解答速報

関西医科大学（前期）　物理

2023年 1月　28日実施

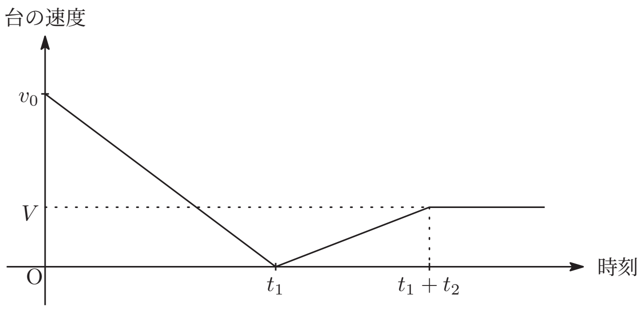
I

略解

問 1　$\mu' mg + Ma$　　　問 2　$\dfrac{1}{2}(a-\mu' g)\left(\dfrac{v_0}{a}\right)^2$

問 3　$\dfrac{M(a-\mu' g)v_0}{\mu'(M+m)ag}$　　　問 4　$\dfrac{m(a-\mu' g)}{(M+m)a}v_0$

問 5　右図



解答

問 1　台についての運動方程式より，

$$M(-a) = -F + \mu' mg \qquad \therefore\ F = \boldsymbol{\mu' mg + Ma}$$

問 2　台の床に対する速度が 0 になる時刻を t_1 とすると，等加速度運動の式より，$0 = v_0 - at_1 \quad \therefore\ t_1 = \dfrac{v_0}{a}$

また，小物体の加速度を b とすると，小物体についての運動方程式より，$mb = -\mu' mg \quad \therefore\ b = -\mu' g$

したがって，台に対する小物体の相対初速度は 0，相対加速度は $-\mu' g - (-a) = a - \mu' g$ となるので，求める距離は，

$$\boldsymbol{\frac{1}{2}(a-\mu' g)\left(\frac{v_0}{a}\right)^2}$$

問 3　台の床に対する速度が 0 になった瞬間，台 (床) に対する小物体の相対速度は $(a-\mu' g)\dfrac{v_0}{a} = \dfrac{a-\mu' g}{a}v_0$ である．

また，台についての運動方程式より，

$$Ma' = \mu' mg \qquad \therefore\ a' = \frac{\mu' m}{M}g$$

となるので，小物体の台に対する相対加速度は $-\mu' g - \dfrac{\mu' m}{M}g = -\mu' \dfrac{M+m}{M}g$ である．

したがって，小物体が台に対して静止するまでの時間を t_2 とすると，

$$0 = \frac{a-\mu' g}{a}v_0 - \mu' \frac{M+m}{M}gt_2 \qquad t_2 = \boldsymbol{\frac{M(a-\mu' g)v_0}{\mu'(M+m)ag}}$$

問 4　求める速度を V とすると，運動量保存則より，

$$m\frac{a-\mu' g}{a}v_0 = (M+m)V \qquad \therefore\ V = \boldsymbol{\frac{m(a-\mu' g)}{(M+m)a}v_0}$$

問 5　上図

＜次頁につづく＞

II

略解

問 1　$\dfrac{6V}{7R}$

問 2　電流の大きさ：$\dfrac{5V}{6R}$，電気量：$\dfrac{1}{6}CV$

問 3　$x=\dfrac{1}{3}$

問 4　$\left(\dfrac{2x}{1+2x}+\dfrac{2(1-x)}{3-2x}\right)R$

問 5　最小値：$\dfrac{V^2}{R}$，最大値：$\dfrac{3V^2}{2R}$

解答

問 1　AP，PB 部分ともに抵抗値 R である．「抵抗 1 と AP 部分」「抵抗 2 と PB 部分」がそれぞれ並列に合成可能で，さらにこれらが直列に合成可能なので，$\mathrm{Q_1Q_2}$ 間の全合成抵抗は $\left(\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{R}\right)^{-1}+\left(\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{2R}\right)^{-1}=\dfrac{7}{6}R$．点 $\mathrm{Q_1}$ を流れる電流は，$I=\dfrac{V}{\frac{7}{6}R}=\boldsymbol{\dfrac{6V}{7R}}$

問 2　「AP 部分と PB 部分」「抵抗 1 と抵抗 2」がそれぞれ直列に合成可能で，さらにこれらが並列に合成可能なので，$\mathrm{Q_1Q_2}$ 間の全合成抵抗は $\left(\dfrac{1}{2R}+\dfrac{1}{R+2R}\right)^{-1}=\dfrac{6}{5}R$．点 $\mathrm{Q_1}$ を流れる電流は，$I=\dfrac{V}{\frac{6}{5}R}=\boldsymbol{\dfrac{5V}{6R}}$．

