令和　7年度　前期日程

「物理」　解答例

第1問

問1

垂直抗力N

$$\therefore N = mg\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$$

動摩擦力f'

$$\therefore f' = \mu' N = \frac{\sqrt{3}}{2}\mu' mg$$

問2

斜面下向きを正として，運動方程式をたてる。

$$ma = \frac{1}{2}mg - \frac{\sqrt{3}}{2}\mu' mg$$

$$\therefore a = \frac{1}{2}g(1 - \sqrt{3}\mu')$$

問3

AB間の距離が2hなので、等加速度直線運動の公式から

$$v_1{}^2 - 0^2 = 2a(2h)$$

$$v_1{}^2 = 2 \cdot \frac{1}{2}g(1 - \sqrt{3}\mu')(2h)$$

$$\therefore v_1 = \sqrt{2hg(1 - \sqrt{3}\mu')}$$

問４

衝突直後の物体１の速度をV_1 [m/s]とおくと、運動量保存則とはね返りの式より

$$mv_1 = mV_1 + 2mV_2$$

$$-\frac{V_1 - V_2}{v_1} = e$$

よって、V_2を求めると、

$$\therefore V_2 = \frac{1+e}{3} v_1$$

問５

e=0.5 より、$V_2 = \frac{1+e}{3} v_1 = \frac{1}{2} v_1$

物体２が点Ｃから点Ｄに移動することにより、物体２の高さが$r(1-\cos\theta)$だけ増加した。

物体２が点Ｃから点Ｄに移動する間の力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2} \cdot 2m \cdot {V_2}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2m \cdot {V_{2\mathrm{D}}}^2 + 2mgr(1-\cos\theta)$$

式を立てていれば、２点。

$$\therefore V_{2\mathrm{D}} = \sqrt{\frac{1}{4} {v_1}^2 - 2gr(1-\cos\theta)}$$

第２問

問１

状態 A と B に対してボイル・シャルルの法則から，$\dfrac{p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{B}}}{T_{\mathrm{B}}} = \dfrac{p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}}}{T_{\mathrm{A}}}$

$$\frac{p_{\mathrm{B}} \times 2.0 \times 10^{-2}}{4.0 \times 10^{2}} = \frac{2.0 \times 10^{5} \times 2.0 \times 10^{-2}}{3.0 \times 10^{2}}$$

したがって，$p_{\mathrm{B}} = \dfrac{2.0 \times 10^{5} \times 4.0 \times 10^{2}}{3.0 \times 10^{2}} = \dfrac{8}{3} \times 10^{5} = 2.6666 \cdots \times 10^{5} \cong 2.7 \times 10^{5}\,[\mathrm{Pa}]$

問２

単原子分子理想気体の定積変化なので，外部との仕事のやり取りはない

したがって，$Q_{\mathrm{AB}} = \Delta U = \dfrac{3}{2} nR\left(T_{\mathrm{B}} - T_{\mathrm{A}}\right)$

理想気体の状態方程式から，$p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}} = nRT_{\mathrm{A}}$，$p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{B}} = nRT_{\mathrm{B}}$

ゆえに，$Q_{\mathrm{AB}} = \Delta U = \dfrac{3}{2} nR\left(\dfrac{p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{B}}}{nR} - \dfrac{p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}}}{nR}\right) = \dfrac{3}{2}\left(p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{B}} - p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}}\right)$

よって，$Q_{\mathrm{AB}} = \dfrac{3}{2} \times \left(\dfrac{8}{3} \times 10^{5} - 2.0 \times 10^{5}\right) \times 2.0 \times 10^{-2} = 1.0 \times 10^{5} \times 2.0 \times 10^{-2} = 2.0 \times 10^{3}\,[\mathrm{J}]$

問３

過程 B→C は等温変化なので内部エネルギーは変化しない

したがって，$\Delta U = 0\,[\mathrm{J}]$

問４

p-V 図において等温変化は反比例のグラフとなる

また過程 A→B で気体の圧力は増加するので，求めるグラフは（ク）

問５

正味の仕事 W は，$W = Q_{\mathrm{AB}} + Q_{\mathrm{BC}} - Q_{\mathrm{CD}} - Q_{\mathrm{DA}}$

