Quantiticando $\omega_c\tau = \mu B$: é pequeno?

$$\omega_c = \frac{e.B}{m^*}$$

$$\mu_e = \frac{e\tau}{m^*}$$

- B em Tesla: 1 Tesla = 1 kg/(s^2 A) = 1 kg/(s Coulomb)
- μ em cm^2/(V s): 1 Volt = 1 N m/ Coulomb = m^2 kg/(s^2 Coul)

$$\boxed{\mathbf{1\ [cm^2/(V\ s)] = 10^{-4}\ [Tesla^{-1}]}}$$

e = 1.6 x 10^{-19} Coulomb

m_0 = 9.11 x 10^{-31} kg

$$\omega_c\tau = \mu_e B = 10^{-4}\left(\frac{B}{1\ \mathrm{Tesla}}\right)\left(\frac{\mu_e}{1\ \mathrm{cm}^2/(\mathrm{Vs})}\right)$$

Exemplo: Para uma mobilidade de μ_e=10000 cm^2/(Vs) e um campo de 1 Tesla, $\omega_c\tau$=1!!)

Mobilidades típicas em metais

Element	Diffusion coefficient D, cm^2/s	Drift mobility μ_{drift}, cm^2/Vs	Electron velocity v_F, 10^7 cm/s	Fermi energy E_F, eV	Ratio E_F/kT	Wave vector k_F, 10^8 cm^{-1}	Free pass length $l_F = v_F \tau_F$, Å	$n_e = \frac{1}{\lvert eR_H \rvert}$, 10^{22} cm^{-3}
Li	20.9	820	4.9	0.68	26.9	0.42	128	3.68
Na	88.4	3470	10.1	2.90	114	0.87	263	2.98
K	74.1	2910	9.3	2.43	95.7	0.80	240	1.49
Rb	45.3	1780	7.2	1.49	58.5	0.63	188	1.49
Cs	26.7	1050	5.6	0.88	34.5	0.48	144	0.80
Cu	147	5770	13.0	4.81	189	1.12	338	11.6
Ag	241	9490	16.7	7.92	312	1.44	434	6.94
Au	156	6120	13.4	5.11	201	1.16	349	8.56
Be	216	8480	15.8	7.08	279	1.36	410	2.57
Mg	61.2	2410	8.4	2.01	79.1	0.73	219	7.53
Ca	61.0	2400	8.4	2.00	78.8	0.73	218	16.0
Sr	10.6	418	3.5	0.35	13.7	0.30	91	
Ba	8.86	348	3.2	0.29	11.4	0.28	83	
Zn	59.2	2330	8.3	1.94	76.5	0.71	215	6.01
Cd	63.7	2510	8.6	2.09	82.3	0.74	223	11.8
Al	66.1	2600	8.7	2.17	85.3	0.76	227	18.9
Ga	32.4	1270	6.1	1.06	41.9	0.53	159	9.92
In	25.9	1020	5.5	0.85	33.5	0.47	142	89.3
Tl	17.5	688	4.5	0.57	22.6	0.39	117	
Sn	20.4	800	4.9	0.67	26.3	0.42	126	313
Pb	7.20	283	2.9	0.24	9.30	0.25	75	104

V. Palenskis, "Drift Mobility, Diffusion Coefficient of Randomly Moving Charge Carriers in Metals and Other Materials with Degenerated Electron Gas," *World Journal of Condensed Matter Physics*, Vol. 3 No. 1, 2013, pp. 73-81. doi: 10.4236/wjcmp.2013.31013.

Tarefa 16: quantificando ω_c e τ (em sala).

$$\omega_c = \frac{e.B}{m^*}$$

$$\mu_e = \frac{e\tau}{m^*}$$

- B em Tesla: 1 Tesla = 1 kg/(s^2 A) = 1 kg/(s Coulomb)
- μ em cm^2/(V s): 1 Volt = 1 N m/ Coulomb = m^2 kg/(s^2 Coul)

- 1) Use a análise dimensional para encontrar as constantes (e suas unidades!) nas expressões abaixo:

$$\omega_c = \frac{\mathcal{C}_\omega}{(m^*/m_0)}\left(\frac{B}{1\ \mathrm{Tesla}}\right)\ \mathrm{s}^{-1} \qquad \tau = \mathcal{C}_\tau \left(\frac{m^*}{m_0}\right)\left(\frac{\mu_e}{1\ \mathrm{cm}^2/(\mathrm{Vs})}\right)\ \mathrm{s}$$

