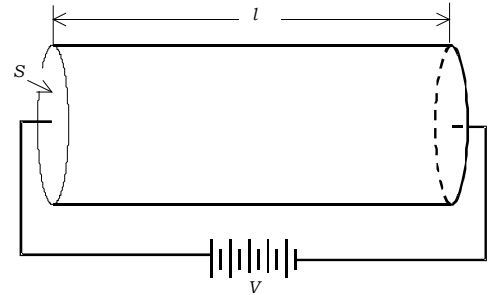


入試問題研究 第 63 回 琉球大学 95 年 ③改作

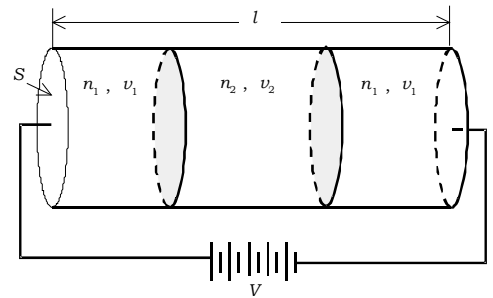
次の文章を読んで、下の各問いに答えなさい。

A. 図 I のように、長さ l 、断面積 S の金属棒に電圧 V がかけられている。ただし、電子の質量 m 、電荷を $-e$ とし、金属棒以外の電気抵抗は無視できるものとする。



金属内部にできる電界 E の大きさは ① であり、金属棒内部の自由電子は ② 向きで、大きさが ③ の力を受ける。一方、自由電子は金属中を運動するとき、_(a) 抵抗力を受ける。このとき、自由電子が受ける抵抗力は平均の速さに比例していると考えられている(抵抗力 $f = kv$ 、 k は比例定数)。電子の運動方向を正として運動方程式を作ると、④ である。このため電子は十分時間が経つと平均速度 $v =$ ⑤ で_(b) 等速運動することがわかる。金属棒の単位体積あたりの自由電子の数を n とすると、金属棒のある断面を t 秒間に通過する自由電子の数を、電子の平均の速さ v を使って示すと ⑥ 個になるから、金属棒に流れる電流の大きさは $I =$ ⑦ になる。この関係式を、 $V =$ ⑧ と変形して、オームの法則 $V = IR$ と比較すると、 R に相当する部分より、金属棒の電気抵抗は ⑨ と表すことができる。

B. 図 II のように、長さ l 、断面積 S の 3 本の金属棒 A、B、C を接続する。A と C は同じ金属であるが B は異なる金属である。単位体積あたりの電子の数を金属棒 A と金属棒 C で n_1 、金属棒 B で n_2 として、 $n_1 > n_2$ の関係があるとする。また、金属棒 A と金属棒 C での電子の平均の速さを v_1 、金属棒 B では v_2 とする。金属棒 A、B、C に流れる電流は等しいことから、 n_1 、 n_2 、 v_1 、 v_2 の関係は ⑩ が成立する。また、金属棒の断面を通過して単位時間に運ばれる運動エネルギーを金属棒 A と金属棒 C ので E_1 、金属棒 B で E_2 とすると、 $E_1 =$ ⑪、 $E_2 =$ ⑫ となる。



問1. 上の文章の空欄に適当な数式、語句を入れなさい。

問2. 下線部(a)の抵抗力が発生する理由を説明しなさい。

問3. 下線部(b)の等速運動になる理由を説明しなさい。

問4. 単位時間に運ばれる運動エネルギーの比 $\frac{E_2}{E_1}$ を n_1 、 n_2 で表しなさい。

問5. 問3で得られた金属棒中で運ばれる運動エネルギーの値の違いから、金属棒 A と金属棒 B を接続している断面、また、金属棒 B と金属棒 C を接続している断面で、どのような現象が見られるか具体的に説明しなさい。

