

I 図1(a)のように、水平な床面上の位置Oで、質量 $M$ の小物体が静止している。この状態から水平右向きに一定の大きさ $F$ の力で押し続けたところ、小物体は図1(b)のように運動をはじめ、小物体が位置Aに達したときの小物体の速さは $v$ であった。小物体と水平な床面との動摩擦係数は、位置Oと位置Bの間で0であり、位置Bより右側では $\mu$ である。また、重力加速度の大きさを $g$ とする。なお、小物体は、その底面を常に水平な床面と接しながら直線運動するものとする。

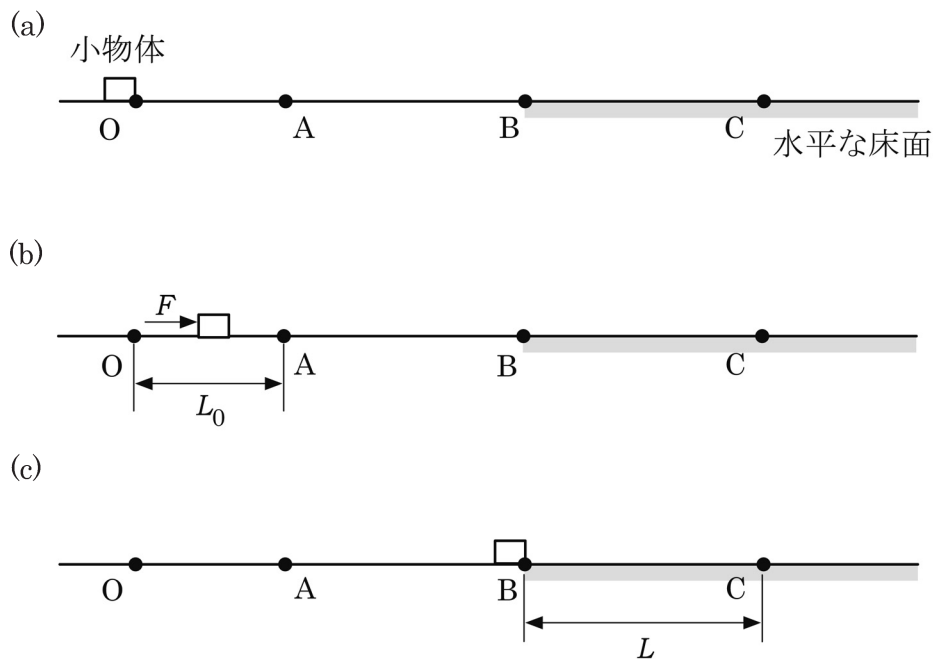


図1

問1 OA間における小物体の加速度の大きさを、 $F, M$ を用いて表せ。

問2 OA間の距離を $L_0$ とすると、小物体がAに達したときの速さ $v$ を、 $F, L_0, M$ を用いて表せ。

小物体が位置Aに到達した直後に押すのをやめたところ、小物体は図1(c)のように位置Bを通過し、位置Bからの距離が $L$ の位置Cで静止した。

問3 小物体がBを通過した直後の加速度の大きさを求めよ。

問4  $L$ を $v, g, \mu$ を用いて表せ。

物 理  $\frac{2}{8}$

図 2 (a)のように、質量  $M$  の小物体が、質量  $10M$  の直方体の台の上で運動している。台は水平な床面の上であり、台と床面の間には摩擦がない。小物体と台の上面の間の動摩擦係数は、位置  $O$  と位置  $D$  の間で  $0$  であり、位置  $D$  より右側では  $\mu$  である。最初、台は床面に対して静止しており、小物体は位置  $O$  では速さ  $v$  で右向きに運動している。小物体が位置  $D$  を通過すると台は右向きに運動をはじめた。小物体が位置  $D$  を通過してから時間  $t$  が経過すると、図 2 (b)のように台の最初の位置からの移動距離は  $L_1$  となり、小物体は位置  $D$  からの距離が  $L_2$  の位置  $E$  で台に対して静止した。重力加速度の大きさを  $g$  とする。また、小物体はその底面を台の上面と常に接しながら、台はその底面を床面と常に接しながら、いずれも直線運動するものとする。

