解答速報　物理

医学部受験専門予備校　慧修会

2024 年度　東海大学　１日目

【　講　評　】

典型問題が多く、計算量も少ないので、7 割以上は得点したい。

$\boxed{1}$は斜面上の小球の跳ね返りの問題。特に難しいところもないので、完答したい。

$\boxed{2}$は磁場中の導体棒の問題。うまく文字を整理すれば計算量自体は多くないのだが、類題の経験に乏しいと後半は難しい。

$\boxed{3}$は原子核反応の問題。重心運動エネルギーと相対運動エネルギーについて習熟していれば、ほぼ計算することなく完答できる。

$\boxed{4}$は気体のサイクルの問題。はじめにそれぞれのプロセスについて整理しておくと解きやすいだろう。

【　解　答　】

$\boxed{1}$

(1) $\sqrt{2gh}$　(2) $\frac{e}{\tan\theta}$　(3) $4e(1+e)h\sin\theta$　(4) $e^2h\cos\theta$　(5) e

$\boxed{2}$

(1) $\frac{V_0BL}{R}$ [N]　(2) $\frac{2V_1BL}{R}$ [N]　(3) $\frac{V_1}{2BL}$ [m/s]　(4) $2\sqrt{2}$ 倍　(5) $\frac{8V_1}{3BL}$ [m/s]

$\boxed{3}$

(1) オ　(2) ア　(3) イ　(4) エ　(5) ウ

$\boxed{4}$

(1) エ　(2) ウ　(3) ア　(4) エ　(5) イ

【 解 説 】

$\boxed{1}$

(1) 求める速さ v とすると、エネルギー保存則より、

$$mgh = \frac{mv^2}{2} \;\Rightarrow\; v = \sqrt{2gh}$$

(2) 衝突直前の速度の x, y 成分はそれぞれ $v_x = v\sin\theta$, $v_y = v\cos\theta$ である。このうち、衝突によって y 成分は e 倍になるので、

$$\tan\alpha = \frac{ev_y}{v_x} = \frac{e}{\tan\theta}$$

(3) 加速度の x, y 成分はそれぞれ $a_x = g\sin\theta$, $a_y = -g\cos\theta$ である。OA 間の距離を x 、時間を t とすると、

$$x = v_x t + \frac{1}{2}a_x t^2, \qquad 0 = ev_y t + \frac{1}{2}a_y t^2$$

これを解いて、

$$t = 2e\sqrt{\frac{2h}{g}}\;, \qquad x = 4e(1+e)h\sin\theta$$

(4) 対称性より、OA 間の運動中、O での衝突から時間 $t/2$ 後に斜面から最も離れるので、

$$ev_y \cdot \frac{t}{2} + \frac{1}{2}a_y\left(\frac{t}{2}\right)^2 = e^2 h\cos\theta$$

(5) (3)の t は e に比例するので、

e 倍

$\boxed{2}$

電流および起電力の正の向きを、導体棒に電流が x 負方向に流れる向きと定義する。

(1) 導体棒に流れる電流が I [A] のとき、導体棒に働く力は y 方向に IBL [N] である。
電流の大きさは $I = V_0BL/R$ [A] であるので、求める力の大きさは、

$$\frac{V_0BL}{R}\ \text{[N]}$$

(2) 重力の大きさ F [N] とすると、静止摩擦力は $F/2$ [N] である。導体棒が動き出すとき、静止摩擦力と導体棒が磁場から受ける力がつりあうので、

$$\frac{F}{2} = \frac{V_1BL}{R} \quad \Rightarrow \quad F = \frac{2V_1BL}{R}\ \text{[N]}$$

(3) 充分時間が経過したあとの導体棒の速さ v [m/s] とすると、導体棒の起電力は $-vBL$ [V] である。
導体棒が等速であることから、働く力がつりあうので、動摩擦力が $F/4$ [N] であることに注意して、

$$\frac{F}{4} = \frac{(V_1 - vBL)BL}{R} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{V_1}{2BL}\ \text{[m/s]}$$

(4) 磁束密度の y, z 成分はいずれも $B/\sqrt{2}$ [T] となる。垂直抗力が $F + IBL/\sqrt{2}$ [N] であり、静止摩擦力と磁場から受ける力がつりあうことから、

$$\frac{F + IBL/\sqrt{2}}{4} = \frac{V_2\left(B/\sqrt{2}\right)L}{R} \quad \Rightarrow \quad V_2 = 2\sqrt{2}\,V_1\ \text{[V]}$$

