医学部進学予備校 メビオ × 医学部専門予備校 YMS 医学部専門予備校 英進館メビオ 福岡校

解答速報

東海大学医学部　物理

2022年2月3日実施

1

解答

(1) $T=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$　(2) 5 倍　(3) $T'=\sqrt{\dfrac{10h}{g}}$

(4) $\left(16\sqrt{5}-35\right)h$　(5) 6 倍

解説

(1) 高さ h からの自由落下である．$h=\dfrac{1}{2}gT^2$ より，$T=\sqrt{\dfrac{\mathbf{2h}}{\mathbf{g}}}$

(2) 時刻 $2T$ における B の高さが h となればよいので，$h=h'-\dfrac{1}{2}g(2T)^2$ より，$h'=5h$．$\dfrac{h'}{h}=$ **5 倍**.

(3) 等質量の小球の弾性衝突では速度が交換されるので，小球 A，B それぞれの位置は図 1 のように表現される．これは，A，B がそれぞれ床とのみ衝突する場合の時刻 t における位置のグラフを，A と B の衝突のたびに乗り換えるようなグラフである．

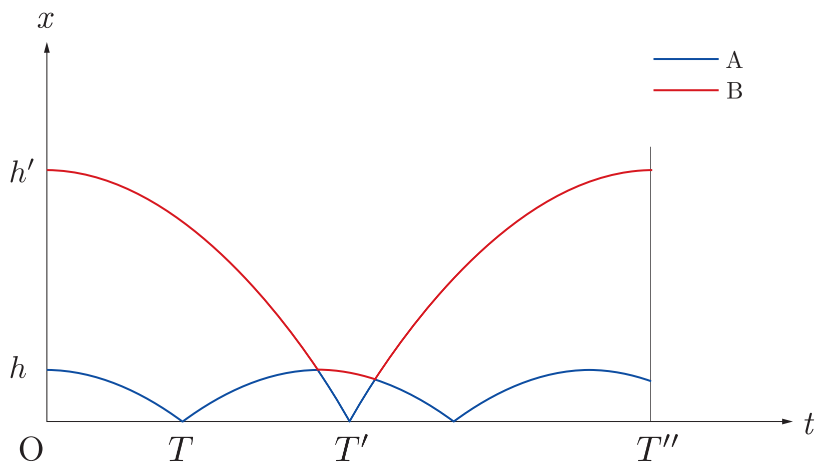

図 1

小球 A が $t>T$ ではじめて床と衝突する時刻は B が「A と衝突することが無い場合」に床と衝突する時刻と一致するので，

$$0=5h-\frac{1}{2}gT'^2 \text{ より，} T'=\sqrt{\frac{\mathbf{10h}}{\mathbf{g}}}$$

(4) 図 1 より，$T''=2T'$．このとき小球 A は，$t=3T$ での床との衝突の後で，次の $t=5T$ での床との衝突するより前なので，

$$x_{\mathrm{A}}''=\sqrt{2gh}\,(T''-3T)-\frac{1}{2}g\,(T''-3T)^2=\left(\mathbf{16\sqrt{5}-35}\right)\boldsymbol{h}$$

(5) 問題文「同じ位置で 2 回衝突」とあるので，時刻 T'' までの小球 A，B それぞれの位置は図 2 のように表現される．これより求める H は「A と B の衝突が無い場合」の小球 A の最高点の高さであることが分かる．

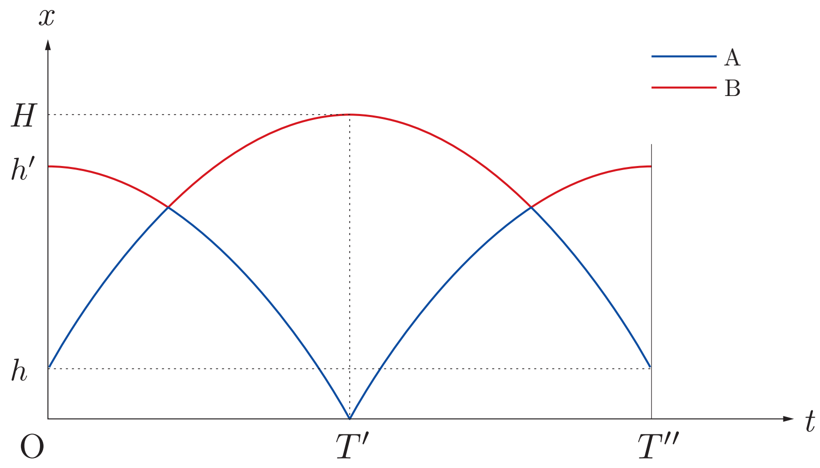

図 2

小球 A の初速度 V を求める．A は「A と B の衝突が無い場合」に時刻 $T' = \sqrt{\dfrac{10h}{g}}$ に速度が 0 になるような初速度 V を与えられているので，$0 = V - gT'$ より，$V = \sqrt{10gh}$

