

53.

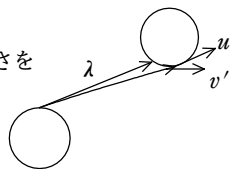
電流

(1) 電流は1秒間にある断面を通過する電気量と定義されている。 $I = envS$ を導け

(2) 電子の熱運動速度を $u$ 、平均原子間隔を $\lambda$

電場の強さを $E$ 、電場による電子の平均の速さを $v$ 、電子質量を $m$ 、電気素量を $e$ とする。

①  $v = \frac{eE\lambda}{2mu}$ と表されることを示せ。



② 電子が原子に衝突するときの平均の抵抗力が  $\frac{2mu}{\lambda}v$  で表されることを示せ。

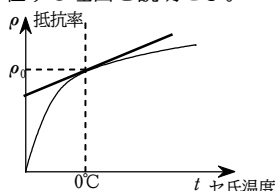
(3) ①  $V = RI$  及び  $R = \rho \frac{l}{S}$ を導け

② 導体の温度が上昇すると抵抗が大きくなることを説明せよ。

③ 静電誘導を起こすはずの導体内に電場が存在する理由を説明せよ。

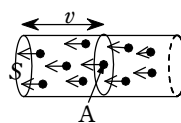
(4)  $W = Pt$ 、 $P = IV = I^2R = \frac{V^2}{R}$ を導け

(5) 右のグラフを見て $R = R_0(1 + \alpha t)$ を導け



解説

(1) 導線の断面 $S$ を1秒間に通過する電気量を求めればそれが電流となる。自由電子がすべて同じ速さ $v$ で右方向に流れており、 $A$ の電子がちょうど1秒後に断面 $S$ を通過したとすると、1秒間に断面 $S$ を通過した電子数は



$A$ と $S$ の間の円柱の体積内の電子数である。この体積は $vS$ であるので、 $1m^3$ 中の電子数を $n$ とすると、 $nvS$ となる。電子1個あたりの電気量を $e$ とすると、

$$I = envS$$

(2) ある原子に衝突した直後の自由電子の速さを $u$ とする。この $u$ は電子の熱運動の速さで温度が高いほど速い。

この空間に電場 $E$ が作用していると、

電子は $eE$ なるクーロン力を受けて

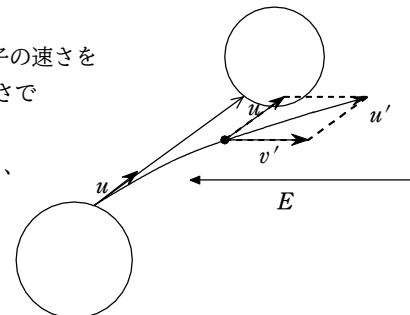
加速される。この加速度は

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$$

$t$ 秒後の速さを $v'$ とすると、( $v'$ は電場による速さ)

実際の速さは $u'$ でこれは初速度 $u$ と電場による速さ $v'$ のベクトル和である。

この $u'$ は次の衝突後の初速度となる。 $u' > u$ であるから、電流が流れることにより、熱運動速度が上がる。これは温度が上昇することを意味している。



$$v' = at = \frac{eEt}{m}$$

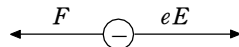
電子の電場による速さの平均 $v$ は等加速度運動であるから衝突間隔の中央の時刻

$$t = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{u} \text{の速さである。よって、} v = v't = \frac{eE\lambda}{2mu}$$

② 電子の平均の速さは電流が一定であれば

一定である。つまり、クーロン力 $eE$ と等しい

抵抗力 $F$ がはたらいていることになる。 $F = eE$



①より、 $eE$ を求めると、 $F = eE = \frac{2mu}{\lambda}v$  となる。

(3) ①  $k = \frac{2mu}{\lambda}$ とおくと、上の式は $kv = eE$ となる。これと、①の $I = envS$ より、

$$I = en \frac{eE}{k} S, \text{ ここで、電圧} V \text{と導線の長さ} l \text{を用いて、} E = \frac{V}{l} \text{で置き換えると、}$$

$$I = \frac{e^2 n}{k} \frac{S}{l} V, \text{ よって、} V = \frac{k}{e^2 n} \frac{l}{S} I, \text{ ここで、} \rho = \frac{k}{e^2 n}, R = \rho \frac{l}{S} \text{と置き換えると、} V = RI \text{となる。}$$

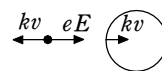
② 温度が上昇すると熱運動速度 $u$ が大きくなる。 $k = \frac{2mu}{\lambda}$ 、 $\rho = \frac{k}{e^2 n}$ 、 $R = \rho \frac{l}{S}$

より、抵抗が大きくなる。

③ 静電誘導は電子が動いた後である。電子が動くことにより電場が消えるのである。この場合は電子が動いている最中であるから電場が存在する。

(4) 原子は電子から $kv$ の力を受ける。

電子は電場より $eE$ の力を受けて1秒間に



電場より  $W = Fs = eEv$  の仕事をされ、

これだけのエネルギーをもらう。ところが電子の運動エネルギーは電子の速さが一定であるから、増えていない。もらったエネルギーは原子の運動エネルギーすなわち熱エネルギーとなっている。長さ $l$ 、断面積 $S$ の導線内に $n l S$ 個の自由電子があるため、導線内の全自由電子による発熱量すなわち電力 $P$ は

$$P = eEv \cdot n l S = envS \cdot El = IV$$

$$V = RI \text{を用いて、} P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

これは1秒間の仕事であるから、 $t$ 秒間の仕事すなわち全発熱量 $W = Pt$ となる。

(5) 抵抗率のグラフを $0^\circ\text{C}$ 付近で直線近似をする。 $0^\circ\text{C}$ での接線の方程式を求める。

切片が $\rho_0$ 、傾きを $\alpha\rho_0$ とすると、 $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$  両辺に $\frac{l}{S}$ をかけると、

$$R = R_0(1 + \alpha t) \text{が成立。}$$