

Elektrisk strøm

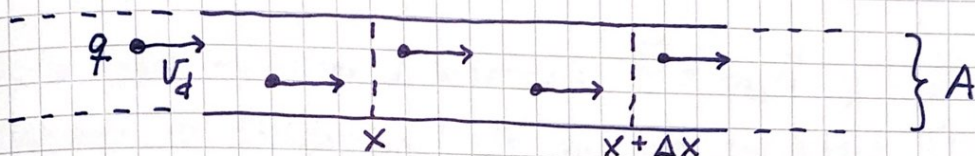
[OS2 9, 10]

(61)

Strøm. Strømtetthet

[OS2 9.1, 9.2]

Anta leder med tverrsnitt A og n frie ladninger q pr volumenhet med midlere driftsfart v_d langs lederen:



strøm(-styrke) $\stackrel{\text{def}}{=}$ mengden ladning som passerer et tverrsnitt av lederen pr tidsenhet

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} \frac{dQ}{dt} ; [I] = \frac{C}{s} = A \text{ (ampere)}$$

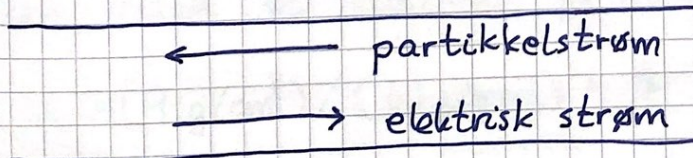
i løpet av tiden $\Delta t = \Delta x / v_d$ passerer all fri ladning $\Delta Q = q n A \Delta x$ i volumet $A \Delta x$ tverrsnittet ved $x + \Delta x$

$$\Rightarrow I = q n A \Delta x / (\Delta x / v_d) = n q v_d A$$

strømtetthet $\stackrel{\text{def}}{=}$ strøm pr flateenhet

$$j = I / A = n q v_d \Rightarrow \vec{j} = n q \vec{v}_d ; [\vec{j}] = A / m^2$$

$$\text{Metall: } q = -e \Rightarrow \vec{j} = -n e \vec{v}_d$$

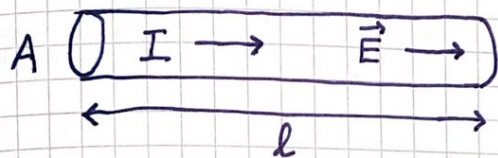


Ohms lov

[OS2 9.2-9.4]

(62)

Anta spenning V over leder med lengde l , tverrsnitt A og strøm I :



$$V = E \cdot l, \quad I = j \cdot A$$

N2 for fritt elektron i lederen: $\vec{F} = m_e \vec{a}$; $\vec{F} = -e\vec{E}$

Kollisjoner $\Rightarrow$ Elektronene får midlere driftsfart $\vec{U}_d = \vec{a} \cdot \tau$,
der τ = midlere tid mellom kollisjoner

$$\Rightarrow \vec{j} = -ne\vec{U}_d = -ne \cdot \left(\frac{-e\vec{E}}{m_e} \right) \cdot \tau = \sigma \cdot \vec{E} \quad [\text{P. Drude, 1900}]$$

der $\sigma = ne^2\tau/m_e$ = materialets elektriske ledningsevne (konduktivitet). Dette er Ohms lov på mikroskopisk form.

$$\text{Makroskopisk: } V = E \cdot l = \frac{j}{\sigma} \cdot l = I \cdot \left(\frac{l}{\sigma A} \right) = R \cdot I$$

Lederens motstand (resistans): $R = l/(\sigma A)$; $[R] = \Omega$ (ohm)

Lederens konduktans: $G = R^{-1}$; $[G] = \Omega^{-1} = S$ (siemens)

Materialets resistivitet: $\rho = \sigma^{-1}$; $[\rho] = \Omega m$; $[\sigma] = S/m$

Kretssymbol:  (evt: 

Eks 1: Kopper (Cu) har molar masse 63 g/mol og massetetthet ca 9 g/cm³. Anta 1 fritt elektron pr Cu-atom og bestem antall frie elektroner pr volumenhet.

$$\text{Løsn 1: } n \approx (9 \text{ g/cm}^3) / (63 \text{ g/mol}) = \frac{1}{7} \frac{\text{mol}}{\text{cm}^3} \approx \underline{10^{29} \text{ pr m}^3}$$

Eks 2: Anta Cu-ledning med $A = 2.5 \text{ mm}^2$ og $I = 1.0 \text{ A}$. Beregn U_d

Løsn 2:

$$U_d = \frac{I}{neA} = \frac{1.0}{10^{29} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 2.5 \cdot 10^{-6}} \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{25 \mu\text{m/s}} \quad (!)$$

Eks 3: Beregn σ for Cu ved romtemperatur. Anta (63) en midlere fri veilengde 2 nm (mellom påfølgende kollisjoner).

Løsn 3: Elektronenes midlere kinetiske energi er $\frac{3}{2}k_B T$, slik at $\frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{3}{2}k_B T \Rightarrow v = \sqrt{3k_B T/m_e} \approx 10^5 \text{ m/s}$ (med $T \approx 300 \text{ K}$)

Dermed: $\tau \approx 2 \cdot 10^{-9} \text{ m} / 10^5 \text{ m/s} = 2 \cdot 10^{-14} \text{ s}$

Dermed: $\sigma = ne^2 \tau / m_e \approx \underline{5.6 \cdot 10^7 \text{ S/m}}$ ($\approx \sigma_{\text{exp}}^{\text{Cu}} \text{ ved } 300 \text{ K}$)

Motstand og temperatur [OS2 9.3]

Metall: Økt $T \Rightarrow$ økt $v \Rightarrow$ redusert τ , mens n forblir uendret $\Rightarrow \sigma$ avtar; ρ øker

Empirisk: $\rho(T) = \rho_0 [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$

med $\alpha \approx 0.004 \text{ K}^{-1}$ for diverse metaller

og $\rho_0 = \rho(T_0) =$ referanseverdi ved f.eks. 293 K

Halvleder: Si, Ge, GaAs, GaN, ...

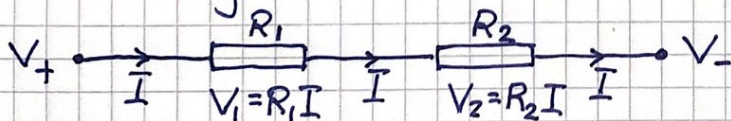
Isolator med $n \approx 0$ ved $T \approx 0 \text{ K}$.

Økt $T \Rightarrow$ flere elektroner frigjøres $\Rightarrow \rho$ avtar

Anvendelser: diode, transistor, solceller, lasere osv

Kobling av motstander [OS2 10.2]

Seriekobling:



Lik strøm I gjennom motstander i serie.

Total spenning: $V = V_+ - V_- = V_1 + V_2 = R_1 I + R_2 I$

$\Rightarrow$ Total motstand: $R = V/I = R_1 + R_2$

N stk i serie: $R = \sum_{j=1}^N R_j$