このとき，$\mathrm{Q_2}$ を電位の基準点とすると，点 P の電位は $\dfrac{1}{2}V$，コンデンサーの下側の極板の電位は $\dfrac{2}{3}V$ なので，コンデンサーの電圧の大きさは $\dfrac{2}{3}V-\dfrac{1}{2}V=\dfrac{1}{6}V$．コンデンサーに蓄えられている電気量は $C\times\dfrac{1}{6}V=\boldsymbol{\dfrac{1}{6}CV}$

注：図 1 の下の極板が正に，上の極板が負に帯電する．

問 3　AP 部分の抵抗値は $x\times 2R$，PB 部分の抵抗値は $(1-x)\times 2R$ である．

問題文のようなことがおこるのは，S を閉じた直後とじゅうぶん時間が経過した後のコンデンサーの電圧が等しい場合である．はじめのコンデンサーの電圧は 0 であるので，じゅうぶん時間が経過した後のコンデンサーの電圧も 0 となる場合に相当する．

ホイート・ストーンブリッジの考え方から $x\times 2R:(1-x)\times 2R=R:2R$ が成立するので $x=\boldsymbol{\dfrac{1}{3}}$

問 4　問 1 と同様に，「抵抗 1 と AP 部分」「抵抗 3 と PB 部分」がそれぞれ並列に合成可能で，さらにこれらが直列に合成可能なので，$\mathrm{Q_1Q_2}$ 間の全合成抵抗 $R_x=\left(\dfrac{1}{x\times 2R}+\dfrac{1}{R}\right)^{-1}+\left(\dfrac{1}{(1-x)\times 2R}+\dfrac{1}{R}\right)^{-1}=\boldsymbol{\left(\dfrac{2x}{1+2x}+\dfrac{2(1-x)}{3-2x}\right)R}$

問 5　すべての抵抗での消費電力の総和 $P_x=\dfrac{V^2}{R_x}$ であるので，P_x が最小となるのは R_x が最大のとき，P_x が最大となるのは R_x が最小のときである．

問 4 の R_x を変形すると $R_x=\left(2+\dfrac{4}{(2x+1)(2x-3)}\right)\times R$ となるので，R_x は $x=0$，1 のとき最小値 $\dfrac{2}{3}R$，$x=\dfrac{1}{2}$ のとき最大値 R をとることがわかる．

以上より，消費電力の総和は $x=\dfrac{1}{2}$ のとき最小値 $\boldsymbol{\dfrac{V^2}{R}}$ となり，$x=0$，1 のとき最大値 $\boldsymbol{\dfrac{3V^2}{2R}}$ となる．

＜次頁につづく＞

III

略解

問 1

ア	$L(\sin\alpha+\sin(\alpha-\beta))$	イ	$L\lvert\sin\alpha+\sin(\alpha-\beta)\rvert$	ウ	$2(\alpha-\theta)$
エ	$2(\alpha-\theta)$	オ	θ	カ	$\dfrac{\lambda_{\rm L}}{2\sin\theta}$

キ　$\dfrac{\lambda_{\rm L}}{2\sin\theta}(\sin\alpha+\sin(2\theta-\alpha))$ または $\lambda_{\rm L}\cos(\alpha-\theta)$

ク　$\dfrac{\lambda_{\rm L}}{2\sin\theta}\lvert\sin\alpha+\sin(2\theta-\alpha)\rvert$ または $\lambda_{\rm L}\cos(\alpha-\theta)$

問 2　I，途中の考え方は詳解参照．

(注) 文中にある場合分けが矛盾しないよう $\beta<0$ の場合を含まないようにするため $\alpha>\theta$ の範囲で考えています．なお，m に負の整数をゆるし，α，β に一般角を用いれば場合分けは必要なくなります．

解答

問 1

ア　入射光の光路差は $L\sin\alpha$，回折光の光路差は $L\sin(\alpha-\beta)$ となり，合計の光路差はこれらの和となる．よって

$$\boldsymbol{L(\sin\alpha+\sin(\alpha-\beta))}$$

イ　入射光の光路差は $L\sin\alpha$，回折光の光路差は $L\sin(\beta-\alpha)$ となり，合計の光路差はこれらの差となる．よって

$$|L(\sin\alpha-\sin(\beta-\alpha))|=\boldsymbol{|L(\sin\alpha+\sin(\alpha-\beta))|}$$

ウエ　いずれの場合も入射角は $\alpha-\theta$，入射角と反射角の和が β なので，$\beta=\boldsymbol{2(\alpha-\theta)}$

