

# 理科問題紙

令和6年2月25日

自 14:00

至 16:00

## 答案作成上の注意

1. 理科の問題紙は1から30までの30ページである。
2. 解答用紙は、生物⑦、⑧、⑨、化学⑩、⑪、⑫、⑬、物理⑭、⑮、⑯の10枚である。
3. 生物、化学、物理のうち2科目を選択すること。
4. 解答はすべて解答用紙の指定された箇所に書くこと。
5. 試験開始後30分以内に選択する科目を決定すること。
6. 折りこまれている白紙(2枚)は草案紙として使用すること。
7. 問題紙と草案紙は持ち帰ること。





## 物 理

1 厚さを無視できる質量が  $M$ 、短辺の長さが  $a$ 、長辺の長さが  $b (> 2a)$  の一様な曲がらない長方形の平らな板 ABCD を考え、辺 AB, BC, CD, DA の中点をそれぞれ W, X, Y, Z とする。ZX に一致して  $x$  軸, YW に一致して  $y$  軸をとり、その交点を原点 O とする。また、O から距離  $r (< \frac{a}{2})$  にある  $x$  軸上の点  $(r, 0)$  を P とする。以下の問に答えなさい。式で解答するときには、指定のある場合を除き、問題文中で与えられた文字のみを用いなさい。板には鉛直下向きに重力が働き、重力加速度の大きさを  $g$  とする。円周率を  $\pi$  とする。

問 1 板面 ABCD が水平になるように、点 P を通り  $y$  軸に平行な線でこの板を下から支え、点 X に質点をつけて板を水平に保ちたい。この質点の質量を求めなさい。

次に、点 X の質点を取り除き、点 Z から距離  $r$  にある  $x$  軸上の点 Q を中心とする半径  $r$  の円形部分をこの板から切りぬいた残りの部分(図 1 の斜線部分)を S とする。この板 S の質量分布は  $x$  軸について対称なので、S の重心 G は  $x$  軸上にある。その  $x$  座標を  $x_G$  とする。

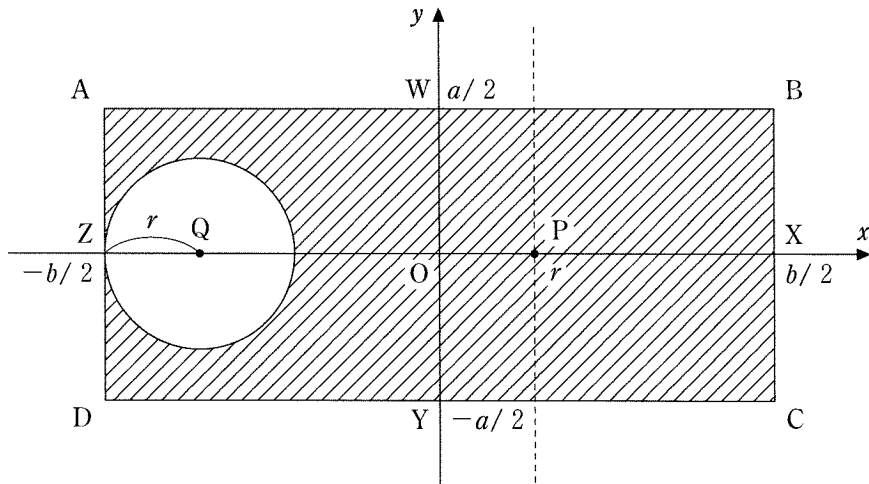


図1 円形部分が切りぬかれた長方形の板 S

問 2 切りぬいた円形部分の質量を求めなさい。

問 3  $x_G$  を求めなさい。

問 4 点 P を通る  $y$  軸に平行な線で板 S を下から支え、点 X に質点をつけて S を水平に保ちたい。この質点の質量を求め、 $M$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $r$  を用いて表しなさい。

問 5 点 X の質点を取り除き、板 S を水平にして、BG を通る線の下から S を支えたとき、S はどのようなようになるか、理由も含めて 20 字以内で答えなさい。

