令和８年度 熊本大学個別学力検査（前期日程）【物理】　解答例

1

（問 1）板の重心に作用する重力は mg で，重心とローラーA の中心との水平距離は $b+c$，重心とローラーB の中心との水平距離は $b-c$ である。
板とローラーA とが接触している点周りで，板が受ける力のモーメントのつり合いは，反時計回りを正とすると，

$$-mg(b+c)+2b\,N_{\mathrm{B}}=0$$

板とローラーB とが接触している点周りで，板が受ける力のモーメントのつり合いは，

$$mg(b-c)-2b\,N_{\mathrm{A}}=0$$

答：　$N_{\mathrm{A}}=mg\dfrac{b-c}{2b}$ [N]　, $N_{\mathrm{B}}=mg\dfrac{b+c}{2b}$ [N]

（問 2）動摩擦係数は μ' で，$b>|c|$ なので，$F_{\mathrm{A}}=\mu'|N_{\mathrm{A}}|$，$F_{\mathrm{B}}=\mu'|N_{\mathrm{B}}|$より，

答：　$F_{\mathrm{A}}=\mu' mg\dfrac{b-c}{2b}$ [N]　, $F_{\mathrm{B}}=\mu' mg\dfrac{b+c}{2b}$ [N]

（問 3）板をローラーの上に置いた直後に，板に作用する摩擦力は，$F_{\mathrm{A}}-F_{\mathrm{B}}$ なので，

$$\alpha_0=\frac{(F_{\mathrm{A}}-F_{\mathrm{B}})}{m}=\left(\mu' g\frac{b-c}{2b}-\mu' g\frac{b+c}{2b}\right)$$

答：　$\alpha_0=-\mu' g\dfrac{c}{b}$ [m/s^2]

（問 4）

答：　単振動。加速度が，変位に比例し，その方向が変位と逆向きで，常に平衡位置に向かうため。

（問 5）板の重心と 2 つのローラーの中点との水平方向変位を $x\,(-c\leqq x\leqq c)$とおくと，（問 3）の結果より，板の加速度 α [m/s^2]は次式のように表される。

$$\alpha=-\frac{\mu' g}{b}x,$$

単振動なので，角速度を ω [rad/s]とすると，$\alpha=-\omega^2 x$ と表す事ができる。よって，

$$\therefore\ \omega=\sqrt{\frac{\mu' g}{b}},$$

周期 T [s]は，$T=2\pi/\omega$である。

答：　$T=2\pi\sqrt{\dfrac{b}{\mu' g}}$ [s]

（問 6）板の最大の速さを $v_{\max}$ [m/s]とすると，変位の振幅は c なので，

$$v_{\max}=\omega c$$

$$K_{\max}=\frac{1}{2}mv_{\max}^2=\frac{1}{2}m\omega^2c^2$$

答：　$K_{\max}=\dfrac{m\mu' gc^2}{2b}$ [J]

2

(問 1) O 点の電位 V_{O}と，M 点の電位 V_{M}は，

$$V_{\mathrm{O}} = \frac{2kQ}{l} + \frac{k(-Q)}{l}, \qquad V_{\mathrm{M}} = \frac{2kQ}{\frac{3}{2}l} + \frac{k(-Q)}{\frac{1}{2}l}$$

答： $V_{\mathrm{O}} = \dfrac{kQ}{l}$ [V] $,V_{\mathrm{M}} = -\dfrac{2}{3}\dfrac{kQ}{l}$ [V]

(問 2) O 点では，正，負電荷によるいずれの電場も，向きはx軸正方向で，その強さは，

$$E_{\mathrm{O}} = \frac{2kQ}{l^2} + \frac{kQ}{l^2} = \frac{3kQ}{l^2}, \qquad \therefore E_{\mathrm{O}} = \frac{3kQ}{l^2}$$