また熱効率 e は,

$$e = \frac{W}{Q_{\mathrm{AB}} + Q_{\mathrm{BC}}} = \frac{Q_{\mathrm{AB}} + Q_{\mathrm{BC}} - Q_{\mathrm{CD}} - Q_{\mathrm{DA}}}{Q_{\mathrm{AB}} + Q_{\mathrm{BC}}} = \frac{Q_{\mathrm{AB}} + Q_{\mathrm{BC}}}{Q_{\mathrm{AB}} + Q_{\mathrm{BC}}} - \frac{Q_{\mathrm{CD}} + Q_{\mathrm{DA}}}{Q_{\mathrm{AB}} + Q_{\mathrm{BC}}} = 1 - \frac{Q_{\mathrm{CD}} + Q_{\mathrm{DA}}}{Q_{\mathrm{AB}} + Q_{\mathrm{BC}}}$$

第３問

問1

① Vt　② $v_\mathrm{S}t$　③ $f_0 t$

④ $(V+v_\mathrm{S})t$　⑤ $\frac{V+v_\mathrm{S}}{f_0}$　⑥ $\frac{V}{V+v_\mathrm{S}}f_0$

問 2

静止している反射板 R を観測者と考える。

$$\lambda_2 = \frac{(V-v_\mathrm{S})t}{f_0 t} = \frac{V-v_\mathrm{S}}{f_0}\ \ [\mathrm{m}]$$

$$f_2 = \frac{V}{\lambda_2} = \frac{V}{V-v_\mathrm{S}}f_0\ \ [\mathrm{Hz}]$$

問 3

反射板 R を v_R で右に移動する観測者と考える。反射板 R が受ける音波の波長は問 2 で求めた λ_2 である。

$$f_3 = \frac{V-v_\mathrm{R}}{\lambda_2} = (V-v_\mathrm{R})\frac{f_0}{V-v_\mathrm{S}} = \frac{V-v_\mathrm{R}}{V-v_\mathrm{S}}f_0\ \ [\mathrm{Hz}]$$

問 4

反射板 R を速さ v_R で右に移動する音源と考える。反射板 R が発する音波の振動数は問 3 で求めた f_3 であるから音波の波長 λ_4 は次式となり、

$$\lambda_4 = \frac{V+v_\mathrm{R}}{f_3}\ \ [\mathrm{m}]$$

地点 O で観測される音波の振動数は次式となる。

$$f_4 = \frac{V}{\lambda_4} = \frac{V}{V+v_\mathrm{R}}f_3 = \frac{V}{V+v_\mathrm{R}}\frac{V-v_\mathrm{R}}{V-v_\mathrm{S}}f_0 = \frac{V(V-v_\mathrm{R})}{(V+v_\mathrm{R})(V-v_\mathrm{S})}f_0\ \ [\mathrm{Hz}]$$

問 5

$$f_1 - f_4 = \frac{V}{V+v_\mathrm{S}}f_0 - \frac{V(V-v_\mathrm{R})}{(V+v_\mathrm{R})(V-v_\mathrm{S})}f_0 = \frac{2(v_\mathrm{R}-v_\mathrm{S})}{(V+v_\mathrm{R})(V+v_\mathrm{S})(V-v_\mathrm{S})}V^2 f_0$$

$$|f_1 - f_4| = \frac{2|v_\mathrm{R}-v_\mathrm{S}|}{(V+v_\mathrm{R})(V+v_\mathrm{S})(V-v_\mathrm{S})}V^2 f_0$$

［空欄］に入るのは $2|v_\mathrm{R}-v_\mathrm{S}|$

第 4 問

問 1

　$\mathrm{C_1}$ に蓄えられた静電エネルギー U_1 は

$$U_1 = \boxed{①\,\frac{1}{2}CV^2} \quad 〔\mathrm{J}〕 \tag{1}$$

　$\mathrm{C_1}$ に蓄えられた電気量は

$$Q_1 = CV \tag{2}$$

であるから、電池が供給したエネルギー U_2 は

$$U_2 = Q_1V = \boxed{②\,CV^2} \quad 〔\mathrm{J}〕 \tag{3}$$

　エネルギー保存則より、抵抗で消費されたエネルギー U_3 と静電エネルギー U_1 の和が電池が供給したエネルギー U_2 に等しいから、

$$U_3 = U_2 - U_1 = \boxed{③\,\frac{1}{2}CV^2} \quad 〔\mathrm{J}〕 \tag{4}$$

問 2

　$\mathrm{C_2}$ の極板面積が $\mathrm{C_1}$ の $\frac{1}{2}$ であることから、$\mathrm{C_2}$ の電気容量は $\frac{C}{2}$。したがって、$\mathrm{C_1}$ と $\mathrm{C_2}$ の合成容量 C_4 は

