

物 理

「解答上の注意」

問題に単位の指定がない場合、用いられる記号は S I (国際単位系) 単位に従っているものとする。各問いに対する解答では { } 内に記号が示されている場合は、その記号のうち必要なものを用いて記せ。示されていない場合は、各問いの指示に従って解答せよ。

第 1 問

図 1 に示すように、曲面 PQ と水平面 QR, および半径 r の半円筒 RS からなる質量 M の台が水平な床の上に置かれている。台は床の上で固定具によって固定され、動かない。台上の水平面 QR の高さを基準にとり、そこから高さ $2r + h$ の位置にある点 P に質量 m の大きさが無視できる小球を置いて静かに手を離れたところ、小球は台の曲面 PQ をすべって水平面 QR を通過した後、半円筒の内面から離れることなく点 S に達した。重力加速度の大きさを g とし、小球と台の間の摩擦および小球の空気抵抗は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。

問 1 小球が水平面 QR を通過しているときの小球の速さ v_Q を求めよ。

{ g, r, h, m }

問 2 小球が点 S に達したときの小球の速さ v_S を求めよ。 { g, r, h, m }

問 3 小球が点 S で半円筒の内面から受ける垂直抗力の大きさ N を求めよ。

{ g, r, h, m }

問 4 小球が点 S に達するためには、点 S と点 P の高低差 h がある値 h_0 以上である必要がある。 h_0 を求めよ。 { g, r, h, m }

次に床の上の固定具を外し、台が床の上を自由に動けるようにした。台を静止させ、小球を点 P に置き静かに手を離したところ、小球と台は同時に動きはじめた。台は床面を離れることなく運動し、台と床の間の摩擦および台の空気抵抗は無視できる。小球が台上の水平面 QR に達したときの床に対する台の速さを V_Q' 、床に対する小球の速さを v_Q' とする。

問5 V_Q' および v_Q' を求めよ。導出過程も記述すること。

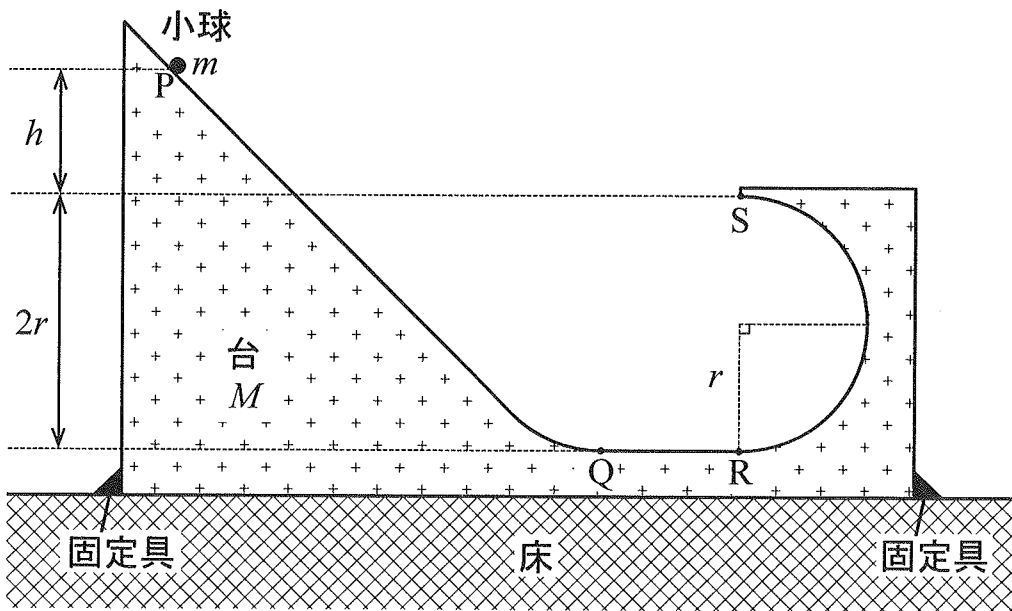


図1

第2問

図2に示すように、紙面内に xy 平面をとり、紙面に対して垂直手前向きに z 軸をとる空間がある。 $0 \leq x \leq x_1$ の領域のみ、 y 軸の正の向きに強さ E の一様な電場を、 z 軸の正の向きに磁束密度 B の一様な磁場をそれぞれ加えることができる。真空中において、質量 m と電気量 $q (> 0)$ を持つ荷電粒子を、原点 O から x 軸の正の向きに沿って速度 v_0 で発射する。ただし、荷電粒子の大きさや重力による影響は無視する。以下の問いに答えよ。

