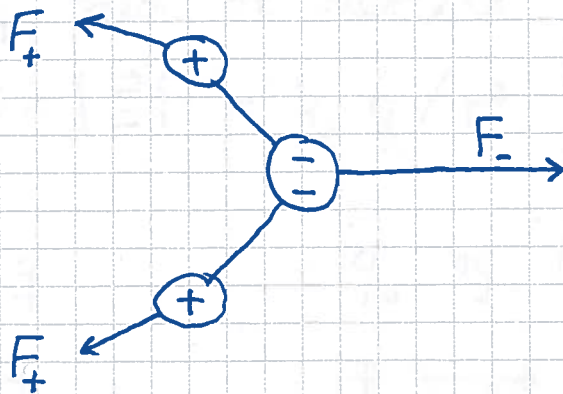


O "trekker" mer på H-atomets elektron enn omvendt



dvs en elektrisk dipol, med en positiv og en negativ side

Med ytre elektrisk kraft fra gnidd ~~g~~ ballong:

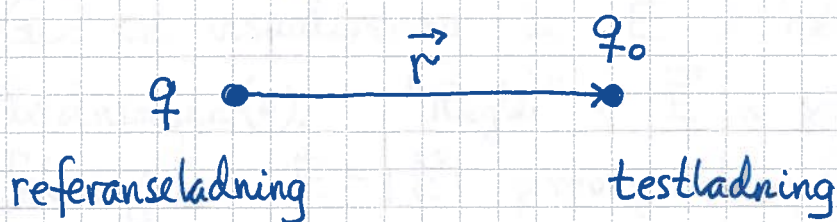


⇒ Netto tiltrekkende kraft, pga kortere avstand fra ballongen til molekylets negativt ladde side

Mange slike dipoler i en vannstråle, som tydelig tiltrekkes av ballongen.

Samme effekt med f. eks. papirbiter.

Elektrisk felt



Kraft på q_0 fra q : $F = k_e \frac{qq_0}{r^2}$

Vi definerer nå elektrisk felt $\vec{E}$ som el.kraft $\vec{F}$ pr ladningsenhet:

$$\vec{E} = \vec{F}/q_0 ; \quad E = \frac{F}{q_0} = k_e \frac{q}{r^2}$$

Enhet: $[E] = N/C$

Siden uttrykket for E inneholder bare ref.ladn. q , og avstanden r fra denne, kan vi si at ladn. q omgir seg med et elektrisk felt $\vec{E}$, med feltstyrke

$E = |\vec{E}| = k_e q/r^2$. Hva med retningen?

q	q_0 og $\vec{F}$	$\vec{F}/q_0$
+	+ $\longrightarrow$	$\longrightarrow$
+	$\longleftarrow$ -	$\longrightarrow$
-	$\longleftarrow$ +	$\longleftarrow$
-	- $\longrightarrow$	$\longleftarrow$

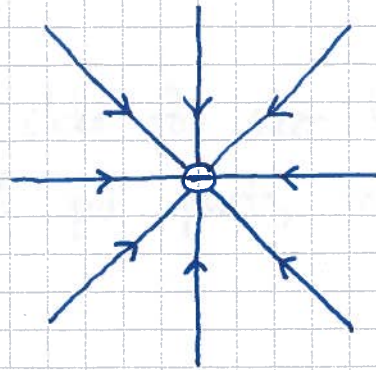
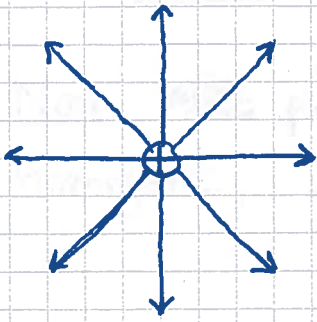
$\Rightarrow$ $\vec{E}$ radielt bort fra positiv ladning
 $\vec{E}$ —||— inn mot negativ —||—

