

固体物理第一

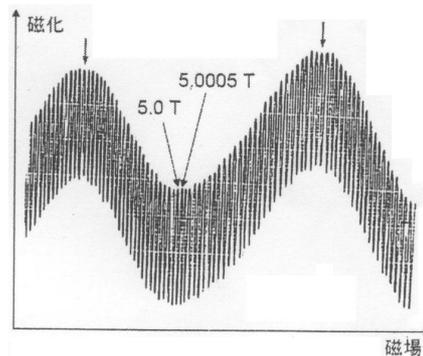
為ヶ井強教員

2008/07/18

1. 以下の問に答えよ.

- (a) イオン結合の典型的エネルギーはどれくらいか. (例えば塩の中の Na^+ と Cl^- の結合)
- (b) ウィグナー・サイツセルとは何か, 簡単に説明せよ.
- (c) ランダウ準位とは何か, 簡単に説明せよ.
- (d) 3次元空間におけるブラベ格子の数と空間群の数はそれぞれいくつか.
- (e) GaAs はせん亜鉛鉱構造をとる. この構造はどのように構成されているか説明せよ.

2. 銀の単結晶の $[111]$ 方向に強磁場を印加し磁化を測定したところ, 下図に示すような振動現象が見られた.



- (a) 銀のフェルミ面は $[111]$ 方向に垂直な大小 2 種類の極値断面積 A_b と A_n を持つ. フェルミ面の極値断面積の比 $A_b : A_n$ を求めよ.
 - (b) 磁化の振動の周期とフェルミ面の極値断面積 (A_e) の関係は $\Delta(1/B) = 2\pi e/h \cdot (1/A_e)$ (MKSA) である. (a) の大きな極値断面を円と近似しフェルミ波数を求めよ. ($h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)
 - (c) (b) で求めたフェルミ波数から金の電子密度を見積もれ.
3. 結晶格子の逆格子に関する以下の問に答えよ.
- (a) X 線回折におけるラウエの条件とは何か. また, ラウエの条件を説明せよ.
 - (b) ブラベ格子の基本並進ベクトルを a_1, a_2, a_3 とするとき, 3 つの独立な逆格子ベクトルを求めよ.
 - (c) 1 辺 a の面心立方格子の逆格子を求めよ.
 - (d) ミラー指数 (hkl) で与えられる結晶面を考えると, 逆格子ベクトル $G = hb_1 + kb_2 + lb_3$ は (hkl) 面に垂直であることを示せ.
 - (e) 隣り合った 2 つの平行な結晶面の間隔 $d(hkl)$ は, 前問の G を用いてどのように表わされるか.
4. 自由電子ガスに関する次の問に答えよ. 必要ならば, いくつかの物理量を適宜定義して用いよ.

- (a) 1次元自由電子ガスの状態密度をエネルギー E の関数として求めよ。
 (b) 2次元自由電子ガスの状態密度をエネルギー E の関数として求めよ。
5. 金属中の電子 (電荷: $-e$, 質量: m , 密度: n) の運動を考える。
 (a) この金属に対し x 方向に電流 (電流密度 J_x) を流し, z 方向に磁場 H_z を印加した. このとき金属中の電子に対する運動方程式を書け. ただし, 運動量緩和時間を τ とする.
 (b) (a) の運動方程式を定常状態において解き, 電場 (E_x, E_y) と電流密度 (J_x, J_y) の関係を示せ.
 (c) (b) から, この金属におけるホール係数を求めよ.
 (d) (b) から, この金属における抵抗の磁場依存性を求めよ。
6. 比熱に関する以下の問に答えよ. ただし必要ならば, $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}$, $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^4} = \frac{\pi^4}{90}$ を用いよ.
 (a) 格子振動の分極指標を p , 状態密度を $D_p(\omega)$ とするとき, 格子系のエネルギー U は

$$U = \sum_p \int d_p(\omega) \frac{\hbar\omega}{\exp(\beta\hbar\omega) - 1} d\omega, \quad \beta = \frac{1}{k_B T}$$

で与えられる. 各分極指標について, 分散関係を直線で近似したデバイモデルにおいて定積格子比熱 C_V は

$$C_V = 9Nk_B \left(\frac{T}{\theta_D}\right)^3 \int_0^{x_D} \frac{x^4 e^x}{(e^x - 1)^2} dx, \quad x_D = \frac{\theta_D}{T} = \frac{\hbar\omega_D}{k_B T},$$

で与えられることを示せ. (θ_D : デバイ温度, ω_D : デバイ周波数)

- (b) 低温極限における格子比熱を求めよ.
 (c) 金属における電子比熱は温度に比例する. このときの電子比熱係数 γ を求めよ。
7. 固体のバンド構造に関する以下の問に答えよ.
 (a) アルカリ金属 (bcc) は自由電子ガスモデルでよく記述される. この理由を定量的に説明せよ.
 (b) 強束縛近似において電子の分散関係は $E \sim E_i - A_i B_i \sum e^{i\mathbf{k}\cdot(\mathbf{r}_n - \mathbf{r}_m)}$ で表せる. (E_i, A_i : 定数, B_i : 移動積分) なお, ここで和は最近接原子についてとる. 単一の元素からなる一辺 a の面心立方格子の固体における分散関係を求めよ.
 (c) (b) のバンドのバンド幅はいくらか.