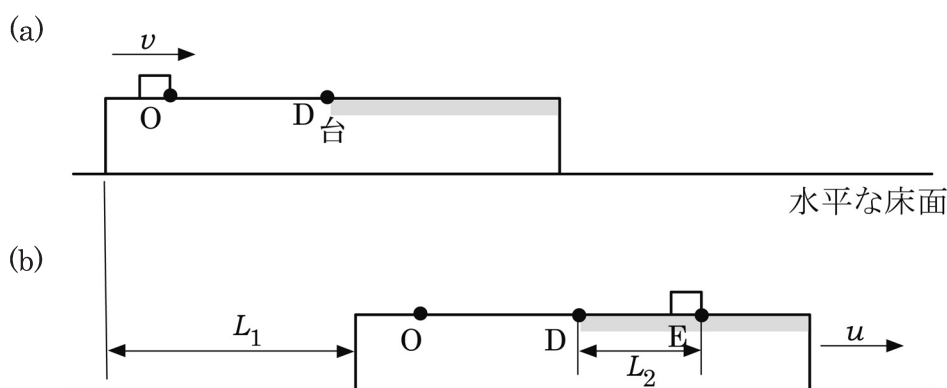


図 2

問 5 小物体が  $D$  を通過した直後の、床面に対する台の加速度の大きさを求めよ。解法欄には導出過程を記述せよ。

問 6 台に対して小物体が静止した後の、床面に対する台の速さ  $u$  を求めよ。解法欄には導出過程を記述せよ。

問 7  $t$  と  $L_1$  を  $v, g, \mu$  を用いてそれぞれ表せ。

問 8  $L_2$  を  $v, g, \mu$  を用いて表せ。

II  $xy$  平面が  $y = 0$  を境に、二つの領域  $y > 0$  と  $y \leq 0$  に分けられている。領域  $y \leq 0$  では磁束密度の大きさ  $B$  の一様な磁界（磁場）が  $z$  軸の正の向き（紙面の裏から表に向かう向き）にかけられており、領域  $y > 0$  では磁界は 0 である（図 3）。図 4 のように、抵抗 1、抵抗 2、抵抗 3 の 3 つの抵抗（それぞれの抵抗値は  $r, R, r$ ）とスイッチ  $S$  が、導線でつながれた一辺の長さ  $L$  の正方形の回路がある。

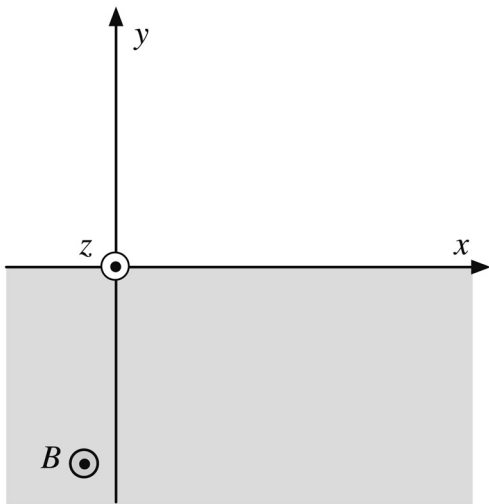


図 3

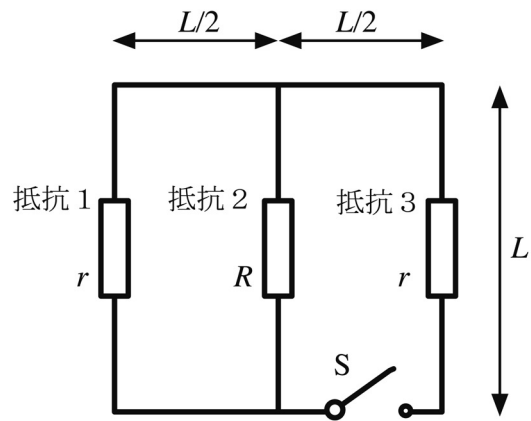


図 4

図 4 の回路のスイッチ  $S$  を閉じて図 3 の  $xy$  平面上に置き、回路の正方形の上下の二辺を  $x$  軸と平行に保ったまま、磁界のない  $y > 0$  の領域から、磁界のある  $y \leq 0$  の領域に、一定の速さ  $u$  で移動させた。回路の下端が境界面  $y = 0$  に接する時刻（図 5 (a)）から、上端が境界面に接する時刻（図 5 (b)）までの間、この回路に電流が流れた。