Feltlinjer for $\vec{E}$

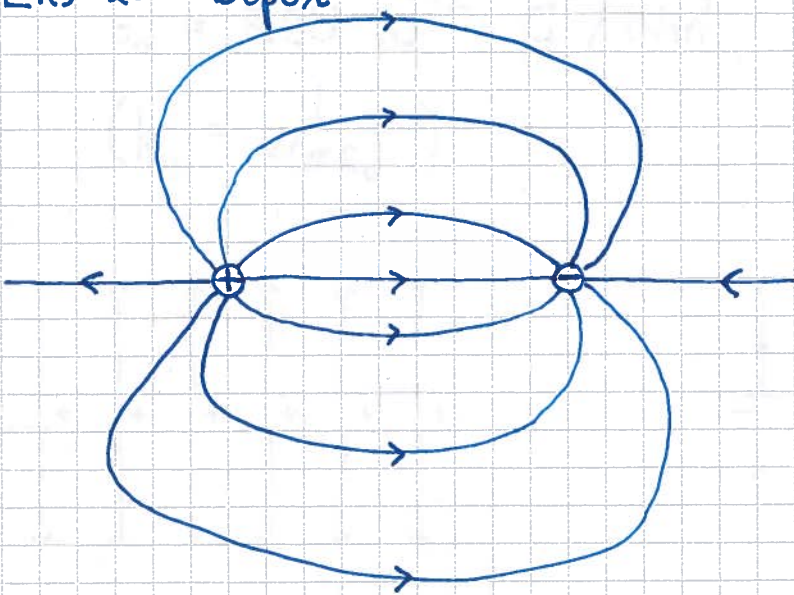
8

Gir en visualisering av $\vec{E}$ i hele området omkring ladningen(e). "Regler": $\vec{E}$ i samme retning som feltlinjene. $E = |\vec{E}|$ proporsjonal med tettheten av feltlinjer.

Eks 1: Punktladning



Eks 2: Dipol

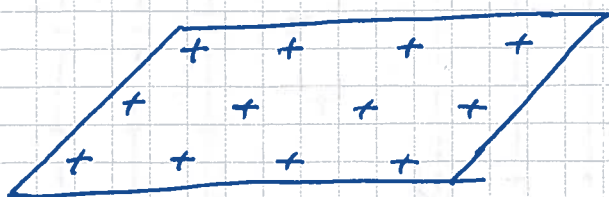


Vi ser at feltlinjene starter på pos. ladn.
og ender på neg. ladn.

Homogent (Uniformt) elektrisk felt

9

Kan lage homogent elektrisk felt med stort og jevnt ladet plate:



Areal A

Ladning Q

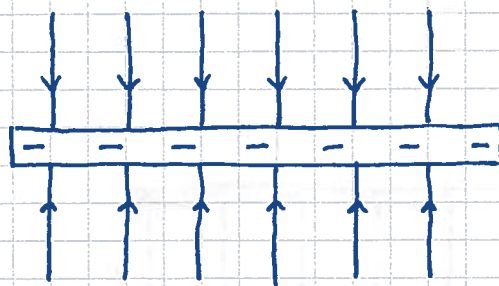
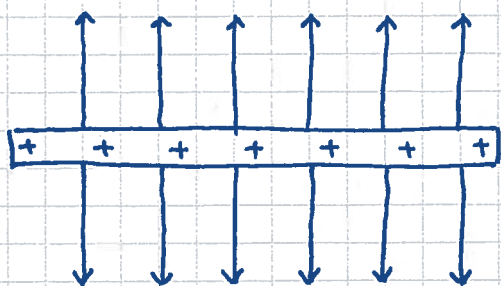
Nær ~~plata~~ plata (og ikke for nær kanten) er $\vec{E}$ homogent, og vinkelrett på plata, med feltstyrke

