

# 物 理 (120分)

(令和5年度 前期日程)

## 注 意 事 項

問 題 冊 子	解 答 用 紙
<ol style="list-style-type: none"><li>1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけない。</li><li>2. 問題冊子は全部で12ページである。表紙を開くと白紙があり、その裏が1ページ目である。不鮮明な印刷、ページの脱落に気付いたときは、試験監督者に申し出ること。</li><li>3. 問題冊子は持ち帰ること。</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. すべての解答用紙に受験番号、氏名を記入すること。記入を忘れたとき、あるいは誤った番号を記入したときは失格となることがある。</li><li>2. 解答用紙の枚数は、6枚である。</li><li>3. 解答(答えおよび導出過程)は、枠内の指定された箇所に記入すること。</li></ol>

I 1 辺の長さが  $a$  [m] の立方体を水面に浮かべると、図 1 のように、底面が水面から  $\frac{1}{3}a$  [m] の位置で静止した。水の密度を  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。立方体は回転することなく鉛直方向にのみ動くものとする。水の抵抗、水面の変化、および空気の影響は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。導出過程も記すこと。 (配点：50 点)

(1) 立方体の質量を求めよ。

(2) 図 1 の静止状態から、立方体を距離  $d$  [m] だけ押し下げ、手をはなすと、立方体は水中から飛び出すことなく上下に単振動を始めた。この単振動の周期と立方体の最大の速さを求めよ。

次に、立方体の上面が水面に一致するまで沈めて、手をはなすと、図 2 のように立方体は水中から飛び出し、底面が水面から  $h$  [m] の高さまで到達した。

(3) 立方体の底面が水面から離れるときの速さを求めよ。

(4)  $h$  を求めよ。

(5) 手をはなしてから、立方体の底面が高さ  $h$  に到達するまでの時間を求めよ。ただし、 $h$  は使用しないこと。

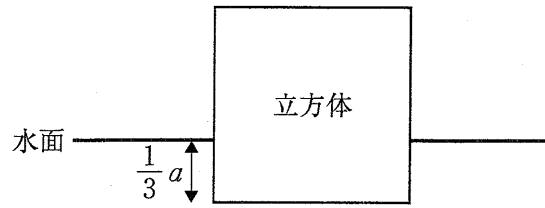


图 1

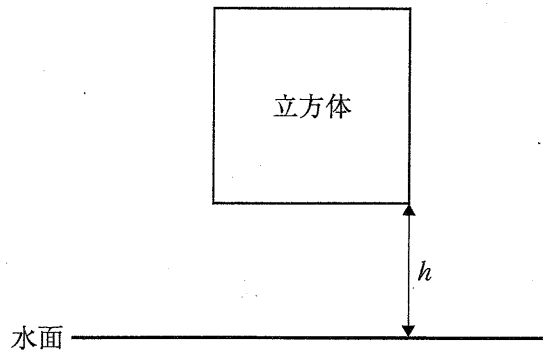
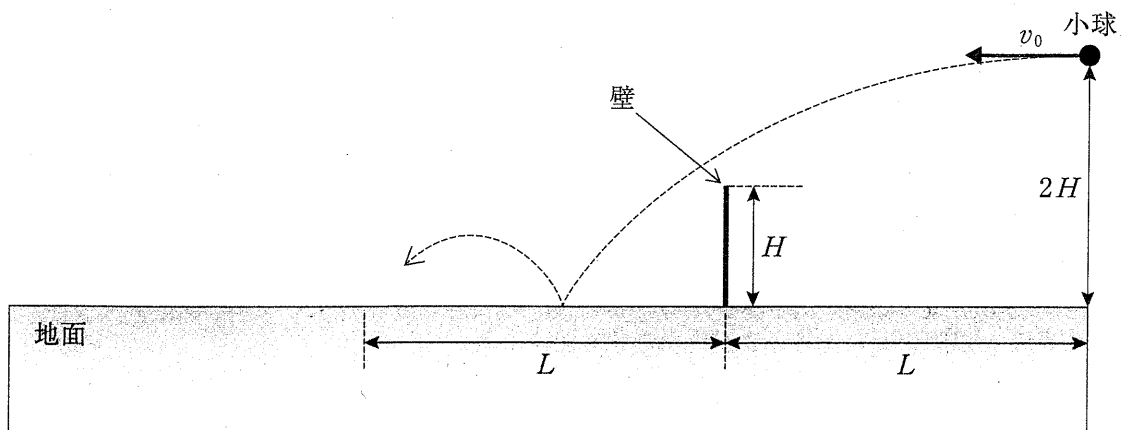