入試問題研究 第63回 1995年 琉球大学 ③改作 解説

問1. A. 電界の公式 $E = \frac{V}{d}$ より、金属中に出来る電界は $E = \frac{V}{l} \cdots \textcircled{1}$ である。また、左が正であるので、電子が受ける力は、向きが「左」 $\cdots \textcircled{2}$ 、大きさが $f = qE$ より、 $f = e \times \frac{V}{l} = \frac{eV}{l} \cdots \textcircled{3}$ の力を受ける。抵抗を含めた運動方程式を作ると、 $\frac{eV}{l} - kv = ma \cdots \textcircled{4}$ である。したがって、速度 v が小さいときは加速度が正で加速、 v が大きくなると加速度が小さくなり、加速度ゼロのときが等速運動であるから、 $\frac{eV}{l} - kv = 0$ より、そのときの平均速度は $v = \frac{eV}{kl} \cdots \textcircled{5}$ である。この速度を「終速度」という。また、時間 t の間に動く距離は vt であるので、 t 秒間に通過する電子の数は $Svt \times n \cdots \textcircled{6}$ である。電流は単位時間に流れる電気量だから、 $I = Svn \times e \cdots \textcircled{7}$ である。⑤を⑦に代入して、 $I = \frac{e^2 n S V}{kl}$ だから、 $V = \frac{kl}{e^2 n S} I \cdots \textcircled{8}$ である。よって、オームの法則 $V = RI$ だから、電気抵抗の大きさは $R = \frac{kl}{e^2 n S} \cdots \textcircled{9}$ になる。

B. 電流が同じになる $e n_1 S v_1 = e n_2 S v_2$ ので、 $n_1 v_1 = n_2 v_2 \cdots \textcircled{10}$ である。

1個の電子の運動エネルギーは $\frac{1}{2} m v^2$ だから、単位時間に運ばれるエネルギーは $\frac{1}{2} m v^2 \times n S v$ だから、

Aでは $E_1 = \frac{1}{2} m (n_1 v_1)^3 S \cdot \frac{1}{n_1^2}$ 、Bでは $E_2 = \frac{m (n_2 v_2)^3 S}{2} \cdot \frac{1}{n_2^2}$ である。

これを電流で表すと、Aでは $E_1 = \frac{m I^3}{2 e^3 S^2 n_1^2} \cdots \textcircled{11}$ 、Bでは $E_2 = \frac{m I^3}{2 e^3 S^2 n_2^2} \cdots \textcircled{12}$ になる。

※ ここまでは、教科書のオームの法則のところとまったく同じであり、勉強しておれば全問正解も可能な部分だが... (勝負はこれから問2以降だ！)

問2. 自由電子は導体中の陽イオンと衝突する(相互作用が働く)ので自由電子が障害なく進むことが出来ない。そのため、電子には抵抗が働く。

問3. 自由電子の速度が小さいうちは抵抗が少なく、電界による力で電子は加速される。速度が増すにつれ、速度に比例する抵抗が大きくなり、電界による力を打ち消し、電子の加速度は小さくなる(加速し難くなる)。更に加速して、電界による力と抵抗が等しくなる速度まで加速すると、加速度がゼロになり、その速度で等速運動(加速度ゼロの運動)になるから。

問4. ⑪、⑫式より、運ばれるエネルギーの比は $\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_1^2}{n_2^2}$ である。

問5. $n_1 > n_2$ であるので、 $E_1 < E_2$ になる。境界面でのエネルギーの流れは連続するから、金属棒のAとBの境界面では、エネルギーを吸収(吸熱)し、BとCの境界面ではエネルギーを放出(発熱)する。

※ この原理を用いたものに「ペルチェ素子」がある。この素子は、携帯冷(温)蔵庫(自動車用冷(温)蔵庫)等に使われている。電流を流す向きを切り替えるだけで、発熱・吸熱を切り替えることができる上、モーターなど稼働部がないので非常に静かなことが特長として使われている。