解答速報

関西医科大学（後期）　物理

2022年3月5日実施

I

略解

ア：v_0	イ：$\dfrac{2v_0}{g}$	ウ：$-2mv_0$
エ：$\dfrac{g}{2v_0}$	オ：$-mg$	カ：$\sqrt{{v_1}^2-2gL}$
キ：$\dfrac{v_1-\sqrt{{v_1}^2-2gL}}{g}$	ク：$2m\sqrt{{v_1}^2-2gL}$	ケ：v_1
コ：$\dfrac{2\left(v_1-\sqrt{{v_1}^2-2gL}\right)}{g}$	サ：$\dfrac{m\sqrt{{v_1}^2-2gL}\times g}{v_1-\sqrt{{v_1}^2-2gL}}$	シ：$-\dfrac{mv_1g}{v_1-\sqrt{{v_1}^2-2gL}}$
ス：$-mg$		

解答

ア：　力学的エネルギー保存則を考慮すると，同じ高さに戻ってきたので速さも等しい．$\boldsymbol{v_0}$

イ：　最高点に達する時刻は速度が 0 となる $t=\dfrac{v_0}{g}$ なので，下面に戻ってくる時刻はその 2 倍．$t_0=\boldsymbol{\dfrac{2v_0}{g}}$

ウ：　衝突前後での分子の運動量変化は $+2mv_0$．下面が受ける力積はこの値に等しく，鉛直下向きなので，$i_0=\boldsymbol{-2mv_0}$

エ：　イの t_0 が下面との衝突周期なので，求める値は t_0 の逆数となる．$\dfrac{1}{t_0}=\boldsymbol{\dfrac{g}{2v_0}}$

オ：　ウとエの値の積を求めて，$f_0=-2mv_0\times\dfrac{g}{2v_0}=\boldsymbol{-mg}$

カ：　力学的エネルギー保存則を考慮して高さ L での速さを求めると $v_1'=\boldsymbol{\sqrt{{v_1}^2-2gL}}$

キ：　$t=\dfrac{v_1-v_1'}{g}=\boldsymbol{\dfrac{v_1-\sqrt{{v_1}^2-2gL}}{g}}$

ク：　ウと同様に考え，鉛直上向きであることに気をつけると，$i_{上}=\boldsymbol{2m\sqrt{{v_1}^2-2gL}}$

ケ：　上面での衝突も弾性衝突なので，力学的エネルギー保存則は成立する．アと同様に考えて，速さは $\boldsymbol{v_1}$

コ：　キの 2 倍の値となる．$t_1=\boldsymbol{\dfrac{2\left(v_1-\sqrt{{v_1}^2-2gL}\right)}{g}}$

サ：　コの値が上面との衝突周期なので，エと同様に考える．鉛直上向きなので，$f_{上}=\dfrac{2mv_1'}{t_1}=\boldsymbol{\dfrac{m\sqrt{{v_1}^2-2gL}\times g}{v_1-\sqrt{{v_1}^2-2gL}}}$

シ：　サと同様に考える．鉛直下向きであることに気をつけて，$f_{下}=-\dfrac{2mv_1}{t_1}=\boldsymbol{-\dfrac{mv_1g}{v_1-\sqrt{{v_1}^2-2gL}}}$

ス：　サとシの値の和を考えて，$f_1=f_{上}+f_{下}=\boldsymbol{-mg}$

II

略解

問 1 $\dfrac{E}{B}$ 問 2 $\dfrac{E}{B^2} = \dfrac{qR}{M}$ 問 3 (i) $2R$ (ii) $\sqrt{3}R$ (iii) $\sqrt{3}R + \dfrac{d}{\sqrt{3}}$ 問 4 $1.11M$(または，$1.1105M$)

解答

問 1 力のつり合いより，$qE = qvB$ $\quad \therefore v = \boldsymbol{\dfrac{E}{B}}$

問 2 荷電粒子についての円運動の運動方程式より，$M\dfrac{v^2}{R} = qvB \Longleftrightarrow \dfrac{M}{R}\dfrac{E}{B} = qB \quad \therefore \boldsymbol{\dfrac{E}{B^2} = \dfrac{qR}{M}}$

