2020年　東北大学前期日程試験【物理】解答例

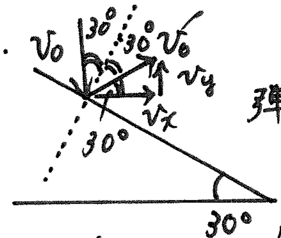
$\boxed{1}$

問(1)

(a) $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh$

∴ $v_0 = \sqrt{2gh}$

(b)



弾性衝突より
$v_0 = v_0'$

$v_x = v_0'\cos30° = \frac{\sqrt{3}}{2}v_0$

$v_y = v_0'\sin30° = \frac{1}{2}v_0$

(c)

$x = \frac{\sqrt{3}}{2}v_0 \cdot t \rightarrow t = \frac{2x}{\sqrt{3}v_0}$

$$y = \frac{1}{2}v_0 \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$
$$= \frac{1}{2}v_0\left(\frac{2x}{\sqrt{3}v_0}\right) - \frac{1}{2}g\left(\frac{2x}{\sqrt{3}v_0}\right)^2$$
$$= \frac{x}{\sqrt{3}} - \frac{2gx^2}{3v_0^2}$$

$$y = -\frac{2gx^2}{3v_0^2} + \frac{x}{\sqrt{3}}$$

(d) $x = L$のとき. $y = -\frac{L}{\sqrt{3}}$

(c)の式に代入

$$-\frac{L}{\sqrt{3}} = -\frac{2gL^2}{3v_0^2} + \frac{L}{\sqrt{3}}$$

$L \neq 0$より

$$\frac{2gL}{3v_0^2} = \frac{2}{\sqrt{3}}$$

∴ $L = \frac{\sqrt{3}v_0^2}{g} = \frac{\sqrt{3}\times 2gh}{g}$ (∵(a))

$$L = 2\sqrt{3}h$$

問2

(a) $m\vec{v'} - m\vec{v_0} = \vec{P}$

∴ $m\vec{v'} = \vec{P} + m\vec{v_0}$

水平・鉛直方向の成分について.

$mv_x' - 0 = P_x = P\cos60° = \frac{1}{2}P$

$mv_y' - (-mv_0) = P_y = P\sin60° = \frac{\sqrt{3}}{2}P$

$v_x' = \frac{P}{2m}$,　$v_y' = -v_0 + \frac{\sqrt{3}}{2m}P$

(b) 作用・反作用より. $P_1 = P$

台について. y方向については.

$M\cdot 0 + P_2 - P_1\cos30° = 0$

∴ $P_2 = \frac{\sqrt{3}}{2}P_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}P$　　$P_2 = \frac{\sqrt{3}}{2}P$

(c)

台について. x方向については.

$MV = -P_x = -P\sin30° = -\frac{P}{2}$

∴ $V = -\frac{P}{2M}$　　$V = -\frac{P}{2M}$

(d) 力学的エネルギー保存則より.

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}m\left\{\left(\frac{P}{2m}\right)^2 + \left(-v_0 + \frac{\sqrt{3}P}{2m}\right)^2\right\} + \frac{1}{2}M\left(-\frac{P}{2M}\right)^2$$

これをPについて解く

$$P = \frac{4\sqrt{3}Mm}{4M+m}v_0$$

(e) $M = 5m$のとき. (d)より $P = \frac{20\sqrt{3}}{21}mv_0$

$v_x' = \frac{10\sqrt{3}}{21}v_0$, $v_y' = \frac{3}{7}v_0$,

$V = -\frac{2\sqrt{3}}{21}v_0$ となるから.

$\tan\alpha = \frac{v_y'}{v_x' - V}$ に上式を代入して

$$\tan\alpha = \frac{\sqrt{3}}{4}$$

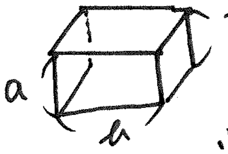
$\boxed{2}$

問(1)

(a) $eE - kv_0 = 0$ より

$$v_0 = \frac{eE}{k}$$

(b)



体積 $V = ab \cdot v_0 t$

$\therefore N = nV$

$= nabv_0 t$

$$N = nabv_0 t$$

(c)

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{eN}{t} = enabv_0 t$$

$$I = env_0 ab$$

(d)

① mr　② $\dfrac{r}{m}$

③ L　④ ab

(e)

$$\begin{cases} r' = \rho \cdot \dfrac{L}{ab} \\ r' = \dfrac{V}{I} \\ E = \dfrac{V}{L} \end{cases}$$ より．

$$\rho \cdot \frac{L}{ab} = \frac{EL}{I} = \frac{\frac{kv_0}{e} \cdot L}{env_0 ab}$$

