

令和3年度入学者選抜学力検査 一般選抜（後期日程）
 理学部 化学科：物理 解答例・出題の意図

問題1

(1) $V = \sqrt{2gL}$ [m/s]

(2) $v_S = \frac{2M}{M+m}V$ [m/s]

(3) 計算：エネルギー保存則により

$$\frac{1}{2}mv_T^2 + mgR = \frac{1}{2}mv_S^2 = \frac{2mM^2}{(M+m)^2}V^2 = \frac{4gmM^2}{(M+m)^2}L$$

$$v_T = \sqrt{2g\left(\frac{4M^2}{(M+m)^2}L - R\right)} \quad [\text{m/s}]$$

(4) $N = mg\frac{H}{R} - \frac{mv_B^2}{R}$ [N]

(5) $v_B = \sqrt{2g\left(\frac{4M^2}{(M+m)^2}L - H\right)}$ [m/s]

(6) 下限： $\frac{(M+m)^2}{4M^2}R$ [m]

上限： $\frac{3(M+m)^2}{8M^2}H$ [m]

(7) 計算：その点での小物体の速さを v とすると、その点で垂直抗力の大きさ $mg\frac{h}{R} - \frac{mv^2}{R}$ はゼロとなる。一方、エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \frac{1}{2}mv_S^2 = \frac{2mM^2}{(M+m)^2}V^2 = \frac{4gmM^2}{(M+m)^2}L \text{である。}$$

以上より

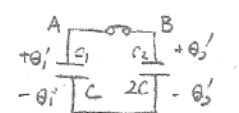
$$h = \frac{8M^2}{3(M+m)^2}L \quad [\text{m}]$$

【問題 2】

(1) 計算: $V_A = \frac{Q_1}{C}, V_B = \frac{Q_2}{2C}$
 $V_A > V_B$ 時 $\frac{Q_1}{C} > \frac{Q_2}{2C}$ i.e. $2Q_1 > Q_2$ の時 $C_1 \rightarrow C_2$
 $V_A = V_B$ 時 $\frac{Q_1}{C} = \frac{Q_2}{2C}$ i.e. $2Q_1 = Q_2$ の時 移動なし
 $V_A < V_B$ 時 $\frac{Q_1}{C} < \frac{Q_2}{2C}$ i.e. $2Q_1 < Q_2$ の時 $C_2 \rightarrow C_1$

C_1 から C_2 へ移動する場合: $2Q_1 > Q_2$ 移動がない場合: $2Q_1 = Q_2$
 C_2 から C_1 へ移動する場合: $2Q_1 < Q_2$

(2) 計算:



$Q = CV$
 $U = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

$\begin{cases} Q_1 + Q_2 = Q_1' + Q_2' \\ Q_2' = 2Q_1' \end{cases}$
 $Q_1 + Q_2 = 3Q_1'$
 $Q_1' = \frac{Q_1 + Q_2}{3}$

$U = U_1 + U_2$
 $= \frac{1}{2} \frac{Q_1^2}{C} + \frac{1}{2} \frac{Q_2^2}{2C}$

$U' = U_1' + U_2'$
 $= \frac{1}{2} \frac{Q_1'^2}{C} + \frac{1}{2} \frac{Q_2'^2}{2C}$
 $= \frac{1}{2C} \left(\frac{Q_1+Q_2}{3}\right)^2 + \frac{1}{4C} \left(\frac{2(Q_1+Q_2)}{3}\right)^2$
 $= \frac{(Q_1+Q_2)^2}{18C} + \frac{(Q_1+Q_2)^2}{9C}$
 $= \frac{3}{18C} (Q_1+Q_2)^2$
 $= \frac{(Q_1+Q_2)^2}{6C}$

