解答速報

関西医科大学(後期)　物理

2024年3月2日実施

I

略解

問 1　$\tan\theta = \dfrac{H}{L}$ (【補足 1】参照)

問 2　$v_0 = \sqrt{\dfrac{g(L^2+H^2)}{H}}$，最高点の高さ：$\dfrac{1}{2}H$

問 3　$v_0 = \sqrt{\dfrac{g(L^2+H^2)}{2H}}$，最高点の高さ：$\dfrac{1}{4}H$

問 4　$v_0 > \sqrt{\dfrac{g(L^2+H^2)}{H}}$，$h < \dfrac{1}{2}H$

問 5　$\sqrt{\dfrac{g(L^2+H^2)}{2H}} < v_0 < \sqrt{\dfrac{g(L^2+H^2)}{H}}$，$h < \dfrac{3}{4}H$

注：問 4，問 5 の条件は，v_0 と h の間で独立にはならないが，問題文には「v_0 と h の条件を，θ を用いずに**それぞれ**求めよ」とあった．そのため，本解答では小球 P が小球 Q にあたるための v_0 の条件を求め，次に，その条件を満たす v_0 の中で最も v_0 が小さい場合に h が満たす条件を求めた．(【補足 2】参照)

解答

小球 P を打ち出した時刻を $t=0$ とする．

問 1　小球 P と小球 Q が衝突するとき，P，Q の位置が等しくなるので，衝突時刻を t_1 とすると，

$$L = v_0\cos\theta\cdot t_1$$

$$H - \frac{1}{2}g{t_1}^2 = v_0\sin\theta\cdot t_1 - \frac{1}{2}g{t_1}^2$$

2 式から t_1 を消去して，$\boldsymbol{\tan\theta = \dfrac{H}{L}}$

【補足 1】

上の条件に，「床に到達する前」という条件を加えると，小球 P の水平方向の変位が L となるまでの時間 $\dfrac{L}{v_0\cos\theta}$ より，小球 Q が床に落ちるまでの時間 $\sqrt{\dfrac{2H}{g}}$ の方が大きいことから，

$$\frac{L}{v_0\cos\theta} < \sqrt{\frac{2H}{g}} \qquad \therefore\ \boldsymbol{\cos\theta > \frac{L}{v_0}\sqrt{\frac{g}{2H}}}$$

という関係が得られるが，$\tan\theta = \dfrac{H}{L}$ であることから，他にも様々な表現が可能である．

問 2　小球 P が最高点に達する時刻を t_2 とすると，

$$0 = v_0\sin\theta - gt_2$$

この時刻に P，Q が衝突する (P の水平方向の変位が L となる) ので，

$$L = v_0\cos\theta\cdot t_2$$

2 式から t_2 を消去すると，$\sin\theta = \dfrac{H}{\sqrt{L^2+H^2}}$，$\cos\theta = \dfrac{L}{\sqrt{L^2+H^2}}$ より，

$$v_0 = \sqrt{\frac{gL}{\sin\theta\cos\theta}} = \sqrt{\frac{gL}{\frac{H}{\sqrt{L^2+H^2}}\frac{L}{\sqrt{L^2+H^2}}}} = \boldsymbol{\sqrt{\frac{g(L^2+H^2)}{H}}}$$

また，Q にあたった瞬間の P の床からの高さを y_2 とすると，$\sin\theta = \dfrac{H}{\sqrt{L^2+H^2}}$ より，

$$0^2 - (v_0\sin\theta)^2 = 2(-g)y_2 \qquad \therefore\ y_2 = \frac{{v_0}^2}{2g}\sin^2\theta = \boldsymbol{\frac{1}{2}H}$$

問 3　小球 Q が床に到達する時刻を t_3 とすると，

$$H = \frac{1}{2}g{t_3}^2 \qquad \therefore\ t_3 = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

この時刻に P，Q が衝突する (P の水平方向の変位が L となる) ので，

$$L = v_0\cos\theta\cdot t_3$$

2 式から t_3 を消去すると，$\cos\theta = \dfrac{L}{\sqrt{L^2+H^2}}$ より，

$$v_0 = \frac{L}{\cos\theta}\sqrt{\frac{g}{2H}} = \boldsymbol{\sqrt{\frac{g(L^2+H^2)}{2H}}}$$

