２０２４年　神戸大本番レベル模試・物理

解答・解説・採点基準

全３問　６０分　７５点満点

Ⅰ（２５点）

【解答・採点基準】

問 1

遠心力の大きさは $m\cdot x\sin\theta\cdot\omega^2$ であり，軸から離れる向きであるから，遠心力の x 成分は $m\omega^2 x\sin^2\theta$

(答)　$m\omega^2 x\sin^2\theta$

問 2

観測者 S からみた小物体の x 軸方向の運動方程式は

$$ma=-k\left(x-l_0\right)-mg\cos\theta+mx\omega^2\sin^2\theta$$
$$=-\left(k-m\omega^2\sin^2\theta\right)\left(x-\frac{kl_0-mg\cos\theta}{k-m\omega^2\sin^2\theta}\right)$$

(答)　$ma=-\left(k-m\omega^2\sin^2\theta\right)\left(x-\frac{kl_0-mg\cos\theta}{k-m\omega^2\sin^2\theta}\right)$

問 3

問 2 の運動方程式より，小物体が単振動をする条件は

$$k-m\omega^2\sin^2\theta>0$$
$$\therefore\omega<\sqrt{\frac{k}{m\sin^2\theta}}\ (\because\omega>0)$$

また，単振動の周期は $2\pi\sqrt{\frac{m}{k-m\omega^2\sin^2\theta}}$

(答) 単振動をする条件: $\omega<\sqrt{\frac{k}{m\sin^2\theta}}$

周期: $2\pi\sqrt{\frac{m}{k-m\omega^2\sin^2\theta}}$

問 4

問 1　5 点

＊遠心力の大きさに 2 点

＊答に 3 点

問 2　5 点

＊答に 5 点

問 3　7 点

＊運動方程式の x の係数が負という立式に 3 点

＊単振動をする条件に 2 点

＊周期に 2 点

問 4　8 点

求める小物体の速さの最大値を v とすると，力学的エネルギー保存則より

$$0+\frac{1}{2}\left(k-m\omega^2\sin^2\theta\right)\left(l_0-\frac{kl_0-mg\cos\theta}{k-m\omega^2\sin^2\theta}\right)^2=\frac{1}{2}mv^2+0$$

$$\therefore v=\sqrt{\frac{m\left(\omega^2 l_0\sin^2\theta-g\cos\theta\right)^2}{k-m\omega^2\sin^2\theta}}$$

(答) $\sqrt{\frac{m\left(\omega^2 l_0\sin^2\theta-g\cos\theta\right)^2}{k-m\omega^2\sin^2\theta}}$

＊力学的エネルギー保存則の立式に 2 点

＊答に 4 点

問 4[別解]

問 3 よりこの単振動の角振動数は $\omega'=\sqrt{\frac{k}{m}-\omega^2\sin^2\theta}$ である。また，振動の中心は $x=\frac{kl_0-mg\cos\theta}{k-m\omega^2\sin^2\theta}$ であるから，この単振動の振幅 A は

$$A=l_0-\frac{kl_0-mg\cos\theta}{k-m\omega^2\sin^2\theta}$$
$$=\frac{mg\cos\theta-ml_0\omega^2\sin^2\theta}{k-m\omega^2\sin^2\theta}$$

である。よって求める速さは

$$A\omega'=\frac{mg\cos\theta-ml_0\omega^2\sin^2\theta}{k-m\omega^2\sin^2\theta}\times\sqrt{\frac{k}{m}-\omega^2\sin^2\theta}$$
$$=\sqrt{\frac{m\left(g\cos\theta-\omega^2 l_0\sin^2\theta\right)^2}{k-m\omega^2\sin^2\theta}}$$

となる。

(答) $\sqrt{\frac{m\left(\omega^2 l_0\sin^2\theta-g\cos\theta\right)^2}{k-m\omega^2\sin^2\theta}}$

