

断面積 S 、長さ L の導体がある。この導体には、電気量 $-e$ の自由電子が単位体積あたり n 個含まれるものとして、次の問いに答えよ。

- (1) 図 1 のように、導体の両端に電圧 V を加えた。
 - (a) 導体内に生じる電場の大きさはいくらか。その向きは図の A, B のいずれか。
 - (b) 自由電子が電場から受ける力の大きさはいくらか。その向きは A, B のいずれか。
- (2) 自由電子は電場から力を受けるが、導体中の陽イオンからの抵抗力を受け、この 2 つの力がつりあって、自由電子は一定の速さで移動するとみなせる。この抵抗力の大きさが自由電子の速さに比例すると考え、その比例定数を k とする。
 - (c) 自由電子の速さはいくらか。
 - (d) 導体の断面を単位時間に通過する電子の数はいくらか。
 - (e) 導体を流れる電流の大きさはいくらか。
 - (f) オームの法則と (e) の結果を比較すると、導体の抵抗はいくらか。
- (3) 導体の両端に加えた電圧により生じた電場は、抵抗力に逆らって自由電子を移動させる仕事をする。この仕事は、導体から発生するジュール熱と等しくなる。
 - (g) 電場が 1 個の自由電子に単位時間にする仕事はいくらか。
 - (h) 導体から単位時間に発生するジュール熱はいくらか。

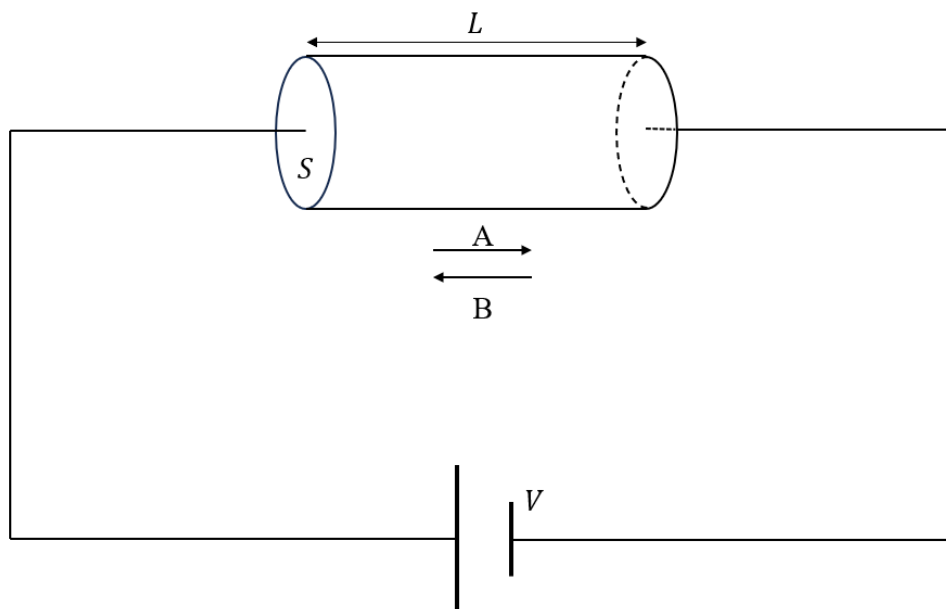


図 1

【解答】

(1)

(a) 導体内に一樣な電場が生じており，その向きは高電位から低電位に向かう向きで A. また，電場の大きさ E は $E = \frac{V}{L}$.

(b) 電子は電場から静電気力を受ける．自由電子の電荷は負であり，電場とは反対の向きに力を受ける．よって，静電気力の向きは B であり，力の大きさ F は，

$$F = eE = \frac{eV}{L}$$

(2)

(c) 電子は B の向きに運動している．電子の速さを v_e とすると，進行方向と反対の向きに大きさ kv_e の抵抗力を受けており，これが静電気力とつりあっている．運動方程式

$$0 = kv_e - \frac{eV}{L} \quad \therefore v_e = \frac{eV}{kL}$$

(d) 導体内の断面 X を単位時間に通過する自由電子は，距離 v_e だけ後方にある断面 Y と断面 X の間に存在する．XY 間の体積は Sv_e なので，XY 間に含まれる自由電子の数 N は，

$$N = n \times Sv_e = \frac{enSV}{kL}$$

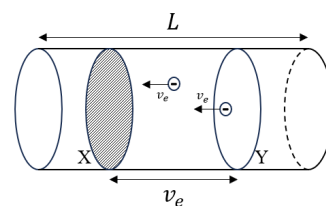


図 1

(e) 電流の大きさ I は，断面 X を単位時間あたりに通過する電気量ゆえ，

$$I = eN = \frac{e^2 nSV}{kL}$$

(f) (e) の結果から，導体の抵抗 R は

$$R = \frac{V}{I} = \frac{kL}{e^2 nS}$$

(3)

(g) 電場が 1 個の自由電子に対して単位時間に行う仕事 P_e は，自由電子が静電気力から受ける仕事率であり，

$$P_e = Fv_e = \frac{e^2 V^2}{kL^2}$$

(h) 導体中のすべての自由電子 (nSL 個) が電場から受ける仕事率 P が導体から単位時間に発生するジュール熱である．

$$P = nSL \cdot P_e = \frac{e^2 nSV^2}{kL}$$