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

der $\sigma = Q/A =$ platas ladning pr flateenhet

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2 \quad (\text{en naturkonstant})$$

$$(k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0})$$



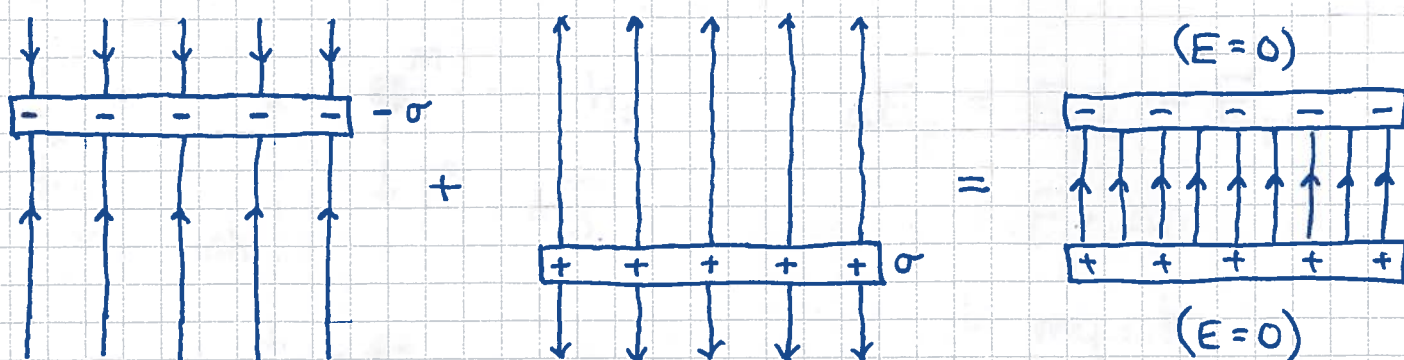
Eks: Med $A = 10 \text{ cm}^2$ og $Q = 2.5 \mu\text{C}$ blir

$$E = (2.5 \cdot 10^{-6} \text{ C} / 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) / (2 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2)$$

$$= \underline{1.4 \cdot 10^8 \text{ N/C}}$$

(10)

Med to motsatt ladde plater får vi et uniformt felt med feltstyrke σ/ϵ_0 mellom platene, og $E=0$ utenfor:

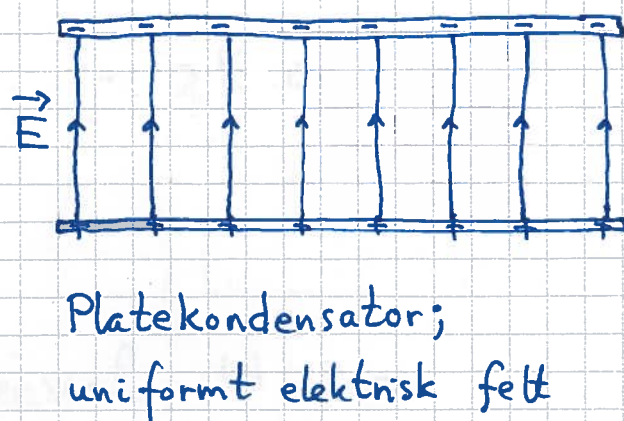
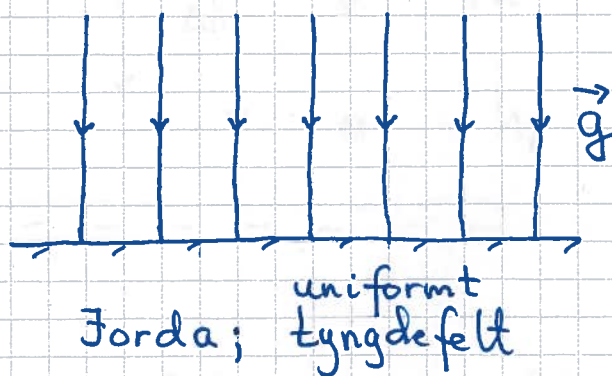


Helt analogt kan vi si at en tyngdekraft pr masseenhet tilsvarer et tyngdefelt (gravitasjonsfelt), f.eks. ved jordas overflate:

$$\vec{F} = G \frac{M}{R^2} \cdot m = g \cdot m$$



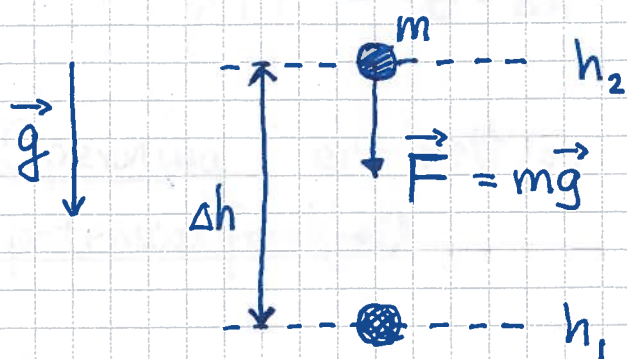
$$\Rightarrow g = \frac{F}{m} = G \frac{M}{R^2} \approx 9.81 \text{ m/s}^2$$



