大阪医科薬科大学（前期）　物理

2025年 2月 10日実施

I

① $\dfrac{3}{4}L$　② $\dfrac{mg}{L}$　③ $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$　④ $\dfrac{kL}{2m}$

⑤ $\pi\sqrt{\dfrac{m}{5k}}$　⑥ $\dfrac{1}{4}L\sqrt{\dfrac{5k}{m}}$　⑦ $\dfrac{1}{8}L\sqrt{\dfrac{5k}{m}}$

解説

①　ばねの長さが自然長 L のときと最小のとき $\dfrac{1}{2}L$ が振動の端となる．そのちょうど中間となる位置を考えればよいので，$\boldsymbol{\dfrac{3}{4}L}$ [m]

②　ばねの長さが①のとき，ばねの縮みは $\dfrac{1}{4}L$ となる．単振動の中心において，弾性力と慣性力はつりあうので，$k\dfrac{1}{4}L = m\dfrac{g}{4}$ より $k = \boldsymbol{\dfrac{mg}{L}}$ [N/m]

③

$$2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = \boldsymbol{2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}}\ \text{[s]}$$

④　ばねの縮みは $\dfrac{L}{2}$ なので，Q が受ける弾性力の大きさは $k\dfrac{L}{2}$ となる．よって求める加速度の大きさは $\boldsymbol{\dfrac{kL}{2m}}$ [m/s^2]

⑤　A，P，Q を合わせた系（系 X とする）の重心から見ると，A＋P と Q はそれぞれ逆位相の単振動をして見える．A＋P と Q の質量比が 4 : 1 であることから，P と Q の距離を 1 : 4 に内分する点を R とすると，A＋P と Q はぞれぞれ R につながれたばね定数 $5k$，$\dfrac{5}{4}k$ のばねによる単振動をすると見ることができる．よってその周期を T とすると

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{5}{4}k}} = 4\pi\sqrt{\frac{m}{5k}}$$

となる（A＋P の単振動の周期も Q のものに等しい）．ばねがはじめて自然長になったとき，P が壁から離れるので，求める時間は

$$\frac{1}{4}T = \boldsymbol{\pi\sqrt{\frac{m}{5k}}}\ \text{[s]}$$

⑥　図の右向きを正とする．A＋P，Q の前問の単振動は，振幅がそれぞれ $\dfrac{1}{10}L$，$\dfrac{2}{5}L$ であり，また角振動数は等しく $\omega = \sqrt{\dfrac{5k}{4m}}$ となるので，P が壁から離れる瞬間の，X の重心からみた A＋P，Q の速度はそれぞれ $-\dfrac{1}{10}L\omega$，$+\dfrac{2}{5}L\omega$ となる．このとき，P と Q を合わせた系（系 Y とする）の重心の，A から見たときの速度は，

$$\frac{m\cdot 0 + m\left\{+\frac{2}{5}L\omega - \left(-\frac{1}{10}L\omega\right)\right\}}{m+m} = +\frac{1}{4}L\omega$$

となる．離れた以降は，Y の重心から見ると P と Q は最大の速さがともに $\dfrac{1}{4}L\omega$ で逆位相の単振動をするので， P から見た Q の最大の速さは $\dfrac{1}{4}L\omega + \dfrac{1}{4}L\omega = \boldsymbol{\dfrac{1}{4}L\sqrt{\dfrac{5k}{m}}}$ [m/s]

⑦　前問の Y の重心の A から見た速度は一定となり，その値を答えればよい．

＜次頁につづく＞

Ⅱ

① $\dfrac{R}{V_0}$　② 1　③ $\dfrac{1}{6}$　④ $\dfrac{1}{6}\cdot\left(\dfrac{6}{5}\right)^{\frac{5}{3}}$

⑤ $\dfrac{3}{2}R\left\{\left(\dfrac{6}{5}\right)^{\frac{2}{3}}-1\right\}$　⑥ $T_{\mathrm{A}}<T_{\mathrm{B}}<T_{\mathrm{C}}<T_{\mathrm{D}}$　⑦ T_{B}

解説

① 状態方程式 $p_0V_0=1RT_0$ より $p_0=\boldsymbol{\dfrac{R}{V_0}}\times T_0$ [Pa]

② 状態0から状態1の状態変化は断熱自由膨張なので，絶対温度は変化しない．$T_1=\mathbf{1}\times T_0$ [K]

③ ボイルの法則 $p_1\cdot 6V_0=p_0V_0$ より，$p_1=\mathbf{\dfrac{1}{6}}\times p_0$ [Pa]

④ 状態1から状態2の状態変化は断熱変化で $pV^{\frac{5}{3}}=$ 一定 の関係が成り立つので，$p_2(5V_0)^{\frac{5}{3}}=\dfrac{1}{6}p_0(6V_0)^{\frac{5}{3}}$ より，

$$p_2=\mathbf{\frac{1}{6}\cdot\left(\frac{6}{5}\right)^{\frac{5}{3}}}\times p_0\ [\mathrm{Pa}]$$