問 4[別解] 8 点

＊角振動数に 2 点

＊振幅に 2 点

＊答に 4 点

Ⅱ（２５点）

【解答・採点基準】

問 1

平行板コンデンサーでは，極板間の電場は $\dfrac{Q}{\varepsilon_0 S}$ とみなせるから，極板間の電位差 V は

$$V = \frac{Q}{\varepsilon_0 S} \cdot d = \frac{Qd}{\varepsilon_0 S}$$

電気容量は

$$\frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

(答) 電位差：$\dfrac{Qd}{\varepsilon_0 S}$，電気容量：$\dfrac{\varepsilon_0 S}{d}$

問 1　5 点

＊電場が $\dfrac{Q}{\varepsilon_0 S}$ と説明して 2 点

＊電気容量の定義式 $\dfrac{Q}{V}$ に 1 点

（V に誤った値が代入されていても加点）

＊答に各 1 点×2

問 2

電場の大きさは $E = \dfrac{Q}{\varepsilon_0 S}$ であり，コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは $\dfrac{1}{2}QV$ である。よって単位体積あたりの静電エネルギーは

$$\begin{aligned} u &= \frac{\frac{1}{2}QV}{Sd} \\ &= \frac{\varepsilon_0 SE \cdot Ed}{2Sd} \quad (\because V = Ed,\ Q = \varepsilon_0 SE) \\ &= \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 \end{aligned}$$

であり，ε_0, E のみで表せることが示された。

問 2　4 点

＊u の立式に 2 点

（V に誤った値が代入されていても加点）

＊$u = \dfrac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$ を正しく導いて 2 点

問 3

$t=0$ においてコンデンサーの電位差が 0 であるから，抵抗 2 に電流は流れない。キルヒホッフの第 2 法則より

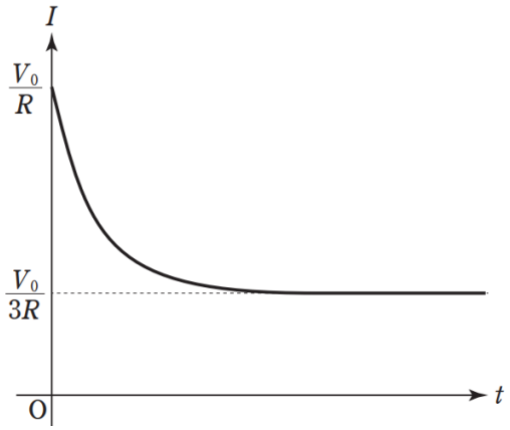
$$V_0 = RI$$
$$\therefore I = \frac{V_0}{R}$$

状態 1 において，コンデンサーに電流は流れない。キルヒホッフの第 2 法則より

$$V_0 = RI + 2RI$$

$$\therefore I = \frac{V_0}{3R}$$

よってグラフは下図のようになる。



(答) $I = \frac{V_0}{3R}$，前図

問 4

状態 1 においてコンデンサーに蓄えられた電荷を q_f とする。キルヒホッフの第 2 法則より

$$2R \cdot \frac{V_0}{3R} = \frac{q_f}{C}$$
$$\therefore q_f = \frac{2}{3}CV_0$$

(答) $\frac{2}{3}CV_0$

問 3 7 点

＊$t=0$ で抵抗 2 に電流が流れないという説明に 1 点

＊状態 1 でコンデンサーに電流が流れないという説明に 1 点（★）

＊状態 1 のキルヒホッフの法則の立式に 1 点（★）

＊状態 1 の I の答えに 1 点（これが正しければ，（★）の要素は記述しなくても加点する）

＊グラフが以下の項目を満たして各 1 点×3

・$t=0$ の I の値が正しい

・t の単調減少関数

・$t \to \infty$ で正の一定値に漸近

（グラフの凹凸は問わない）

問 4 4 点

＊キルヒホッフの法則の立式に 2 点

＊答に 2 点

問 5

スイッチを開くと，コンデンサーと抵抗 2 のみからなる回路で電流が生じる。コンデンサーの静電エネルギーがすべて抵抗 2 で発生するジュール熱として消費されるから，

抵抗 1 のジュール熱 $= 0$

抵抗 2 のジュール熱 $= \frac{1}{2} \cdot \frac{q_{\mathrm{f}}^2}{C} = \frac{2}{9} C V_0^2$

(答) 抵抗 1：0，抵抗 2：$\frac{2}{9} C V_0^2$

問 5 5 点

＊コンデンサーの静電エネルギーが抵抗 2 のジュール熱として消費されるという説明(あるいは立式)に 3 点

＊答に各 1 点×2

Ⅲ（２５点）

【解答・採点基準】

問 1

$$U_1 = \frac{3}{2}RT_1$$

問 2

気体が外部から熱を受け取る変化は状態 2→3 である。状態 2, 3 における気体の圧力を P_2，状態 2, 3 における気体の体積を V_2, V_3 とおく。このとき，状態 2, 3 での状態方程式はそれぞれ

$$\begin{cases} P_2V_2 = RT_2 \\ P_2V_3 = RT_3 \end{cases}$$

状態 2→3 において，気体が外部にする仕事を W_{23} は

$$\begin{aligned} W_{23} &= P_2(V_3 - V_2) \\ &= R(T_3 - T_2) \quad (\because \text{状態方程式}) \end{aligned}$$