图 2

II 図のように、水平でなめらかな地面に高さ  $H$  [m] の厚さの無視できる壁がある。この壁から水平方向に  $L$  [m] 離れた地点の高さ  $2H$  [m] の位置から、小球を速さ  $v_0$  [m/s] で水平に打ち出す。小球は地面に衝突することなく壁を越え、地面に衝突する。重力加速度の大きさは  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、地面と小球の間の反発係数は  $\frac{1}{5}$  とする。また、小球は紙面に垂直な方向には運動せず、空気抵抗は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。導出過程も記すこと。

(配点：40 点)

- (1) 小球が地面に衝突することなく壁を越えるための  $v_0$  の条件を求めよ。
- (2) 小球が地面に 1 回衝突してはねかえった後、小球が到達する最高点の地面からの高さを求めよ。
- (3) 小球が地面に 2 回目に衝突する地点と壁との間の水平方向の距離が  $L$  よりも小さくなるための  $v_0$  の条件を求めよ。
- (4) 小球が地面に  $n$  回目 ( $n \geq 2$ ) に衝突する地点と壁との間の水平方向の距離が  $2L$  [m] になるための  $v_0$  を求めよ。



图

Ⅲ 図1, または, 図2のように, 定滑車と動滑車が同一の鉛直面内に配置されている。おもり1を, 一端が天井に固定されたひもで, 定滑車と動滑車を組み合わせてつるし, おもり2を動滑車の中心からつるす。動滑車はこの鉛直面内を鉛直方向にのみ移動する。おもり1と2の質量をそれぞれ  $m_1$  [kg],  $m_2$  [kg] とする。おもり1と2の加速度を, 鉛直下向きを正として, それぞれ  $a_1$  [m/s<sup>2</sup>],  $a_2$  [m/s<sup>2</sup>] とする。滑車はなめらかに回転するものとし, 滑車の質量とひもの質量, 空気抵抗, および, ひもの伸び縮みは無視できるものとする。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。以下の問いに答えよ。導出過程も記すこと。 (配点: 40点)

まず, 図1のような定滑車と動滑車が1つずつの場合を考える。おもり1を, 定滑車にかけたひもに取り付け, おもり2を, 動滑車の中心からつるす。

- (1) おもり1が鉛直上向きに  $x$  [m] 移動するとき, おもり2が移動する向きと距離を答えよ。
- (2) ひもがおもり1を引く張力の大きさを  $T$  [N] とするとき, おもり1と2の運動方程式をそれぞれ書け。
- (3)  $a_1$  と  $T$  を,  $m_1, m_2, g$  を用いて表せ。

次に, 図2のような1つの定滑車と3つの動滑車(A, B, C)の場合を考える。おもり1を, 定滑車にかけたひもに取り付け, おもり2を, 動滑車Cの中心からつるす。

