物理基礎・物理

問題 1

(1)

水平方向の速さ $v_x=V$ であるから、点 B に達する時間 t_B は

$$t_B=\frac{L}{v_x}=\frac{L}{V}$$

垂直方向は、加速度 g の等加速度運動であるから、

点 B の井戸の上端からの距離 y_B は、

$$y_B=\frac{1}{2}gt_b^2=\frac{1}{2}g\left(\frac{L}{V}\right)^2=\frac{gL^2}{2V^2}$$

答. $\dfrac{gL^2}{2V^2}$ [m]

(2)

点 B から点 C までの水平方向の速さは、点 B ではねかえるので、

$v_x=eV$ であるから、点 C に達する時間 t_C は

$$t_C=t_B+\frac{L}{v_x}=\frac{L}{V}+\frac{L}{eV}=\left(1+\frac{1}{e}\right)\frac{L}{V}$$

垂直方向は、はねかえりによって速度が変化しないから、加速度 g の等加速度運動をつづけているので、点 C の井戸の上端からの距離 y_C は、

$$y_C=\frac{1}{2}gt_C^2=\frac{1}{2}g\left\{\left(1+\frac{1}{e}\right)\frac{L}{V}\right\}^2=\left(1+\frac{1}{e}\right)^2\frac{gL^2}{2V^2}$$

答. $\left(1+\dfrac{1}{e}\right)^2\dfrac{gL^2}{2V^2}$ [m]

(3)

点 C から点 D までの水平方向の速さは、

点 C ではねかえるので、$v_x = e^2 V$ であるから、

点 D(井戸の底の中点)に達する時間 t_D は

$$t_D = t_C + \frac{\frac{L}{2}}{v_x} = \left(1 + \frac{1}{e}\right)\frac{L}{V} + \frac{L}{2e^2V} = \left(1 + \frac{1}{e} + \frac{1}{2e^2}\right)\frac{L}{V}$$

垂直方向は、はねかえりによって速度が変化しないから、

加速度 g の等加速度運動をつづけているので、

井戸の上端から底（点 D）までの距離 H は、

$$H = \frac{1}{2}gt_D^2 = \frac{1}{2}g\left\{\left(1 + \frac{1}{e} + \frac{1}{2e^2}\right)\frac{L}{V}\right\}^2 = \left(1 + \frac{1}{e} + \frac{1}{2e^2}\right)^2\frac{gL^2}{2V^2}$$

答. $H = \left(1 + \frac{1}{e} + \frac{1}{2e^2}\right)^2\frac{gL^2}{2V^2}$ [m]

物理基礎・物理

問題２

(1)

点電荷 P_1 が地点 B においてつくる電場は、A→B の向きに強さは$k\frac{Q}{L^2}$〔N/C〕である。

したがって、点電荷 P_2 が地点 B で受ける力の大きさは$k\frac{qQ}{L^2}$〔N〕であり、力の向きは A→B である。

答. 向き A→B：、大きさ：$k\frac{qQ}{L^2}$〔N〕

(2)

エネルギー保存の法則より、点電荷 P_2 がもつ地点 B での静電気力による位置エネルギーと発射時点での運動エネルギーの合計は、地点 C での静電気力による位置エネルギーの合計と等しくなることから、地点 A から地点 C までの距離を l〔m〕とすると

$$k\frac{qQ}{L}+\frac{1}{2}m{v_0}^2=k\frac{qQ}{l}$$

$$l=\frac{kqQ}{k\frac{qQ}{L}+\frac{1}{2}m{v_0}^2}$$

答. $\frac{kqQ}{k\frac{qQ}{L}+\frac{1}{2}m{v_0}^2}$〔m〕

(3)

点電荷 P_1 が地点 C においてつくる電場は、A→C の向きに強さは$k\frac{Q}{l^2}$〔N/C〕である。

したがって、点電荷 P_2 が地点 C で受ける力の向きは A→C であり、大きさは$k\frac{qQ}{l^2}$〔N〕であるから

$$k\frac{qQ}{l^2}=\frac{\left(k\frac{qQ}{L}+\frac{1}{2}m{v_0}^2\right)^2}{kqQ}$$

答.　向き A→C：、大きさ：$\frac{\left(k\frac{qQ}{L}+\frac{1}{2}m{v_0}^2\right)^2}{kqQ}$〔N〕

(4)

エネルギー保存の法則より、点電荷 P_2 がもつ地点 B での静電気力による位置エネルギーと発射時点での運動エネルギーの合計は、地点 A から距離 x〔m〕だけ離れた位置での点電荷 P_2 のもつ静電気力による位置エネルギーと運動エネルギーの合計と等しくなることから、求める速さをv_x〔m/s〕とすると

$$k\frac{qQ}{L}+\frac{1}{2}m{v_0}^2=k\frac{qQ}{x}+\frac{1}{2}m{v_x}^2$$

$$v_x=\sqrt{\frac{2kqQ}{m}\left(\frac{1}{L}-\frac{1}{x}\right)+{v_0}^2}$$

答.　$\sqrt{\frac{2kqQ}{m}\left(\frac{1}{L}-\frac{1}{x}\right)+{v_0}^2}$〔m/s〕

問題３

(1)

