

物 理

順天堂大学医学部 2024 年度型 そっくり類題セット

※ これは順天堂大学の入試問題ではありません。
2024 年度の出題形式（大問の数・設問の構成・解答形式）をもとに、
TMPS 医学館が題材や数値・設定を変えて作成したオリジナル問題です。

試験時間の目安：60 分（2 科目 120 分のうち 1 科目分）

大問	ページ	時間配分の目安
第1問（小問5問・マーク式）	1	13分
第2問（荷電粒子の加速・マーク式）	3	11分
第3問（気体の熱サイクル・マーク式）	4	10分
記述（台車と小球）	4	20分（見直し6分）

注意事項

- 第1問～第3問は、各問いの選択肢（①～⑧または①～⑨）から正しいものを一つ選ぶ形式（マークシートを想定）。記述は、結果だけでなく考え方や途中の式も書くこと。
- 図は載せていない。状況は文章で説明してあるので、自分で図を描いて考えること。
- 気体定数は R 、重力加速度の大きさは g とする。
- 解答・解説は、解説ページ（TMPS 医学館の過去問解説図書館）に掲載している。

I 第1問（小問5問）

次の問い（問1～問5）に答えよ。〔解答番号 1 ～
7〕 選択肢から正しいものを一つ選ぶ。

問1 断面積 S 、長さ L の一様な細い棒 AB を、水の入った水槽の中に立てかける。棒の端 B は水槽の水平な底に、端 A は鉛直でなめらかな水槽の壁に接していて、棒と底のなす角は 30° である。棒の点 P から下の部分は水中にあり、PB の長さは a である。底と棒の端 B の間には摩擦力がはたらく。水の密度を ρ_0 、棒の密度を $\rho (> \rho_0)$ 、重力加速度の大きさを g とし、大気圧は無視する。次の問い ((a), (b)) に答えよ。

(a) 水中にある PB 部分にはたらく浮力は、PB 部分を水で置きかえたときの重さに等しい。この浮力の、点 B のまわりの力のモーメントの大きさはいくらか。 [1]

- ① $\frac{1}{4}\rho_0 Sga^2$ ② $\frac{\sqrt{3}}{2}\rho_0 Sga^2$ ③ $\frac{\sqrt{3}}{4}\rho_0 Sga^2$ ④ $\frac{1}{2}\rho_0 Sga^2$
 ⑤ $\frac{\sqrt{3}}{8}\rho_0 Sga^2$ ⑥ $\frac{\sqrt{3}}{4}\rho_0 SgaL$ ⑦ $\frac{1}{8}\rho_0 Sga^2$ ⑧ $\frac{\sqrt{3}}{2}\rho_0 SgaL$

(b) 底が棒の端 B に及ぼす摩擦力の大きさはいくらか。 [2]

- ① $\frac{\sqrt{3}}{2}SLg\left(\rho - \frac{a}{L}\rho_0\right)$ ② $\frac{\sqrt{3}}{2}SLg\left(\rho - \frac{a^2}{L^2}\rho_0\right)$ ③ $\frac{\sqrt{3}}{6}SLg\left(\rho - \frac{a^2}{L^2}\rho_0\right)$ ④ $\frac{\sqrt{3}}{2}SLg\left(\rho - \frac{a^2}{2L^2}\rho_0\right)$
 ⑤ $\frac{\sqrt{3}}{4}SLg\left(\rho - \frac{a^2}{L^2}\rho_0\right)$ ⑥ $\frac{1}{2}SLg\left(\rho - \frac{a^2}{L^2}\rho_0\right)$ ⑦ $\frac{\sqrt{3}}{2}SLg\left(\rho - \frac{a}{2L}\rho_0\right)$ ⑧ $\sqrt{3}SLg\left(\rho - \frac{a^2}{L^2}\rho_0\right)$

問2 xy 平面上の原点 O を中心とする半径 a の円周上に、3 つの点電荷を固定する。電気量 q の電荷を点 $(a, 0)$ に、電気量 $-q$ の電荷を点 $(-a, 0)$ に、電気量 $2q$ の電荷を x 軸の正の向きから 120° の位置に置く ($q > 0$)。クーロンの法則の比例定数を k として、次の問い ((a), (b)) に答えよ。