C 点では，正，負電荷による電場の合成 ($\overrightarrow{E_{\mathrm{C}}} = \overrightarrow{E_{\mathrm{AC}}} + \overrightarrow{E_{\mathrm{BC}}}$) を考える。また$\angle\mathrm{OAC} = \angle\mathrm{OBC} = \theta$とすると，$\cos\theta = l/\sqrt{l^2+L^2}$， $\sin\theta = L/\sqrt{l^2+L^2}$。$\overrightarrow{E_{\mathrm{AC}}}$，$\overrightarrow{E_{\mathrm{BC}}}$ともにそれらの x 成分は正の向きなので，$\overrightarrow{E_{\mathrm{C}}}$の x 成分$(E_{\mathrm{C}})_x$は，

$$(E_{\mathrm{C}})_x = \left|\overrightarrow{E_{\mathrm{AC}}}\right|\cos\theta + \left|\overrightarrow{E_{\mathrm{BC}}}\right|\cos\theta = \left(\frac{2kQ}{l^2+L^2} + \frac{kQ}{l^2+L^2}\right)\frac{l}{\sqrt{l^2+L^2}} = \frac{3kQl}{(l^2+L^2)^{3/2}}$$

$\overrightarrow{E_{\mathrm{AC}}}$の y 成分は正の向きで，$\overrightarrow{E_{\mathrm{BC}}}$の y 成分は負の向きなので，

$$(E_{\mathrm{C}})_y = \left|\overrightarrow{E_{\mathrm{AC}}}\right|\sin\theta - \left|\overrightarrow{E_{\mathrm{BC}}}\right|\sin\theta = \left(\frac{2kQ}{l^2+L^2} - \frac{kQ}{l^2+L^2}\right)\frac{L}{\sqrt{l^2+L^2}} = \frac{kQL}{(l^2+L^2)^{3/2}}$$

$$E_{\mathrm{C}} = \sqrt{{(E_{\mathrm{C}})_x}^2 + {(E_{\mathrm{C}})_y}^2}$$

答： $E_{\mathrm{O}} = \dfrac{3kQ}{l^2}$ [N/C] $,E_{\mathrm{C}} = \dfrac{kQ\sqrt{9l^2+L^2}}{(l^2+L^2)^{3/2}}$ [N/C]

(問 3) x 軸と平行な一様な電場E'と，E_{C}の x 成分の合成を考えると P が受ける静電気力の x 成分は，$(E' + (E_{\mathrm{C}})_x)q$で，

$$(E' + (E_{\mathrm{C}})_x)q = -\frac{(E_{\mathrm{C}})_x}{2}q,$$

$$\therefore\ E' = -\frac{3}{2}(E_{\mathrm{C}})_x = -\frac{9kQl}{2(l^2+L^2)^{3/2}}$$

答： $E' = \dfrac{9kQl}{2(l^2+L^2)^{3/2}}$ [N/C] 向き x軸の負の向き

(問 4) C→O→M の経路を考える。まず C→O の経路では，x 軸と平行な一様な電場による電位差はない。よって，この経路で外力がする仕事は C と O の電位差で決まる。

$$W_{\mathrm{CO}} = -qV_{\mathrm{O}} - (-q)V_{\mathrm{C}}, \quad \therefore\ W_{\mathrm{CO}} = kqQ\left\{\frac{1}{\sqrt{l^2+L^2}} - \frac{1}{l}\right\}$$