以上より，$H = h + V \cdot T' - \dfrac{1}{2}gT'^2 = 6h$．$\dfrac{H}{h} = \mathbf{6}$ **倍**

2 解答

(1) qv_xB　　(2) $\dfrac{E}{B}$　　(3) $\dfrac{m}{qB}\left(v-\dfrac{E}{B}\right)$

(4) $\dfrac{\alpha}{1+\alpha}vB$　　(5) $\dfrac{vB}{2}$

解説

(1) ローレンツ力の y 成分は y 軸正の向きに $\boldsymbol{qv_xB}$

(2) ローレンツ力の y 成分は y 軸正の向きに qu_xB となり，電場から受ける静電気力は y 軸負の向きに qE となるので，合力の y 成分は，$qu_xB-qE=q\left(u_x-\boldsymbol{\dfrac{E}{B}}\right)B$

(3) 一定の速さ $\dfrac{E}{B}$ で x 軸正の方向に進む観測者（以下，観測者 O とする）から見ると，荷電粒子は x 軸正方向に初速 $v-\dfrac{E}{B}$ で磁場の領域に入るようにみえる．題意より，その後の荷電粒子の運動は，磁場だけが存在するときの円運動と同様なので，半径を r とすると，運動方程式より，

$$m\frac{\left(v-\dfrac{E}{B}\right)^2}{r}=q\left(v-\frac{E}{B}\right)B$$

これより，$r=\boldsymbol{\dfrac{m}{qB}\left(v-\dfrac{E}{B}\right)}$

(4)，(5) 課されている条件は，荷電粒子の x 座標が常に正であることと，荷電粒子の速度の x 成分が負になる瞬間が存在することの二つである．

荷電粒子が磁場の領域に入った時刻を時刻 $t'=0$ とし，同時刻 $t'=0$ に観測者 O も $x=0$ から一定の速さ $\dfrac{E}{B}$ で x 軸正方向に運動を開始したものとする．ここで，観測者 O からみた荷電粒子の円運動を x 軸へ射影した運動は，角速度を ω とすれば，位置が $r\sin\omega t'$ で表せる単振動となる．また，観測者は $\dfrac{E}{B}$ で等速度運動しているので，荷電粒子の x 座標は

$$x=r\sin\omega t'+\frac{E}{B}t'$$

と表せる．一つ目の条件 $x>0$ より，$r\sin\omega t'>-\dfrac{E}{B}t'$ を満たせば良いが，ここで $\omega t'=t$ と置換すると，条件は $\sin t>-\dfrac{E}{r\omega B}t$ と変形でき，与えられた図 5 との関係から，$\dfrac{E}{r\omega B}>\alpha$ を満たせば良い．$r\omega=v-\dfrac{E}{B}$ であるので，条件式より，$\dfrac{\alpha}{1+\alpha}vB<E$ が得られる．

一方，観測者 O からみた荷電粒子の x 軸への射影した運動の速度は $r\omega\cos\omega t'$ で表せるので，荷電粒子の速度の x 成分 v_x は

$$v_x=r\omega\cos\omega t'+\frac{E}{B}$$

と表せる．二つ目の条件より，v_x が負になる瞬間が存在するためには，$-r\omega+\dfrac{E}{B}<0$ を満たせば良い．この式より，$E<\dfrac{vB}{2}$ が得られる．

以上より，$\boldsymbol{\dfrac{\alpha}{1+\alpha}vB}<E<\boldsymbol{\dfrac{vB}{2}}$

<次頁につづく>

3

解答

(1) エ　　(2) オ　　(3) カ　　(4) ア　　(5) イ

解説

(1) 上部の気体の物質量を $n_{\rm u}$〔mol〕，下部の気体の物質量を $n_{\rm d}$〔mol〕とする．状態 0 における下部の気体の圧力を $P_{0\rm d}$ とすると，ピストン B についての力のつり合いより，$P_{0\rm d}S = P_0S + Mg$ となる．したがって，

$$\frac{n_d}{n_u} = \frac{(P_0S + Mg)l/T_0}{P_0Sl/T_0} = \frac{(P_0S + Mg)}{P_0S} = \boldsymbol{1 + \frac{Mg}{P_0S}} \cdots \textbf{エ}$$

