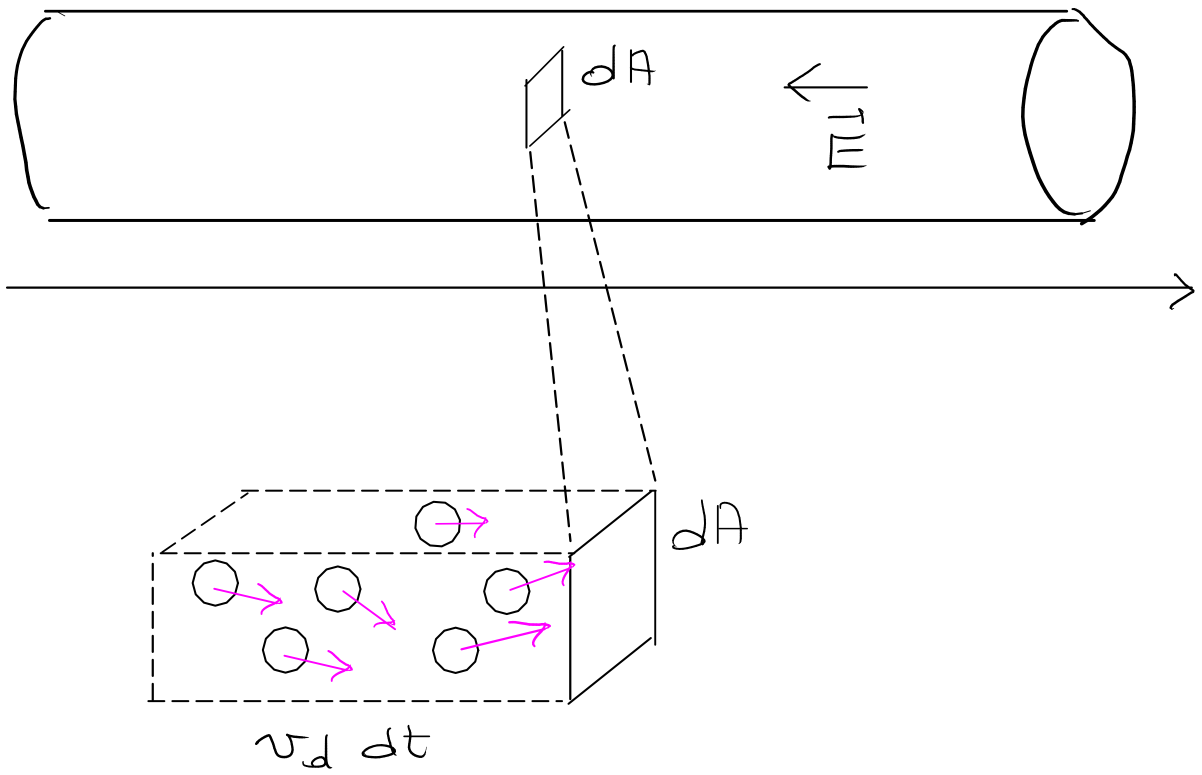
INTERPRETAZIONE MICROSCOPICA DELLA CONDUZIONE ELETTRICA

$J_e \underset{①}{=} \sigma E \longrightarrow \Delta V = R I_e \longrightarrow \sigma = \frac{1}{\rho_e} \longrightarrow \rho_e \underset{②}{=} \rho_e(T)$



$E = 0$ isotropo : $\langle v_x \rangle = \langle v_y \rangle = \langle v_z \rangle = 0$

$E[x] \rightarrow \langle x \rangle$

$E \neq 0$ $\langle v_x \rangle \neq 0$ $\langle v_y \rangle = \langle v_z \rangle = 0$

