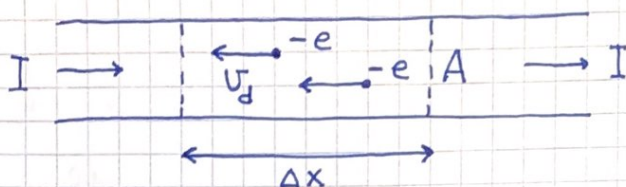


Ohms Lov og Drude-modellen

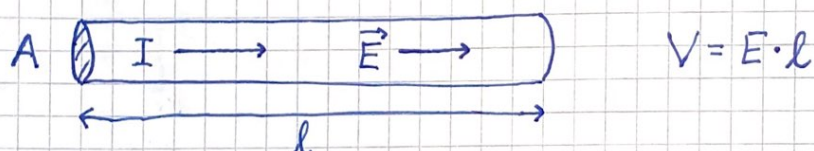


Leder (metall) med n frie elektroner pr volumenhed, med midlere driftshastighet v_d

Strømtetthet:

$$\vec{j} = \frac{I}{A} = \frac{\Delta Q}{A \Delta t} = \frac{n \cdot (-e) \cdot A \cdot \Delta x}{A \cdot \Delta t} = -n \cdot e \cdot v_d$$

Pga. kollisjoner må vi ha et elektrisk felt $\vec{E}$ i lederen for å opprettholde strømmen I :



Newtons 2. lov: $\vec{F} = m_e \cdot \vec{a}$; $\vec{F} = -e\vec{E}$;

$\vec{v}_d = \vec{a} \cdot \tau$; τ = midlere tid mellom kollisjoner

Dermed: $\vec{j} = -ne\vec{v}_d = -ne\tau\vec{a} = -ne\tau \cdot \frac{(-e\vec{E})}{m_e}$

$\Rightarrow \vec{j} = \sigma \vec{E}$ med $\sigma = ne^2\tau/m_e$ = elektrisk ledningsevne

(Paul Drude, ca 1900)

Med $j = I/A$ og $E = V/l$ får vi

$$V = R \cdot I \quad \text{med} \quad R = \frac{l}{\sigma A} = \text{motstand}$$

Ohms lov

Eks: Estimer "termisk fart" v_T , midlere fri veilengde d ,
midlere tid τ mellom kollisjoner og driftsfart v_d i
en kobberledning der $I = 1 \text{ A}$. (77)

Løsning: Vi antar at de frie elektronene utgjør en ideell gass.
Da får vi fra kinetisk gasteori (se FY6014)

$$K = \frac{1}{2} m_e v_T^2 = \frac{3}{2} k_B T \Rightarrow v_T = \sqrt{3 k_B T / m_e} \approx \underline{10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \text{ ved } 300 \text{ K}$$

Vi antar midlere fri veilengde: $d \approx \underline{1 \text{ nm}}$

Da blir midlere tid mellom kollisjoner: $\tau = d / v_T \approx \underline{10^{-14} \text{ s}}$

Med 1 fritt elektron pr Cu-atom, molar masse 63 g og
massetetthet ca 9 g/cm^3 :

$$n \approx \frac{9 \cdot 10^6 \text{ g/cm}^3}{63 \text{ g/mol}} \cdot 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \approx 10^{29} \text{ frie elektroner pr m}^3$$

Dette gir en Drude-konduktivitet for kobber:

$$\sigma = n e^2 \tau / m_e \approx 3 \cdot 10^7 \text{ S/m}$$

Ikke verst, eksp. verdi ved 20°C er ca $6 \cdot 10^7 \text{ S/m}$

Driftsfart med $I = 1 \text{ A}$ og (f.eks.) $A = 2.5 \text{ mm}^2$:

$$v_d = \frac{j}{n \cdot e} = \frac{I}{n \cdot e \cdot A} = (10^{29} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 2.5 \cdot 10^{-6})^{-1} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx \underline{25 \mu\text{m/s}}$$

Med 90 cm lang ledning tar det ca 10 timer
for et elektron å passere hele ledningen.

Resistivitet og temperatur [OS2 9.3; YF 25.2; LHL 21.2, 21.5] (78)

Fra Drudemodellen: $\rho = \frac{m_e}{e^2 n \tau} \sim \frac{1}{n \tau}$

Metaller (Cu, Al, Ag...): Stor n , som avhenger lite av T .

Men kortere tid τ mellom kollisjoner når T øker $\Rightarrow \rho$ øker

Eksp. gir $\rho(T) = \rho_0 \{1 + \alpha \cdot (T - T_0)\}$ med $\alpha \approx 0.004 \text{ K}^{-1}$ for Cu, Al og Ag. Referanseverdi ρ_0 ved f.eks. $T_0 = 293 \text{ K}$.

Halvledere (Si, Ge, GaAs, GaN...):

Isolator med $n \approx 0$ ved svært lav temperatur T .

Når T øker, frigjøres elektroner slik at n øker

$\Rightarrow \rho$ avtar med økende T .

Dessuten: Urenheter ("doping") gir økt n og redusert ρ .

Anvendelser av halvledere:

Solceller: Fotoner (fra sola) frigjør elektroner i halvlederen og skaper strøm og spenning.

Lysdioder (LED): Frie elektroner i halvlederen "fanges" i tilstander med lavere energi ("hull"). Frigjort energi sendes ut som fotoner.

Eks: Kombinasjon av AlGaAs ($\lambda = 560 - 870 \text{ nm}$; fra gult til rødt lys) og InGaN ($\lambda = 360 - 620 \text{ nm}$; fra blått til gult lys) gir LED-parer med hvitt lys.

(Nobelpreis fysikk 2014; Akasaki, Amano og Nakamura)