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．

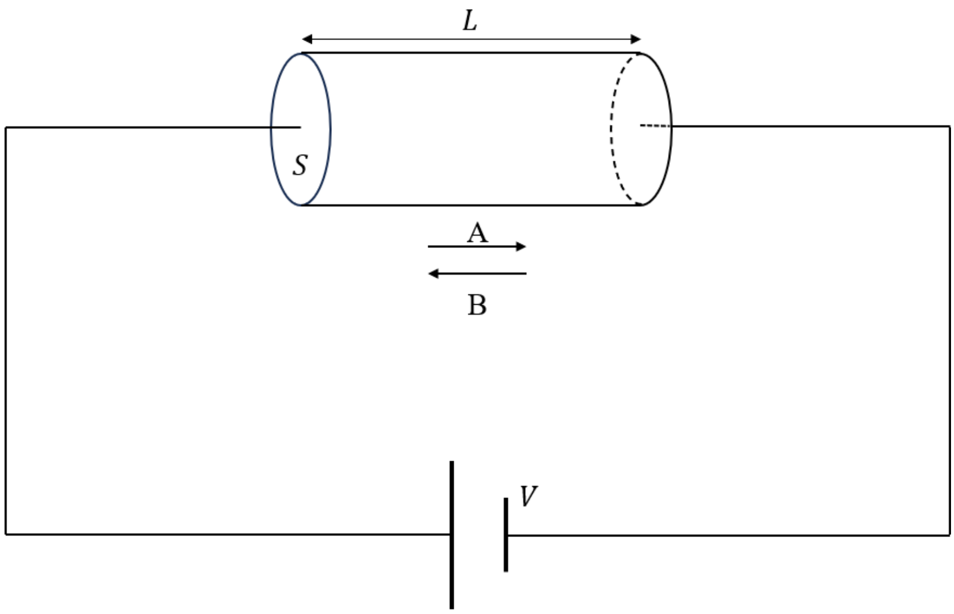

図 1

【解答】

(1)

(a) 導体内に一様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 $E=\dfrac{V}{L}$.

(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,

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

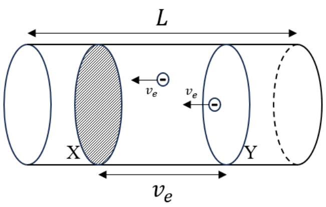

図 1

(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,

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

(f) (e) の結果から，導体の抵抗 R は

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

(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,

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

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

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