En masse m vil få konstant akselerasjon $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{m\vec{g}}{m} = \vec{g}$ i det uniforme tyngdefeltet. En partikkel med ladning q og masse m får konst. aks. $\vec{a} = \vec{F}/m = q\vec{E}/m$ i det uniforme elektriske feltet $\vec{E}$.

Potensiell energi og elektrisk potensial. Spenning

Pot. energi i tyngdefeltet (NAG011):

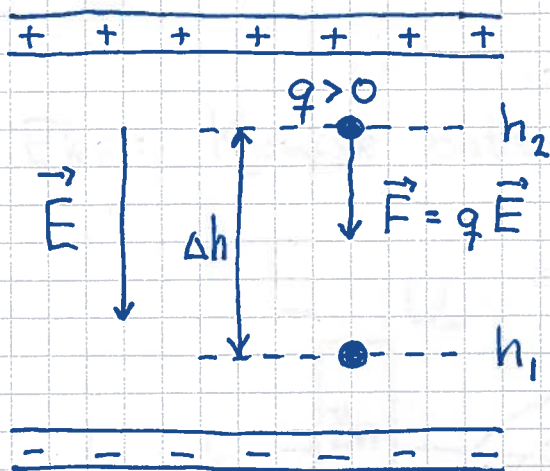


$$\begin{aligned}\Delta E_p &= E_{p2} - E_{p1} \\ &= F \cdot \Delta h \\ &= mg \Delta h\end{aligned}$$

$\vec{F}$ har retning mot lavere pot. energi E_p

Kun endringer / forskjeller i E_p har fysisk betydning.

Pot. energi for ladning q i homogent elektrisk felt $\vec{E}$:



$$\begin{aligned}\Delta E_p &= E_{p2} - E_{p1} \\ &= F \cdot \Delta h \\ &= qE \Delta h\end{aligned}$$

Vi definerer nå elektrisk potensial U som pot. energi E_p pr. ladningsenhet:

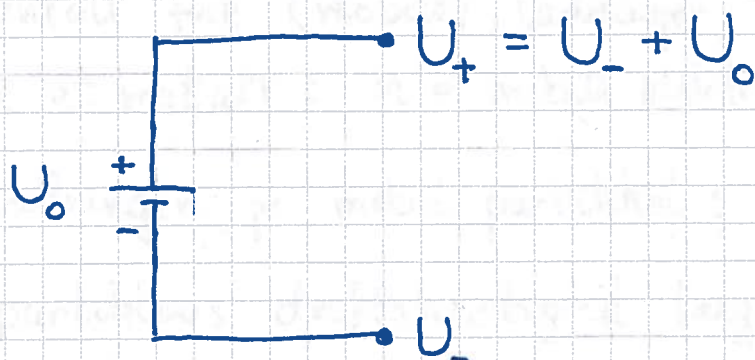
$$\Delta U = \frac{\Delta E_p}{q} ; \text{ enhet } [U] = \frac{J}{C} = V \text{ (volt)}$$

Med homogent el. felt $\vec{E}$ blir potensialforskjellen mellom posisjonene h_2 og h_1 ganske enkelt