- (4) このときの  $a_1$  を,  $m_1, m_2, g$  を用いて表せ。

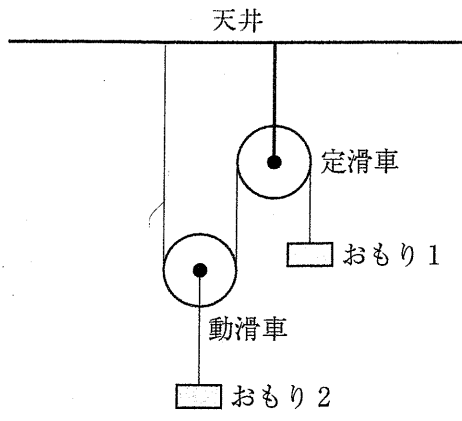


図 1

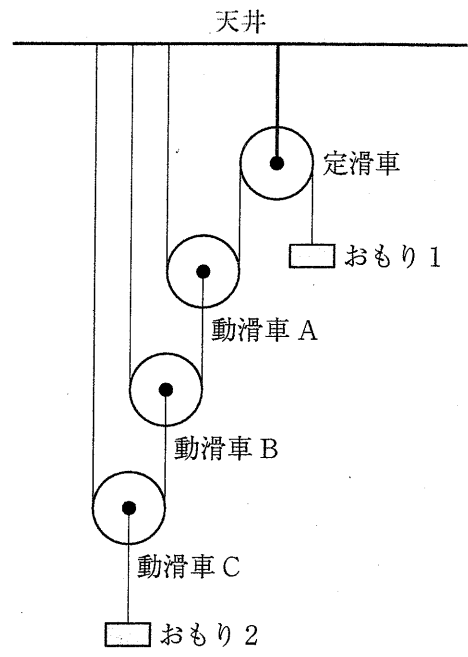
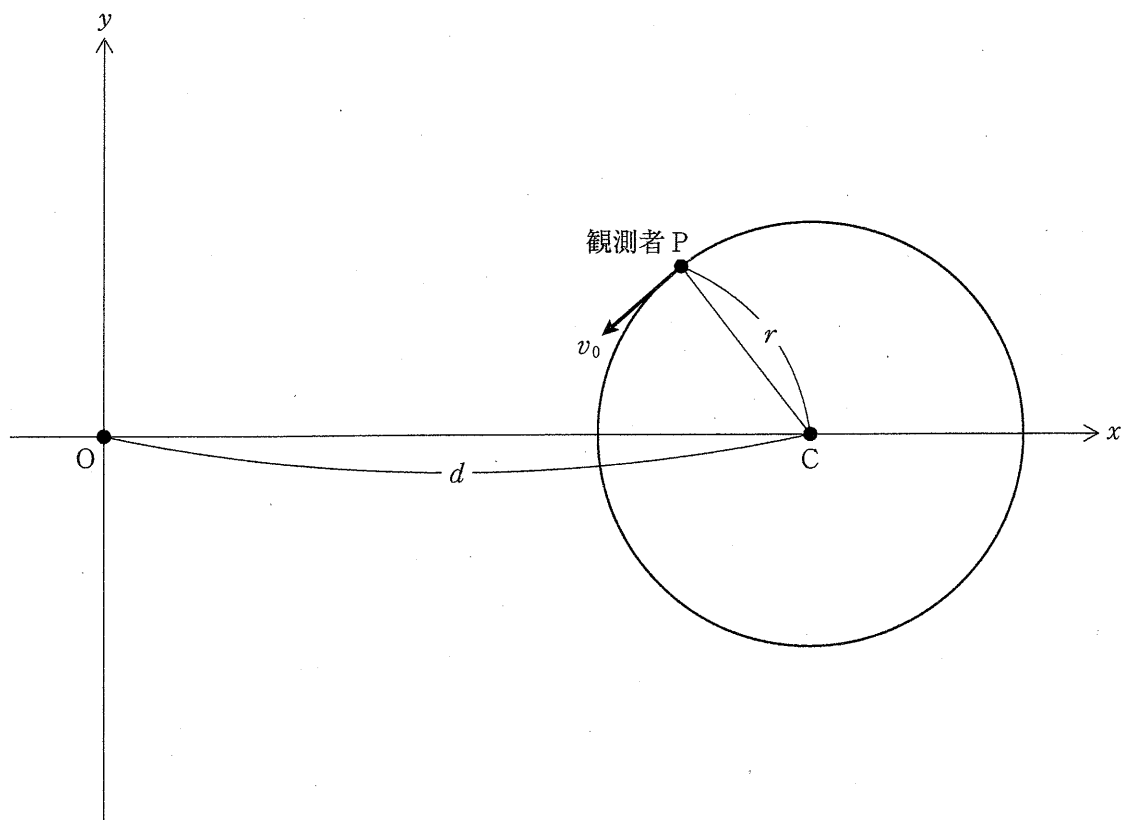


図 2

IV 図のように、原点  $O$  から距離  $d$  [m] 離れた点  $C$  を中心とする半径  $r$  [m] の円周上を、観測者  $P$  が速さ  $v_0$  [m/s] で反時計回りの等速円運動をしている。原点  $O$  には振動数  $f_0$  [Hz] の音源がある。音速は  $V$  [m/s] であり、風はなく、 $d > r$ ,  $V > v_0$  とする。以下の問いに答えよ。導出過程も記すこと。 (配点：40 点)