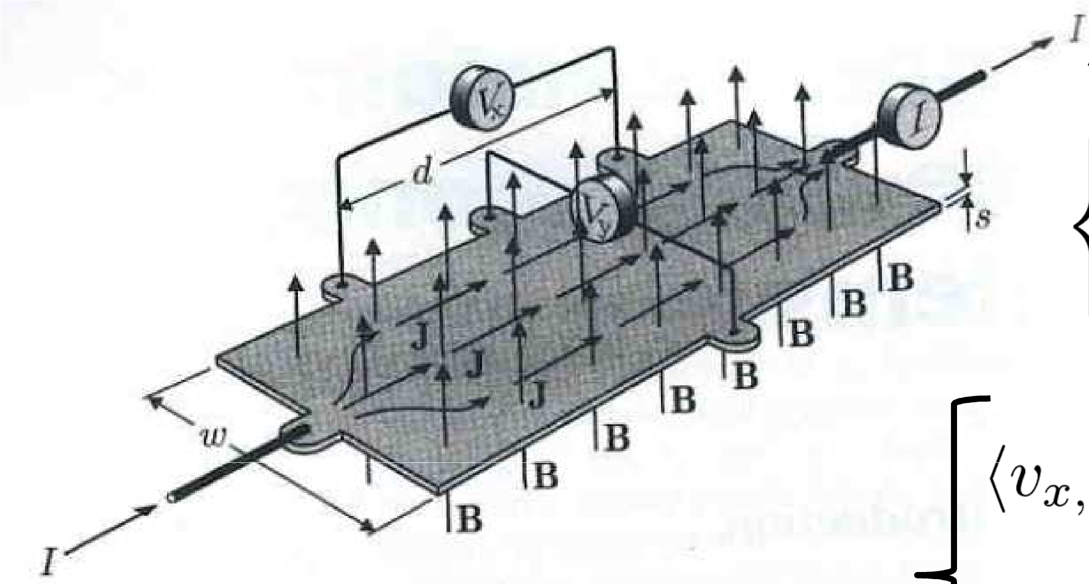
- 2) Estime τ (em ps) para GaAs ($m^* = 0.067\ m_0$) com mobilidades

$\mu_e = 10^3$, 10^4 e 10^6 cm^2/Vs.

e = 1.6 x 10^{-19} Coulomb

m_0 = 9.11 x 10^{-31} kg

E se mantivermos os termos $(\omega_c\tau)^2$?



Aprox. tempo de relaxação, estado estacionário:

$$\begin{cases} \frac{m_e^*}{e\tau_e}\langle v_{x,e}\rangle = -E_x - \langle v_{y,e}\rangle B \\ \frac{m_e^*}{e\tau_e}\langle v_{y,e}\rangle = -E_y + \langle v_{x,e}\rangle B \end{cases}$$

$$\begin{cases} \langle v_{x,e}\rangle = \frac{\mu_e}{(1+(\omega_c^e)^2\tau_e^2)}(-E_x + \omega_c^e\tau_e E_y) \\ \langle v_{y,e}\rangle = \frac{\mu_e}{(1+(\omega_c^e)^2\tau_e^2)}(-E_y - \omega_c^e\tau_e E_x) \end{cases}$$

Metais: considerando apenas portadores tipo n

$$\mu_e = \frac{e\tau_e}{m_e^*}$$

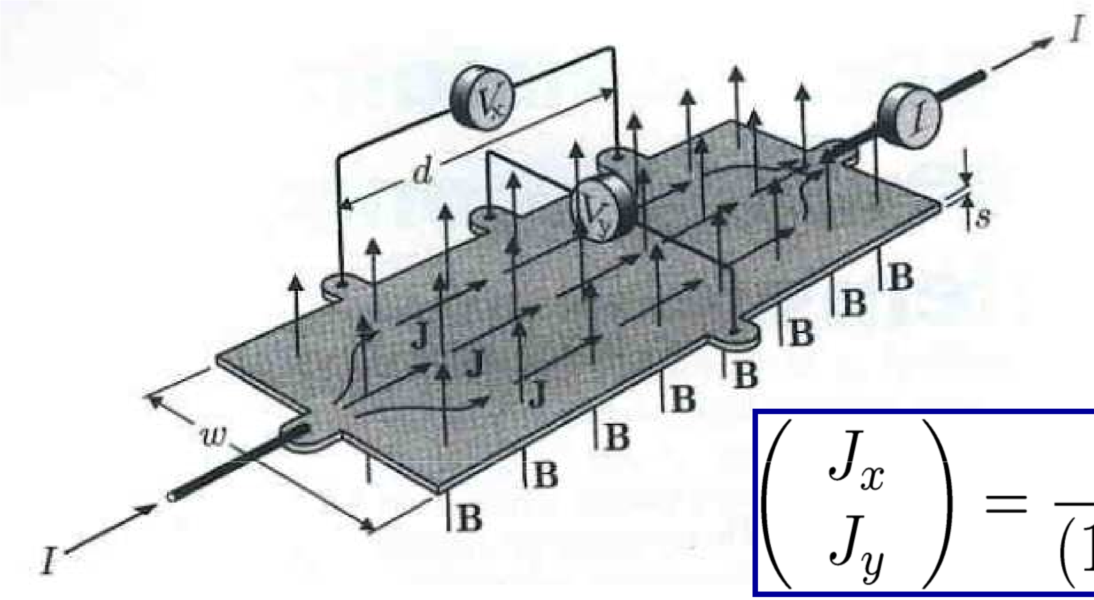
$$\omega_c^e = \frac{e.B}{m_e^*}$$

Velocidade em x será afetada por campos magnéticos fortes!

