

平成10年度北海道大学大学院理学研究科
物理学専攻修士課程(物理学分野)入試問題

問題 E-I

1. 一様な磁場中(磁束密度 \mathbf{B})における電荷 $q(>0)$ の質点(以下荷電粒子と呼ぶ)の運動を考える。荷電粒子の質量を m とし、磁場の向きは z 軸正の向きとする。また、荷電粒子の速度 \mathbf{v} は磁場に対して垂直とする。
 - a) 速度 \mathbf{v} が x 軸正の向きするとき、荷電粒子に働くローレンツ力の向きと大きさを記せ。
 - b) 荷電粒子は等速円運動(サイクロトロン運動)をすることを示せ。
 - c) この円運動の角速度の大きさ ω_c を記せ。
2. 金属における磁場 \mathbf{B} と電場 \mathbf{E} の下でのキャリア(電子)の運動を考える。その運動方程式は、速度に比例する抵抗 $-(m/\tau)\mathbf{v}$ も作用するとき、

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -e(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) - \frac{m\mathbf{v}}{\tau}$$

となる。($m, -e$ は、電子の質量と電荷で、 τ は緩和時間と呼ばれる。)

- a) 先ず、 $\mathbf{B} = 0$ の場合に、図のような直方体試料の $+x$ 面と $-x$ 面に電極を取り付け、外部から x 軸正の向きの一様な電場 $\mathbf{E} = (E_x, 0, 0)$ を印加する。時刻 $t = 0$ で電子の速度 $\mathbf{v} = 0$ とするとき、速度の時間変化を求め、時刻の経過と共に一定値(定常状態)に近づくことを示せ。また、電子密度を n とし、定常状態における電流密度 J を求めよ。
- b) さらに、 z 軸正の向きに一様な磁場が存在するときには、 x 方向に運動する電子は y 方向にローレンツ力を受ける。一方、定常状態ではローレンツ力を打ち消すような電場(ホール電場)が y 方向に曲げられ、試料の $+y$ 面は電子が不足して正に、 $-y$ 面は電子が過剰に集まって負に帯電すると考えることによって定性的に理解される。
 $\mathbf{B} = (0, 0, B_z), \mathbf{E} = (E_x, E_y, 0)$ として、定常状態における電流密度の x, y 成分 J_x, J_y を \mathbf{B}, \mathbf{E} の成分を用いて表せ。
- c) また、ホール電場は $E_y = -\frac{1}{ne} J_x B_z$ となることを示せ。