問 6 板 S の板面が鉛直面と平行になるように、点 B に糸をつけてつるすと、しばらくして S が静止した。このとき、辺 BA が鉛直線となす角度  $\theta$  (鋭角で考える) の正接  $\tan \theta$  を求め、 $a$ 、 $b$ 、 $x_G$  を用いて表しなさい。

2 図2のように磁束密度の大きさが  $B$  で鉛直下向きの一様な磁場中に、絶縁体でできた水平な床面があり、この床面上に、長さが等しい一对の導体のレール  $XOY$  と  $X'O'Y'$  を折り曲げて、その両端  $X, Y, X', Y'$  を固定する。三角形  $XOY$  と三角形  $X'O'Y'$  は、合同な三角形であり、その間隔は  $L$  で、ともに床面に対し垂直である。長方形  $OXX'O'$  と長方形  $OYY'O'$  が床面となす角の大きさは、それぞれ  $\alpha, \beta$  である。ただし  $0 < \beta \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$  である。

長さ  $L$ 、質量  $m$ 、電気抵抗  $R$  の金属棒  $PP'$  と、長さ  $L$ 、質量  $m'$ 、電気抵抗  $R'$  の金属棒  $QQ'$  を用意し、金属棒  $QQ'$  を  $YY'$  に置き、金属棒  $PP'$  を  $OO'$  から  $XX'$  側に初速0ですべり落とした。金属棒はともにレールと垂直を保ちながらレール上をすべって動き、レールの長さは十分に長いから金属棒  $PP'$  は  $XX'$  まで移動することはなく、金属棒  $QQ'$  は  $OO'$  まで移動することはないものとする。以下の問に答えなさい。

空気抵抗、レールと金属棒の間の摩擦、レールの電気抵抗はすべて無視し、重力加速度の大きさを  $g$  とする。また回路  $PP'O'Q'QOP$  に生じる誘導電流が作る磁場の影響を無視する。