また，この場合の P の最高点の高さを y_3 とすると，$\sin\theta = \dfrac{H}{\sqrt{L^2+H^2}}$ より，

$$y_3 = \frac{{v_0}^2}{2g}\sin^2\theta = \boldsymbol{\frac{1}{4}H}$$

問 4　v_0 と h の条件をそれぞれ独立に考えるものとする．(【補足 2】参照) v_0 については，問 2 の結果より v_0 が大きければよいので，

$$\boldsymbol{v_0 > \sqrt{\frac{g(L^2+H^2)}{H}}}$$

また，h については，天井の床からの高さ $H-h$ が問 2 の y_2 より大きければよいので，

$$H-h > y_2 \qquad \therefore\ \boldsymbol{h < \frac{1}{2}H}$$

問 5　v_0 と h の条件をそれぞれ独立に考えるものとする．(【補足 2】参照) v_0 については，問 2 の結果より小さく，問 3 の結果より大きければよいので，

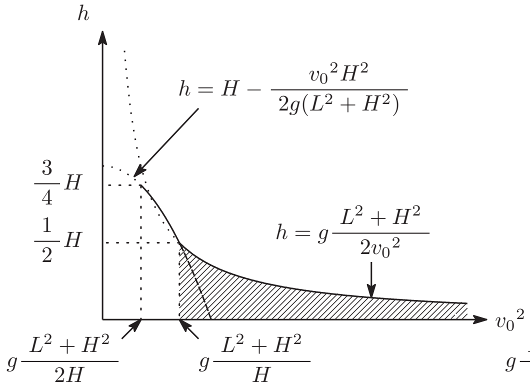
$$\boldsymbol{\sqrt{\frac{g(L^2+H^2)}{2H}} < v_0 < \sqrt{\frac{g(L^2+H^2)}{H}}}$$

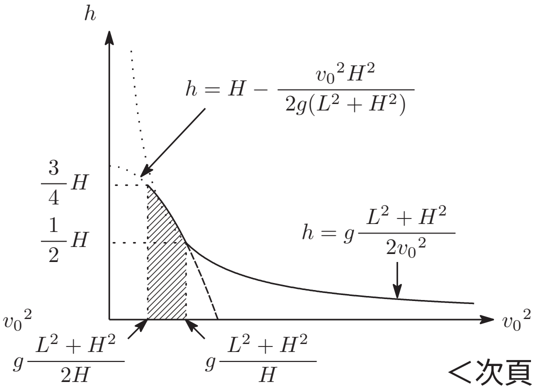
また，h については，天井の床からの高さ $H-h$ が問 3 の y_3 より大きければよいので，求める h の条件は，

$$H-h > y_3 \qquad \therefore\ \boldsymbol{h < \frac{3}{4}H}$$

【補足 2】

問 4，問 5 の条件について，上記解答例では，問題文に「v_0 と h の条件を，θ を用いずに**それぞれ**求めよ」とあったため，最低限衝突する場合が存在するための条件を求めたが，受験者の中には，この問題を衝突が起こる場合の v_0 に対する h の条件を求めよと読み取った受験者もいたことと思う．その場合の解答を図示すると以下のようになる．