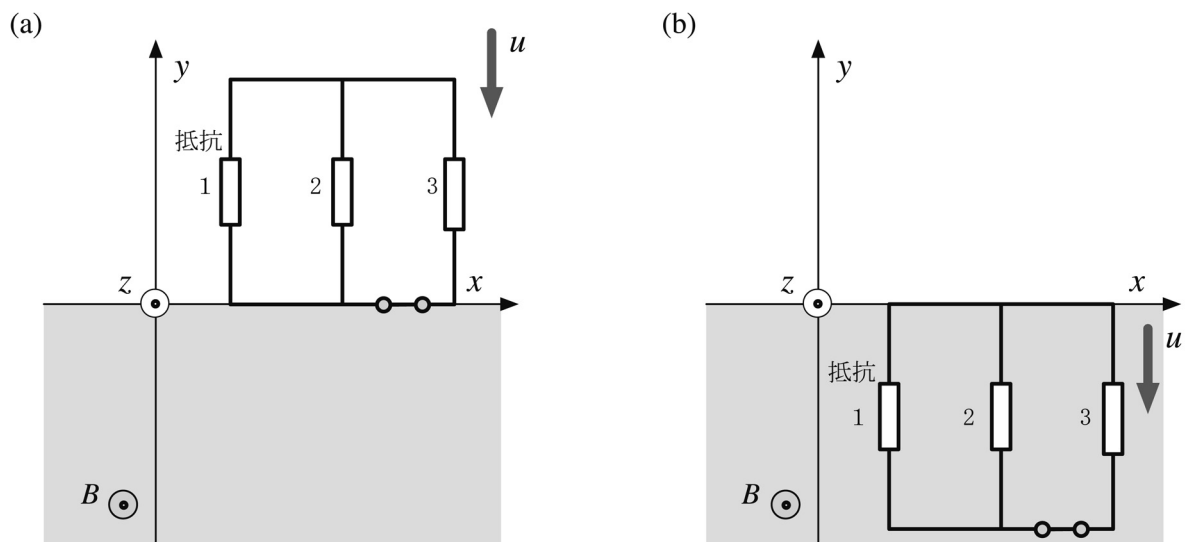


図 5

問1 この回路に電流が流れた原因を説明する法則として最も適当なものを以下の選択肢から一つ選んで、解答欄に数字を入れよ。

- ① クーロンの法則
- ② ファラデーの法則
- ③ エネルギー保存の法則
- ④ オームの法則
- ⑤ 作用反作用の法則

スイッチ  $S$  を開いたまま、回路を磁界のない領域から磁界のある領域に一定の速さ  $u$  で移動させた。回路の下端が境界面  $y = 0$  に接した時刻から、上端が境界面に接する時刻までの間、回路に一定の電流が流れ、回路から熱エネルギーが発生した。