⑤ 単原子分子理想気体の断熱変化では $TV^{\frac{2}{3}}=$ 一定 の関係も成り立つので，$T_2=\left(\dfrac{6}{5}\right)^{\frac{2}{3}}T_0$ [K]

今回，気体への熱の出入りは常に0なので，熱力学第一法則より気体が外部からされた仕事は気体の内部エネルギーの変化に等しい．

$$W=\Delta U=\frac{3}{2}\cdot 1\cdot R\,(T_2-T_0)=\boldsymbol{\frac{3}{2}R\left\{\left(\frac{6}{5}\right)^{\frac{2}{3}}-1\right\}}\times T_0\ [\mathrm{J}]$$

⑥ 各操作で最後にピストンを移動する直前の気体の絶対温度を T_{X}，球体容器部分とⅠ室の体積の合計を V_{X}，最終的な気体の絶対温度を T_{Y} とすると，

$$T_{\mathrm{X}}\,(V_{\mathrm{X}})^{\frac{2}{3}}=T_{\mathrm{Y}}\,(5V_0)^{\frac{2}{3}}$$

が成立する．A〜D の操作について表にまとめると，

	T_{X}	V_{X}	T_{Y}
A	$\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2}{3}}T_0$	$7V_0$	$\left(\frac{7}{10}\right)^{\frac{2}{3}}T_0$
B	T_0	$6V_0$	$\left(\frac{6}{5}\right)^{\frac{2}{3}}T_0$
C	T_0	$7V_0$	$\left(\frac{7}{5}\right)^{\frac{2}{3}}T_0$
D	$\left(\frac{5}{4}\right)^{\frac{2}{3}}T_0$	$\frac{29}{5}V_0$	$\left(\frac{29}{20}\right)^{\frac{2}{3}}T_0$

以上より，$\boldsymbol{T_{\mathrm{A}}<T_{\mathrm{B}}<T_{\mathrm{C}}<T_{\mathrm{D}}}$

⑦ 状態2に至る過程で，最後にピストンを移動する直前の絶対温度，体積ともに操作Bの場合と等しいので，$T_2=\boldsymbol{T_{\mathrm{B}}}$

＜次頁につづく＞

III

(1) $\dfrac{h}{\lambda}=-\dfrac{h}{\lambda'}+mv_{\mathrm{p}}$ (2) $\dfrac{hc}{\lambda}=\dfrac{hc}{\lambda'}+\dfrac{1}{2}m{v_{\mathrm{p}}}^2$ (3) $\dfrac{2M}{M+m}v$ (4) $\dfrac{2M}{M+14m}v$

(5) $\dfrac{14v_{\mathrm{N}}-v_{\mathrm{p}}}{v_{\mathrm{p}}-v_{\mathrm{N}}}$ (6) ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ (7) ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$

解説

① 散乱後の原子核の速さが最大になるのは，光子が反対向きに跳ね返るときである．したがって衝突は一直線上で起きるので，陽子との衝突における運動量保存則は（入射方向を正として）

$$\boldsymbol{\frac{h}{\lambda}=-\frac{h}{\lambda'}+mv_{\mathrm{p}}}$$

と表される．

② 陽子との衝突におけるエネルギー保存則は，

$$\boldsymbol{\frac{hc}{\lambda}=\frac{hc}{\lambda'}+\frac{1}{2}m{v_{\mathrm{p}}}^2}$$

と表される．

③ 粒子 X の入射方向を正として，衝突後の X の速度を v' とすると，陽子との衝突において

$$\begin{cases}\text{運動量保存則より } Mv=Mv'+mv_{\mathrm{p}}\\ \text{はねかえり係数 1 より } v=v_{\mathrm{p}}-v'\end{cases}$$

が成り立つ．ここから v' を消去して，

$$v_{\mathrm{p}}=\boldsymbol{\frac{2M}{M+m}v}$$

が成り立つ．

④ （窒素の原子核の質量は特に指示がないので，質量数 14 を用いて $14m$ として考える．）

窒素の原子核との衝突では，③ の m を $14m$ に置き換えればよいから，

$$v_{\mathrm{N}}=\boldsymbol{\frac{2M}{M+14m}v}$$

⑤ v_{p} と v_{N} の式を辺々割り算すると，$\dfrac{v_{\mathrm{p}}}{v_{\mathrm{N}}}=\dfrac{M+14m}{M+m}$ となるから，これを整理して，

$$M=\boldsymbol{\frac{14v_{\mathrm{N}}-v_{\mathrm{p}}}{v_{\mathrm{p}}-v_{\mathrm{N}}}}$$

⑥ α 線はヘリウム 4 の原子核であるから，$\boldsymbol{{}^{4}_{2}\mathrm{He}}$

⑦ 質量数 12，原子番号 6 であることがわかるので，$\boldsymbol{{}^{12}_{6}\mathrm{C}}$

＜次頁につづく＞

Ⅳ

(1) $m_{\mathrm{A}} : m_{\mathrm{B}} = 16 : 9$ (2) ① ロ，② $\dfrac{1}{8}$ (3) ア，イ，エ

