(自由電子の揺動速度 2)filename=driftvelocity2-qa050705.tex

電流について以下の問いに答えよ。

1. ある導体の密度を ρ、1 グラム原子量を M, アボガドロ数を N_A とするとき、単位体積あたりの原子数 n を ρ, M, N_A で表せ。
2. この導体における伝導電子の単位体積あたりの個数を n_{e}、ドリフト速度（揺動速度）を v_d、電気素量を e、導体の断面積を S とするとき、電流密度 i を n_{e}, v_d, e で表す式を求めよ。
3. ある導体において、1 原子当たり、1 個の伝導電子があるとして、電流の強さ $I = 1.0\mathrm{A}, e = 1.6 \times 10^{-19}\mathrm{C}, \rho = 8.93\mathrm{g/cm^3}, N_A = 6.0 \times 10^{23}/\mathrm{mol}, M = 63.5\mathrm{g}, S = 1\mathrm{mm^2}$ であるとして、ドリフト速度 v_d を計算せよ。
4. 電子の熱運動による平均の速さ V を 20°C の場合に計算せよ。ただし、電子の質量 $m = 0.91 \times 10^{-30}$ kg、ボルツマン定数 $k_B = 1.38 \times 10^{-23}\mathrm{Joule/K}$ とする。

(解答例)

1. グラム原子量と電子数密度の定義より

$$n = \frac{\rho}{M} N_A. \tag{1}$$

2. 電子の集団が断面積 S をドリフト速度 v_d で移動すると、単位時間に通過する面積は $v_d S$ となり、その中の伝導電子の個数は $v_d S n_{\mathrm{e}}$ である。電流の強さ I の定義（単位時間あたりの正味の電荷移動量）と電流密度 i の定義 $(i \equiv I/S)$ を用いると

$$\begin{aligned} Si &= (-e) v_d S n_{\mathrm{e}} \\ \rightarrow i &= -e\ v_d\ n_{\mathrm{e}}. \end{aligned} \tag{2}$$

3. 前問の結果に与えられた値を代入し、電流の強さ $I = iS$ であることか

$$\begin{aligned} v_d &= \frac{I}{-e\ n_{\mathrm{e}} S} = \frac{IM}{-eS\rho N_A} \\ &= \frac{1\mathrm{Cs^{-1}} \times 63.5\mathrm{g}}{-1.6 \times 10^{-19}\mathrm{C} \times (10^{-3}\mathrm{m})^2 \times 8.93\mathrm{g/cm^3} \times 6.0 \times 10^{23}} \\ &= -7.4 \times 10^{-5}\mathrm{m/s} (= -0.074\mathrm{mm/s}). \end{aligned} \tag{3}$$

4. 絶対温度を T とすると、エネルギー等分配則より

$$\frac{1}{2} m V^2 = \frac{3}{2} k_{\mathrm{B}} T. \tag{4}$$

この結果より

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{\frac{3 k_{\mathrm{B}} T}{m}} \\ &\approx 1.2 \times 10^5\mathrm{m/s} (= 120\mathrm{km/s}) \end{aligned} \tag{5}$$