(a) 原点 O における電場の強さは $\frac{kq}{a^2} \times$ [3] となる。 [3] を埋めるのに正しいものを選び。

- ① 1 ② $\sqrt{2}$ ③ $\sqrt{3}$ ④ 2
 ⑤ $\sqrt{5}$ ⑥ $\sqrt{6}$ ⑦ $\sqrt{7}$ ⑧ 3

(b) y 軸上の点 $(0, y)$ における電位を $V(y)$ とする。 $V(y)$ はどのように表されるか。ただし、無限遠点を電位の基準点とする。 [4]

- ① $\frac{kq}{\sqrt{a^2+y^2}} + \frac{2kq}{\sqrt{\frac{1}{4}a^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a-y\right)^2}}$ ② $\frac{2kq}{\sqrt{\frac{3}{4}a^2 + \left(\frac{1}{2}a-y\right)^2}}$ ③ $\frac{2kq}{\frac{1}{4}a^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a-y\right)^2}$ ④ $\frac{kq}{\sqrt{\frac{1}{4}a^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a-y\right)^2}}$
 ⑤ $\frac{4kq}{\sqrt{\frac{1}{4}a^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a-y\right)^2}}$ ⑥ $\frac{2kq}{\sqrt{\frac{1}{4}a^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a-y\right)^2}}$ ⑦ $\frac{2kq}{\sqrt{a^2+y^2}}$ ⑧ $\frac{3kq}{\sqrt{a^2+y^2}} + \frac{2kq}{\sqrt{\frac{1}{4}a^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a-y\right)^2}}$

問3 ある一定の振動数の音を出す音源がある。静止している音源に観測者が速さ u で近づくときの、観測者に聞こえる音の振動数を f_1 とする。次に、観測者を静止させ、音源が観測者から速さ u で遠ざかるときの、観測者に聞こえる音の振動数を f_2 とする。音速を V とするとき、 $\frac{u}{V}$ はどのように表されるか。ただし $u < V$ とする。 [5]

- ① $\frac{\sqrt{f_1-f_2}}{\sqrt{f_1}}$ ② $\frac{\sqrt{f_1-f_2}}{\sqrt{f_2}}$ ③ $\frac{\sqrt{f_1-f_2}}{\sqrt{f_1+f_2}}$
 ④ $\sqrt{\frac{f_1-f_2}{f_1}}$ ⑤ $\sqrt{\frac{f_1-f_2}{f_2}}$ ⑥ $\sqrt{\frac{f_1-f_2}{f_1+f_2}}$
 ⑦ $\frac{f_1-f_2}{f_1}$ ⑧ $\frac{f_1-f_2}{f_2}$ ⑨ $\frac{f_1-f_2}{f_1+f_2}$

問4 金属板の表面に、多数の平行な細い溝を等間隔 d で刻んだ反射型の回折格子がある。溝の部分は光を反射しない。この格子に、波長 λ の単色光を、格子の面となす角が ϕ となる向きから入射させたところ、格子の面となす角が θ の向きに強め合って明線ができた。入射光と回折光は、格子面の法線をはさんで反対側にある。 $0^\circ < \phi < 90^\circ$ 、 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ とし、 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ とする。成り立つ式として正しいものを選び。 [6]

- ① $\cos \theta + \cos \phi = \frac{md}{\lambda}$ ② $\cos \theta - \cos \phi = \frac{md}{\lambda}$ ③ $\sin \theta + \sin \phi = \frac{md}{\lambda}$ ④ $\sin \theta - \sin \phi = \frac{md}{\lambda}$
 ⑤ $\cos \theta + \cos \phi = \frac{m\lambda}{d}$ ⑥ $\cos \theta - \cos \phi = \frac{m\lambda}{d}$ ⑦ $\sin \theta + \sin \phi = \frac{m\lambda}{d}$ ⑧ $\sin \theta - \sin \phi = \frac{m\lambda}{d}$