＜次頁につづく＞

II

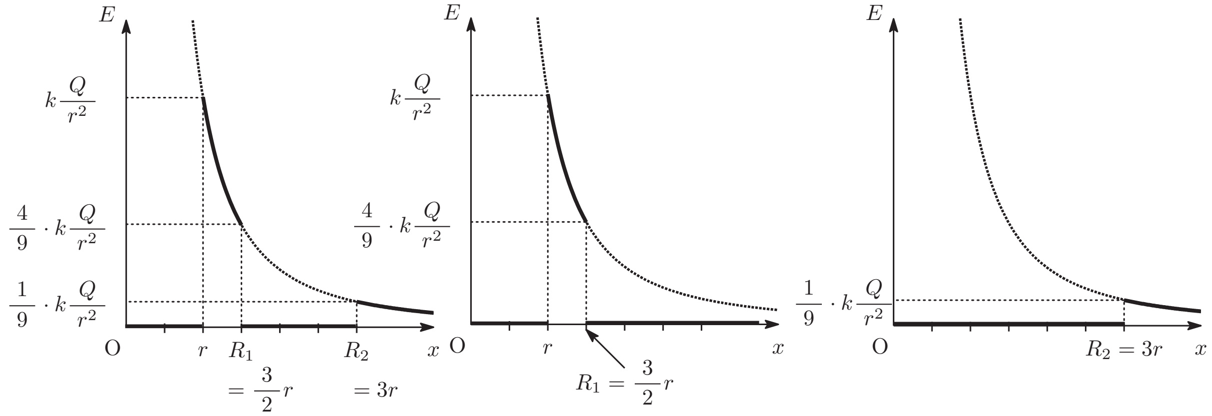
略解

問 1　i) $N = 4\pi kQ$, $E = \dfrac{kQ}{x^2}$　ii) $N = 0$, $E = 0$

問 2　$E_0 = 0$, $E_r = \dfrac{kQ}{r^2}$, $E_{R_1} = \dfrac{4kQ}{9r^2}$, $E_{R_2} = \dfrac{kQ}{9r^2}$

問 3　$E_0 = 0$, $E_r = \dfrac{kQ}{r^2}$, $E_{R_1} = \dfrac{4kQ}{9r^2}$, $E_{R_2} = 0$

問 4　$E_0 = E_r = E_{R_1} = 0$, $E_{R_2} = \dfrac{kQ}{9r^2}$



問 2　　　問 3　　　問 4

解答

問 1　i) 電気量 Q は導体球 A の表面に一様に分布し，無限遠に向けて放射状の電界を作る．$x \geqq r$ での電気力線の本数は距離 x によらず $N = \boldsymbol{4\pi kQ}$ であり，電場は電気力線の単位面積あたりの本数だから，半径 x の球面の面積 $4\pi x^2$ で割ると，$E = \dfrac{N}{4\pi x^2} = \boldsymbol{\dfrac{kQ}{x^2}}$

ii) 導体内部には電荷も電界も存在しないから，$N = \boldsymbol{0}$，$E = \boldsymbol{0}$

問 2　A の表面が Q に帯電しているので，静電誘導によって B の内側表面が $-Q$，B の外側表面が Q にそれぞれ帯電する．導体 A，B の内部は電界 0，真空中は点電荷 Q のまわりと同様の電界が生じているので，グラフは上図のとおり．

したがって，$E_0 = \boldsymbol{0}$，$E_r = \boldsymbol{\dfrac{kQ}{r^2}}$，$E_{R_1} = \dfrac{kQ}{{R_1}^2} = \boldsymbol{\dfrac{4kQ}{9r^2}}$，$E_{R_2} = \dfrac{kQ}{{R_2}^2} = \boldsymbol{\dfrac{kQ}{9r^2}}$

問 3　前問と同様に B の内側表面は $-Q$ に帯電するが，B が接地されているために，前問で外側表面に帯電していた Q の電気量が地面に逃げる．そのため電界は AB 間にのみ存在することになり，グラフは上図の通り．

したがって，$E_0 = \boldsymbol{0}$，$E_r = \boldsymbol{\dfrac{kQ}{r^2}}$，$E_{R_1} = \boldsymbol{\dfrac{4kQ}{9r^2}}$，$E_{R_2} = \boldsymbol{0}$

問 4　仮に B の内側表面が電気量 q に帯電したとすると，静電誘導によって A の表面が $-q$ に帯電しなければならないが，A の電気量が 0 であることに矛盾する．したがって，A の表面も B の内側表面も帯電せず，B の外側表面が Q に帯電していて，B の外側のみに電界が存在するため，グラフは上図のとおり．

したがって $E_0 = E_r = E_{R_1} = \boldsymbol{0}$，$E_{R_2} = \boldsymbol{\dfrac{kQ}{9r^2}}$

＜次頁につづく＞

III

略解

問 1 ア $\sqrt{\dfrac{k}{m}}$　イ $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　ウ $F_0 \sin\omega_0 t - m\omega^2 x$　エ $\dfrac{\omega_0+\omega}{2}t$　オ $\dfrac{\omega_0-\omega}{2}t$

カ $\dfrac{4\pi}{\omega_0+\omega}$　キ $\dfrac{4\pi}{\omega_0-\omega}$

A 固有　B 共振　C うなり

問 2 ① 1.　② 6.　③ 5.