（注：問題文の流れから $\alpha>\theta$ と解釈する.）

オ　$\beta=0$ よりウおよびエより，$\alpha=\theta$

カ　$\alpha=\theta$ かつ $\beta=0$ のとき,（解答者注：問題文の流れから回折光は $\beta=0$ の方向であると解釈する.）

$$2L\sin\theta=m\lambda$$

である．したがって，最も長い波長は $m=1$ のときとなり，

$$L=\boldsymbol{\frac{\lambda_{\rm L}}{2\sin\theta}}$$

キク　(1) および (2) 式の左辺にそれぞれ (3)，(4)，(5) を代入すればよい．和積の公式を用いて，

$$\frac{\lambda_{\rm L}}{2\sin\theta}(\sin\alpha+\sin(2\theta-\alpha))=\frac{\lambda_{\rm L}}{\sin\theta}\sin\theta\cos(\alpha-\theta)=\lambda_{\rm L}\cos(\alpha-\theta)$$

としてもよい.

問 2　$\alpha=70^\circ$，$\theta=10^\circ$ とすると，(3) または (4) より，$\beta=2(70-10)=120^\circ$ となり，(7) の干渉条件

$$\frac{\lambda_{\rm L}}{2\sin\theta}|\sin\alpha+\sin(2\theta-\alpha)|=m\lambda$$

を用いればよいことがわかる．よって，

$$\lambda_{\rm L}=m\frac{2\lambda\sin\theta}{|\sin\alpha-\sin(\alpha-2\theta)|}=m\times\frac{2\times190\sin10^\circ}{|\sin70^\circ-\sin50^\circ|}=m\times\frac{2\times190\times0.17}{0.94-0,77}\fallingdotseq m\times380\ [\rm nm]$$

したがって，$m=2$ のとき $\lambda=760$ nm となり **I** を選べばよいことがわかる．

別解 干渉条件 $\lambda_{\rm L}\cos(\alpha-\theta)=m\lambda$ を用いて,

$$\lambda_{\rm L}=m\frac{\lambda}{\cos(\alpha-\theta)}=m\times\frac{190}{\cos60^\circ}=m\times380\ [\rm nm]$$

と計算してもよい.

＜次頁につづく＞

Ⅳ

$\boxed{\text{略解}}$

問 1　$\dfrac{p_0SL}{R}$

問 2　$p_{\mathrm{A}}+\dfrac{mg}{S}$

問 3　$\dfrac{mg(L-x)}{2Sx}$　$\left(p_{\mathrm{A}}=\dfrac{mgx-5p_0SL}{5S(L+x)}\text{など複数解答あり．注参照}\right)$

問 4　$\dfrac{1}{2}mgx$　$\left(\dfrac{5}{2}\left(\dfrac{mg\left(L^2-x^2\right)}{2x}-p_0SL\right)\text{など複数解答あり．注参照}\right)$

問 5　$\dfrac{200}{13}\cdot\dfrac{p_0S}{g}$

$\boxed{\text{解説}}$

問 1　求める温度を T_0 とする．ピストンが熱を通すので，十分時間が経過した後，A と B の温度は等しくなる．また，ピストンにはたらく力のつり合いより，AB の気体の圧力も p_0 で等しい．このとき，AB 内の温度，圧力，気体の物質量がそれぞれ等しいので，体積も等しく，SL となる．したがって A 内の気体の状態方程式より $p_0SL=RT_0\cdots$①　　$\therefore\ T_0=\boldsymbol{\dfrac{p_0SL}{R}}$

問 2　ピストンにはたらく力のつり合いより $p_{\mathrm{B}}=\boldsymbol{p_{\mathrm{A}}+\dfrac{mg}{S}}\cdots$②

問 3　ピストンが熱を通すので，おもりが静止した後，A と B の温度は等しい．その温度を T とする．このとき A と B それぞれに関する気体の状態方程式より，

$$\begin{cases}\text{A：}p_{\mathrm{A}}S(L+x) & =RT\cdots③\\ \text{B：}p_{\mathrm{B}}S(L-x) & =RT\cdots④\end{cases}$$

③④式から T を消去して，②式を代入し，p_{A} について解くと，$p_{\mathrm{A}}=\boldsymbol{\dfrac{mg(L-x)}{2Sx}}$