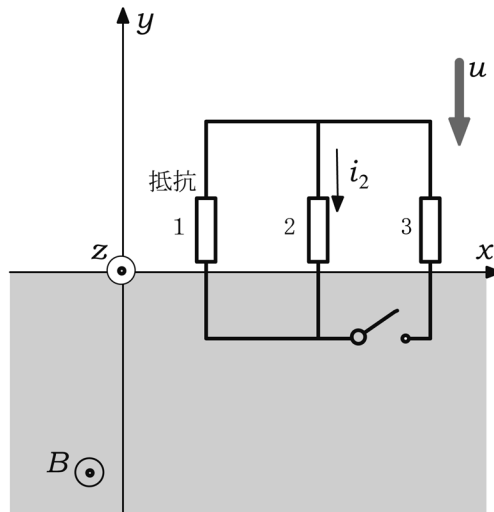


図6

問2 このとき、抵抗2を  $y$  軸の負の向きに流れる電流  $i_2$  を  $L, B, u, R, r$  を用いて表せ。

問3 このとき、回路全体から単位時間当たりが発生する熱エネルギー  $P$  を  $L, B, u, R, r$  を用いて表せ。

問4 スイッチ  $S$  を閉じて、回路を磁界のない領域から磁界のある領域に一定の速さ  $u$  で移動させた。回路の下端が境界面  $y=0$  に接した時刻から、上端が境界面に接する時刻までの間、回路に一定の電流が流れた。このとき抵抗2を  $y$  軸の負の向きに流れる電流  $i_2$ 、および抵抗3を  $y$  軸の負の向きに流れる電流  $i_3$  を、 $L, B, u, R, r$  のうちから必要なものを用いてそれぞれ表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。

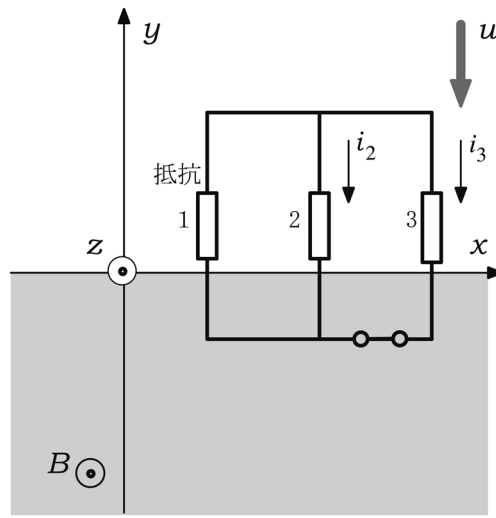


図7

問5 スイッチ  $S$  を閉じたまま、今度は回路を図8のような向きにして、磁界のない領域から磁界のある領域に一定の速さ  $u$  で移動させた。回路の下端が境界面  $y=0$  に接した時刻から抵抗2が境界面に接する時刻までの間を考える。この間に抵抗2を  $x$  軸の正の向きに流れる電流  $i_2$ 、および抵抗3を  $x$  軸の正の向きに流れる電流  $i_3$  を、 $L, B, u, R, r$  を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。

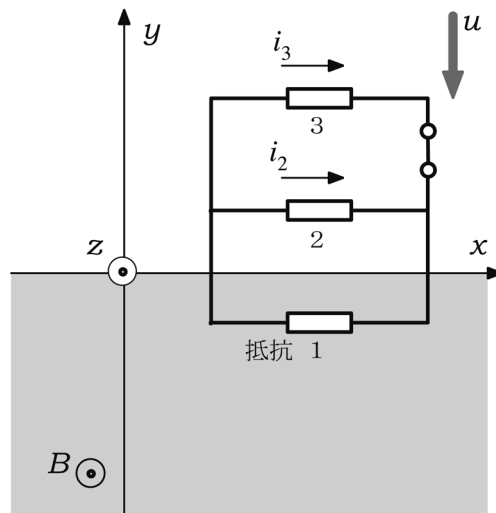


図8

Ⅲ 図9のように、直方体のシリンダーとピストンが水中で鉛直に配置された状態を考える。シリンダーの壁とピストンは断熱材できており、シリンダー内部の底には熱の出し入れができる熱交換器がある。ピストンの質量を  $M$ 、断面積を  $S$  とする。また、重力加速度の大きさを  $g$ 、大気圧を  $p_0$  とする。シリンダーの中には物質量  $n$  の単原子分子理想気体が入っており、気体の質量は無視できる。ピストンの上部が水面に位置するように、シリンダーを静止させた（状態1）。このとき、理想気体の絶対温度は  $T_1$ 、圧力は  $p_1$ 、体積は  $V_1$  であった。ただし、シリンダーやピストンが運動するとき、水の抵抗や空気の抵抗、運動による水面の高さの変化は無視できるものとする。

