

1

- (1) 糸1の張力の大きさを T_1 [N] とする。鉛直上向きを正としたとき、物体Aについての力のつりあいの式は、

$$T_1 - Mg = 0$$

よって、 $T_1 = \underline{\underline{Mg}}$ [N]

- (2) 物体A, Bが一定の速さで上昇しているので、物体A, Bに加わる力は(1)のときと同様につりあっている。糸2の張力の大きさを T_2 [N] とし、鉛直上向きを正とすると、物体Bについての力のつりあいの式は、

$$T_2 - T_1 - mg = 0$$

(1)の解より、

$$T_2 - Mg - mg = 0$$

よって、 $T_2 = \underline{\underline{(M + m)g}}$ [N]

- (3) 物体Aについての運動方程式は、

$$Ma = T_1 - Mg$$

よって、 $T_1 = \underline{\underline{(a + g)M}}$ [N]

- (4) 物体A, Bについての運動方程式はそれぞれ、

$$\frac{Mg}{2} = Mg - T_1 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\frac{mg}{2} = T_1 + mg - T_2 \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ②より

$T_2 = -\frac{1}{2}(M + m)g$ よって、大きさは $\underline{\underline{\frac{1}{2}(M + m)g}}$ [N]

- (5) $M = 6.0$, $m = 4.0$, $g = 9.8$ を(4)の解に代入すると、

$$T_2 = \underline{\underline{49\text{ N}}}$$

問題 I

- (1) 小球が O 点を通過するときの高さを重力による位置エネルギーの基準とし、そのときの小球の速さを v_1 [m/s] とする。力学的エネルギー保存則より、

$$mgL = \frac{1}{2}mv_1^2$$

よって、 $v_1 = \underline{\underline{\sqrt{2gL}}}$ [m/s]

- (2) 小球が O の真上を通過してから P に落下するまでにかかる時間を t [s] とすると、小球の鉛直方向の落下距離は L [m] なので

$$L = \frac{1}{2}gt^2$$

より、 $t = \underline{\underline{\sqrt{\frac{2L}{g}}}}$ [s]

また、OP 間の距離を x [m] とおくと、

$$x = v_1 t$$

$$= \sqrt{2gL} \times \sqrt{\frac{2L}{g}}$$

$$= \underline{\underline{2L}} \text{ [m]}$$

問題 II

- (3) 小球が問題文図 2 の状態から O の真上を通過するまでの間に、台は張力によって x 軸の負の方向に加速して速度 V となる。この間運動量は保存するので、

$$0 = MV + mv$$

よって、 $V = \underline{\underline{-\frac{m}{M}v}}$

- (4) 力学的エネルギー保存則より、 $v = v_1 = \underline{\underline{\sqrt{2gL}}}$ [m/s]

また、(3) の解より、 $V = \underline{\underline{-\frac{m\sqrt{2gL}}{M}}}$ [m/s]

- (5) OP' 間の距離を x' とおくと、

$$\begin{aligned}
 x' &= vt - Vt \\
 &= \sqrt{2gL} \times \sqrt{\frac{2L}{g}} - \left(-\frac{m\sqrt{2gL}}{M} \times \sqrt{\frac{2L}{g}} \right) \\
 &= \frac{2(M+m)L}{M} \text{ [m]}
 \end{aligned}$$

3

(1) 状態 B, C の圧力, 体積, 温度をそれぞれ P_B , P_C , V_B , V_C , T_B , T_C とする。

状態 B について

状態 A から体積を一定に保っているのので, $V_B = \underline{\underline{V_0 \text{ [m}^3\text{]}}}$

状態 A から温度を $1/3$ 倍まで下げているので, $T_B = \underline{\underline{\frac{1}{3}T_0 \text{ [K]}}}$

ボイル・シャルルの法則より,

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_B V_0}{\frac{1}{3}T_0}$$

よって, $P_B = \underline{\underline{\frac{1}{3}P_0 \text{ [Pa]}}}$

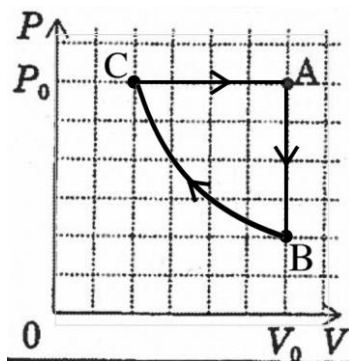
状態 C について

状態 B から温度を一定に保っているのので, $T_C = \frac{1}{3}T_0 \text{ [K]}$

状態 B から体積を $1/3$ 倍に圧縮しているのので, $V_C = \underline{\underline{\frac{1}{3}V_0 \text{ [m}^3\text{]}}}$

圧力一定で体積を 3 倍すると, 状態 A に戻るのので, $P_C = \underline{\underline{P_0 \text{ [Pa]}}}$

(2) 下図



(3) B→D の状態変化は断熱圧縮なので $V_D < V_A$ 。また、温度が上昇するので状態 C と状態 D の圧力が同じであれば、 $V_D > V_C$ 。

