

超伝導工学中間テスト

計算に必要であれば、以下の数値を用いよ。

$$e = 1.602177 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$h = 6.626075 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{sec}$$

$$k_B = 1.3807 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$\varepsilon_0 = 10^7/4\pi c^2 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 1.257 \times 10^{-6} \text{ H/m}$$

$$c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$$

1. 超伝導体の完全導電性とマイスナー効果について以下の問いに答えよ。

(a) 超伝導電流 j_s と電界 E の関係を示すロンドンの第1式

$$\frac{\partial j_s}{\partial t} = \frac{1}{\Lambda} E$$

および超伝導電流 j_s と磁束密度 B の関係を示すロンドンの第2式

$$\nabla \times j_s + \frac{1}{\Lambda} B = 0$$

の物理的な意味を説明せよ。ただし、 $\Lambda = \frac{m^*}{n_s e^{*2}}$ で、 n_s :超伝導電子対の密度、 m^* :超伝導電子対の質量、 e^* :超伝導電子対の電荷である。

(b) ロンドン方程式を基に、完全導体と超伝導体の違いを説明せよ。

2. 超伝導閉回路(超伝導リング)に関して、以下の問いに答えよ。

(a) 超伝導リングを流れる永久電流の担体である超伝導電子対の運動量 p がボアアの量子条件

$$\oint p \cdot d\ell = nh \quad (n:\text{整数})$$

を満足することを用いて、超伝導リングを貫く磁束 Φ が量子化されることを示せ。ただし、 h はプランク定数である。

(b) 超伝導リングに1つのジョセフソン接合を含む場合を考える。このとき、ジョセフソン接合の位相差 ϕ と超伝導リングを貫く磁束 Φ との関係を導け。また、超伝導ループのインダクタンスを L として磁束量子 Φ_0 で規格化した外部磁束 Φ_{ex}/Φ_0 と超伝導リングを貫く磁束 Φ/Φ_0 の関係を図示せよ。

3. ジョセフソン効果の第1式と第2式から、ジョセフソン接合に直流電圧 V を印加したときの交流効果について説明せよ。

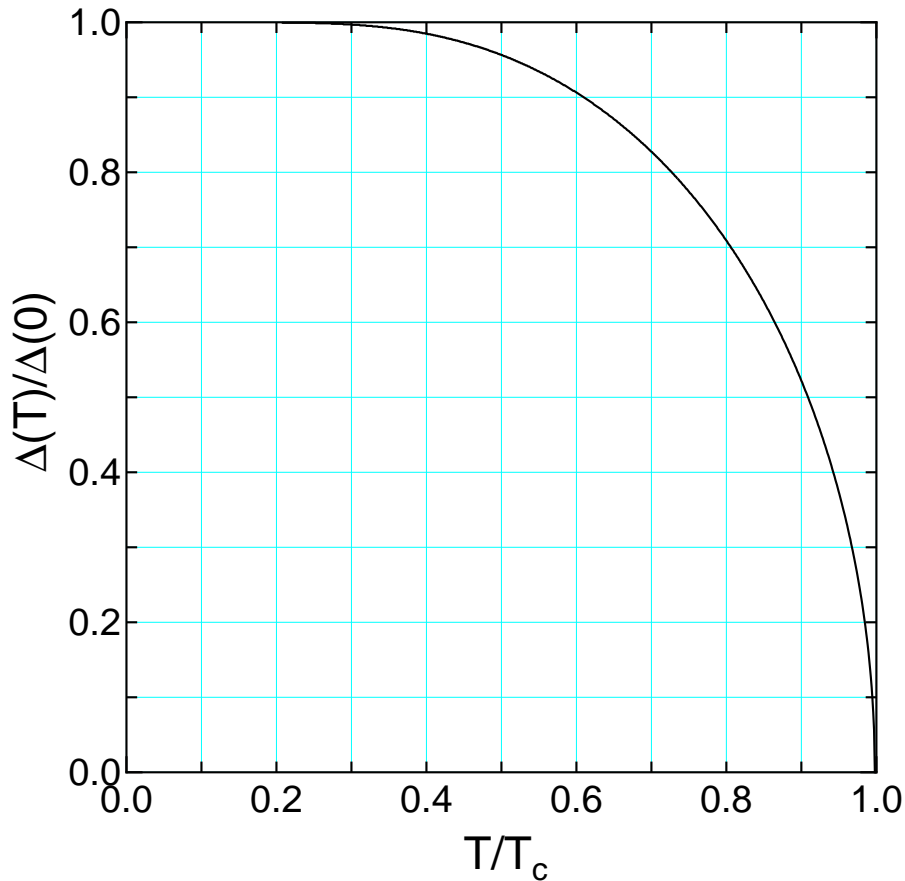


図 1: 超伝導エネルギーギャップの温度依存性

4. ジョセフソン接合について以下の問いに答えよ。

- (a) 数 mV 以上の直流電圧を NbN/MgO/NbN のトンネル接合に加え、抵抗 $R_n = 10\Omega$ を得た。NbN の超伝導臨界温度を $T_c = 16\text{K}$ とする。液体ヘリウム温度 $T = 9.8\text{K}$ での $I - V$ 特性を描け。要所に数値を記入すること。ただし、図 1 に示す超伝導エネルギーギャップの温度依存性を考慮すること。
- (b) MgB_2 超伝導体は臨界温度が $T_c = 40\text{K}$ であり、そのジョセフソン接合をクライオポンプで冷却して $T = 20\text{K}$ で動作することが可能であるとする。今、 MgB_2 ジョセフソン接合の臨界電流 I_c を、 $I = 0.9I_c$ での結合エネルギー E_c が $T = 20\text{K}$ での熱エネルギー $k_B T$ の 10 倍以上になるように設計したい。 I_c はいくら以上必要か？