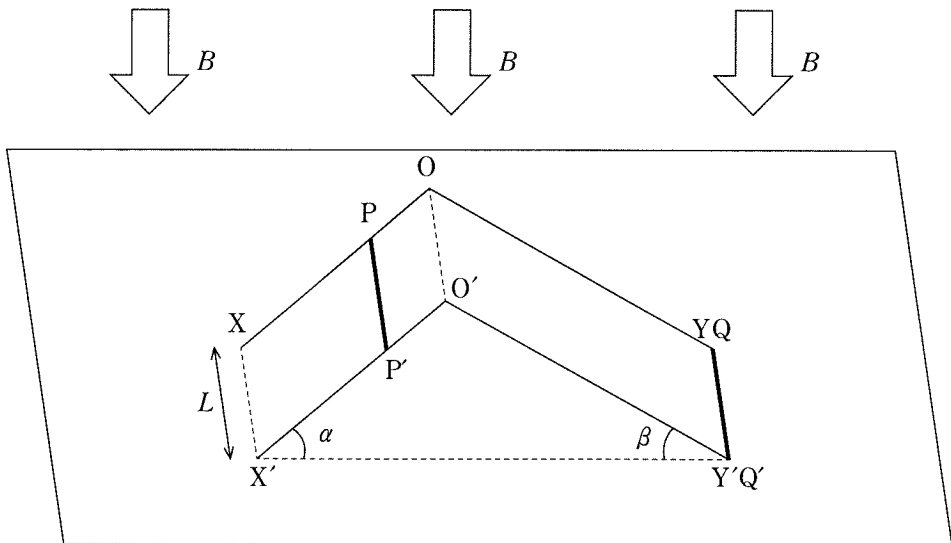


図2 一様な磁場中の導体レール  $XOY$  と  $X'O'Y'$  と  
その上をすべる金属棒  $PP'$  と  $QQ'$

- 問 1 金属棒  $QQ'$  が静止しており，金属棒  $PP'$  が速さ  $v$  でレールをすべり落ちているとき，金属棒  $PP'$  に流れる電流はいくらか。 $v, B, L, a, R, R'$  を用いて文字式で表しなさい。
- 問 2 金属棒  $PP'$  がすべり落ち，一定速度に達しても，金属棒  $QQ'$  は静止していた。このときの金属棒  $PP'$  の速さはいくらか。 $m, g, B, L, a, R, R'$  を用いて文字式で表しなさい。
- 問 3 金属棒  $PP'$  がすべり落ち一定速度に達する前に，金属棒  $QQ'$  がレールを上にも動きだすための条件を  $m, m', a, \beta$  を用いて表しなさい。
- 問 4 金属棒  $PP'$  がすべり落ち，金属棒  $QQ'$  がレールを上っている。金属棒  $PP'$  に流れる電流を  $I$  とすると，金属棒  $QQ'$  に働く垂直抗力の大きさはいくらか。 $m', g, B, L, I, \beta$  を用いて文字式で表しなさい。
- 問 5 金属棒  $PP'$  がすべり落ちていくと金属棒  $QQ'$  も動き出した。金属棒  $PP'$  が速さ  $v$  ですべり落ち，金属棒  $QQ'$  が速さ  $u$  でレールを上っているとき，回路  $PP'O'Q'QOP$  で消費される電力はいくらか。 $v, u, B, L, a, \beta, R, R'$  を用いて文字式で表しなさい。
- 問 6 金属棒  $PP'$  がすべり落ちていくと金属棒  $QQ'$  も動き出した。金属棒  $PP'$  が速さ  $v$  ですべり落ち，金属棒  $QQ'$  が速さ  $u$  でレールを上っているとき，金属棒  $PP'$  の加速度の大きさはいくらか。 $v, u, B, L, m, g, a, \beta, R, R'$  を用いて文字式で表しなさい。

3 理想気体の状態変化に関する以下の問に答えなさい。温度はすべて絶対温度であり、気体定数を  $R$  とする。

問 1  $n$  モルの理想気体の圧力が  $P$ 、体積が  $V$ 、温度が  $T$  のとき、これらの物理量の関係式を書きなさい。

問 2 気体が外部にした仕事を  $W$ 、気体が外部から吸収した熱量を  $Q$  とするとき、気体の内部エネルギーの変化を  $\Delta U$  とする。これらの物理量の関係式を書きなさい。

$n$  モルの理想気体を滑らかに動くピストンの付いたシリンダーに入れ、状態 A (圧力  $P_1$ 、体積  $V_1$ 、温度  $T_A$ ) から状態 B (圧力  $P_2$ 、体積  $V_1$ 、温度  $T_B$ )、状態 C (圧力  $P_2$ 、体積  $V_2$ 、温度  $T_C$ )、状態 D (圧力  $P_1$ 、体積  $V_3$ 、温度  $T_D$ ) を経て A へと変化させた (図 3)。AB 間の状態変化は体積が一定、BC 間と DA 間は圧力が一定の変化であり、CD 間は  $P$  が  $V$  の一次関数で表される変化である。また図 3 中の破線は温度  $T = T_D$  での等温変化を示している。