問5 重水素の原子核 ${}^2_1\text{H}$ と三重水素の原子核 ${}^3_1\text{H}$ が衝突して、核反応 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ が起こった。この反応で失われる質量から発生するエネルギーは何 MeV か。 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ 、 ${}^4_2\text{He}$ の原子核の質量をそれぞれ 2.0136 u、3.0160 u、4.0026 u、中性子の質量を 1.0087 u として、最も近い値を選び。ただし、真空中の光の速さは 3.0×10^8 m/s、電気素量は 1.6×10^{-19} C、 $1 \text{ u} = 1.7 \times 10^{-27}$ kg、 $1 \text{ MeV} = 10^6$ eV である。 [7] MeV

- ① 1.8 ② 3.5 ③ 8.8 ④ 18
⑤ 35 ⑥ 88 ⑦ 1.8×10^2 ⑧ 3.5×10^2

I 第2問（磁場中の荷電粒子）

真空中で、鉛直上向きで磁束密度 B_0 の一様な磁場がある。この磁場の中で、質量 m 、電気量 $q (> 0)$ の荷電粒子が、磁場に垂直な水平面内の半径 R の円軌道上を、等速円運動している。次の問い（問1～問3）に答えよ。〔解答番号 1 ～ 5〕

問1 この粒子の運動エネルギーはどのように表されるか。 1

- ① $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{2m}$ ② $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{2\pi m}$ ③ $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{2m}$ ④ $\frac{q^2 B_0 R^2}{2m^2}$
⑤ $\frac{q^2 B_0^2 R}{2m}$ ⑥ $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{2\pi m}$ ⑦ $\frac{2q^2 B_0^2 R^2}{m}$ ⑧ $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{2m^2}$

問2 問1の状態から、磁場を変化させる。軌道と同じ水平面内に、軌道と同心の半径 $r (< R)$ の円をとり、その内側を領域1、外側を領域2とする。時刻 $t = 0$ に問1の状態であったとして、領域1、領域2の磁束密度を $B_1 = B_0 + b_1 t$ 、 $B_2 = B_0 + b_2 t$ とする（ b_1, b_2 は正の定数で、磁場の向きは常に鉛直上向き）。次の問い（(a), (b)）に答えよ。

(a) 磁場が変化している間、半径 R の円周上には、接線方向で大きさが一様な誘導電場が生じる。その強さ E はいくらか。 2

- ① $\frac{r^2 b_1 + (R^2 - r^2) b_2}{2R}$ ② $\frac{r^2 b_1 + R^2 b_2}{2R}$ ③ $\frac{r^2 b_1 + (R - r)^2 b_2}{2R}$ ④ $\frac{\pi \{r^2 b_1 + (R^2 - r^2) b_2\}}{2R}$
⑤ $\frac{r^2 b_1 + (R^2 - r^2) b_2}{2R}$ ⑥ $\frac{r^2 b_1 + (R^2 - r^2) b_2}{2R^2}$ ⑦ $\frac{r^2 b_1 + (R^2 - r^2) b_2}{2\pi R}$ ⑧ $\frac{r^2 b_1 + (R^2 - r^2) b_2}{4R}$

(b) 粒子がこの電場から受ける力 qE で加速されるとき、時間 T の間に速さは何だけ増えるか。 E は一定とし、 q, E, m, T で答えよ。 3

- ① $\frac{qET}{2m}$ ② $\frac{qET}{m}$ ③ $\frac{qET^2}{2m}$ ④ $\frac{qET^2}{m}$
⑤ $\frac{q^2 ET}{m}$ ⑥ $\frac{qET}{2\pi m}$ ⑦ $\frac{2qET}{m}$ ⑧ $\frac{qE^2 T}{m}$

問3 磁場の変化に合わせて b_1, b_2 をうまく調整すると、軌道の半径を R に保ったまま粒子を加速できる。このとき、時刻 $t = 0$ から $t = T$ までの間に、問2(b)の加速で粒子の速さが増えるものとする。次の問い（(a), (b)）に答えよ。