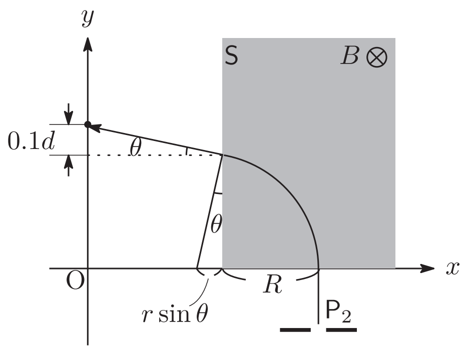
問 3

(i) 問 2 の関係式の左辺は一定であるから，質量が 2 倍，電荷が 1 倍の場合，半径は 2 倍となる。
よって，求める半径は，$\boldsymbol{2R}$

(ii) $y_{\mathrm{S}} = \overline{\mathrm{Q'Q}}\tan 60^\circ = R\tan 60^\circ = \boldsymbol{\sqrt{3}R}$

(iii) $y_{\mathrm{Y}} = y_{\mathrm{S}} + d\tan 30^\circ = \boldsymbol{\sqrt{3}R + \dfrac{d}{\sqrt{3}}}$

問 4



図のように θ をとると，$\sin\theta = \dfrac{0.1}{\sqrt{1+0.1^2}}$，$\cos\theta = \dfrac{1}{\sqrt{1+0.1^2}}$ となる。
円運動の半径を r とすると，$r = R + r\sin\theta$ が成り立つので，

$$\begin{aligned}
\frac{r}{R} &= \frac{1}{1-\sin\theta} = \frac{1+\sin\theta}{1-\sin^2\theta} = \frac{1+\sin\theta}{\cos^2\theta} \\
&= \left(\sqrt{1+0.1^2}\right)^2\left(1 + \frac{0.1}{\sqrt{1+0.1^2}}\right) \\
&= 1 + 0.1^2 + 0.1\sqrt{1+0.1^2} \\
&\fallingdotseq 1 + 0.1^2 + 0.1\left(1 + \frac{0.1^2}{2}\right) \\
&= 1.1105
\end{aligned}$$

問 2 の関係式の左辺は一定であるから，半径が 1.1105 倍，電荷が 1 倍の場合，質量は 1.1105 倍となる。
よって，求める質量は，$\boldsymbol{1.1105M}$
与えられた式の使い方によっては上の値とは異なる値が求まることもあるので，$1.11M$ くらいでも正答になるだろう。

＜次頁につづく＞

III

略解

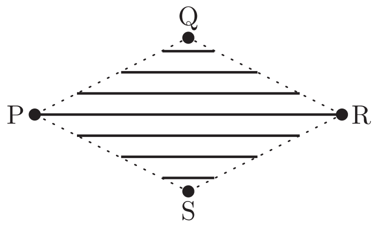
問 1　10 個

問 2　3 個

問 3　λ

問 4　下図

問 5　$\dfrac{\lambda}{\Delta t}$



解答

問 1　x 軸における光線 A の断面の波長は $\dfrac{2\sqrt{3}}{3}\lambda$ となる。

$\overline{\mathrm{PR}} = 12\lambda$ より $\dfrac{12\lambda}{\dfrac{2\sqrt{3}}{3}\lambda} = 6\sqrt{3} = 10.3\ldots > 10$ であるから **10 個**

問 2　PQ における光線 A の断面の波長は 2λ となる。

$\overline{\mathrm{PQ}} = 4\sqrt{3}\lambda$ より $\dfrac{4\sqrt{3}\lambda}{2\lambda} = 2\sqrt{3} = 3.4\ldots > 3$ であるから **3 個**

問 3 , 問 4 y 軸方向について，波長 2λ の 2 つの波が互いに反対向きに進んでいると考えることができる。明線の間隔は $2\lambda/2 = \boldsymbol{\lambda}$ となる。PR では明らかに A と B が強めあうので，PR は明線となる。

問 5　$v\Delta t = \lambda$ より $v = \dfrac{\boldsymbol{\lambda}}{\boldsymbol{\Delta t}}$

注釈

光速を c，粒子が観測する光線 A，B の振動数をそれぞれ f_{A}，f_{B} とする。光のドップラー効果により

$$f_{\mathrm{A}} = \frac{c + \dfrac{v}{2}}{\lambda},\ f_{\mathrm{B}} = \frac{c - \dfrac{v}{2}}{\lambda}$$