$$C_4 = C + \frac{C}{2} = \frac{3}{2}C \tag{5}$$

　スイッチ $\mathrm{S_2}$ を閉じる前と後で電気量は保存されるので、スイッチ $\mathrm{S_2}$ を閉じた後のコンデンサーの電位差を V_4 とすると、

$$C_4V_4 = Q_1 \tag{6}$$

式 (2), 式 (5) を代入して

$$\frac{3}{2}CV_4 = CV \tag{7}$$

$$V_4 = \boxed{④\,\frac{2}{3}V} \quad 〔\mathrm{V}〕 \tag{8}$$

静電エネルギーの合計 U_5 は

$$U_5 = \frac{1}{2}Q_1 V_4 = \boxed{⑤\ \frac{1}{3}CV^2} \quad 〔\mathrm{J}〕 \tag{9}$$

問 3

$\mathrm{C_2}$ の極板間隔が 2 倍になったことから、$\mathrm{C_2}$ の電気容量は $\frac{C}{2}$ の 2 分の 1 で $\frac{C}{4}$。よって、極板間隔を 2 倍に広げた後の合成容量 C_6 は

$$C_6 = C + \frac{C}{4} = \frac{5}{4}C \tag{10}$$

となる。

このときのコンデンサの電位差は

$$V_6 = \frac{Q_1}{C_6} = \boxed{⑥\ \frac{4}{5}V} \tag{11}$$

である。また、静電エネルギーの合計 U_6 は

$$U_6 = \frac{1}{2}Q_1 V_6 = \boxed{⑦\ \frac{2}{5}CV^2} \quad 〔\mathrm{J}〕 \tag{12}$$

であり、その増加分 U_7 は

$$U_7 = U_6 - U_5 = \boxed{⑧\ \frac{1}{15}CV^2} \quad 〔\mathrm{J}〕 \tag{13}$$

問 4

$\mathrm{C_2}$ の極板間の比誘電率が 2 倍になったことから、$\mathrm{C_2}$ の電気容量 C_9 は $\frac{C}{4}$ の 2 倍で $C_9 = \frac{C}{2}$。

誘電体を挿入した後のコンデンサーの電位差 V_9 は

$$V_9 = \frac{Q_1}{C + C_9} = \boxed{⑨\ \frac{2}{3}V} \tag{14}$$

$\mathrm{C_1}$ に蓄えられた電気量 Q_{10} は

$$Q_{10} = CV_9 = \boxed{⑩\ \frac{2}{3}CV} \quad 〔\mathrm{C}〕 \tag{15}$$

静電エネルギーの合計 U_{11} は

$$U_{11} = \frac{1}{2}(C + C_9)V_9^2 = \boxed{⑪\ \frac{1}{3}CV^2} \quad 〔\mathrm{J}〕 \tag{16}$$

であり、その増加分 U_{12} は

$$U_{12} = U_{11} - U_6 = -\frac{1}{15}CV^2 \tag{17}$$

であるから、減少分は

$$-U_{12} = \boxed{⑫\ \frac{1}{15}CV^2} \quad 〔\mathrm{J}〕 \tag{18}$$

$U_{12} < 0$ より、誘電体の挿入によって系のエネルギーが減少した。よって誘電体を挿入する手は負の仕事をしたことになり、誘電体を挿入する方向と反対方向に力を加えたことになる。誘電体をゆっくり挿入するとき、誘電体が手に及ぼす力と手が誘電体を挿入する力は釣り合っているから、誘電体が手に及ぼす力は手が加えた力と反対、つまり誘電体を挿入する方向、すなわち ⑬ 極板間に引き込む 方向である。

第 5 問

問 1

(1)

コイルを貫く磁束の変化の大きさは

$$\Delta\Phi = \frac{\mu_0 I a b v \Delta t}{2\pi x_0 (x_0 + b)} \ \text{[Wb]}$$

(2)

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\mu_0 I a b v}{2\pi x_0 (x_0 + b)} \ \text{[Wb/s]}$$

(3)

（ファラデーの）電磁誘導の法則

問 2

(1)

$$\frac{\mu_0 I a b v}{2\pi x_0 (x_0 + b) R} \quad [A].$$

(2)

P→Q

(3)

$$\left\{\frac{\mu_0 I a b v}{2\pi x_0 (x_0 + b)}\right\}^2 \frac{1}{R} \quad \text{[W]}$$

(4)

$$\left\{\frac{\mu_0 I a b}{2\pi x_0 (x_0 + b)}\right\}^2 \frac{v}{R} \quad \text{[N]}.$$