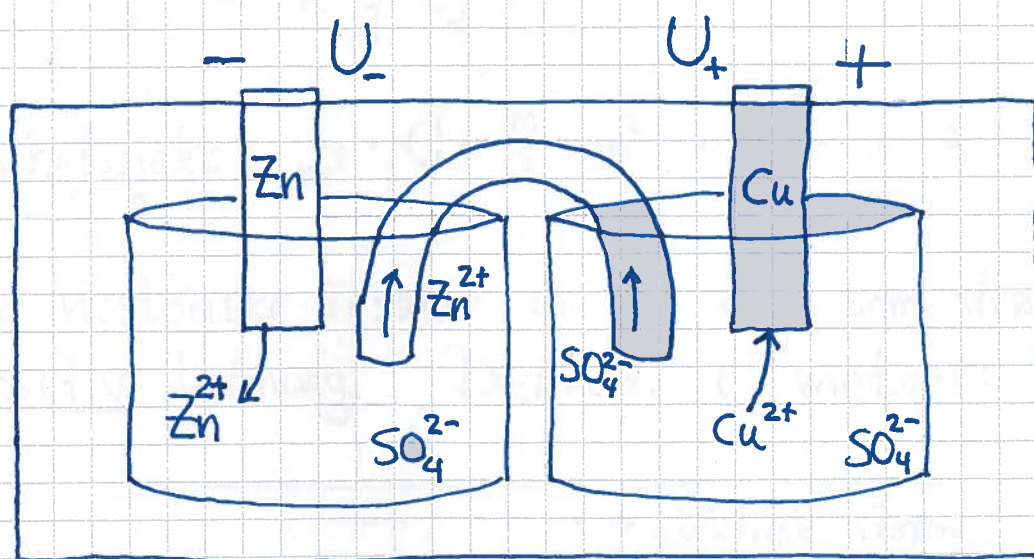
$$\Delta U = E \cdot \Delta h \quad ; \quad \Delta h = h_2 - h_1$$

Spennning er rett og slett et enklere navn på potensialforskjell.

Likespenningskilde: "Innretning" som sørger for en konstant spenning U_0 mellom polene.



Eks: Kjemisk batteri [Elektrokjemi i NA6013]



Svakere bindinger i metallisk Zn enn i metallisk Cu er her hovedgrunnen til potensialforskjellen $U_0 = U_+ - U_-$

Elektrisk strøm

Vi definerer strøm I som mengden ladning som passerer et tverrsnitt av en leder pr tidsenhet:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Enhet: $[I] = \text{C/s} = \text{A}$ (ampere)

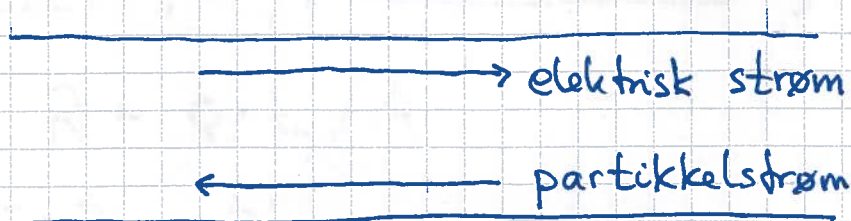
Strømstyrken må avhenge av (og øke proporsjonalt med)

- antall frie (mobile) ladninger pr volumenhet i ledere; i et metall: n = mobile elektroner pr volumenhet
- ladningen pr mobil partikkel; $q = -e$ i metall
- partiklenes driftshastighet langs ledere v_d
- lederens tverrsnitt A

$$\Rightarrow I = n q v_d A$$

$$\text{Enhetssjekk: } \frac{1}{\text{m}^3} \cdot \text{C} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{m}^2 = \frac{\text{C}}{\text{s}} = \text{A} ; \text{ OK!}$$

Av historiske årsaker er I def. som strøm av positiv ladning. Dermed, i metall:



Ohms lov

En spenning U over en lederbit med lengde L innebærer et elektrisk felt $E = U/L$ i lederen, og dermed en elektrisk kraft $F = e \cdot E$ som vil drive frie elektroner gjennom lederen.

Vi får en strøm! Kraften F vil akselerere elektronene, men pga ustanselige kollisjoner med de faststående atomene (ionene) i metallet, oppnår elektronene bare en bitteliten driftshastighet v_d langs lederen, proporsjonal med F og dermed E .