解答

問 1

ア ばね振り子の角振動数なので $\omega = \boldsymbol{\sqrt{\dfrac{k}{m}}}$

イ $T = \dfrac{2\pi}{\omega} = \boldsymbol{2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}}$

ウ ばねによる弾性力は $-kx = -m\omega^2 x$ となるので，$ma = \boldsymbol{F_0 \sin\omega_0 t - m\omega^2 x}$

エオ 三角関数の和・積の公式より

$$\frac{F_0}{m(\omega^2-{\omega_0}^2)}(\sin\omega_0 t - \sin\omega t) = \frac{2F_0}{m(\omega^2-{\omega_0}^2)}\cos\left(\boldsymbol{\frac{\omega_0+\omega}{2}t}\right)\sin\left(\boldsymbol{\frac{\omega_0-\omega}{2}t}\right)$$

カキ それぞれエ，オについて t の係数の逆数をとって 2π をかければよい．$T_1 = \boldsymbol{\dfrac{4\pi}{\omega_0+\omega}}$，$T_2 = \boldsymbol{\dfrac{4\pi}{\omega_0-\omega}}$

問 2

① $x = \dfrac{F_0}{\omega_0\omega m\left(\dfrac{\omega^2}{{\omega_0}^2}-1\right)}\left(\dfrac{\omega}{\omega_0}\sin\omega_0 t - \sin\omega t\right) \fallingdotseq \dfrac{F_0}{\omega_0\omega m}\sin\omega t$ より **1.**

② うなりが生じているときの振動を表すグラフは **6.**

③ $\omega t\cos\omega t$ を含む項は時間とともに絶対値の最大値が大きくなるので **5.**

＜次頁につづく＞

Ⅳ

略解

問1 $\boxed{ア}$ $\dfrac{p_0V_0}{RT_0}$, ① 等温, ② 断熱, ③ 定積

問2 $\dfrac{V_B}{V_A}=\left(1+\dfrac{\rho h_1 g}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$, $\dfrac{V_C}{V_A}=\dfrac{p_0+\rho h_1 g}{p_0+\rho h_2 g}$

問3 $\left(1+\dfrac{\rho h_1 g}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}}=\dfrac{p_0+\rho h_1 g}{p_0+\rho h_2 g}$

問4 $\dfrac{h_1}{h_1-h_2}$

問5 1.38

解答

問1

$\boxed{ア}$ 理想気体の状態方程式より求める物質量は $n=\boldsymbol{\dfrac{p_0V_0}{RT_0}}$

① 温度 T_0 の大気をポンプで容器内にゆっくりと供給するので，操作Ⅰ中は **等温** 変化

② 操作Ⅱで気体が容器外部に素早く移動しその間気体は熱のやり取りをしなかったと考えて **断熱** 変化

（図2のグラフにおいて，A→Bのグラフの方が，等温変化であるS→Aよりも傾きが急であることが断熱膨張の特徴と一致する）

③ U字管は細いので体積は無視できる．したがって，**定積** 変化

（図2のグラフの定積変化の特徴と一致する）

問2 状態Aの圧力を p_A とおくと，水銀柱にはたらく力のつり合いより $p_A=p_0+\rho h_1 g$ である．また，状態Bでの圧力は $p_B=p_0$ となるので，A→Bは断熱変化であることから，

$$p_A{V_A}^{\gamma}=p_B{V_B}^{\gamma}\qquad \therefore\ \frac{V_B}{V_A}=\left(\frac{p_A}{p_B}\right)^{\frac{1}{\gamma}}=\left(\frac{p_0+\rho h_1 g}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}}=\boldsymbol{\left(1+\frac{\rho h_1 g}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}}}$$

図2より状態Bの圧力 p_0 よりも状態Cの方が圧力が高いので，状態Cでの圧力を p_C とおくと，水銀柱にはたらく力のつり合いから $p_C=p_0+\rho h_2 g$ である．