$\boxed{\text{別解}}$

AB 全体の熱力学第一法則より，

$$5R(T-T_0)=mgx$$

これを T について解いた式と問 1 の解を③式に代入して，p_{A} について解くと，

$$p_{\mathrm{A}}=\boldsymbol{\frac{mgx+5p_0SL}{5S(L+x)}}$$

問 4　容器の外部とは熱のやり取りはないので，A および B 内の気体の内部エネルギー変化そそれぞれ $\varDelta U_{\mathrm{A}}$，$\varDelta U_{\mathrm{B}}$ とおくと，AB 両方の気体がピストンからされた仕事を W_{in} とおくと，AB 全体に関しての熱力学第一法則より，

$$\varDelta U_{\mathrm{A}}+\varDelta U_{\mathrm{B}}=W_{\mathrm{in}}\cdots⑤$$

また，A と B どちらにも 1 モルの気体が入っており，おもりをつける前後での温度変化が等しいので，

$$\varDelta U_{\mathrm{A}}=\varDelta U_{\mathrm{B}}$$

である．また，AB 内の気体がピストンからされた仕事 W_{in} は張力 mg がピストンにした仕事に等しく，

$$W_{\mathrm{in}}=mgx\cdots⑦$$

のように書ける．よって⑤⑥⑦式より

$$\varDelta U_{\mathrm{A}}=\boldsymbol{\frac{1}{2}mgx}\cdots⑧$$

＜次頁につづく＞

別解

問 1 と問 3 の答を用いると以下のように ΔU_{A} を表すこともできる.

$$\begin{aligned}\Delta U_{\mathrm{A}} &= \frac{5}{2}R(T-T_0)\\ &= \frac{5}{2}(p_{\mathrm{A}}S(L+x)-p_0SL)\\ &= \frac{5}{2}\left(\frac{mg(L-x)}{2Sx}S(L+x)-p_0SL\right)\\ &= \boldsymbol{\frac{5}{2}\left(\frac{mg\left(L^2-x^2\right)}{2x}-p_0SL\right)}\end{aligned}$$

問 5　AB 全体の熱力学第一法則より,

$$5R(T-T_0)=\frac{4}{5}mgL\cdots⑩$$

問 3 の p_{A} に $x=\dfrac{4}{5}L$ を代入すると，$p_{\mathrm{A}}=\dfrac{mg}{8S}$ となる．したがって，③式より，$T=\dfrac{9mgL}{40R}$.
これと問 1 の答えを⑩式に代入すると,

$$5R\left(\frac{9mgL}{40R}-\frac{p_0SL}{R}\right)=\frac{4}{5}mgL$$

$$\therefore m=\boldsymbol{\frac{200}{13}\cdot\frac{p_0S}{g}}$$

(注)：問 3，問 4 では，以下の 5 式が使える．

$$\begin{cases} p_0SL=RT_0\\ p_{\mathrm{B}}S=p_{\mathrm{A}}S+mg\\ \dfrac{p_0SL}{T_0}=\dfrac{p_{\mathrm{A}}S(L+x)}{T}\\ \dfrac{p_0SL}{T_0}=\dfrac{p_{\mathrm{B}}S(L-x)}{T}\\ 5R(T-T_0)=mgx \qquad \text{(AB 全体の熱力学第一法則)}\end{cases}$$

未知数は p_{A}，p_{B}，T_0，T の 4 文字なので全て消去すると,

$$m=\frac{5p_0SLx}{(5L^2-7x^2)\,g}\cdots⑨$$

が成立する．この等式を用いれば，問 3 や問 4 の解答から m を消去したり，逆に x を消去することもできるため，複数解答が可能である．

＜次頁につづく＞

講評

Ⅰ［力学：運動する台上の小物体］（標準）状況を正確に読み取って最後まで確実に正答したい．相対速度・相対加速度を用いて計算量を減らせると良い．

Ⅱ［電磁気：抵抗とコンデンサー回路］（やや難）問題設定自体は受験生には見慣れたものであろう．どの部分の抵抗が、並列・直列に合成できるのかを確実に判断して，なるべく計算量を減らしながら解答したい．問 4 までは確実に正答しておきたいところ．

Ⅲ［波動：反射型回折格子］（やや難）反射型回折格子による干渉に関する問題である．場合分けで混乱した受験者もいたと思われる．空欄オ以降の流れが読み取れるかどうかで差がつく問題と言える．

Ⅳ［熱：気体の状態変化］（やや難）熱を通す素材でできたピストンによる仕事を扱う典型題から少し変化した設定の問題であった．とはいえ，状態方程式や熱力学の第一法則などの基本法則を丁寧に適用していけば正答できる．ただし，繁雑な計算を避けるために計算量を減らす工夫をしなければ最後まで答えを合わせるのは難しいだろう．

総評

総じて昨年度前期よりもやや易化している．2022 年度同様に表やグラフを扱う問題が複数ある．大問Ⅰは 8 割程度，大問Ⅱは 6 割強，大問Ⅲは 4 割弱，大問Ⅳは 6 割弱得点しておきたい．大問Ⅰと各大問の前半が比較的点数を取り易いが，時間切れで手が回らなかった受験者も多かったことだろう．目標の得点率は 55 %.