(2) 状態 1 における上部の気体の圧力と下部の気体の圧力をそれぞれ $P_{1\rm u}$，$P_{1\rm d}$ とすると，ピストン A，B についての力のつり合いより，

$$\text{A}: P_{1\rm u}S = P_0S + 2Mg \qquad \therefore\ P_{1\rm u} = P_0 + \frac{2Mg}{S}$$

$$\text{B}: P_{1\rm d}S = P_{1\rm u}S + Mg \qquad \therefore\ P_{1\rm d} = P_0 + \frac{3Mg}{S}$$

となる．したがって，状態 1 における下部の高さを $x_{1\rm d}$ とすると，(圧力) $\times$ (体積)$^{\frac{5}{3}}$ = 一定 の関係式より，

$$\left(P_0 + \frac{Mg}{S}\right)(Sl)^{\frac{5}{3}} = \left(P_0 + \frac{3Mg}{S}\right)(Sx_{1\rm d})^{\frac{5}{3}}$$

となり，

$$\begin{aligned} x_{1\rm d} &= \frac{\left(1 + \dfrac{Mg}{P_0S}\right)^{\frac{3}{5}}}{\left(1 + \dfrac{3Mg}{P_0S}\right)^{\frac{3}{5}}} l = \left(1 + \frac{Mg}{P_0S}\right)^{\frac{3}{5}} \left(1 + \frac{3Mg}{P_0S}\right)^{-\frac{3}{5}} l \\ &\fallingdotseq \left(1 + \frac{3}{5}\frac{Mg}{P_0S}\right)\left(1 - \frac{3}{5}\frac{3Mg}{P_0S}\right) l \fallingdotseq \left(1 + \frac{3}{5}\frac{Mg}{P_0S} - \frac{3}{5}\frac{3Mg}{P_0S}\right) l \\ &= \boldsymbol{\left(1 - \frac{6Mg}{5P_0S}\right) l} \cdots \textbf{オ} \end{aligned}$$

(3) (2) より，上部の気体の高さは $\left(1 + \dfrac{6Mg}{5P_0S}\right) l$ であるから，状態 1 における上部の気体の圧力は，

$P_{1\rm u} = P_0 + \dfrac{2Mg}{S}$，体積は $\left(1 + \dfrac{6Mg}{5P_0S}\right) Sl$ となる．したがって，

$$\begin{aligned} \frac{\Delta U}{P_0Sl} &= \left\{\frac{3}{2}\left(P_0 + \frac{2Mg}{S}\right)\left(1 + \frac{6Mg}{5P_0S}\right)Sl - \frac{3}{2}P_0Sl\right\}\frac{1}{P_0Sl} \\ &= \frac{3}{2}\left(1 + \frac{2Mg}{P_0S}\right)\left(1 + \frac{6Mg}{5P_0S}\right) - \frac{3}{2} \\ &\fallingdotseq \frac{3}{2}\left(1 + \frac{2Mg}{P_0S} + \frac{6Mg}{5P_0S}\right) - \frac{3}{2} \\ &= \boldsymbol{\frac{24Mg}{5P_0S}} \cdots \textbf{カ} \end{aligned}$$

(4) 状態 1 の下部の気体の温度を $T_{1\rm d}$ とすると，下部の気体についてのボイル・シャルルの法則より，

$$\frac{\left(P_0 + \dfrac{Mg}{S}\right)Sl}{T_0} = \frac{\left(P_0 + \dfrac{3Mg}{S}\right)Sx_{1\rm d}}{T_{1\rm d}}$$

したがって，

$$
\begin{aligned}
T_{1\mathrm{d}} &= \frac{P_0 + \dfrac{3Mg}{S}}{P_0 + \dfrac{Mg}{S}} \frac{x_{1\mathrm{d}}}{l} T_0 \\
&= \frac{1 + \dfrac{3Mg}{P_0S}}{1 + \dfrac{Mg}{P_0S}} \left(1 - \frac{6Mg}{5P_0S}\right) T_0 \\
&= \left(1 + \frac{3Mg}{P_0S}\right)\left(1 + \frac{Mg}{P_0S}\right)^{-1}\left(1 - \frac{6Mg}{5P_0S}\right) T_0 \\
&\fallingdotseq \left(1 + \frac{3Mg}{P_0S}\right)\left(1 - \frac{Mg}{P_0S}\right)\left(1 - \frac{6Mg}{5P_0S}\right) T_0 \\
&\fallingdotseq \left(1 + \frac{3Mg}{P_0S} - \frac{Mg}{P_0S} - \frac{6Mg}{5P_0S}\right) T_0 \\
&= \boldsymbol{\left(1 + \frac{4Mg}{5P_0S}\right) T_0} \cdots \text{ア}
\end{aligned}
$$