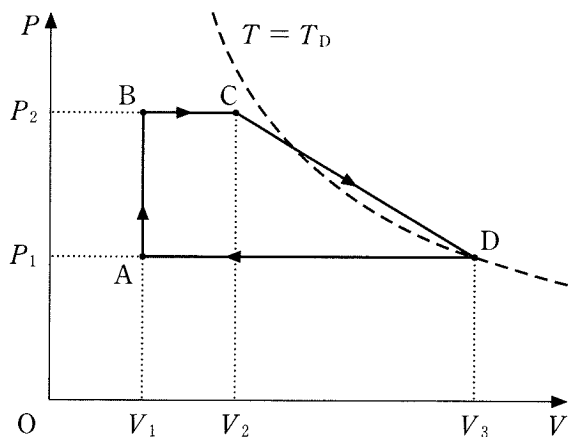


図 3 シリンダー内の理想気体の  $P-V$  図



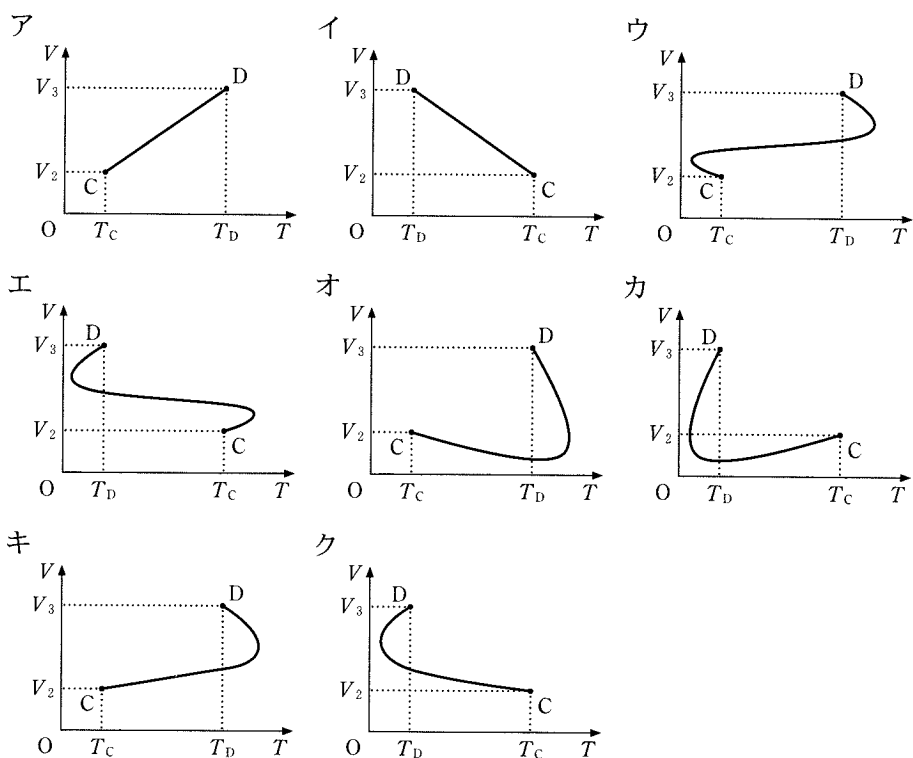
問 3 次の文は、AB間の状態変化での、内部エネルギーの変化  $\Delta U_{AB}$  の考察である。{ }内の適切なものを丸で囲み、②の空欄に入る適切な式を求めなさい。

『理想気体の内部エネルギーは温度によって決まり、状態変化後に気体の温度が下がれば、状態変化における気体の内部エネルギーの変化は①{負, 0, 正}となる。AB間の温度変化は、状態方程式から  $T_B - T_A = ( \text{②} )$  となり、気体の温度は③{上昇, 一定, 下降}している。これから、AB間での内部エネルギーの変化  $\Delta U_{AB}$  は④{ $\Delta U_{AB} < 0$ ,  $\Delta U_{AB} = 0$ ,  $\Delta U_{AB} > 0$ }となる。』

問 4 次の文は、BC間の状態変化で、気体が外部にした仕事  $W_{BC}$  と気体が外部から吸収した熱量  $Q_{BC}$  についての考察である。{ }内の適切なものを丸で囲み、⑤の空欄に入る適切な式を求めなさい。

『BCの温度変化は、状態方程式から  $T_C - T_B = ( \text{⑤} )$  となる。これから状態変化における気体の内部エネルギーの変化  $\Delta U_{BC}$  は⑥{ $\Delta U_{BC} < 0$ ,  $\Delta U_{BC} = 0$ ,  $\Delta U_{BC} > 0$ }となり、気体の内部エネルギーは⑦{増加, 一定, 減少}している。熱力学の第1法則から  $Q_{BC}$  は  $W_{BC}$  ⑧{より大きい, と等しい, より小さい}。』

問 5 CD間の気体の体積と温度の関係を表す最も適切な図を下記から選び、その記号(ア～ク)を書きなさい。



問 6  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$  の1サイクルの状態変化で、気体が実質的に外部にした差し引きの仕事(正味の仕事)  $W_{\text{cycle}}$  を求めなさい。

