(a) 軌道の半径が R のまま、軌道上の磁束密度が $B_0 \rightarrow B_0 + b_2 T$ と変化した。この間の速さの増加を q, R, m, b_2, T で表せ。 4

- ① $\frac{qRb_2 T}{2m}$ ② $\frac{qRb_2 T}{m}$ ③ $\frac{2qRb_2 T}{m}$ ④ $\frac{qR^2 b_2 T}{m}$
⑤ $\frac{qb_2 T}{m}$ ⑥ $\frac{qRb_2 T}{2\pi m}$ ⑦ $\frac{qRb_2 T^2}{m}$ ⑧ $\frac{qRb_2 T}{\pi m}$

(b) $r = \frac{R}{2}$ のとき、 $\frac{b_1}{b_2}$ はいくらか。 5

- ① 2 ② 3 ③ 4 ④ 5
⑤ 6 ⑥ 8 ⑦ 9 ⑧ 10

I 第3問（熱サイクル）

なめらかに動くピストンを備えた容器に 1 mol の理想気体を入れ、状態 A から出発して $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ と 1 サイクル変化させる。状態 A は体積 aV_0 、圧力 ap_0 ($a > 1$) である。 $A \rightarrow B$ は温度を一定に保ちながら膨張させて、体積 $a^2 V_0$ 、圧力 p_0 の状態 B にする。 $B \rightarrow C$ は圧力 p_0 一定で圧縮して、体積 V_0 の状態 C にする。 $C \rightarrow A$ は、圧力と体積の関係を表すグラフ上の直線（その延長が原点を通る）に

そって変化させ、はじめの状態 A にもどす。この理想気体の定積モル比熱を C_V 、気体定数を R とする。次の問い（問1～問6）に答えよ。〔解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{6}$ 〕

問1 $A \rightarrow B$ の過程で気体が吸収した熱量は、 $p_0 V_0$ の何倍か。 $\boxed{1}$ 倍

- ① $a \ln a$ ② $a^2 \ln a$ ③ $(a^2 - 1) \ln a$ ④ $\frac{a^2 \ln a}{2}$
 ⑤ $2a^2 \ln a$ ⑥ $2a \ln a$ ⑦ $(a^2 - a) \ln a$ ⑧ $\ln a$

問2 $B \rightarrow C$ の過程で気体が吸収した熱量は、 $p_0 V_0$ の何倍か。 $\boxed{2}$ 倍

- ① $1 - a^2$ ② $(1 - a^2) \frac{C_V}{R}$ ③ $(1 - a^2) \left(1 + \frac{C_V}{R}\right)$ ④ $(a^2 - 1) \left(1 + \frac{C_V}{R}\right)$
 ⑤ $\frac{1 - a^2}{2} \left(1 + \frac{C_V}{R}\right)$ ⑥ $(1 - a) \left(1 + \frac{C_V}{R}\right)$ ⑦ $(a^2 - 1) \frac{C_V}{R}$ ⑧ $(1 - a^2) \left(\frac{C_V}{R} - 1\right)$

問3 $C \rightarrow A$ の過程で気体が外部にした仕事は、 $p_0 V_0$ の何倍か。 $\boxed{3}$ 倍

- ① $a^2 - 1$ ② $\frac{a^2 - 1}{2}$ ③ $\frac{a - 1}{2}$ ④ $\frac{a^2 - 1}{4}$
 ⑤ $\frac{a(a - 1)}{2}$ ⑥ $(a - 1)^2$ ⑦ $\frac{a^2 - 1}{2a}$ ⑧ $\frac{a^3 - 1}{3}$