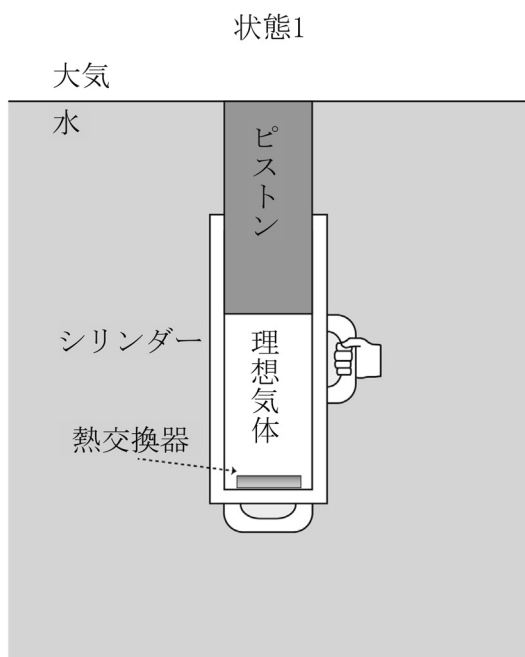


図 9

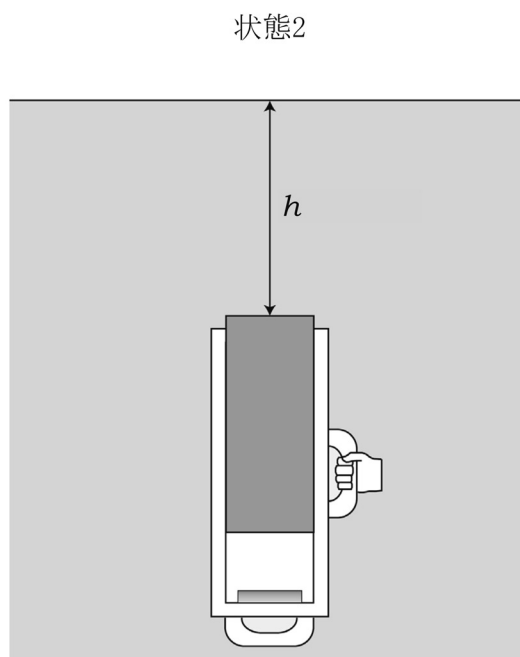


図 10

問 1 状態 1 における理想気体の圧力  $p_1$  を、 $g$ 、 $M$ 、 $p_0$ 、 $S$  を用いて表せ。

次に、シリンダーを鉛直に保ったまま、ゆっくりと水中に沈めてゆく。そして、図 10 のように、ピストンの上面が水面から  $h$  だけ沈んだところでシリンダーを静止させた（状態 2）。状態 1 から状態 2 へは気体は断熱的に変化し、熱交換器は作動させない。水の密度を  $\rho$  とする。

問 2 状態 2 における理想気体の圧力  $p_2$  を、 $g$ 、 $h$ 、 $p_1$ 、 $\rho$  を用いて表せ。

物 理 7/8

問3 状態2における理想気体の体積  $V_2$  を,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $V_1$ ,  $\gamma$  を用いて表せ。ただし, 断熱変化では, 気体の圧力  $p$ , 体積  $V$  について  $pV^\gamma = \text{一定}$  の関係が成り立つ。ここで  $\gamma$  は気体の比熱比である。

問4 状態1から状態2に変化するとき, ピストンが理想気体にする仕事  $W_2$  を,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。ただし, 気体定数を  $R$  とする。

以下の操作では熱交換器を作動させる。図10の状態2からシリンダーをゆっくりと回転させて, 図11のようにシリンダーを水平に静止させた(状態3)。このとき, 水面からシリンダーの中心線までの深さは  $h$ , 理想気体の圧力は  $p_3$ , 体積は状態2と等しい  $V_2$ , 絶対温度は  $T_3$  であった。