一方，一様電場が x 軸方向にかかっていることから，O→M の経路ではその一様電場による電位差を考慮する。O 点を基準にとると，その一様電場は x 軸の負の向きであることから，一様電場による M 点での電位は $E'l/2$である。よって，正・負電荷による電位 V_{M}も考慮して，M 点の電位 V'_{M}は，

$$V'_{\mathrm{M}} = V_{\mathrm{M}} + \frac{E'l}{2} = -\frac{2}{3}\frac{kQ}{l} + \frac{E'l}{2} = -\frac{2}{3}\frac{kQ}{l} + \frac{l}{2}\times\frac{9kQl}{2(l^2+L^2)^{3/2}}, \quad V'_{\mathrm{M}} = kQ\left\{\frac{9l^2}{4(l^2+L^2)^{3/2}} - \frac{2}{3l}\right\}$$

$$W_{\mathrm{OM}} = -qV'_{\mathrm{M}} - (-q)V_{\mathrm{O}}, \quad \therefore W_{\mathrm{OM}} = kqQ\left\{\frac{5}{3l} - \frac{9l^2}{4(l^2+L^2)^{3/2}}\right\}$$

よって，P を C 点から M 点まで静かに移動させたときに外力のした仕事 W は，$W = W_{\mathrm{CO}} + W_{\mathrm{OM}}$

答： $W = kqQ\left\{\dfrac{2}{3l} + \dfrac{1}{\sqrt{l^2+L^2}} - \dfrac{9l^2}{4(l^2+L^2)^{3/2}}\right\}$ [J]

(問 5) 力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}m\cdot 0 + (-q)\left(V_{\mathrm{M}} + \frac{E'l}{2}\right) = \frac{1}{2}m(v=0)^2 + (-q)\left(\frac{kQ}{l}\right)$$

$$\therefore\ \frac{5}{3l} = \frac{9l^2}{4(l^2+L^2)^{3/2}}$$

答： $L = l\sqrt{\left(\dfrac{27}{20}\right)^{2/3} - 1}$ [m]

3

（問 1） $1\ \mathrm{mol}$の物質における熱量は，比熱×温度差で求めることができる。状態 A と B の温度をそれぞれ，T_{A}と T_{B}とすると，

$$Q_{\mathrm{AB}} = C_V(T_{\mathrm{B}} - T_{\mathrm{A}}) = C_V\left(\frac{p_2V_1}{R} - \frac{p_1V_1}{R}\right)$$

答： $Q_{\mathrm{AB}} = \dfrac{C_VV_1}{R}(p_2 - p_1)$ [J]

（問 2） 定圧変化であるので仕事は，圧力×体積変化で求められる。状態 C の温度を T_{C}とすると，

$$W_{\mathrm{CA}} = p_1(V_1 - V_2),$$

$$Q_{\mathrm{CA}} = C_p(T_{\mathrm{A}} - T_{\mathrm{C}}) = C_p\left(\frac{p_1V_1}{R} - \frac{p_1V_2}{R}\right)$$

答： $W_{\mathrm{CA}} = p_1(V_1 - V_2)$ [J]　, $Q_{\mathrm{CA}} = \dfrac{C_pp_1}{R}(V_1 - V_2)$ [J]

（問 3）

答： B→C の断熱自由膨張では，気体がした仕事および加えられた熱量がゼロであるので，熱力学第1法則より内部エネルギーの変化はゼロとなる。物質量は$1\ \mathrm{mol}$で一定で，理想気体の温度は内部エネルギーのみに依存することから，状態 B と状態 C は同じ温度で，温度変化はない。

（問 4） A→B は定積変化で，その間の内部エネルギー変化 ΔU_{AB}は，加えられる熱量 Q_{AB}と等しい。また（問 3）より，状態 B と状態 C は同じ温度で，$p_2V_1 = p_1V_2$であり，$V_1(p_2 - p_1) = V_2p_1 - V_1p_1 = p_1(V_2 - V_1)$である。

$$\Delta U_{\mathrm{AB}} = Q_{\mathrm{AB}} = \frac{C_VV_1}{R}(p_2 - p_1) = \frac{C_Vp_1}{R}(V_2 - V_1)$$