よって、(ウ) A より小さく C より大きい

(4) A→B, B→C, C→A, B→D の各過程における外部から気体に加えた仕事をそれぞれ W_{AB} , W_{BC} , W_{CA} , W_{BD} とし、外部から気体に加えた熱量をそれぞれ Q_{AB} , Q_{BC} , Q_{CA} , Q_{BD} , 気体の内部エネルギーの増加量を ΔU_{AB} , ΔU_{BC} , ΔU_{CA} , ΔU_{BD} とする。

A→B について

体積一定なので $W_{AB} = 0$ 。

温度が下降するので $\Delta U_{AB} < 0$ 。

熱力学第一法則 $\Delta U = Q + W$ より、 $Q_{AB} < 0$ 。

B→C について

温度一定なので、 $\Delta U_{BC} = 0$ 。

圧縮しているので、 $W_{BC} > 0$ 。

熱力学第一法則 $\Delta U = Q + W$ より、 $Q_{BC} < 0$ 。

C→A について

膨張しているので、 $W_{CA} < 0$ 。

圧力一定で膨張した場合、温度が上昇するので (シャルルの法則)、 $\Delta U_{CA} > 0$ 。

熱力学第一法則 $\Delta U = Q + W$ より、 $Q_{CA} > 0$ 。

B→D について

断熱変化なので、 $Q_{BD} = 0$ 。

圧力が上昇するので、圧縮するため、 $W_{BD} > 0$ 。

熱力学第一法則 $\Delta U = Q + W$ より、 $\Delta U_{BD} > 0$ 。

以上のことから下表のようになる。

	A→B	B→C	C→A	B→D
W	0	+	—	+
Q	—	—	+	0
ΔU	—	0	+	+

4

- (1) 板を自由に動けるようにした後、安定したときの気体の圧力を P [Pa]、温度を T [K] とおく。

板を自由に動けるようにする前後で、部屋 A、B の内部エネルギーの和は変化しないので、

$$\frac{3}{2} \times 2.5 \times 10^5 \times 1.5 \times 10^{-3} + \frac{3}{2} \times 0.75 \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-3} = \frac{3}{2} PV_A + \frac{3}{2} PV_B \quad \dots \textcircled{1}$$

また、

$$V_A + V_B = 1.5 \times 10^{-3} + 2.0 \times 10^{-3} \quad \dots \textcircled{2}$$

なので、 $\textcircled{1}\textcircled{2}$ より、 $P = \underline{\underline{1.5 \times 10^5 \text{ [Pa]}}}$ $\dots \textcircled{3}$

加えて、ボイル・シャルルの法則より、

$$\frac{PV_A}{T} = \frac{2.5 \times 10^5 \times 1.5 \times 10^{-3}}{500} \quad \dots \textcircled{4}$$

$$\frac{PV_B}{T} = \frac{0.75 \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-3}}{300} \quad \dots \textcircled{5}$$

なので、 $\textcircled{2}\sim\textcircled{5}$ より、 $T = \underline{\underline{420 \text{ [K]}}}$

(2)

- (ア) 十分に時間が経過し、安定したときの水の温度を t [$^{\circ}\text{C}$] とおくと、熱量の保存より

$$160 \times 4.2 \times (t - 20) = 40 \times 4.2 \times (80 - t)$$

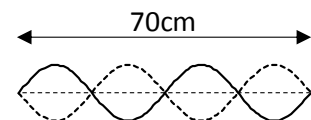
よって、 $t = \underline{\underline{32 \text{ [}^{\circ}\text{C}]}}}$

- (イ) 200g の水を 5.0°C 温度上昇させるための熱量は

$$200 \times 4.2 \times 5.0 = \underline{\underline{4.2 \times 10^3 \text{ J}}}$$

5

- (1) 120Hz で定常波ができ、振動数を徐々に大きくしていき、40Hz 大きくしたとき再び定常波ができたので、120Hz のときの定常波は 3 倍振動、160Hz のときの定常波は 4 倍振動 (右図) である。よって、160Hz のときの定常波の波長は 35 cm。



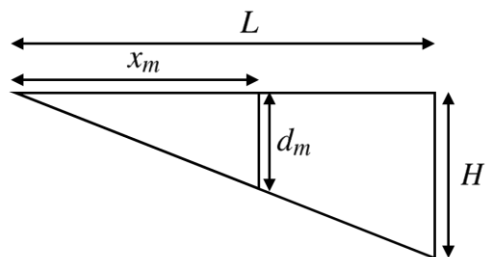
- (2) 弦の振動部分の長さが 90cm のとき定常波ができ、振動数一定のまま振動部分の長さを徐々に短くしていき、15cm 縮めたときに再び定常波ができたので、この定常波の波長は 30cm。よって $v = f\lambda$ より

$$\begin{aligned} v &= 150 \times 0.30 \\ &= \underline{\underline{45 \text{ m/s}}} \end{aligned}$$