$\langle v_x \rangle \equiv v_d$ $10^{-2} - 10^{-4}\ \frac{m}{s}$

Velocità di deriva

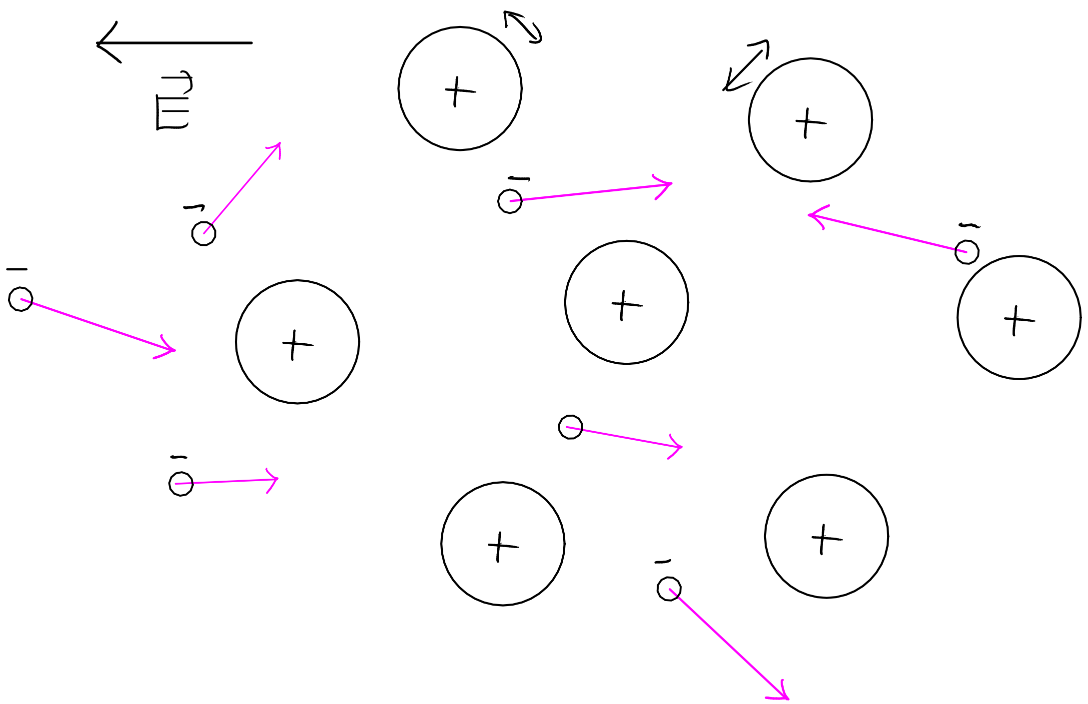
$\delta q \equiv$ carica che attraversa dA nell'intervallo di tempo dt

$n \equiv \frac{N_e}{V}$ = densità di numero di elettroni SI : $\frac{1}{m^3}$

$\delta q = q\, n \cdot v_d\, dt\, dA$ $J_e = \frac{\delta q}{dt\, dA} = q n v_d$

Modello di Drude (1900)

$\vec{E} \rightarrow \vec{F}_e = q\vec{E} = cost \Rightarrow$ accelerazione



Materiale conduttore

- e^- liberi (di conduzione)
  $q = -e$
  $m = m_e$

- atomi oscillano attorno a posizioni fisse nello spazio

Sistema : elettroni m_e, q
atomi

Interazioni : elettroni = gas perfetto (non interagiscono tra loro)
urti elastici tra elettroni e atomi

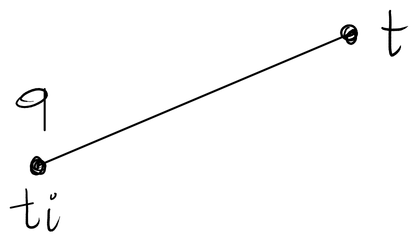
Dinamica : newtoniana ; dopo urto le velocità degli elettroni $\vec{v}_i$
sono tali che $\langle \vec{v}_i \rangle = \vec{0}$ $\rightarrow$ isotropia

II Newton:

