

PGF5110 - Estado Sólido I

Lista de exercícios 4 - 2018 (entrega em 03/12/2018)

1. Magnetoresistência com portadores p e n

Em aula, calculamos o tensor de resistividade para portadores tipo n (elétrons) em um campo magnético na aproximação de tempo de relaxação. Mostramos que, mesmo considerando termos até ordem $(\omega_c\tau)^2$, a resistividade longitudinal ρ_{xx} não dependia do campo magnético por conta de um cancelamento destes termos. Ou seja, este modelo não descreve a magnetoresistência $\rho_{xx}(B)$.

Os experimentos, no entanto, mostram outra coisa: ρ_{xx} depende sim de B , embora esta dependência seja mais fraca que a de $\rho_{xy}(B)$ (que é linear para B pequeno).

Argumentamos (sem mostrar) que o aparecimento da magnetoresistência $\rho_{xx}(B)$ se deve à contribuição de outros tipos de portadores para a resistividade. O objetivo deste exercício é elucidar este fato.

Considere então que a densidade de corrente tem contribuições de portadores dos tipos p e n :

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

onde p e n são as densidades dos portadores e $\langle\mathbf{v}_{e(h)}\rangle$ são as velocidades de *drift*. Considere um campo magnético $\mathbf{B} = B\hat{e}_z$ e massas efetivas/tempos de relaxação diferentes para elétrons e buracos: $m_e^* \neq m_h^*$, $\tau_e \neq \tau_h$.

- (1 ponto) Na aproximação de tempo de relaxação, escreva as expressões para as componentes de $\langle\mathbf{v}_e\rangle$ e $\langle\mathbf{v}_h\rangle$ em termos das componentes do campo elétrico e incluindo os termos em $(\omega_c^e\tau_e)^2$ e $(\omega_c^h\tau_h)^2$.
- (1 ponto) Calcule o tensor de condutividade em termos de $en\mu_e$ e $ep\mu_h$ onde μ_e e μ_h são as mobilidades de elétrons e buracos respectivamente.
- (1 ponto) Calcule o tensor de resistividade em termos dos parâmetros do modelo e do campo magnéticos.
- (1 ponto) Considere a componente ρ_{xx} calculada no item anterior nos casos i) $n=0$ ii) $p=0$ (apenas um tipo de portador) e iii) $n,p \neq 0$. Como ρ_{xx} varia com o campo magnético em cada um destes casos? Comente.

- (1 ponto) Use os resultados das várias tarefas que fizemos abordando conversão de unidades (cálculo de densidade de portadores, estimativa de $\omega_c\tau$, etc.) e calcule os valores dos componentes dos tensores de condutividade e resistividade para $T = 300\text{K}$, $B = 1\text{T}$ usando os seguintes parâmetros (GaAs):

Gap: $E_g = 1.43\text{ eV}$

$m_e^* = 0.067m_0$ e $m_h^* = 0.45m_0$

$\mu_e = 8600\text{ cm}^2/\text{V.s}$ e $\mu_h = 400\text{ cm}^2/\text{V.s}$

Considere $n=p$.

Expresse seus resultados em unidades de $(\Omega.\text{m})^{-1}$ para condutividade e $\Omega.\text{m}$ para a resistividade.

- (5 pontos) Escreva um script (em Mathematica, MatLab, Octave, Python ou Julia) para fazer gráficos de $\rho_{xx}(B)$ e $\rho_{xy}(B)$ (em $\Omega.\text{m}$) versus B variando entre 0 e 2 Tesla dados parâmetros como temperatura (em Kelvin), gap E_g (em eV), m_e^* , m_h^* (em unidades de m_0), mobilidades μ_e , μ_h (em $\text{cm}^2/\text{V.s}$) definidos no início do script (e que podem ser editados pelo usuário). Considere apenas portadores *intrínsecos* de modo que $n=p$. **Inclua a listagem do script na lista.**

Pontos que devem ser explorados neste item:

- Os parâmetros de entrada tem que estar nas unidades apresentadas. O primeiro teste que você precisa fazer é colocar os dados de GaAs e obter o mesmo resultado calculado no item (c).
- Um outro teste importante no seu script é fazer o gráfico de $\rho_{xy}(B)$ com $m_e^* = m_h^*$ e $\mu_e = \mu_h$. O que deveria ocorrer neste caso?
- Faça gráficos de $\rho_{xx}(B)$ e $\rho_{xy}(B)$ explorando os regimes de B baixo (menor que 1 Tesla) e B alto. Compare os resultados com Qual a conclusão que você tira desta análise?
- Discuta: No caso de campos altos, que fenômeno físico não está incorporado na teoria por trás do seu script?