



Windom の解答速報 順天堂大(医) 物理 2012

I 第1問

問1 (a) ゴンドラと人の力のつりあいより、

$$\begin{cases} 2T = N + mg \\ T + N = Mg \end{cases} \Rightarrow \therefore T = \frac{(m+M)g}{3} \Rightarrow \boxed{1} \quad ⑨$$

(b) 人がゴンドラから離れない条件は、 $N \geq 0$ で、

$$N = Mg - T = \left(M - \frac{(m+M)g}{3} \right) g = \frac{2M-m}{3} g \geq 0$$

$$\therefore 2M - m \geq 0 \Rightarrow \boxed{2} \quad ④$$

問2 x 軸方向と y 軸方向の運動量保存則が成り立ち、

$$\begin{cases} 2 \times 4 = 1 \times v_x \\ 1 \times 10 = 2 \times 2 + 1 \times v_y \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_x = 8 \Rightarrow \boxed{3} \quad ⑧ \\ v_y = 6 \Rightarrow \boxed{4} \quad ⑥ \end{cases}$$

問3 (a) $\lambda' = \frac{\lambda}{n} \Rightarrow \boxed{5} \quad ⑥$

(b) 明線条件は、

$$2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \Rightarrow \boxed{6} \quad ⑤$$

問4 (a) $0 \leq x \leq d$ では電界から力を受けるので水平投射と同じように放物曲線を描く。

運動方程式は、 $ma = qE$

$$\therefore a = \frac{qE}{m}$$

よってこの区間の変位を y_1 として、

$$y_1 = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{qE}{m} \right) \left(\frac{d}{v} \right)^2 = \frac{qEd^2}{2mv^2}$$

$d \leq x \leq 2d$ では力を受けないので直進する。

x 軸 y 軸方向のそれぞれの速さは、

$$\begin{cases} v_x = v \\ v_y = at = \left(\frac{qE}{m} \right) \left(\frac{d}{v} \right) \end{cases}$$

進む方向の x 軸からの角度を θ とすると、この間の変位 y_2 は、

$$y_2 = d \tan \theta = d \frac{v_y}{v_x} = d \frac{qEd}{mv} = \frac{qEd^2}{mv^2}$$

$$\text{よって、} y_1 + y_2 = \frac{3qEd^2}{2mv^2} \Rightarrow \boxed{7} \quad ③$$

(b) ローレンツ力とクーロン力が釣り合うから、

$$qvB = qE$$

$$\therefore v = \frac{E}{B} \Rightarrow \boxed{8} \quad ①$$

問5 容器と液体の全体の熱容量を C とすると、

$$Q = C(T_1 - T_0) \text{ と表せる。}$$

また、金属の比熱を c として、

$$Mc(T_1 - T_2) = C(T_2 - T_1)$$

$$\therefore c = \frac{Q(T_2 - T_1)}{M(T_1 - T_0)(T_1 - T_2)} \Rightarrow \boxed{9} \quad ②$$

第2問

問1 磁界と磁束密度は、公式より、

$$H = n_1 I$$

$$B = \mu H = \mu n_1 I \Rightarrow \boxed{1} \quad ①$$

問2 端子 a_2 の方が端子 b_2 より電位が高いので、公式より、

$$V_2 = M \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{2} \quad ⑤$$

問3 まず、 $\Delta B = \mu n_1 \Delta I$ で、

ファラデーの電磁誘導の法則 $V = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ より、

$$V_2 = n_2 l \frac{\Delta BS}{\Delta t} = n_2 l S \frac{\mu n_1 \Delta I}{\Delta t} = \mu n_1 n_2 l S \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$V_2 = M \frac{\Delta I}{\Delta t} \text{ と比較して、}$$

$$\therefore M = \mu n_1 n_2 l S \Rightarrow \boxed{3} \quad ⑦$$

同様に、

$$V_1 = n_1 l \frac{\Delta BS}{\Delta t} = n_1 l S \frac{\mu n_1 \Delta I}{\Delta t} = \mu n_1^2 l S \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$V = L \frac{\Delta I}{\Delta t} \text{ と比較して、}$$

$$\therefore L = \mu n_1^2 l S \Rightarrow \boxed{4} \quad ③$$

問4 巻き数が $n_1 + n_2$ になると考えられる。

そのとき、全体の自己インダクタンスは、

$$L_{12} = \mu(n_1 + n_2)^2 l S$$

コイルのエネルギーは、

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} L_{12} I^2 &= \frac{1}{2} \mu(n_1 + n_2)^2 l S I^2 = \frac{1}{2} \mu(n_1^2 + 2n_1 n_2 + n_2^2) l S I^2 \\ &= \frac{1}{2} L_1 I^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} M I^2 + \frac{1}{2} L_2 I^2 = \frac{1}{2} (L_1 + 2M + L_2) I^2 \end{aligned} \Rightarrow \boxed{5} \quad ⑨$$

図3は、逆向きに電流が流れるので、 $n_1 - n_2$ 回巻きと考えることが可能で、

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} L_{12}' I^2 &= \frac{1}{2} \mu(n_1 - n_2)^2 l S I^2 = \frac{1}{2} \mu(n_1^2 - 2n_1 n_2 + n_2^2) l S I^2 \\ &= \frac{1}{2} L_1 I^2 - 2 \cdot \frac{1}{2} M I^2 + \frac{1}{2} L_2 I^2 = \frac{1}{2} (L_1 - 2M + L_2) I^2 \end{aligned} \Rightarrow \boxed{6} \quad ⑧$$