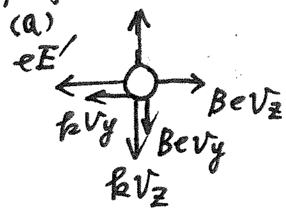
$$\rho = \frac{ab}{L} \times \frac{kL}{e^2 nab}$$

$$= \frac{k}{e^2 n}$$

$$\rho = \frac{k}{e^2 n}$$

問(2)

(a)



左図より．

$$F_y = Bev_z - eE' - kv_y$$

$$F_z = -Bev_y + eE - kv_z$$

(b)

(a)の式で $E' \to E''$

$\left.\begin{array}{l} F_y = 0 \\ F_z = 0 \end{array}\right)$，$\left.\begin{array}{l} v_y \to 0 \\ v_z \to v_1 \end{array}\right)$ となることより．

$$\begin{cases} 0 = Bev_1 - eE'' \to E'' = Bv_1 \\ 0 = eE - kv_1 \to v_1 = \dfrac{eE}{k} \end{cases}$$

$$E'' = \frac{BeE}{k} \qquad v_1 = \frac{eE}{k}$$

(c) 電場と電位の関係より．

$$V = -EZ + E''Y$$

$$\therefore \quad V = \frac{BeEY}{k} - EZ$$

(d) (c)より $Y = b,\ Z = 0$，また $Y = b,\ Z = c$

として．$V_1 = \dfrac{BeEb}{k}$，$V_2 = \dfrac{BeEb}{k} - Ec$

$= V_1 - Ec$

E，Bをそれぞれ逆にすると，

$E \to -E$のとき．

$V_3 = -V_1 + Ec$

この場合，V_2とV_3からV_1は求まらない

$B \to -B$のとき

$V_3 = -V_1 - Ec$

この場合，$V_2 - V_3 = 2V_1$ より

$$V_1 = \frac{V_2 - V_3}{2}$$

$\boxed{B}$ の向きを変える．$V_1 = \dfrac{V_2 - V_3}{2}$

3

問(1)

(a) 水の圧力は ρhg より

$$P_1 = P_0 + \rho hg$$

(b) $P_1 V = nRT_1$ より

$T_1 = \dfrac{P_1 \cdot V}{nR}$, $V = Sh$ だから

$$T_1 = \frac{P_1 S h}{nR}$$

(c) 圧力一定より

$\dfrac{Sh}{T_1} = \dfrac{2Sh}{T_2}$

$$T_2 = 2T_1$$

(d) 圧力一定より

$W_1 = P_1 \cdot \Delta V$

$= P_1(2Sh - Sh)$

$= P_1 Sh$

$$W_1 = P_1 Sh$$

(e) 熱力学第1法則より

$Q_1 = \frac{3}{2}nR\Delta T + W_1$

$= \frac{3}{2}nR(2T_1 - T_1) + W_1$

$= \frac{3}{2}nRT_1 + W_1$

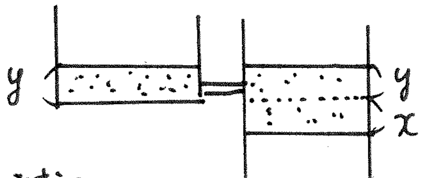
$= \frac{3}{2}P_1 Sh + P_1 Sh$

$= \frac{5}{2}P_1 Sh$

$$Q_1 = \frac{5}{2}P_1 Sh$$

問(2)

(a)



補助シリンダーに残った水の高さを y とすると、全体の水量は一定だから、

$2y + x = h$

$\therefore y = \dfrac{h - x}{2}$

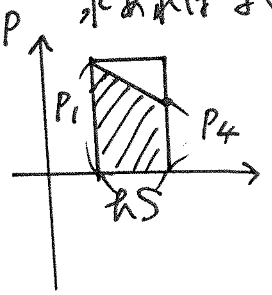
$P_x = P_0 + \rho(x + y) \cdot g$

$= P_0 + \rho\left(x + \dfrac{h - x}{2}\right)g$

$$P_x = P_0 + \frac{1}{2}\rho g(h + x)$$

(b) グラフの記号 $\boxed{い}$

(c) グラフ(い)の斜線部分の面積を求めればよい。



$W_4 = (P_1 + P_4) \times hS \times \frac{1}{2}$

$= (P_0 + \rho hg + P_0 + \frac{1}{2}\rho hg) \cdot \frac{hS}{2}$

$= (P_0 + \frac{3}{4}\rho hg)hS$

$$W_4 = (P_0 + \frac{3}{4}\rho hg)hS$$

(d) 1サイクルでは内部エネルギーの変化 $\Delta U_{1\to2\to3\to4\to1} = 0$ となるから、

$Q_c = W_1 - W_4$

$= P_1 Sh - (P_0 + \frac{3}{4}\rho hg)hS$

$= (P_0 + \rho hg - P_0 - \frac{3}{4}\rho hg)Sh$

$= \frac{1}{4}\rho g S h^2$

$$Q_c = \frac{1}{4}\rho g S h^2$$