(5) 状態 1 から状態 2 への変化は定圧変化であるから，

$$
\begin{aligned}
\frac{Q}{P_0Sl} &= \frac{5}{2}\left(P_0 + \frac{3Mg}{S}\right) S(l - x_{1\mathrm{d}}) \frac{1}{P_0Sl} \\
&= \frac{5}{2}\left(1 + \frac{3Mg}{P_0S}\right)\frac{6Mg}{5P_0S} \\
&\fallingdotseq \frac{5}{2}\,\frac{6Mg}{5P_0S} \\
&= \boldsymbol{\frac{3Mg}{P_0S}} \cdots \text{イ}
\end{aligned}
$$

4 解答

(1) ア　(2) エ　(3) イ　(4) ア　(5) カ

解説

(1) 三平方の定理より $\overline{\mathrm{S_1P}} = \sqrt{L^2 + \left(x_0 + \dfrac{d}{2}\right)^2} = \boldsymbol{L\sqrt{1 + \left(\dfrac{x_0 + \frac{d}{2}}{L}\right)^2}}$ $\cdots$ **ア**

(2)

$$
\begin{aligned}
\overline{\mathrm{S_1P}} - \overline{\mathrm{S_2P}} &= L\sqrt{1 + \left(\frac{x_0 + \frac{d}{2}}{L}\right)^2} - L\sqrt{1 + \left(\frac{x_0 - \frac{d}{2}}{L}\right)^2} \\
&\fallingdotseq L\left\{1 + \frac{1}{2}\left(\frac{x_0 + \frac{d}{2}}{L}\right)^2 - 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{x_0 - \frac{d}{2}}{L}\right)^2\right\} \\
&= \frac{dx_0}{L}
\end{aligned}
$$

強めあいの条件は整数 m を用いて $\dfrac{dx_0}{L} = m\lambda$ となるので，$\boldsymbol{\Delta x = L\lambda/d}$ $\cdots$ **エ**

(3) 点 O での光の振幅が 1/2 となるので，光のエネルギーは 1/4 となる．よって明るさは **1/4 倍** $\cdots$ **イ**

(4) 0 次の明線ができる位置を x とする．光路差は $\dfrac{dx}{L} + (n_{\mathrm{f}} - 1)D$ となり，これが 0 に等しいことから，$x = -\dfrac{L(n_{\mathrm{f}} - 1)D}{d}$ となる．よって **x が負の方向へ $(n_{\mathrm{f}} - 1)LD/d$** $\cdots$ **ア**

(5) 題意の明線は (-1) 次である．この明線が白色であることから，任意の波長 λ の光が同じ位置 x' で強めあう．x' における強めあいの条件は，任意の λ について

$$
\frac{dx'}{L} + (b\lambda + c - 1)D = -\lambda
$$

となる．x' が λ によらないことから，両辺の λ の係数 bD，-1 は一致する．よって $\boldsymbol{b = -1/D}$ $\cdots$ **カ**

＜次頁につづく＞

講評

$\boxed{1}$ [力学：質量の等しい 2 物体の放物運動]（やや難）

大問 1 は (3) までは解答しておきたい．質量の等しい 2 物体の弾性衝突で速度が交換することを用い，$x-t$ グラフを利用すると考え易い．(4) は問題文に「g，h を用いて」とあるが，g を使わず答えられる．

$\boxed{2}$ [電磁気：電場・磁場中の荷電粒子の運動]（やや難）

(3) までは誘導に上手く乗って解答することも出来るが，類題を解いたことがあっても (4)，(5) は難しい．

$\boxed{3}$ [熱：気体の状態変化]（やや難）

物理的内容は難しくはないが，近似計算に慣れていないと完答するのは厳しいだろう．

$\boxed{4}$ [波動：2 重スリットによる光の干渉]（標準）

2 重スリットによる干渉の典型問題なので，(4) までは解答しておきたい．

総評

2021 年度 2 月 3 日よりやや難化．前日 2 月 2 日の問題と比較するとかなり難しい．全体の得点率は，50 % が目標．