Física da Matéria Condensada

2º teste **31 de Maio de 2016**

---

1. Considere uma cadeia diatómica com interacções harmónicas entre vizinhos imediatos.

a) Obtenha a expressão geral para a dispersão dos respectivos modos vibracionais:

$$\omega^2 = \frac{k}{M_1 M_2}\left[(M_1 + M_2) \pm \sqrt{(M_1 + M_2)^2 - 2M_1 M_2(1 - \cos(ka))}\right]$$

b) Indique a dispersão características dos dois ramos de soluções nos limites $k \to 0$ e $k \to \frac{\pi}{a}$

2. a) Obtenha a densidade de modos normais de vibração para uma cadeia monoatómica 1-dim.

b) Calcule a frequência de Debye como função da velocidade de propagação do som e da densidade linear de átomos na cadeia.

c) Obtenha a expressão geral para a energia associada às vibrações térmicas.

d) Mostre que o calor específico a baixas temperaturas decai proporcionalmente à temperatura ($C_v \propto T$).

3. O InSb é um semicondutor que tem uma constante dieléctrica $\varepsilon_r \approx 18$ e uma massa efectiva electrónica $m_c^* \approx 0.015m$.

a) Faça uma estimativa da energia de ionização de um átomo dador (admita que este átomo tem apenas um electrão excedentário). Compare esta energia com a energia de agitação térmica à temperatura ambiente. O que pode concluir sobre o estado de ionização das impurezas a esta temperatura?

b) Uma amostra de Si tem 1 em cada 10^9 átomos substituído por uma impureza dadora (com um electrão excedentário). Obtenha a posição do potencial químico à temperatura ambiente (relativamente ao mínimo da banda de condução), admitindo que todas as impurezas se encontram ionizadas.

<u>Observação</u>: O Si tem uma estrutura de diamante com uma aresta da célula convencional $a \approx 5.43$å. Admita que $m_c^* \approx 0.2m$. Recorde que $n = 2\frac{(2\pi m_c^* k_B T)^{\frac{3}{2}}}{h^3} e^{-\frac{(E_c - \mu)}{k_B T}} = N_c e^{-\frac{(E_c - \mu)}{k_B T}}$ e que no regime extrínseco com as impurezas ionizadas n é aproximadamente igual à concentração de impurezas.