Resultatet blir en strøm I proporsjonal med spenningen U , eller omvendt

$$U = R \cdot I$$

Ohms lov

Her er R lederbitens motstand, med enhet

$$[R] = \frac{V}{A} = \Omega \quad (\text{ohm})$$

Verdien av R øker med lederbitens lengde L , avtar med tverrsnittet A , og avhenger ellers av type materiale, gitt ved resistiviteten ρ :

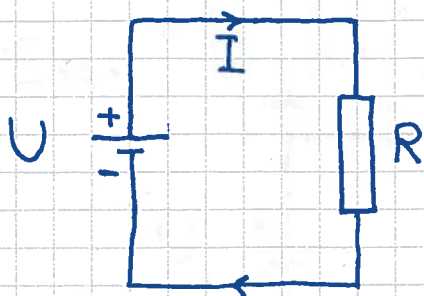
$$R = \rho \cdot L / A$$

der $[\rho] = \Omega \cdot m$

Vanlig symbol for motstand i elektriske kretser:



Enkleste eksempel:



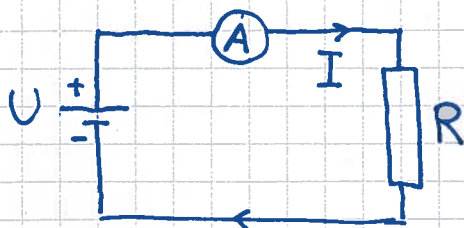
Likespenningskilden sørger for konstant spenning U "over" motstanden; Ohms lov gir da

$$\underline{I = U/R}$$

Måling av strøm og spenning

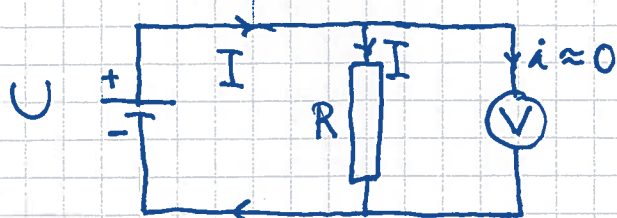
Bruker i dag ofte et multimeter.

Som amperemeter: Settes i serie med kretsen, slik at I går gjennom amperemeteret. (Mer om prinsippet senere.)



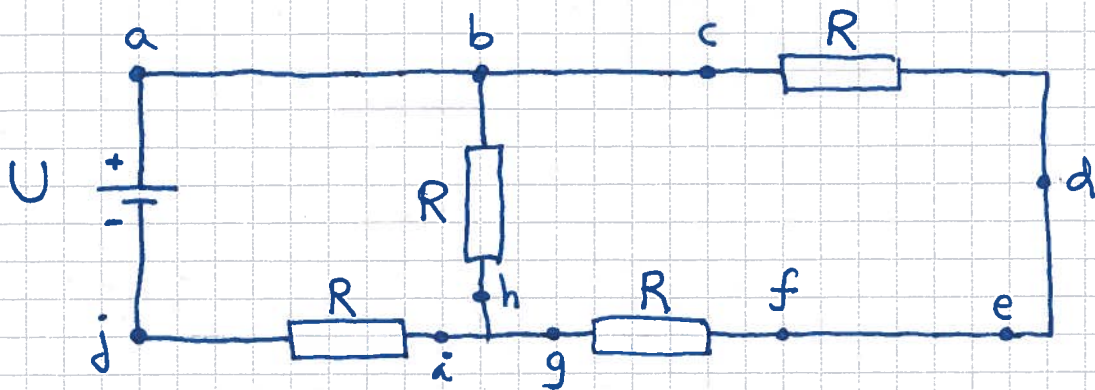
Ⓐ må ha liten motstand som ikke påvirker strømmen I

Som voltmeter: Settes i parallell med komponenten vi skal måle spenningen over. Er i praksis en stor motstand som i liten grad endrer strømmen totalt sett.



Merk at metall-ledninger i en elektrisk krets typisk har svært liten motstand, sammenlignet med "de egentlige" motstandene i kretsen. Da er potensialet praktisk talt konstant i en gitt sammenhengende metall-ledning, inklusive eventuelle forgreninger.

Eks:



Likt potensial i a, b, c .

— " — d, e, f .

— " — g, h, i .