(5) 充分時間が経過したあとの導体棒の速さ v' [m/s] とすると、導体棒の起電力は $-v'BL/\sqrt{2}$ [V] である。
導体棒に流れる電流は、

$$I' = \frac{V_2 - v'BL/\sqrt{2}}{R}\ \text{[A]}$$

導体棒が等速であることから、働く力がつりあうので、

$$\frac{F + I'BL/\sqrt{2}}{4} = \frac{I'BL}{\sqrt{2}} \quad \Rightarrow \quad v' = \frac{8V_1}{3BL}\ \text{[m/s]}$$

$\boxed{3}$

(1) 増加した質量の静止エネルギー分が吸収されるので、

$$W = m_3c^2 + m_4c^2 - m_1c^2 - m_2c^2 \ [\mathrm{J}]$$

(2) (1)の吸収されるエネルギーは運動エネルギーから与えられるので、

$$W \ [\mathrm{J}]$$

(3) 二体系は、重心運動エネルギーと相対運動エネルギーに分けることができる。重心運動エネルギーは全質量と重心速度、相対運動エネルギーは換算質量と相対速度で記述できるので、系の全エネルギーは、

$$\frac{1}{2}(m_3 + m_4)v_G^2 + \frac{1}{2}\frac{m_3m_4}{m_3 + m_4}V^2 \ \ [\mathrm{J}]$$

(4) 運動エネルギーが最小となるのは、反応後の相対運動エネルギーが 0 となるときである。このとき、 $v_3 = v_4$ となることから、運動量保存より、

$$m_1v_1 = (m_3 + m_4)v_3 \quad \Rightarrow \quad v_3 = \frac{m_1}{m_3 + m_4}v_1 \ \ [\mathrm{m/s}]$$

(5) $K = m_1v_1^2/2$ [J] であり、相対運動エネルギーが 0 であることを考慮すると、反応前後のエネルギーについて

$$K - W = \frac{1}{2}(m_3 + m_4)v_3^2 \quad \Rightarrow \quad K = \frac{m_3 + m_4}{m_3 + m_4 - m_1}W \ \ [\mathrm{J}]$$

$\boxed{4}$

AB 間は定積変化、BC,DA 間は定圧変化、CD 間は等温変化である。

(1) 定圧変化では体積と温度が比例するので、BC 間の変化を考えると、

$$V_{\mathrm{C}} = \frac{T_2}{T_1} V_0 \ [\mathrm{m}^3]$$

(2) 状態方程式より、

$$P_{\mathrm{C}} = \frac{RT_2}{V_{\mathrm{C}}} = \frac{RT_1}{V_0} \ [\mathrm{Pa}]$$

(3) 定圧変化では体積と温度が比例するので、DA 間の変化を考えると、

$$V_{\mathrm{D}} = \frac{T_2}{T_0} V_0 \ [\mathrm{m}^3]$$

等温変化では、圧力と体積が反比例するので、CD 間の変化を考えると、

$$P_{\mathrm{D}} = \frac{P_{\mathrm{C}} V_{\mathrm{C}}}{V_{\mathrm{D}}} = \frac{RT_0}{V_0} \ [\mathrm{Pa}]$$

(4) BC 間の仕事は $P_{\mathrm{C}}(V_{\mathrm{C}} - V_0)$ 、DA 間の仕事は $P_{\mathrm{D}}(V_0 - V_{\mathrm{D}})$ であるので、求める仕事は、

$$W + P_{\mathrm{C}}(V_{\mathrm{C}} - V_0) + P_{\mathrm{D}}(V_0 - V_{\mathrm{D}}) = W + R(T_0 - T_1) \ [\mathrm{J}]$$

(5) 定積比熱は $3R/2$ 、定圧比熱は $5R/2$ であるので、AB 間で吸収される熱は

$$\frac{3R}{2} \cdot (T_1 - T_0) \ [\mathrm{J}]$$

BC 間で吸収される熱は

$$\frac{5R}{2} \cdot (T_2 - T_1) \ [\mathrm{J}]$$

CD 間では、等温変化なので、した仕事Wと同じだけ熱を吸収する。よって、熱効率は、

$$\frac{W + R(T_0 - T_1)}{\frac{3R}{2} \cdot (T_1 - T_0) + \frac{5R}{2} \cdot (T_2 - T_1) + W} = \frac{W + R(T_0 - T_1)}{W + \frac{R}{2}(5T_2 - 2T_1 - 3T_0)}$$