- (1)  $\angle POC = \theta$  [rad] として、観測者  $P$  の速度の  $PO$  方向の成分の大きさを  $v_0$ ,  $d$ ,  $r$ ,  $\theta$  を用いて表せ。
- (2) 観測者  $P$  が点  $O$  に近づくととき、および、点  $O$  から遠ざかるときに観測者  $P$  が観測する音の振動数を  $f_0$ ,  $v_0$ ,  $V$ ,  $d$ ,  $r$ ,  $\theta$  を用いてそれぞれ表せ。
- (3) 観測者  $P$  により観測される音の振動数が最大となるときの条件を  $d$ ,  $r$ ,  $\theta$  を用いて表せ。
- (4) 観測者  $P$  により観測された音の振動数の最小値は 490 Hz, 最大値は 510 Hz であった。また、音の最大振動数は 18 s ごとに観測された。音速  $V$  は 350 m/s, 円周率  $\pi$  は 3.14 として、 $v_0$  および  $r$  を有効数字 2 桁で求めよ。



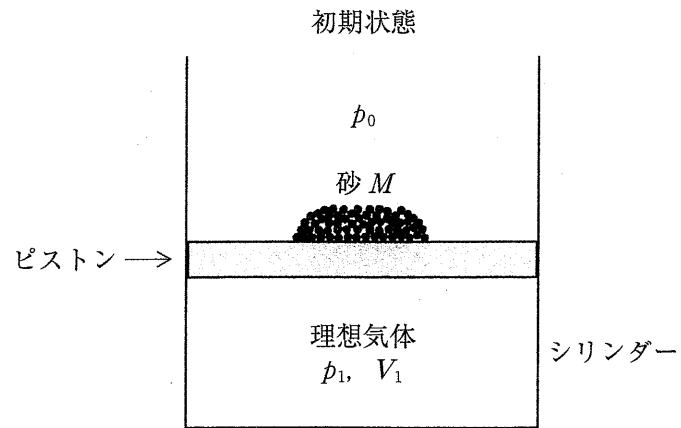


図

V 図のように、なめらかに上下に動くピストンがついた円筒形のシリンダー内に、1 mol の単原子分子の理想気体が封入されている。ピストンの上に質量  $M$  [kg] の砂が置かれており、そのときの気体の体積は  $V_1$  [m<sup>3</sup>] である。この状態を初期状態とする。シリンダーとピストンには断熱材が用いられており、これらを通した熱の出入りはないものとし、ピストンの質量は無視できるものとする。なお、気体の加熱と冷却は任意に操作できる。気体定数を  $R$  [J/(mol · K)]、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、大気圧を  $p_0$  [Pa]、シリンダーの断面積を  $S$  [m<sup>2</sup>] とする。また、単原子分子の比熱比を  $\gamma$  として用いてよい。以下の問いに答えよ。導出過程も記すこと。

(配点：40 点)

- (1) 初期状態におけるシリンダー内の気体の圧力  $p_1$  [Pa] を、 $p_0$ ,  $V_1$ ,  $M$ ,  $S$ ,  $R$ ,  $g$ ,  $\gamma$  のうち、必要なものを用いて表せ。
- (2) 次に、シリンダー内の気体をゆっくり加熱した結果、気体の体積は  $V_2$  [m<sup>3</sup>] まで膨張した。気体が受けとった熱  $Q$  [J] を、 $p_0$ ,  $p_1$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $M$ ,  $S$ ,  $R$ ,  $g$ ,  $\gamma$  のうち、必要なものを用いて表せ。
- (3) さらに、気体を加熱または冷却することなく、砂を質量が  $\frac{M}{2}$  [kg] となるまで少しずつ減らしたところ、気体の体積は  $V_3$  [m<sup>3</sup>] まで膨張した。この過程における気体の内部エネルギーの変化量  $\Delta U$  [J] を、 $p_0$ ,  $p_1$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $M$ ,  $S$ ,  $R$ ,  $g$ ,  $\gamma$  のうち、必要なものを用いて表せ。
- (4) 最後に、体積が  $V_4 (> V_1)$  [m<sup>3</sup>] になるまで気体をゆっくり冷却した後、ピストン上に砂を少しずつ加えて気体を  $V_1$  [m<sup>3</sup>] まで圧縮した。加えた砂の質量  $m$  [kg] を、 $p_0$ ,  $p_1$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $M$ ,  $S$ ,  $R$ ,  $g$ ,  $\gamma$  のうち、必要なものを用いて表せ。