ばねの縮みはピストンの高さの変化と等しいので、

$$\frac{2V_0 - V_0}{S} = \frac{V_0}{S}$$

答え. $\frac{V_0}{S}$ 〔m〕

(2)

ばね定数を k とする。状態 2 のときピストンは
下向きに$p_0S + k \times \frac{V_0}{S}$
上向きに$2p_0S$
の力を受け、それらがつりあっている。

$$p_0S + \frac{kV_0}{S} = 2p_0S$$

$$k = \frac{p_0S^2}{V_0}$$

答え. $\frac{p_0S^2}{V_0}$ 〔N/m²〕

(3)

気体の圧力を p とする。ばねの縮みは$\frac{V-V_0}{S}$、ばね定数は$\frac{p_0S^2}{V_0}$、ピストンのつり合いより、

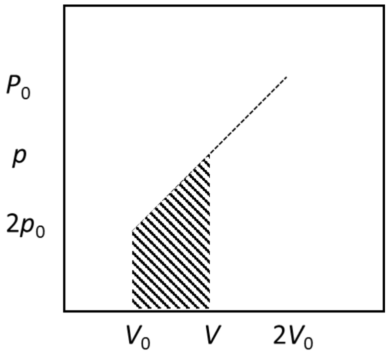
$$p_0S + \frac{p_0S^2}{V_0} \times \frac{(V - V_0)}{S} = pS$$

$$p = \frac{p_0}{V_0}V$$

答え. $\frac{p_0}{V_0}V$ 〔Pa〕

(4)

状態 1 から 2 の過程で気体の体積が V のときそれまでに気体が外部にした仕事 W は下図の斜線部分の面積と等しい。



$$W = \frac{(V - V_0)(p + p_0)}{2}$$

$p = \frac{p_0}{V_0}V$ より $\mathrm{W} = \frac{(V - V_0)(p + p_0)}{2} = \frac{p_0(V^2 - V_0^2)}{2V_0}$

答え. $\frac{p_0(V^2 - V_0^2)}{2V_0}$ 〔J〕

(5)

状態 1 から 2 の過程で気体の体積が V のとき気体の温度を T、状態 1 からの内部エネルギーの増加量を ΔU とする。また気体を n [mol]、気体定数を R とする。

$$\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{pV}{T} = nR$$

$p = \frac{P_0}{V_0}V$ より $T = \frac{V^2T_0}{V_0^2}$

単原子分子理想気体の場合、$\Delta U = \frac{3}{2}nR(T - T_0)$ なので

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR(T - T_0) = \frac{3}{2}\frac{p_0V_0(T - T_0)}{T_0} = \frac{3p_0(V^2 - V_0^2)}{2V_0}$$

$$Q = \Delta U + W = \frac{2p_0(V^2 - V_0^2)}{V_0}$$

答え. $\frac{2p_0(V^2 - V_0^2)}{V_0}$ 〔J〕

二原子分子理想気体として解き、$\frac{3p_0(V^2 - V_0^2)}{V_0}$ としても正解。

物理基礎・物理

問題４

(1)

$V_1 > V_2$であるので、回路に流れる電流は反時計回りとなり、抵抗 R_1には左向きに電流が流れる。

回路の合成抵抗は、$R_1 + R_3 + R_4$ 〔Ω〕

この合成抵抗にかかる電圧は、$V_1 - V_2$ 〔V〕であるので、

回路に流れる電流は、$\frac{V_1 - V_2}{R_1 + R_3 + R_4}$

答．R_1〔Ω〕の抵抗に流れる電流の大きさ：$\frac{V_1 - V_2}{R_1 + R_3 + R_4}$ 〔A〕

R_1〔Ω〕の抵抗に流れる電流の向き：左向き

(2)

回路の合成抵抗は、$R_1 + R_4 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3 + R_2R_4 + R_3R_4}{R_2 + R_3}$ 〔Ω〕

この合成抵抗にかかる電圧は、$V_1 - V_2$ 〔V〕であるので、

回路に流れる電流は、$(V_1 - V_2)\left(\frac{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3 + R_2R_4 + R_3R_4}{R_2 + R_3}\right)^{-1}$ 〔A〕

答．R_1〔Ω〕の抵抗に流れる電流の大きさ：$\frac{(V_1 - V_2)(R_2 + R_3)}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3 + R_2R_4 + R_3R_4}$

〔A〕

(3)

答．①大きくなる。

(1)より、スイッチが開いているときの合成抵抗は、$R_1+R_4+R_3$〔Ω〕
(2)より、スイッチが閉じているときの合成抵抗は、$R_1+R_4+\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}$〔Ω〕

R_3と$\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}$の大小関係は、$R_3>\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}$である。

したがって、スイッチが閉じているときの方が、回路の合成抵抗は小さくなる。また回路の電圧は変わらないので、スイッチが閉じているときの方が、回路に流れる電流は大きくなる。