

## 課題 II-B 略解

本問題では、高校の教科書で必ず扱われて詳しい解説も掲載されている「電子の運動による電流のモデル」を取り上げました。後半（問 3 以降）ではそれを異なる見方で扱わざるを得ない実験結果を紹介して、素直で柔軟な物理的考察ができるかどうかを問う問題です。問題の進行に沿って考えると未学習の事項でも、考えのヒントがつかめるように説明を加えています。

### 問 1

- (1) 運動方程式  $ma = -eE - \frac{m\upsilon}{\tau}$  のもとで一定の電流が流れている、すなわち等速度  $\upsilon_d$  で運動しているときは、抵抗力と電場からの力が釣りあって、加速度  $a$  はゼロとなっている。  $eE = -\frac{m\upsilon_d}{\tau}$  より

$$\upsilon_d = \frac{-e\tau E}{m}$$

- (2) 電流  $I$  とは、ある断面  $S$  を一秒当たりによぎる電荷量なので  $I = -e\upsilon_d SN$  と表される。電流密度は  $i = I/S = -eN\upsilon_d$  より、

$$i = \frac{Ne^2\tau E}{m}$$

### 問 2

- (1) 導線の長さを  $L$ 、断面積を  $S$  とする。電圧  $V$  のもとで電流  $I$  が流れているとき、 $R = V/I = \rho L/S$  であるから、 $V/L = C/S$ 。ところで  $E = V/L$ 、 $i = I/S$  より、 $E = \rho i$  である。つまり、問 1

の(2)の答えで、 $\frac{Ne^2\tau E}{m} = \frac{1}{\rho}$  であるから、数値を代入して  $\tau = 3.8 \times 10^{-14}(\text{s})$ 。

また、導線中の電場の大きさは  $E = (10 \text{ mV}) / (1 \text{ m}) = 1.0 \times 10^{-2} (\text{V/m})$ 、よって

$$\upsilon_d = 6.6 \times 10^{-5} (\text{m/s}),$$

導線の抵抗  $R$  は、 $R = \rho L/S$  より  $1.6 \times 10^{-2} (\Omega)$ 、

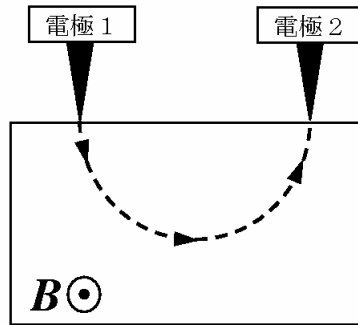
電流  $I$  は  $I = (10 \text{ mV}) / (1.6 \times 10^{-2} \Omega) = 0.63 (\text{A})$

- (2) 同様に  $\tau = 7.6 \times 10^{-10}(\text{s})$ 、 $\upsilon_d = 1.3(\text{m/s})$

問3

(1) 裏から表向き

(2)  $B_1$ では、針電極1から速さ $v_F$ で出た電子がローレンツ力を受けて半円を描いて針電極2に直接入射する。



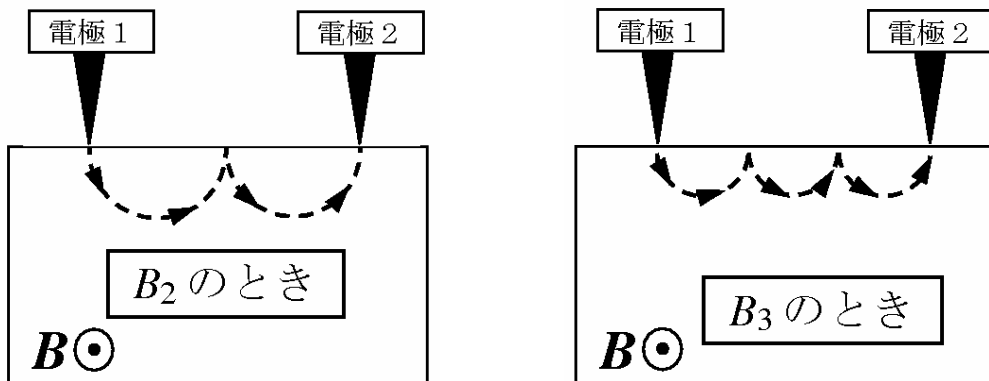
(3) 円運動の向心力=ローレンツ力のつりあいの式

$$\frac{mv_F}{R} = ev_FB$$

および、円運動の直径 $2R$ が針電極の間隔 $d$ に等しい ( $R = d/2$ ) ことより、  
 $v_F = 1.8 \times 10^6$  (m/s)。

(4) 電流を増すと、針電極1から銀板中に入ってくる電子の数は増えるが、電子の速さ $v_F$ は変化せず一定である。つまり、 $v_F$ は電流によらない。

(5)  $B_2$ 以上では、境界で電子が反射され、ローレンツ力による円運動の直径の整数倍が針電極間隔 $d$ に一致するときにも針電極2に電子が入射してピークが現れる。まるで電子のピンボールゲームのようである。



円運動の半径を  $R$  とすると  $2R \cdot n = d$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) のときピークを示す。

$$B_n = \frac{m v_F}{e R} = \frac{2 n m v_F}{e d} = n B_1$$

つまり  $B_n$  は  $B_1$  の整数倍となる。

**問 4** 問 3 の実験で分かった事実を皆さんなりに整理して、そこから何が分かるかを簡潔にまとめることを要求しています。(注：以下の例のすべてを解答することを求めている問題ではありません。あなたのアイデア、論理性などの考え方を評価します。)

実験で分かったこと

- (1) 電圧計のピークが特定の磁場だけで観測されるということは、電流を運ぶ電子の速さが  $v_F$  であることを示している。
- (2) 電流を運ぶ電子は  $v_F = 1.8 \times 10^6$  (m/s) と光速の約 1% ものたいへん速いスピードを持っている。
- (3) ピークを示す磁場位置が電流を変えても変化しないことから、電子の速さは電流の大きさによらず一定である。

ところで、電流密度は  $i = N e v_F$  で表され「電子の数」と「速さ」の積で決まっている。上記(3)の結果を考えると電流の大きさの変化は「数」が変化していることになる。以上をまとめると、金属中で電流を担っている電子の運動は非常に早い一定の速さをもち、電流を運ぶ電子の数が電流量により変化しているものと考えられる。