- 問1 $E = E_1 (E_1 > 0)$, $B = 0$ のとき、荷電粒子の運動を描いた図として最も適切なものを図3の(ア)~(ク)の中から1つ選べ。
- 問2 $E = E_1 (E_1 > 0)$, $B = 0$ のとき、荷電粒子が $x = x_1$ に達したときの荷電粒子の速度の x 成分と y 成分をそれぞれ求めよ。 $\{v_0, q, m, x_1, E_1\}$
- 問3 $E = 0$, $B = B_1 (B_1 > 0)$ のとき、荷電粒子はある軌道を描いて運動し、その x 座標の最大値が x_1 であった。このとき磁束密度 B_1 を求めよ。 $\{v_0, q, m, x_1\}$
- 問4 $E = E_1 (E_1 > 0)$, $B = B_2 (B_2 > 0)$ のとき、荷電粒子は x 軸に沿って運動した。このときの磁束密度 B_2 を求めよ。 $\{v_0, q, m, E_1\}$
- 問5 $E = E_1 (E_1 > 0)$, $B = B_3 (0 < B_3 < B_2)$ のとき、荷電粒子は xy 平面内のある軌道を描いて運動し、点 $(x_1, y_1, 0)$ に達した。ここで $y_1 > 0$ である。このとき、荷電粒子が電場および磁場からされた仕事をそれぞれ求めよ。

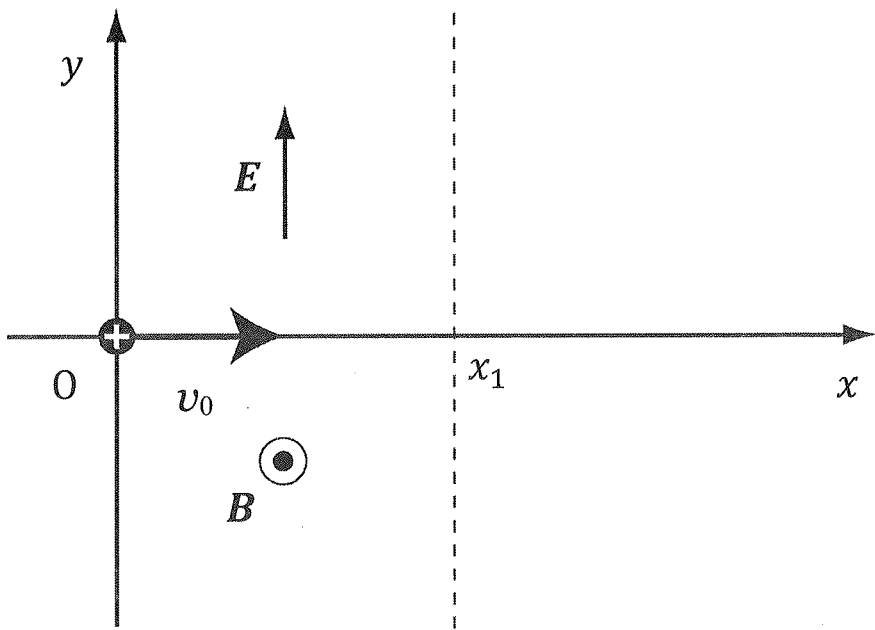


図 2

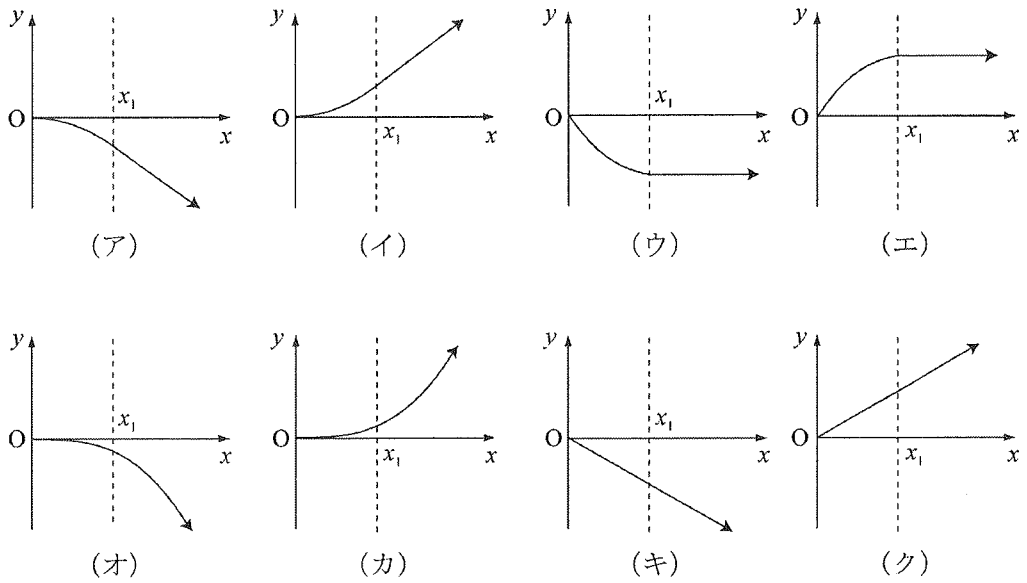


図 3

第3問

図4に示すように、容器1と容器2はコックのついた細管でつながっている。容器、コック、細管と周囲との熱のやりとりはない。コックは閉じられており、細管とコック内部の体積は無視できる。気体定数を R とし、以下の問いに答えよ。