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

$$q\vec{E} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E} = \text{cost}$$



$$\vec{E} = E\,\vec{e}_x$$

Moto uniformemente accelerato

$$\vec{v} = \vec{v}_i + \frac{q}{m}\vec{E}\,(t - t_i)$$

Media su tutti gli elettroni $\langle \ldots \rangle$

$$\langle \vec{v} \rangle = \underbrace{\langle \vec{v}_i \rangle}_{=\vec{0}} + \frac{q}{m}\vec{E}\,\underbrace{\langle (t - t_i) \rangle}_{\tau}$$

$\tau \equiv$ tempo medio di collisione

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{q}{m}\tau\vec{E}$$

$$\langle v_x \rangle = \frac{q}{m}\tau E = v_d \qquad J_e = q n v_d = \frac{q^2 n \tau}{m} E$$

(1) legge di Ohm!

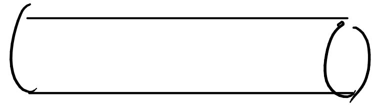
$$\sigma = \frac{q^2 n \tau}{m}$$ conducibilità elettrica

$$\sigma \sim n$$

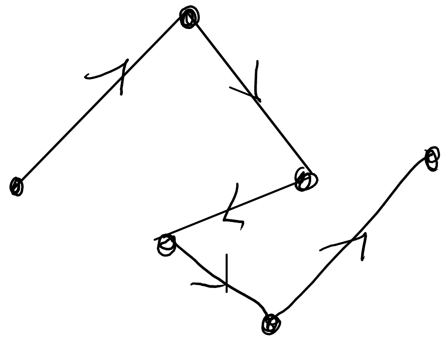
$$\rho_e = \frac{1}{\sigma} = \frac{m}{q^2 n \tau}$$

$$\rho_e = \rho_e(T)$$

Dipendenza della resistività dalla temperatura

 $T = \text{cost}$ elettroni = gas perfetto a temperatura T

Equilibrio termodinamico velocità tipica in un g.p. $\sqrt{\langle v_x^2 \rangle} \gg v_d$



$\begin{cases} l_0 \equiv \text{libero cammino medio} \\ v_0 \equiv \text{velocità tipica termica} \gg v_d \end{cases}$

$$l_0 = v_0 \tau \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{\tau} = \frac{v_0}{l_0}$$

Teorema di equipartizione dell'energia: $\frac{1}{2} m \langle v_x^2 \rangle = \frac{1}{2} K_B T$

$$m \langle v_x^2 \rangle = K_B T$$

$$v_0 = \sqrt{\langle v_x^2 \rangle} = \sqrt{\frac{K_B T}{m}}$$

$T \simeq 300\,K$

$m_e = 9 \times 10^{-31}\,kg$

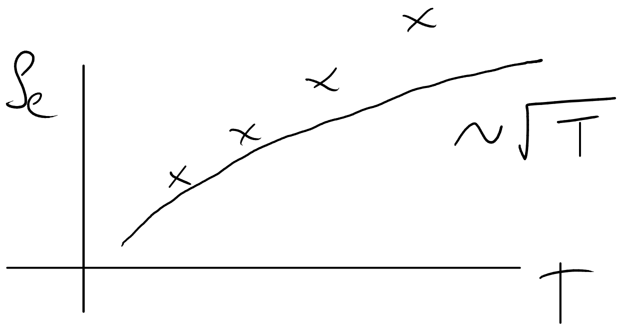
$K_B = 1.4 \times 10^{-23}\,J/K$

$$v_0 = \left(\frac{1.4 \times 10^{-23}\,J/K \times 300\,K}{9 \times 10^{-31}\,Kg} \right)^{1/2} \approx 70000\,\frac{m}{s} = 7 \times 10^4\,\frac{m}{s} \gg v_d$$

Dipendendenza di ρ_e da T

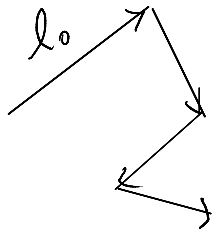
$$\rho_e = \frac{1}{\sigma} = \frac{m}{q^2 n \tau} = \frac{m}{q^2 n\, l_0}\, v_0 \sim \sqrt{T}$$

②
<u>WRONG</u>



Dati sperimentali: $\rho_e \sim T$

Es.: Stima di τ e l_0 nel rame @ $T_a = 300K$



Cu: 1 e^- di conduzione per atomo $\to n \to \frac{N}{V}$

$$\tau = \frac{n e^2}{m_e \sigma} = ?$$

$v_0 = ?$ $\quad v_d = ?$ $\quad v_d \ll v_0$?