6

- (1) 右図より、

$$d_m = \underline{\underline{\frac{H}{L} x_m \text{ [m]}}}$$



- (2) 装置の上方から見た場合、入射光と反射光が干渉し、位置 x_m で暗線ができるための条件は、

$$2d_m = m\lambda$$

よって、

$$\frac{H}{L} x_m = m\lambda$$

ゆえに、

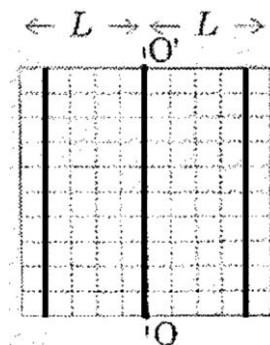
$$x_m = \underline{\underline{m \frac{L\lambda}{H} \text{ [m]}}}$$

- (3) $H = 1.25\lambda$ であるとき、暗線間の間隔 Δx は、

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{H} \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$= \frac{4}{5} L \text{ [m]}$$

であり、O の位置が $m = 0$ の暗線であるので、下図のようになる。



- (4) 赤色の光の波長は、青色の光の波長よりも大きいので、①式より、暗線の間隔は広くなる。よって、(ア)。

7

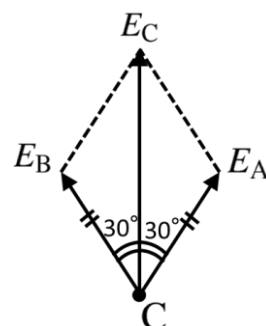
- (1) O における電界の大きさ E_O は、

$$\begin{aligned} E_O &= k \frac{Q}{a^2} - k \frac{Q}{a^2} \\ &= \underline{\underline{0 \text{ [N/C]}}} \end{aligned}$$

C における電界 $\vec{E}_C$ は、OA:AC = 1:2 であることより、右図のように合成される。よって、電界の向きは、エ の向き。

また、電界の大きさ E_C は、

$$\begin{aligned} E_C &= 2 \times k \frac{Q}{4a^2} \times \sin 30^\circ \\ &= \underline{\underline{\frac{\sqrt{3}kQ}{4a^2} \text{ [N/C]}}} \end{aligned}$$



- (2) O における電位 V_O は、

$$\begin{aligned} V_O &= k \frac{Q}{a} + k \frac{Q}{a} \\ &= \underline{\underline{\frac{2kQ}{a} \text{ [V]}}} \end{aligned}$$

また、C における電位 V_C は、

$$\begin{aligned} V_C &= k \frac{Q}{2a} + k \frac{Q}{2a} \\ &= \underline{\underline{k \frac{Q}{a} \text{ [V]}}} \end{aligned}$$

- (3) $+q$ [C] の電荷には電界と同じ方向に力が加わるので、力の向きは エ。

また、加わる力の大きさは、

$$qE_C = \underline{\underline{\frac{\sqrt{3}kqQ}{4a^2} \text{ [N]}}}$$

- (4) 小球に加わる力は静電気力のみであるため、小球の力学的エネルギーは保存する。よって、小球の初速度を v_C とすると、

$$\frac{1}{2}mv_{\text{c}}^2 + qV_{\text{c}} = qV_0$$

(2) の解より,

$$\frac{1}{2}mv_{\text{c}}^2 + \frac{kqQ}{a} = \frac{2kqQ}{a}$$

よって,

$$v_{\text{c}} = \underline{\underline{\sqrt{\frac{2kqQ}{ma}}}} \text{ [m/s]}$$

8

(1) 辺 **ab** に生じる誘導起電力の大きさ V [V] は,

$$V = \underline{\underline{vBL}} \text{ [V]}$$

(2) レンツの法則より, 電流の向きは **a**→**b** の向き。

また, 流れる電流の大きさを I [A] とすると, オームの法則より,

$$vBL = RI$$

よって,

$$I = \underline{\underline{\frac{vBL}{R}}} \text{ [A]}$$

(3) 辺 **ab** が磁場から受ける力とつり合う力を加えれば良い。よって, 外力の大きさを F [N] とすると,

$$F = IBL$$

(2) の解より,

$$F = \underline{\underline{\frac{vB^2L^2}{R}}} \text{ [N]}$$

(4) 消費電力 P [W] は,

$$P = \frac{V^2}{R}$$

(1) の解より,

$$P = \underline{\underline{\frac{v^2B^2L^2}{R}}} \text{ [W]}$$

(5) 辺 **cf** と **ef** は並列接続されている。そのため回路 **cdef** の合成抵抗は

$$\left(\frac{1}{2R} + \frac{1}{R}\right)^{-1} = \frac{2R}{3} [\Omega]$$

また、回路 **cdef** と辺 **af** は直列接続されている。よって回路全体の合成抵抗 R' は

$$R' = \frac{2R}{3} + R = \frac{5R}{3} [\Omega]$$

よって、辺 **ab** を流れる電流の大きさ I' は、

$$I' = \underline{\underline{\frac{5R}{3vBL} [\text{A}]}}$$

(6) 回路の消費電力 P は、

$$\begin{aligned} P &= R' I'^2 \\ &= \frac{5R}{3} \times \left(\frac{5R}{vBL}\right)^2 \\ &= \underline{\underline{\frac{125R^3}{3v^2B^2L^2} [\text{W}]}} \end{aligned}$$