また（問 3）より，B→C の断熱自由膨張では内部エネルギーの変化 ΔU_{BC}はなく $\Delta U_{\mathrm{BC}} = 0$。
C→A は定圧変化で，その間の内部エネルギー変化 ΔU_{CA}は，加えられた熱量 Q_{CA}と理想気体がされた仕事（$-W_{\mathrm{CA}}$）の和と等しい。（問 2）より，

$$\Delta U_{\mathrm{CA}} = Q_{\mathrm{CA}} - W_{\mathrm{CA}} = \frac{C_pp_1}{R}(V_1 - V_2) - p_1(V_1 - V_2)$$

1サイクルで $\Delta U_{\mathrm{AB}} + \Delta U_{\mathrm{BC}} + \Delta U_{\mathrm{CA}} = 0$となるので，

$$\frac{C_Vp_1}{R}(V_2 - V_1) + 0 + \frac{C_pp_1}{R}(V_1 - V_2) - \frac{Rp_1}{R}(V_1 - V_2) = 0$$

答： $C_p = C_V + R$

（問 5） 内部エネルギーの変化を考える。A→B では（問 4）の ΔU_{AB}と同様に，$\Delta U_{\mathrm{AB}} = Q_{\mathrm{AB}} = \frac{C_VV_1}{R}(p_2 - p_1)$
B→C′は断熱変化で， $\Delta U_{\mathrm{BC'}}$は，された仕事（$-W_{\mathrm{BC'}}$）と等しく，$\Delta U_{\mathrm{BC'}} = -W_{\mathrm{BC'}}$
C′→A は定圧変化で，その間の内部エネルギー変化 $\Delta U_{\mathrm{C'A}}$は，加えられた熱量 $Q_{\mathrm{C'A}}$とされた仕事（$-W_{\mathrm{C'A}}$）の和と等しい。ただし（問 4）の ΔU_{CA}で V_2を V_3に置き換え，$C_p = C_V + R$を用いて，

$$\Delta U_{\mathrm{C'A}} = Q_{\mathrm{C'A}} - W_{\mathrm{C'A}} = \frac{C_pp_1}{R}(V_1 - V_3) - p_1(V_1 - V_3) = \frac{C_Vp_1}{R}(V_1 - V_3)$$

1サイクルで内部エネルギーは元にもどるので，$\Delta U_{\mathrm{AB}} + \Delta U_{\mathrm{BC'}} + \Delta U_{\mathrm{C'A}} = 0$となる。従って，

$$\frac{C_VV_1}{R}(p_2 - p_1) - W_{\mathrm{BC'}} + \frac{C_Vp_1}{R}(V_1 - V_3) = 0$$

答： $W_{\mathrm{BC'}} = \dfrac{C_V}{R}(p_2V_1 - p_1V_3)$ [J]

（問 6） 図 2 の熱機関が1サイクルで外部にした正味の仕事 W は，$W_{\mathrm{BC'}}$と C′→A 変化でした仕事 $W_{\mathrm{C'A}}$の和で，

$$W = W_{\mathrm{BC'}} + W_{\mathrm{C'A}} = \frac{C_V}{R}(p_2V_1 - p_1V_3) + p_1(V_1 - V_3)$$

理想気体に加えられる熱量 Q_{AB}と $Q_{\mathrm{C'A}}$を考える。$p_2 > p_1$より，$Q_{\mathrm{AB}} > 0$で，理想気体は Q_{AB}の熱量を受け取る。一方 $V_3 > V_1$で， $Q_{\mathrm{C'A}} < 0$で，理想気体は$|Q_{\mathrm{C'A}}|$の熱量を放出する。従って，

$$e = \frac{W}{Q_{\mathrm{AB}}} = \frac{\frac{C_V}{R}(p_2V_1 - p_1V_3) + p_1(V_1 - V_3)}{\frac{C_V}{R}V_1(p_2 - p_1)}$$

答： $e = \dfrac{C_V(p_2V_1 - p_1V_3) + Rp_1(V_1 - V_3)}{C_VV_1(p_2 - p_1)}$