問5 それぞれのコイルが作る磁界は、

$$H_1 = n_1 I \quad H_2 = n_2 I$$

それらの合成磁界は、

$$H = H_1 - H_2 = (n_1 - n_2) I$$

よって、 $B' = \mu H = \mu(n_1 - n_2) I$

$$\therefore \frac{B'}{B} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \Rightarrow \boxed{7} \quad ②$$

第2問

問1 ピストンに働く力のつり合いから、

$$Mg = pS$$

$$\therefore p = \frac{Mg}{S} \Rightarrow \boxed{1} \quad ④$$

問2 はじめの気体の体積を $SL = V$, $Sx = \Delta V$ とおく。

初めと後のそれぞれの気体の状態方程式は、

$$\begin{cases} pV = nRT \\ (p + \Delta p)(V + \Delta V) = nR(T + \Delta T) \end{cases}$$

展開して、

$$\begin{aligned} pV + p\Delta V + \Delta pV + \Delta p\Delta V &= nRT + nR\Delta T \\ \Delta p\Delta V &\text{は微量だから } \Delta p\Delta V \approx 0 \text{ としてよいので,} \\ p\Delta V + \Delta pV &= nR\Delta T \text{ となる。} \end{aligned}$$

この式の辺々を $pV = nRT$ で割ると、

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta p}{p} &= \frac{\Delta T}{T} \\ \therefore \frac{\Delta p}{p} &= \frac{\Delta T}{T} - \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T} - \frac{Sx}{SL} = \frac{\Delta T}{T} - \frac{x}{L} \\ &\Rightarrow \boxed{2} \quad ② \end{aligned}$$

問3 断熱変化の時には、 $TV^{\gamma-1} = k$ が成り立つ。

ここで、 $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{C_v + R}{C_v}$ であるから、

$$\gamma - 1 = \frac{C_v + R}{C_v} - 1 = \frac{R}{C_v}$$

よって、 $TV^{\frac{R}{C_v}} = (T + \Delta T)(V + \Delta V)^{\frac{R}{C_v}}$

$$\begin{aligned} V^{\frac{R}{C_v}} &= \left(1 + \frac{\Delta T}{T}\right)(V + \Delta V)^{\frac{R}{C_v}} \\ \therefore 1 + \frac{\Delta T}{T} &= \left(\frac{V + \Delta V}{V}\right)^{\frac{R}{C_v}} \\ &= \left(\frac{SL + Sx}{SL}\right)^{\frac{R}{C_v}} \\ &= \left(\frac{L + x}{L}\right)^{\frac{R}{C_v}} = \left(1 + \frac{x}{L}\right)^{\frac{R}{C_v}} \\ 1 - \frac{R}{C_v} \frac{x}{L} &\quad (x \ll L \text{ より}) \\ \therefore \frac{\Delta T}{T} &= -\frac{R}{C_v} \frac{x}{L} \Rightarrow \boxed{3} \quad ① \end{aligned}$$

問4 まず、問2, 3より、

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p}{p} &= \frac{\Delta T}{T} - \frac{x}{L} = -\frac{R}{C_v} \frac{x}{L} - \frac{x}{L} \\ &= -\left(\frac{R}{C_v} + 1\right) \frac{x}{L} = -\frac{C_v + R}{C_v} \frac{x}{L} \text{ となる。} \end{aligned}$$

ピストンに働く力のつり合いより、

$$\begin{aligned} F + (p + \Delta p)S &= Mg \\ \therefore F &= Mg - (p + \Delta p)S \\ &= Mg - pS - \Delta pS \\ &= -\Delta pS \\ &= -\left(-\frac{C_v + R}{C_v} \frac{x}{L}\right) pS \\ &= \frac{(C_v + R)Mg}{C_v L} x \Rightarrow \boxed{4} \quad ⑦ \end{aligned}$$

問5 運動方程式は、

$$Ma = -\frac{(C_v + R)Mg}{C_v L} x$$

であり、これより、

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{C_v L}{(C_v + R)g}} \Rightarrow \boxed{5} \quad ⑦$$

II

問1(a) 運動方程式は、

$$Ma = F - Mg \quad (\text{答})$$

(b) $a = \frac{F}{M} - g$ になり、

等加速運動になるので、

$$\begin{aligned} v &= at = \left(\frac{F}{M} - g\right)t \\ &= \left(\frac{4.0 \times 10^6}{2.0 \times 10^5} - 9.8\right) \times 10 = 102 \text{ m/s} \\ &= 102 \times 10^{-3} \times 3600 \\ &= 367.2 = 3.7 \times 10^2 \text{ km/h} \quad (\text{答}) \end{aligned}$$

問2(a) 力学的エネルギー保存則より、

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m |\vec{u}_i|^2 - \frac{GM_E m}{r_0} &= \frac{1}{2} m |\vec{u}_m|^2 - \frac{GM_E m}{r_m} \\ \therefore |\vec{u}_m| &= \sqrt{|\vec{u}_i|^2 - 2GM_E \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_m}\right)} \quad (\text{答}) \end{aligned}$$

(b) 省略

問3 運動方程式 $G \frac{M_s m}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$ と、

$$\begin{aligned} T &= \frac{2\pi R}{v} \text{ より,} \\ \therefore T &= 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM_s}} \quad (\text{答}) \end{aligned}$$

【講評】 例年より問題の内容が難しくレベルは高い。特に第3問は良問ではあるが立式をしてそれから計算するのは大変である。Iの第1問は割と解きやすい問題が多いので、そこでしっかりと得点に結びつけたい。とにかく問題量が多いので、煩わしい問題は飛ばしつつ速く解くことが必要。

合格ラインはそれほど高くない。6割5分。