問1 容積 V_1 の容器1内に、圧力 P_1 、物質質量 n_1 の単原子分子理想気体を入れた。このときの気体の温度 T_1 を求めよ。{ P_1, V_1, n_1, R }

問2 容積 V_2 の容器2内は真空にしている。コックを開くと、容器1内の気体が容器2内に広がり、しばらくすると全体の状態が一様になった。このときの気体の温度 T_2 と圧力 P_2 をそれぞれ求めよ。{ P_1, V_1, V_2, n_1, R }

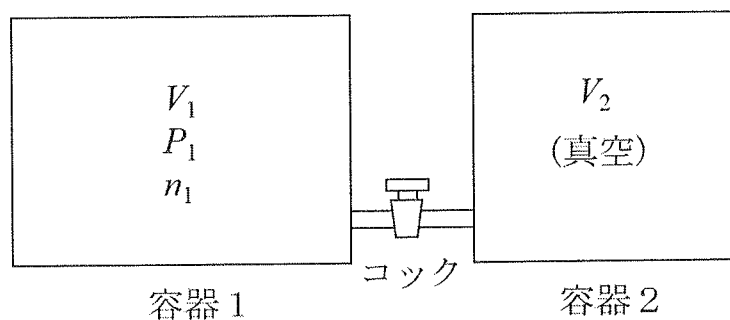


図4

次に、図5に示すように、容器2をなめらかに動くピストンがついた容器3に置き換えた。ピストンの質量は無視できる。容器3の体積が V_2 より大きくならないように、ピストンにはストッパーがついている。コックを閉じた状態で、容器1と容器3それぞれに単原子分子理想気体を入れた。このとき容積 V_1 の容器1内の気体の圧力は P_1 、物質質量は n_1 であり、容器3内の気体の圧力は P_2 、体積は V_2 、物質質量は n_2 であった。容器3と周囲との熱のやりとりはない。

問3 コックを開くと、容器1と容器3内の気体は混ざり、しばらくすると全体の状態が一様になった。この状態を状態Aとする。この過程で、ピストンは動かず、容器3内の気体の体積は V_2 のまま変化しなかった。状態Aの気体の温度 T_3 を求めよ。導出過程も記述せよ。

問4 状態Aにおいて、おもりを容器3のピストンの上に静かに置くと、ピストンはある位置まで下がり、全体の状態が一様になった。この状態を状態Bとする。状態Bでの容器1と容器3を合わせた全体の気体の体積は V_4 、圧力は P_4 であった。状態Aから状態Bに変化する時、ピストンは気体全体に仕事をする。その仕事を、圧力 P と体積 V の図に斜線部分の面積で表すとき、最も適切なものを図6の(a)~(f)の中から1つ選べ。