Magnetoresistência

Caso com elétrons e buracos: **Lista 4**

Tensor de condutividade



$$\mathbf{J} = (-e)n\langle \mathbf{v}_e \rangle$$

$$\mathbf{J} = \sigma \cdot \mathbf{E}$$

$$\sigma_0 = en\mu_e$$

$$\boxed{\begin{pmatrix} J_x \\ J_y \end{pmatrix} = \frac{\sigma_0}{(1+(\omega_c^e)^2\tau_e^2)} \begin{pmatrix} 1 & -\omega_c^e\tau_e \\ +\omega_c^e\tau_e & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix}}$$

Metais: considerando apenas portadores tipo n

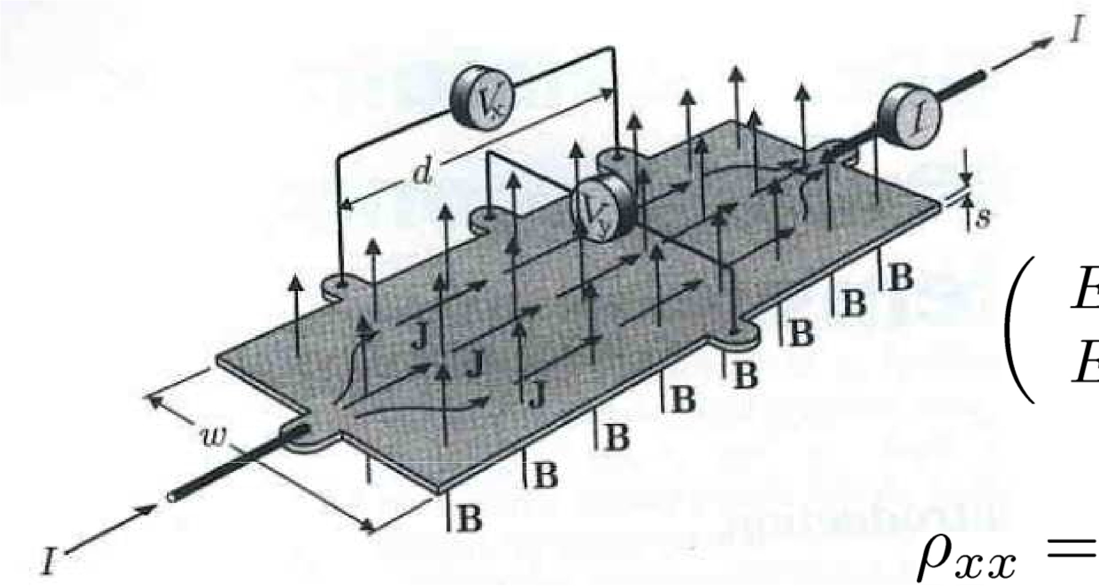
$$\mu_e = \frac{e\tau_e}{m_e^*}$$

$$\omega_c^e = \frac{e.B}{m_e^*}$$

$$\sigma_{xx} = \frac{\sigma_0}{(1+(\omega_c^e)^2\tau_e^2)} \quad \sigma_{yx} = \frac{\sigma_0\omega_c^e\tau_e}{(1+(\omega_c^e)^2\tau_e^2)}$$

Caso com elétrons e buracos: **Lista 4**

Tensor de resistividade



$$\mathbf{E} = \rho \cdot \mathbf{J}$$

Invertendo as equações, temos:

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \frac{1}{\sigma_0} \begin{pmatrix} 1 & +\omega_c^e \tau_e \\ -\omega_c^e \tau_e & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} J_x \\ J_y \end{pmatrix}$$

$$\rho_{xx} = \rho_0$$

Os termos $(\omega_c \tau)^2$ cancelam!(*)

Metais: considerando apenas portadores tipo n

$$\mu_e = \frac{e\tau_e}{m_e^*}$$

$$\omega_c^e = \frac{e.B}{m_e^*}$$

Resistividade Hall:

$$\boxed{\rho_{yx} = -\rho_0 \omega_c^e \tau_e = \frac{B}{(-e)n}}$$

No caso $J_y = 0$ recuperamos $\rho_{xx} = \dfrac{E_x}{J_x}$ $\rho_{yx} = \dfrac{E_y}{J_x}$

(*) Em metais reais há mais de um tipo de portador e este cancelamento não é perfeito, o que leva a uma magnetoresistência em ρ_{xx} . **Lista 4**