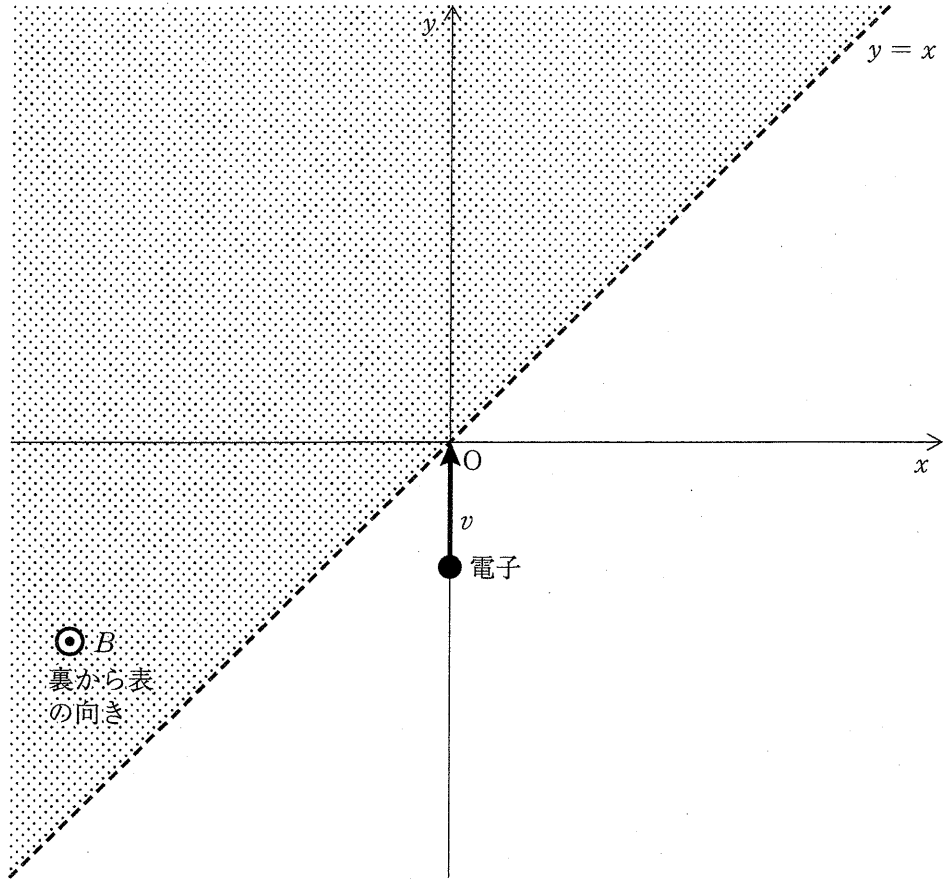


図

VI 真空中において、図のように紙面と垂直に裏から表の向きに磁束密度  $B$  [Wb/m<sup>2</sup>] の一様な磁場が  $y \geq x$  の領域に与えられている。電気量  $q$  [C] を持つ質量  $m$  [kg] の電子が原点  $O$  から  $y$  軸の正の方向へ速さ  $v$  [m/s] で磁場の中に入射し、再び磁場の外へ飛び出す場合を考える。重力の影響は無視できるものとする。円周率を  $\pi$  として、以下の問いに答えよ。導出過程も記すこと。

(配点：40点)

- (1) 磁場の中を運動する電子について、電子が磁場から受ける力の大きさ  $f$  [N] と、その力の名称を答えよ。
- (2) 電子が磁場の中と外でどのように運動するのかがわかるように、電子の描く軌跡を図示せよ。
- (3) 電子が再び磁場の外へ飛び出す点と原点  $O$  との間の距離  $L$  [m] を求めよ。
- (4) 電子が磁場の中に入射してから磁場の外へ飛び出すまでに要する時間  $t$  [s] を求めよ。



図