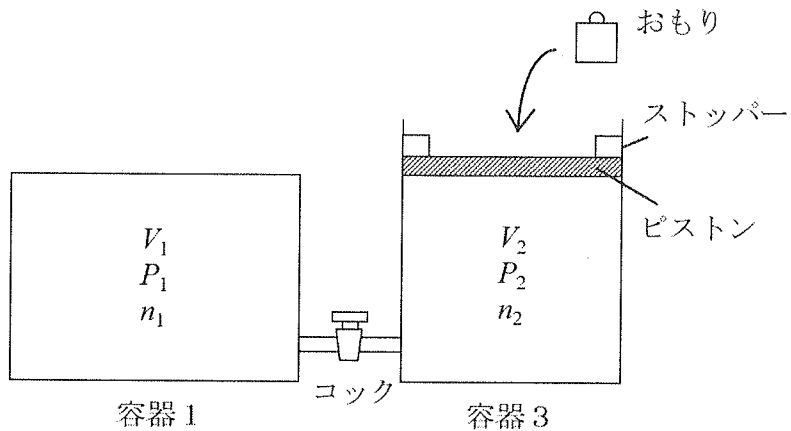


図5

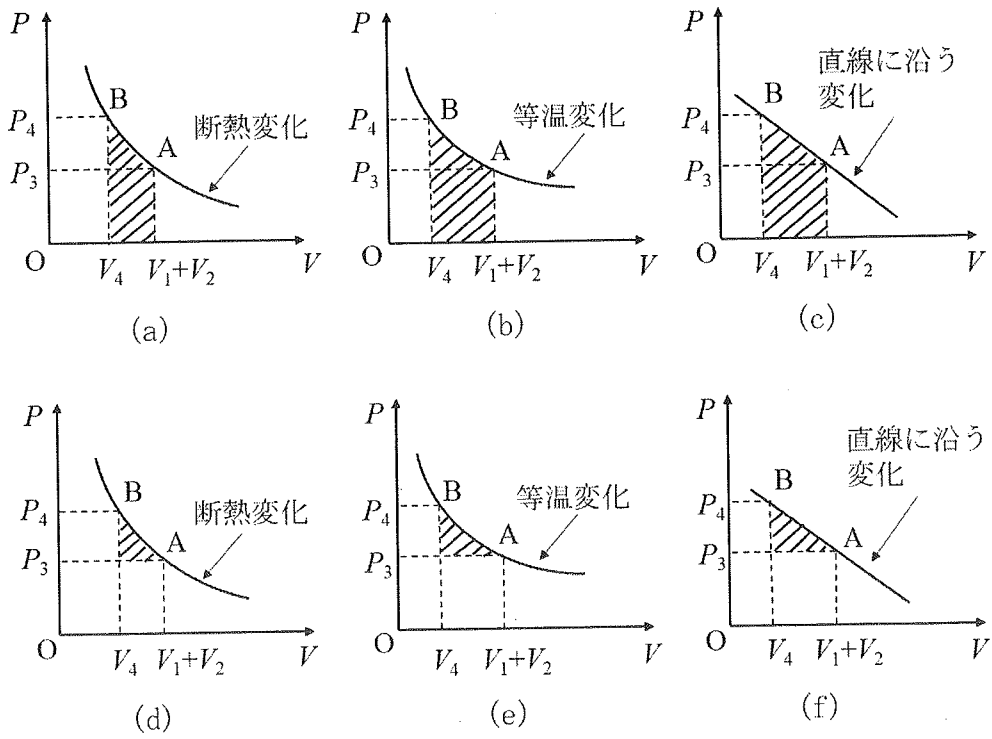


図6

第4問

図7に示すように、スピーカーが取り付けられた台車Aと台車Bが観測者をはさんで一直線上に並んでいる。それぞれのスピーカーは観測者へ向けて音を出す。台車Aは速さ v で観測者に近づき、台車Bは速さ v で観測者から遠ざかる。観測者は静止しており、無風状態である。音の速さを V_0 とする。台車Aおよび台車Bの速さは音の速さより十分遅いものとする。以下の問いに答えよ。

問1 台車Aのスピーカーのみが振動数 f_0 の音を出した。このとき観測者の聞く音の振動数 f_1 を求めよ。 $\{V_0, f_0, v\}$

問2 台車Bのスピーカーのみが振動数 f_0 の音を出した。このとき観測者の聞く音の振動数 f_2 を求めよ。 $\{V_0, f_0, v\}$

問3 台車Aと台車Bのスピーカーが同時に振動数 f_0 の音を出した。このとき観測者にはうなりが聞こえた。1秒間のうなりの回数を求めよ。 $\{V_0, f_0, v\}$

問4 問3の状態から、台車Aのスピーカーが出す音の振動数を f_0 からゆっくり下げたところ、振動数 f_3 ではじめてうなりが消えた。このときの振動数 f_3 を求めよ。 $\{V_0, f_0, v\}$

問5 問4のとき、 $V_0 = 340 \text{ m/s}$ 、 $v = 2 \text{ m/s}$ 、 $f_0 = 171 \text{ Hz}$ であった。振動数 f_3 の数値を整数で求めよ。

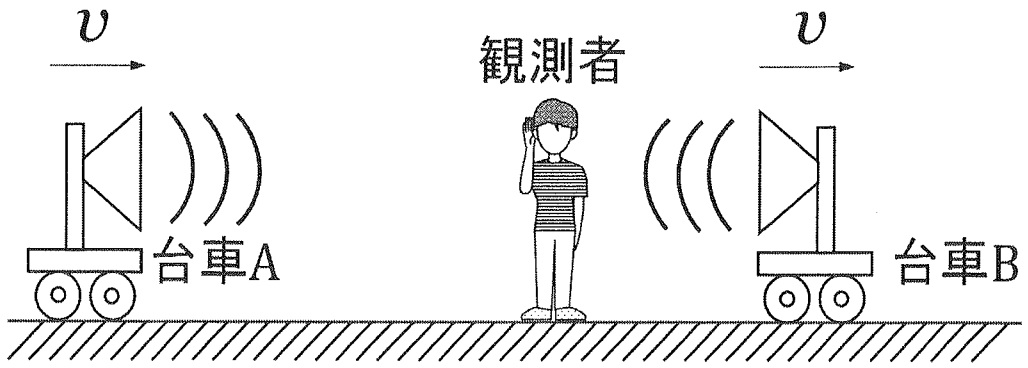


図 7