Kapitel 2: Klassiske partikelmodell (Drude)

- Elektrisk ledningsförmåga → Ohm's lag

Vår första modell: Tänker oss elektronerna som en ideal gas → vi antar att de rör sig oberoende av varandra

Klassisk, ideal gas: $E_{pot} = 0$

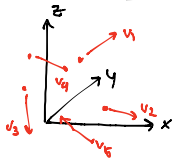
ej vektor → modelenergi

$$\bar{E}_{kin}/e = \frac{\bar{p}_x^2}{2m} + \frac{\bar{p}_y^2}{2m} + \frac{\bar{p}_z^2}{2m} = \frac{1}{2}kT + \frac{1}{2}kT + \frac{1}{2}kT = \frac{3}{2}kT$$

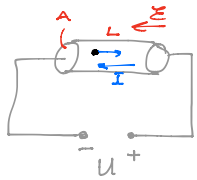
tre frihetsgrader

$$\bar{E}_{kin}/e = \frac{3}{2}kT = \frac{m\bar{v}_{th}^2}{2} \Rightarrow \bar{v}_{th} \approx 10^5 \text{ m/s vid rumstemperatur}$$

$\boxed{\text{Nu, lugom till andra halvem, har jag en ny perma!}}$



$$\boxed{\sum \bar{v} = 0}$$ i vår ideala gas-modell



Ström/laddningstransport $\bar{E} \neq 0$ ← Elektriskt fält!

kraft $\bar{F} = q\bar{E}$

acceleration $m\frac{dv}{dt} = \vec{F}$

$$\bar{v}(t) = \bar{v}(0) - \frac{e\bar{E}t}{m}$$ ← vi ser att $\bar{v}$ ökar med t! $\quad v \propto t \Rightarrow I \propto v \propto t$

ström

ökar med tiden i vår modell

Vi får att strömmen ökar med tiden som det elektriska fältet är påslagt. Detta stämmer ju dock ej (Ohms lag)
Vi måste ta i beaktning kollisioner i vår elektrongas.

Spridning/kollisionsprocess (τ är spridningstiden)

→ e^- tappar fart & riktning

sln → $P(e^- \text{ sprids i tidsintervallet } dt) = \frac{dt}{\tau}$ ← Detta är rimligt om $dt < \tau$

(S.54)

Hastigheten $\bar{v}$ under inverkan av en kraft:

$$m\bar{v}(t+dt) = \left(1 - \frac{dt}{\tau}\right)\cdot\left(m\bar{v}(t) + \bar{F}(t)\cdot dt\right) + \frac{dt}{\tau}\left(0 + \bar{F}(t)\cdot dt + \bar{O}(dt)^2\right)$$

← Rörelsemängden som funktion av $\bar{E}$ och kollisioner τ

$$\Downarrow$$

$$m\bar{v}(t+dt) = m\bar{v}(t) + \bar{F}(t)\cdot dt - \frac{dt}{\tau}\cdot m\bar{v}(t)$$

$$\Downarrow$$

$$\left\{\begin{array}{l} m\cdot\left(\frac{d}{dt} + \frac{1}{\tau}\right)\bar{v}(t) = F(t) \\ \frac{d\bar{v}(t)}{dt} = 0 \\ \text{Statiskt tillstånd } \bar{F} \text{ konstant} \end{array}\right\} \quad \frac{m\bar{v}}{\tau} = \bar{F} \Rightarrow \bar{v} = \frac{\bar{F}\cdot\tau}{m} = \frac{-e\bar{E}\tau}{m} = v_d$$

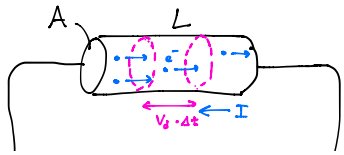
Lösning av D.E.!

← driftshastighet – ger ström

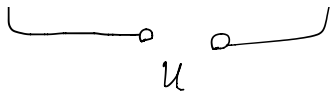
Vad blir strömmen?

$$\bar{J} = \frac{\bar{I}}{A} = \frac{1}{A}\cdot\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{1}{A}\cdot\frac{v_d\cdot\Delta t\cdot A\cdot n\cdot(-e)}{\Delta t}$$

Antalet valens elektroner



$$= -v_d \cdot n \cdot e = -en \cdot \left(\frac{-e\bar{\mathcal{E}}\tau}{m}\right)$$



$$= \underbrace{\left(\frac{e^2 n \tau}{m}\right)}_{\sigma} \bar{\mathcal{E}} = \sigma \bar{\mathcal{E}}$$

Alltså har vi Ohms lag $\boxed{\bar{J} = \sigma \cdot \bar{\mathcal{E}}}$

Vi inför begreppet mobilitet: $\boxed{\mu = \left|\frac{v_d}{\mathcal{E}}\right| = \frac{e}{m} \cdot \tau}$

Exempel Cu vid 300K, $n = 8{,}45 \cdot 10^{28}\ m^{-3}$, $\rho = 1{,}72 \cdot 10^{-8}\ \Omega m$, $\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{ne^2\tau}{m} = ne\mu$

konduktivitet

stoppar in mobiliteten μ

Vad är τ?: $\tau = 2{,}44 \cdot 10^{-14}\ s$

$\mu = 4{,}3 \cdot 10^{-3}\ m^2/Vs$

$v_{th} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 1{,}17 \cdot 10^5\ m/s$

$v_d = [\text{med } \mathcal{E} = 0{,}01\ \frac{V}{m}] = 4{,}3 \cdot 10^{-5}\ m/s$ ← Detta är ju lite!

Alltså $v_d << v_{th}$