解説

(1) C から AB に下ろした垂線の足を H とすると

$$\mathrm{AH} = 3 \times \frac{3}{5} = \frac{9}{5}\ \mathrm{cm}$$

$$\mathrm{BH} = 4 \times \frac{4}{5} = \frac{16}{5}\ \mathrm{cm}$$

よって，点 C まわりの力のモーメントのつり合いの式は

$$\frac{9}{5} m_{\mathrm{A}} g = \frac{16}{5} m_{\mathrm{B}} g$$

したがって

$$m_{\mathrm{A}} : m_{\mathrm{B}} = \mathbf{16 : 9}$$

(2) イ，ロ，ハそれぞれの回路の抵抗を合成すると，合成抵抗の抵抗値は

$$イ：\frac{7}{2}R\ [\Omega] \qquad ロ：\frac{8}{3}R\ [\Omega] \qquad ハ：\frac{7}{3}R\ [\Omega]$$

となる．よって AB 間を流れる電流の大きさは

$$イ：I_1 = \frac{2E}{7R}\ [\mathrm{A}] \qquad ロ：I_2 = \frac{3E}{8R}\ [\mathrm{A}] \qquad ハ：I_3 = \frac{3E}{7R}\ [\mathrm{A}]$$

である．黒で塗りつぶされた抵抗に流れる電流が AB 間の電流の何倍かに注意して，求める電圧降下を計算すると，

$$イ：V_1 = \frac{I_1}{2} \cdot R = \frac{1}{2} \cdot \frac{2E}{7R} \cdot R = \frac{1}{7}E\ [\mathrm{V}]$$

$$ロ：V_2 = \frac{I_2}{3} \cdot R = \frac{1}{3} \cdot \frac{3E}{8R} \cdot R = \frac{1}{8}E\ [\mathrm{V}]$$

$$ハ：V_3 = \frac{I_3}{3} \cdot R = \frac{1}{3} \cdot \frac{3E}{7R} \cdot R = \frac{1}{7}E\ [\mathrm{V}]$$

よって電圧降下が最も小さいのは ① **ロ** で，その値は ② $\boldsymbol{\dfrac{1}{8}} \times E$ [V]

(3) 交流の角周波数を ω [rad/s] とすると，コンデンサーのリアクタンスが $\dfrac{1}{\omega C}$ [Ω]，コイルのリアクタンスが ωL [Ω] と表せることをうまく使えばよい．

ア． 次元が等しい量として $R = \dfrac{1}{\omega C}$ が成り立つとすると，$CR = \dfrac{1}{\omega}$ [s/rad] は時間の次元．（注：rad は無次元の単位）

イ． 次元が等しい量として $R = \omega L$ が成り立つとすると，$\dfrac{L}{R} = \dfrac{1}{\omega}$ [s/rad] は時間の次元．

ウ． $\sqrt{\dfrac{C}{R}} = \sqrt{\dfrac{CR}{R^2}}$ と表せる．ア. より CR が時間の次元で，R^2 は時間の逆数の次元ではないので不適．

エ． 振動回路の固有角周波数の公式 $\omega = \dfrac{1}{\sqrt{CL}}$ で，ω [rad/s] は時間の逆数の次元なので $\sqrt{CL}$ は時間の次元．（ア. とイ. の積から考えてもよい．）

オ． $\dfrac{\sqrt{L}}{C} = \dfrac{\sqrt{CL}}{C\sqrt{C}}$ であるが，エ. より，$\sqrt{CL}$ は時間の次元だが，コンデンサーの静電容量 C は無次元ではないので不適．

以上より，時間の次元となるものは，**ア. イ. エ.**

＜次頁につづく＞

講評

Ⅰ　[力学：ばねによる複数の物体の運動]（標準～やや難）

(1) は慣性力を必要とするものの，ほぼ典型的な単振動の問題で解きやすい．(2) は，系の重心からみると単振動をすることや，P と A が離れたあとは A が等速度運動をすることをふまえて解くが，状況を整理するのに苦労した受験者も少なからずいたと思われる．

Ⅱ　[熱：気体の状態変化]（標準～やや難）

断熱変化，断熱自由膨張をテーマとする，ポアソンの公式を何度も繰り返し適用する問題．問題文では直接与えられていないが，関係式「$TV^{\gamma-1}=$ 一定」もうまく利用して効率よく解答したい．⑥は温度まできちんと求めると時間がかなりかかる．

Ⅲ　[原子：中性子の発見]（標準）

中性子の発見を運動量保存則とエネルギー保存則から考える問題．①は「速さの最大値」という設定から，一直線上の衝突で光子が戻ってくる場合であると判断するところで迷いやすいが，後半に影響しない．後半はていねいに連立方程式を解いてゆけば完答可能．

Ⅳ　[小問集合：剛体のつり合い，抵抗の電圧降下，次元]（標準）

3 問とも過去に大阪医科薬科大学の小問集合で類題が出題されている．12 分程度で完答したい．

総評

2024 年度前期よりやや難化．大問 1，2 の後半の難易度が高い．特に大問 2 の温度の大小関係を求める⑥には時間がとられ，この問題に時間をとられると全ての問題を解ききるのは難しい．大問 4 の次元の問題は定番だが，全て正しく選ぶのは難しかったかもしれない．目標得点率は 70 %