状態A，と状態Cの温度はいずれも等しく T_0 であることと，V_A，V_C は同じ物質量で考えるので，ボイルの法則が使える．AとCでボイルの法則を用いて，

$$p_AV_A=p_CV_C\qquad \therefore\ \frac{V_C}{V_A}=\frac{p_A}{p_C}=\boldsymbol{\frac{p_0+\rho h_1 g}{p_0+\rho h_2 g}}$$

問3 B→Cは定積変化だから，$V_B=V_C$．両辺を V_A で割って，問2の結果を用いると，

$$\frac{V_B}{V_A}=\frac{V_C}{V_A}\qquad \therefore\ \boldsymbol{\left(1+\frac{\rho h_1 g}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}}=\frac{p_0+\rho h_1 g}{p_0+\rho h_2 g}}$$

問4 問3の右辺は $\dfrac{1+\dfrac{\rho h_1 g}{p_0}}{1+\dfrac{\rho h_2 g}{p_0}}$ とかけるので，問3の式の両辺の自然対数をとると，

$$\log_e\left(1+\frac{\rho h_1 g}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}}=\log_e\frac{1+\dfrac{\rho h_1 g}{p_0}}{1+\dfrac{\rho h_2 g}{p_0}}$$

$$\therefore\ \frac{1}{\gamma}\log_e\left(1+\frac{\rho h_1 g}{p_0}\right)=\log_e\left(1+\frac{\rho h_1 g}{p_0}\right)-\log_e\left(1+\frac{\rho h_2 g}{p_0}\right)$$

題意より $\dfrac{\rho h_1 g}{p_0}\ll 1$，$\dfrac{\rho h_2 g}{p_0}\ll 1$ なので与えられた近似式を用いて

$$\frac{1}{\gamma}\frac{\rho h_1 g}{p_0}\fallingdotseq\frac{\rho h_1 g}{p_0}-\frac{\rho h_2 g}{p_0}\qquad \therefore\ \gamma\fallingdotseq\boldsymbol{\frac{h_1}{h_1-h_2}}$$

問5 $\gamma\fallingdotseq\dfrac{30.6\ \mathrm{mm}}{30.6-8.4\ \mathrm{mm}}=1.378\cdots\fallingdotseq\mathbf{1.38}$

＜次頁につづく＞

講評

Ⅰ ［力学：斜方投射］（標準）

モンキーハンティングの標準的な問題。問 1 の条件は，$\tan\theta = H/L$ のみでは，v_0 が小さいときに衝突が起こらないので戸惑った受験者もいたことだろう。それ以外，前半は基本的な問題なので確実に得点したい。問 4，問 5 の条件も迷った受験生も多かったと思われる。

Ⅱ ［電磁気：電場，静電誘導，静電遮蔽］（やや易）

問 1〜問 3 は導体球と導体球殻の静電誘導の基本的な問題。問 4 で迷う受験生がいると思われるが、静電誘導のルールに逆らわないように考えればよい。

Ⅲ ［力学＋波動：共振，うなり，強制振動］（やや難）

共振などをテーマにしたやや発展的な問題。作業量は少ないが，外力の振動数と固有振動数の値の関係によりどのような振動になるかを把握するまでにかかる時間は，受験者によって異なっただろうと思われる。

Ⅳ ［熱：比熱比の測定］（やや難）

比熱比を測定する問題。過去に他の私立大学医学部で出題されたことがあるテーマではあるが，ほとんどの受験生にはなじみがなかっただろう。問 1 の時点で $p-V$ グラフと問題文から気体がどのような変化をするか読み取れないとそれ以降の問題が全く解けなくなる。問 1 の時点で手が止まってしまった受験生もいたのではないか。作業量自体は多くないので問 1，問 2 が解ければ完答も可能。

総評

総じて 2024 年度後期は昨年度後期と同程度の難易度。今回グラフを描く問題は出題されたが，例年頻出の表やグラフからデータを読み取る問題は出題されなかった。各大問に関しては，大問Ⅰは 7 割程度，大問Ⅱは 8 割，大問Ⅲは 8 割，大問Ⅳは 6 割得点するのが理想。作業量は例年に比べて少なかったがそれでも時間切れで全ての問題に手が回らなかった受験者も多くいたことだろう。後期であることも踏まえて目標得点率は 65 %