となるので，粒子が観測する「うなり」の振動数は

$$\frac{1}{\Delta t} = |f_{\mathrm{A}} - f_{\mathrm{B}}| = \frac{v}{\lambda}$$

となる。

＜次頁につづく＞

IV

略解

問 1　$\dfrac{p_0}{\rho g}$

問 2　$2p_0$

問 3　$p_0\left(3-\dfrac{V}{V_0}\right)$

問 4　$\dfrac{9}{8}$倍，$\dfrac{3}{2}V_0$

問 5　①

解答

問 1　ガラス管の断面積を S，求める液面の高さを h とする。ガラス管内の上部が真空である。したがって力のつりあい $p_0S=\rho Shg$ を解いて $h=\boldsymbol{\dfrac{p_0}{\rho g}}$

問 2　シリンダーの断面積を S' とおく。仕切り板と X を一体と考えて力のつりあいより $pS'=p_0S'+\rho S'hg$ となる。ここに問 1 の結果 $h=\dfrac{p_0}{\rho g}$ を代入して整理すると $p=\boldsymbol{2p_0}$

問 3　作用反作用の法則から，仕切り板が窒素ガスに加える圧力 p は窒素ガスが仕切り板に加える圧力と大きさが等しい。したがって，後者の圧力を求める。仕切り板がゆっくりと上昇している場合を考える。このとき，

$$\begin{cases}\text{仕切り板と } X \text{ を一体と考えて力のつりあい：} pS'=p_0S'+\rho(2V_0-V)g \\ \text{題意より：} V_0=S'h \\ \text{問 1 の結果：} h=\dfrac{p_0}{\rho g}\end{cases}$$

となる。これを解いて $p=\boldsymbol{p_0\left(3-\dfrac{V}{V_0}\right)}$

問 4　ゆっくりと上昇する過程と加速しながら上昇する過程が切り替わるとき，吸熱と放熱が切り替わる。このときの体積を V_1 とする。また，温度が最大となる体積を V_2 とする。$V_1>V_2$ であることは，以下 (1)〜(4) の条件から計算しなくとも分かる。

(1)　ヒーターはゆっくり加熱しているので，ヒーターが与える熱は十分小さく，加速しながら上昇する間は断熱変化とみなせる。

(2)　断熱曲線は等温曲線より $p-V$ グラフの傾きの大きさが大きい

(3)　温度が最大となるとき，$p-V$ グラフ上で，$p=p_0\left(3-\dfrac{V}{V_0}\right)$ と等温曲線が接する

(4)　吸熱と放熱が切り替わるとき，$p-V$ グラフ上で，$p=p_0\left(3-\dfrac{V}{V_0}\right)$ と断熱曲線が接する

よって T が最大となる体積を求めよう。

$$\begin{cases}\text{問 3 の結果：} p=p_0\left(3-\dfrac{V}{V_0}\right) \\ \text{状態方程式：} pV=nRT\end{cases}$$

上記 2 式から p を消去して，T を V の関数として表すと，$T=\dfrac{p_0}{nR}\left(3-\dfrac{V}{V_0}\right)V$ となる。したがって $V_0\leqq V\leqq V_1$ の範囲で T の最大となる体積 V_2 は $V_2=\dfrac{3}{2}V_0$ である。このとき

$$T'=\frac{p_0}{nR}\left(3-\frac{3}{2}\right)\frac{3}{2}V_0=\frac{9p_0V_0}{4nR}$$

また，加熱前の温度 T は状態方程式 $2p_0V_0=nRT$ より $T=\dfrac{2p_0V_0}{nR}$ である。したがって，$\dfrac{T'}{T}=\boldsymbol{\dfrac{9}{8}}$，このとき体積は $V_2=\boldsymbol{\dfrac{3}{2}V_0}$

問 5　ゆっくり加熱しているので，ヒーターが単位時間あたりに与える熱は十分小さく，加速しながら上昇する間は断熱変化とみなせる。よって断熱変化に当てはまる選択肢を選べばよい。

①　断熱膨張では温度が下がるので正しい。

②　等温変化であれば正しいが，断熱膨張で温度が下がるので間違い。

③　$p = p_0\left(3 - \dfrac{V}{V_0}\right)$ の直線と断熱曲線は $p-V$ グラフ上で，V_2 で接している。したがって，$V \geqq V_2$ の領域で断熱曲線は常に $p = p_0\left(3 - \dfrac{V}{V_0}\right)$ より圧力が高く，温度も高い。$p = p_0\left(3 - \dfrac{V}{V_0}\right)$ は初め $(V = V_0)$ とおわり $(V = 2V_0)$ で同じ温度である。したがって，上端に達した瞬間の窒素ガスの温度は加熱開始前の温度より高く，③は間違い。