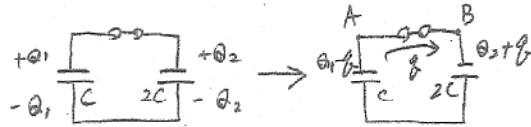
$\Delta U = U - U'$
 $= \frac{1}{2C} Q_1^2 + \frac{1}{4C} Q_2^2 - \frac{(Q_1+Q_2)^2}{6C}$
 $= \frac{6Q_1^2 + 3Q_2^2 - 2(Q_1^2 + 2Q_1Q_2 + Q_2^2)}{12C}$
 $= \frac{4Q_1^2 - 4Q_1Q_2 + Q_2^2}{12C}$
 $= \frac{1}{3C} Q_1^2 - \frac{1}{3C} Q_1Q_2 + \frac{1}{12C} Q_2^2$

$U - U' = \frac{1}{3C} Q_1^2 - \frac{1}{3C} Q_1Q_2 + \frac{1}{12C} Q_2^2 \quad [J]$

0 以上であることの証明:

$$\Delta U = \frac{4Q_1^2 - 4Q_1Q_2 + Q_2^2}{12C} = \frac{(2Q_1 - Q_2)^2}{12C} \geq 0$$

(3) 計算:



$$V_A = \frac{Q_1 - q}{C}, \quad V_B = \frac{Q_2 + q}{2C}$$

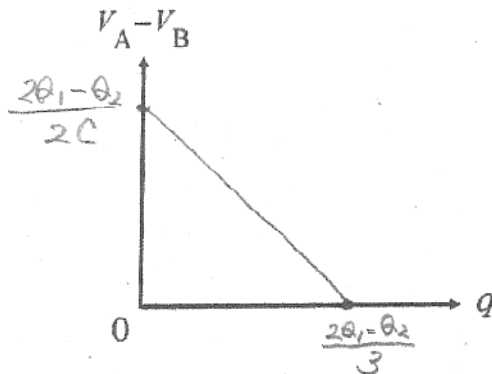
$$\begin{aligned} V_A - V_B &= \frac{Q_1 - q}{C} - \frac{Q_2 + q}{2C} \\ &= \left(-\frac{1}{C} - \frac{1}{2C}\right)q + \frac{Q_1}{C} - \frac{Q_2}{2C} \\ &= -\frac{3}{2C}q + \frac{2Q_1 - Q_2}{2C} \end{aligned}$$

$$V_A - V_B = 0$$

$$\frac{2Q_1 - Q_2}{2C} = \frac{3}{2C}q$$

$$q = \frac{2Q_1 - Q_2}{3}$$

$$V_A - V_B = -\frac{3}{2C}q + \frac{2Q_1 - Q_2}{2C} \quad [V]$$



(4) 計算:

$$\begin{aligned} S &= \frac{2Q_1 - Q_2}{2C} \times \frac{2Q_1 - Q_2}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{4Q_1^2 - 4Q_1Q_2 + Q_2^2}{12C} \\ &= \frac{(2Q_1 - Q_2)^2}{12C} = \frac{1}{3C}Q_1^2 - \frac{1}{3C}Q_1Q_2 + \frac{1}{12C}Q_2^2 \quad [J] \end{aligned}$$

面積 = $\frac{1}{3C}Q_1^2 - \frac{1}{3C}Q_1Q_2 + \frac{1}{12C}Q_2^2$ 意味: 導線に発生したジュール熱 (電界が電荷に対してした仕事)

問題3【選択問題】

選択問題チェック欄

(1) 計算:

状態方程式 $P_1V_1 = nRT_1$ より、

$$P_1 = \frac{nRT_1}{V_1}$$

$$P_1 = \frac{nRT_1}{V_1} \quad [\text{Pa}]$$

(2) 計算:

ピストンの両側の圧力は等しいので $P_1V_1 = n_B R 2T_1$ と (1) より

$$n_B = \frac{P_1V_1}{2RT_1} = \frac{nRT_1}{2RT_1} = \frac{n}{2}$$

$$\text{B室の気体の物質量} = \frac{n}{2} \quad [\text{mol}]$$

(3) 計算:

n モルの気体の内部エネルギーは $\frac{3}{2}nRT$ であるので、A, B室の内部エネルギーの和は

$$\frac{3}{2}n_A R 3T_1 + \frac{3}{2}n_B R 2T_1 = \frac{3}{2}RT_1(3n_A + n)$$

$$E_{AB} = \frac{3}{2}RT_1(3n_A + n) \quad [\text{J}]$$

(4) 計算:

C室の温度を T_C とすると状態方程式より

$$24P_1 \frac{V_1}{6} = nRT_C$$

$$T_C = \frac{4P_1V_1}{nR} = \frac{4nRT_1}{nR} = 4T_1$$

$$\text{C室の温度} = 4T_1 \quad [\text{K}]$$

(5) 計算:

$$\text{A, B室の温度を } T_{AB} \text{ とすると } 24P_1 \left(2 + \frac{5}{6}\right) V_1 = \left(n_A + \frac{n}{2}\right) RT_{AB}$$

$$\text{A, B室の内部エネルギーの和は } \frac{3}{2} \left(n_A + \frac{n}{2}\right) RT_{AB} = \frac{3}{2} \times 24P_1 \left(2 + \frac{5}{6}\right) V_1 =$$

$$6 \times 17P_1V_1 = 102nRT_1$$

$$E'_{AB} = 102nRT_1 \quad [\text{J}]$$

(6) 計算:

A, B, C全室での内部エネルギーの和はコック開閉前後で変わらないので

$$\frac{3}{2}RT_1(3n_A + n) + \frac{3}{2}nRT_1 = 102nRT_1 + \frac{3}{2}nR4T_1$$

$$3n_A + n + n = 68n + 4n$$

$$n_A = \frac{70}{3}n$$

$$n_A = \frac{70}{3}n \quad [\text{mol}]$$

問題4 【選択問題】

選択問題チェック欄

(1)

(a) 0.5 m

(b) 8 m

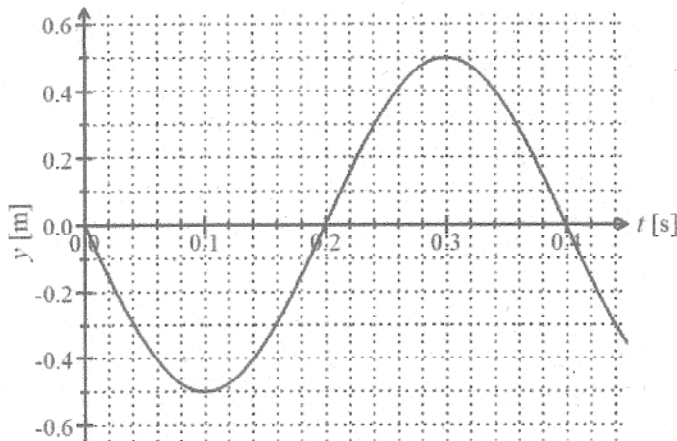
(c) $v = (8 - 2)/0.3 = 20$ 20 m/s

(d) $f = v/\lambda = 20/8 = 2.5$ 2.5 Hz

(2)

$x = 8$ m

(3)



(4)

縦波では、グラフ上の上向きの変位が x 軸上の右向きの変位に、下向きの変位が x 軸上の左向きの変位に対応するので、これと $0 < x < 12$ の範囲を考え合わせると解答が導かれる。

密 : $x = 4$ m, 疎 : $x = 8$ m

(5)

$x = 0$ での振動の $y-t$ グラフの式は $y = -A \sin \frac{2\pi}{T} t$ と書ける。 $x = x$ では、 $x = 0$ での振動と全く同じ振動が x/v 秒遅れて始まる。すなわち、 $y-t$ グラフの式の t を $t - x/v$ としてやればよい。よって、 $y = -A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right) = -0.5 \sin 2\pi f \left(t - \frac{x}{20} \right) = -0.5 \sin 5\pi \left(t - \frac{x}{20} \right)$

答 $y = -0.5 \sin 5\pi \left(t - \frac{x}{20} \right)$