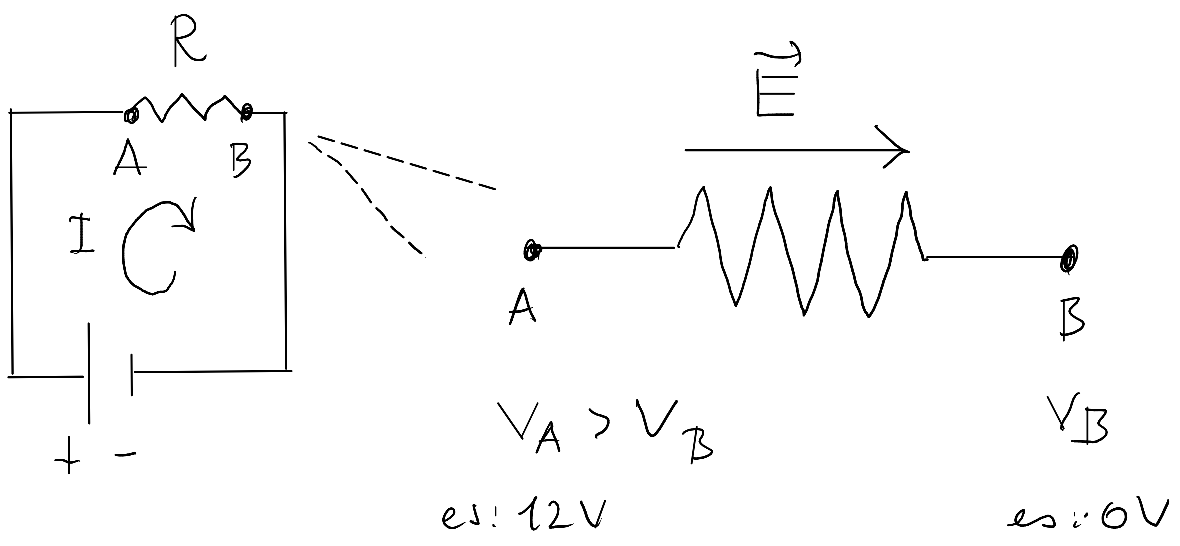
(*) dT, dP, dV, dU — variabile di stato $\downarrow$ diff. esatti — ΔT, ΔP, ΔV, ΔU

δW, δQ, δN — grandezze di trasformazione $\downarrow$ diff. non esatti — W, Q, ... — $\cancel{\Delta W}$ $\cancel{\Delta Q}$

(*) $dS \geq 0$ $\quad \Delta S \geq 0$ isolato II pr.

$dU = 0$ $\quad \Delta U = 0$ isolato I pr.

Effetti termici della conduzione elettrica

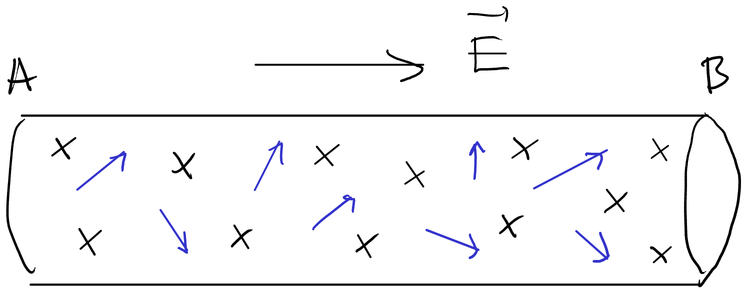


$$\Delta U = W + Q$$

$\downarrow$

effetto Joule

$$P = I\,\Delta V$$



Energia per unità di tempo fornita dal campo elettrico al sistema