④　仕切り板の質量が 0 なので仕切りに加わる窒素ガスの圧力と X から加わる圧力は等しい。したがって窒素ガスの圧力は仕切り板が X から受ける圧力と大気圧との和より小さい。よって④は間違い。

⑤　ガスがする仕事は $p-V$ グラフの面積である。ところで温度が最高になる体積 V_1 と断熱曲線の形は定積モル比熱 C_V と定圧モル比熱 C_p によって決まる。C_V と C_p は分子の種類によって値が変化する。したがって⑤は間違い。

⑥　吸熱から断熱に切り替わった後はヒーターで加熱をやめても，窒素ガスの内部エネルギーの減少分を用いて仕切り板は上昇する。したがって⑥は間違い。

的中!!

関西医科大学模試（2021 年 12 月 19 日実施）

IV　なめらかに動けるピストンを備えた高さ $3h$，断面積 S のシリンダーが，密度 ρ の静止した液体の入った断面積 $3S$ の容器に鉛直に固定されている。シリンダーには単原子分子理想気体が封入されており，気体はヒーターによって加熱することができる。ピストンとシリンダーは断熱材でできており，ピストンおよびシリンダーの厚さと質量，ヒーターの体積は十分小さく無視できる。また，この液体の飽和蒸気圧は極めて低く，液面より上の空間は常に圧力 0 の真空とみなせるものとする。重力加速度の大きさを g とし，以下の問に答えよ。問 2〜4 は途中の考え方も記せ。

問 1　はじめピストンは，液面からの深さが $2h$，底面からの高さが h の位置に静止していた（図 1）。このとき，シリンダー内部の気体の圧力と内部エネルギーをそれぞれ求めよ。

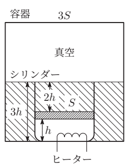


図 1

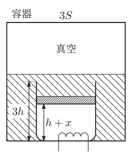


図 2

次に，ヒーターを用いて気体を加熱すると，ピストンはゆっくりと上昇した。図 2 のように，ピストンの底面からの高さが $h + x\ (> h)$ となったときについて考える。

問 2　このときの液面からピストンまでの深さを求めよ。

問 3　このときの気体の内部エネルギーを求めよ。

問 4　底面からピストンまでの高さが h から $h + x$ に変化する間に，気体がした仕事を求めよ。

― 7 ―

問 5　ピストンがある高さ $h + x_{\rm C}$ に達するまでは，気体は熱を吸収しながらゆっくりと膨張していたが，$h + x_{\rm C}$ を超えると気体は放熱をはじめ，ピストンは急激に上昇した。問 3，問 4 の結果を用いて $x_{\rm C}$ を求めよ。

― 8 ―

＜次頁につづく＞

講評

Ⅰ ［力学：大気圧の力学模型］（標準）気体分子の運動に注目した圧力の導出問題などを下敷きとした力学の問題。実際には，重力のみを受ける質点の鉛直運動，固定面との衝突，その固定面の受ける力積についてという，基本的な概念を丁寧に適用することを要求している。誘導も親切なので，きちんと得点しておきたい。

Ⅱ ［電磁気：質量分析器］（標準）標準的な質量分析器の問題である。問 3 には幾何的処理が必要な部分もあるが，問題文に詳細な図が与えられており解きやすい。問 4 の計算は難しい。

Ⅲ ［波動：レーザードップラー法］（標準）斜めに交差するレーザーの干渉と，これを利用した物体の速度の測定に関する問題である。干渉条件の考え方については典型的とは言えないが，波の干渉についての一般論の取り扱いに慣れていれば完答することができるだろう。

Ⅳ ［熱：気体の状態変化］（標準）$p-V$ 図上で，傾きが負の直線に沿った方向への気体の状態変化に関する問題。状態変化の途中で，温度が上昇から下降に替わり，吸熱から断熱変化に替わる。問 5 では，状態変化が吸熱から断熱膨張に移行することに気付いている必要があり，難しい。

総評

総じて昨年度後期よりやや易化している。大問 1 は標準的なので完答したい。大問 2 の問 4 以外は正答しておきたい。大問 3 は出来不出来が非常に分かれる問題なので，5 割程度。大問 4 は最後の選択肢以外は正答したい。目標は 60%