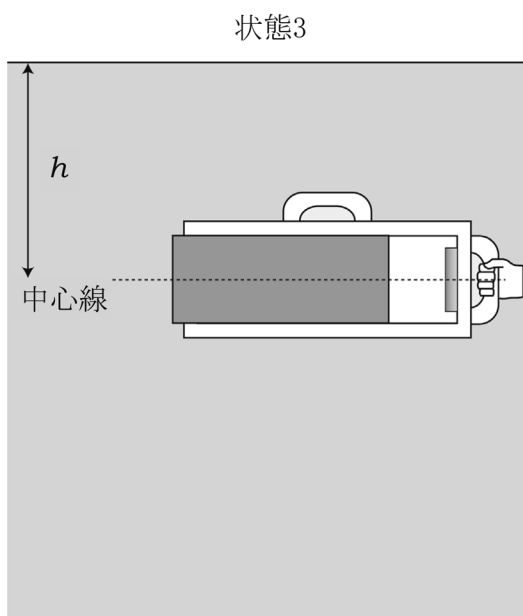


図 11

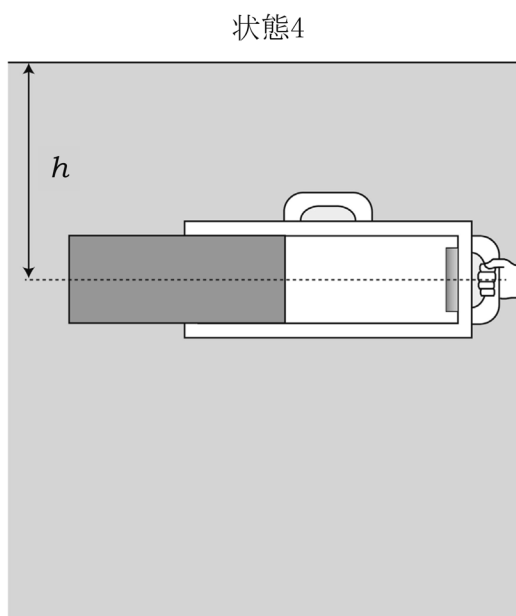


図 12

問5 状態3における理想気体の圧力  $p_3$  を,  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  を用いて表せ。ここで, ピストンにはたらく力の大きさは, 水中でピストンの中心が受ける圧力とピストンの面積との積で求められるものとする。

## 物 理 $\frac{8}{8}$

問 6 状態 2 から状態 3 に変化するとき、理想気体の体積を状態 2 における体積  $V_2$  に保つため、熱交換器で熱を出し入れする必要がある。気体に熱を加えるか、気体から熱を奪うか、どちらか、理由とともに述べよ。また、状態 2 の気体の絶対温度を  $T_2$  とするとき、気体の温度変化 ( $T_3 - T_2$ ) を  $p_0, p_1, p_2, T_2$  を用いて表せ。

次に、熱交換器を用いて状態 3 の理想気体に熱量  $Q_4$  を与えた。すると、図 12 のようにピストンは左にゆっくりと移動して、気体の絶対温度は  $T_4$  となり、体積は状態 1 と同じ  $V_1$  となった (状態 4)。

問 7 理想気体に与えた熱量  $Q_4$  を、 $p_3, V_1, V_2$  を用いて表せ。

最後に、図 13 のように、状態 4 からシリンダーを水面に向かって水平に保ちながら、ゆっくり移動させ、水面からシリンダーの中心線までの深さが  $\frac{1}{2}h$  になったところで静止させた (状態 5)。この間、理想気体の体積が変わらないように、熱交換器で気体から熱を奪った。

問 8 水面からの深さが  $h$  から  $\frac{1}{2}h$  に変化する間に、気体から奪う熱量  $Q_5$  ( $Q_5 > 0$ ) を、 $g, h, V_1, \rho$  を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。

状態5

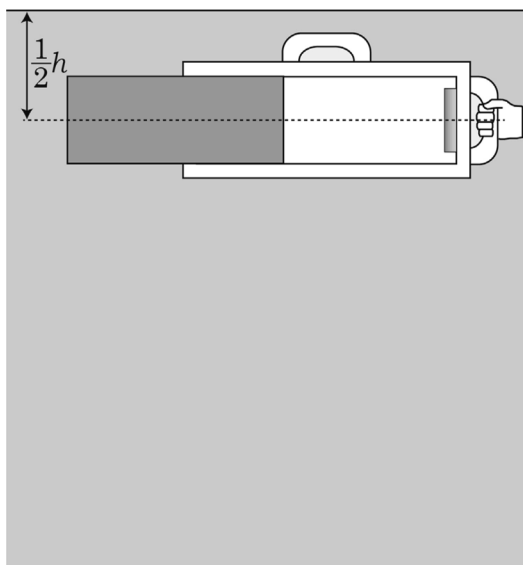


図 13