問4 $C \rightarrow A$ の過程で気体が吸収した熱量は、 $p_0 V_0$ の何倍か。 $\boxed{4}$ 倍

- ① $(a^2 - 1) \frac{C_V}{R}$ ② $(a^2 - 1) \left(\frac{C_V}{R} + \frac{1}{2}\right)$ ③ $(a^2 - 1) \left(\frac{C_V}{R} + 1\right)$ ④ $(a^2 - 1) \left(\frac{C_V}{R} + \frac{3}{2}\right)$
 ⑤ $(a - 1) \left(\frac{C_V}{R} + \frac{1}{2}\right)$ ⑥ $(a^2 - 1) \left(\frac{2C_V}{R} + \frac{1}{2}\right)$ ⑦ $\frac{a^2 - 1}{2} \left(\frac{C_V}{R} + \frac{1}{2}\right)$ ⑧ $(a^2 - a) \left(\frac{C_V}{R} + \frac{1}{2}\right)$

問5 $C_V = \frac{3}{2}R$ 、 $a = 2$ とする。 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ を1サイクルとする熱機関の熱効率 e はいくら
 か。 $\ln 2 = 0.69$ とし、最も近い値を選べ。 $\boxed{5}$

- ① 0.07 ② 0.10 ③ 0.14 ④ 0.19
 ⑤ 0.25 ⑥ 0.33 ⑦ 0.50 ⑧ 0.75

問6 $a = 1 + \Delta a$ と表し、 Δa は1に比べてじゅうぶん小さいとする。1サイクルで気体
 が外部にする正味の仕事は $W = \boxed{6} \times (\Delta a)^2 \times p_0 V_0$ と近似できる（ $(\Delta a)^3$ 以上は無視。

$\ln(1 + x) \doteq x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3}$ を用いてよい）。 $\boxed{6}$ を埋めるのに正しいものを選べ。

- ① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ $\frac{3}{4}$ ④ 1
 ⑤ $\frac{3}{2}$ ⑥ 2 ⑦ 3 ⑧ 4

II 記述（台車の上の小球）

質量 M の台車の上面に、半径 R のなめらかな円弧状の溝がある。溝の断面は円の下半分、この円の中心 C は溝の最下点 O の真上 R の位置にある。台車は水平でなめらかな床の上を動くことができる。質量 m の小球 P を溝に入れ、 CP が鉛直線となす角が $\theta_0 (> 0)$ となる最下点 O の右側の位置で手で支えて静止させる。この状態から小球を静かに放すと、小球と台車は同時に動き出す。小球の位置は、 CP が鉛直下向きとなす角 θ で表す（ P が右側にあるとき $\theta > 0$ 、左側にあるとき $\theta < 0$ ）。小球が溝から受ける垂直抗力の大きさを N 、重力加速度の大きさを g 、小球と台車の加速度の水平成分（地面に対する値、右向きを正）をそれぞれ a 、 A とする。空気抵抗や摩擦は考えない。次の問い（問1～問5）に答えよ。解答では、結果だけでなく考え方や途中の式も記すこと。

問1 小球と台車の水平方向の運動方程式を書け。

問2 小球が最下点 O を通過する瞬間（ $\theta = 0$ ）の、小球と台車の水平方向の速度を、地面に対し

てそれぞれ v , V (右向きを正) とする。運動量保存則を用いて、 V を m , M , v で表せ。

問3 台車の速さの最大値 (小球が最下点 O を通過するときの $|V|$) を m , M , R , g , θ_0 で表せ。

問4 台車とともに運動する観測者 (非慣性系) から見ると、小球にはたらく力は慣性力をふくめて $\vec{F} = (F_x, F_y)$ と書ける。水平右向きを x 軸、鉛直上向きを y 軸 (ともに正の向きを力の正の向き) とするとき、 F_x , F_y を m , g , A , N , θ で表せ。

問5 $\theta_0 \ll 1$ の場合を考える。 $\sin \theta \doteq \theta$, $\cos \theta \doteq 1$ を用いてよく、小球は台車に対して水平方向に動くのみなせるので $F_y \doteq 0$ が成り立つ。

(a) 台車に対する小球の水平位置 (最下点 O を原点、右向きを正) を x ($|x| \ll R$) とするとき、 $F_x \doteq -kx$ と表せる。係数 k を m , M , g , R で表せ。

(b) $M = 3m$ とする。小球を放した時刻を $t = 0$ として、時刻 t における台車の地面に対する速度 (右向きを正) を R , g , t , θ_0 で表せ。

終