となる。状態 2→3 における気体の内部エネルギーの変化を ΔU_{23} とする。熱力学第一法則より求める熱量 Q は

$$\begin{aligned} Q &= \Delta U_{23} + W_{23} \\ &= \frac{3}{2}R(T_3 - T_2) + R(T_3 - T_2) \\ &= \frac{5}{2}R(T_3 - T_2) \end{aligned}$$

(答) 状態 2→3，$\frac{5}{2}R(T_3 - T_2)$

問 2 [別解]

気体が外部から熱を受け取る変化は状態 2→3 である。この変化は定圧変化であるから，単原子分子理想気体の定圧モル比熱が $\frac{5}{2}R$ であることより，求める熱量 Q は

$$Q = \frac{5}{2}R(T_3 - T_2)$$

となる。

問 1 3 点

＊答に 3 点

問 2 6 点

＊W_{23} を求めて 1 点

＊熱力学第一法則の立式に 1 点

＊答に 4 点(各 2 点×2)

問 2[別解] 6 点

＊定圧モル比熱を正しく用いて 2 点

＊答に 4 点(各 2 点

(答) 状態 2→3, $\frac{5}{2}R(T_3-T_2)$

×2)

問 3

問 3 5 点

状態 1→2 は断熱変化であり，この間に気体が外部にする仕事を W_{12} とおく。熱力学第一法則より W_{12} は気体の内部エネルギーの変化に等しく

$$W_{12}=-\frac{3}{2}R(T_2-T_1)$$

となる。また，状態 3→4 も断熱変化であり，この間に気体が外部にする仕事 W_{34} は

$$W_{34}=-\frac{3}{2}R(T_4-T_3)$$

状態 4→1 で気体が外部にする仕事 W_{41} は問 2 と同様に考えると

$$W_{41}=R(T_1-T_4)$$

よって W は

$$W=W_{12}+W_{23}+W_{34}+W_{41}$$

$$=\frac{5}{2}R(T_1-T_2+T_3-T_4)$$

(答) $\frac{5}{2}R(T_1-T_2+T_3-T_4)$

＊W_{12}, W_{34}, W_{41} を求めて

3 点(各 1 点×3)

＊答に 2 点

問 4

問 4 4 点

状態 1, 4 における気体の圧力を P_1 とおく。状態 1→2 において与えられた関係式を用いて

$$T_1P_1^{-\frac{2}{5}}=T_2(2P_1)^{-\frac{2}{5}}$$

$$\therefore T_1=2^{-\frac{2}{5}}T_2$$

(答) $T_1=2^{-\frac{2}{5}}T_2$

＊関係式を用いて立式して 2 点

＊答に 2 点

問 5

問 5 7 点

状態 3→4 において与えられた関係式を用いると T_4 は

＊状態 3→4 で関係式を用いて立式し

$$T_3\left(2P_1\right)^{-\frac{2}{5}} = T_4 P_1^{-\frac{2}{5}}$$

$$\Leftrightarrow T_4 = 2^{-\frac{2}{5}} T_3$$

となる。これと問 2, 3, 4 の結果より，熱効率 e は

$$\begin{aligned}
e &= \frac{W}{Q} \\
&= \frac{\frac{5}{2}R\left(T_1 - T_2 + T_3 - T_4\right)}{\frac{5}{2}R\left(T_3 - T_2\right)} \\
&= 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \\
&= 1 - \frac{2^{-\frac{2}{5}}\left(T_3 - T_2\right)}{T_3 - T_2} \left(\because T_1 = 2^{-\frac{2}{5}} T_2,\ T_4 = 2^{-\frac{2}{5}} T_3\right) \\
&= 1 - 2^{-\frac{2}{5}} \\
&= 1 - \frac{\sqrt[5]{8}}{2} \\
&= 1 - \frac{1.52}{2} \\
&= 0.24
\end{aligned}$$

(答) 0.24

て 1 点

＊T_3, T_4 の関係を求めて 2 点

＊熱効率について立式して 1 点

＊答に 3 点