

# 物 理

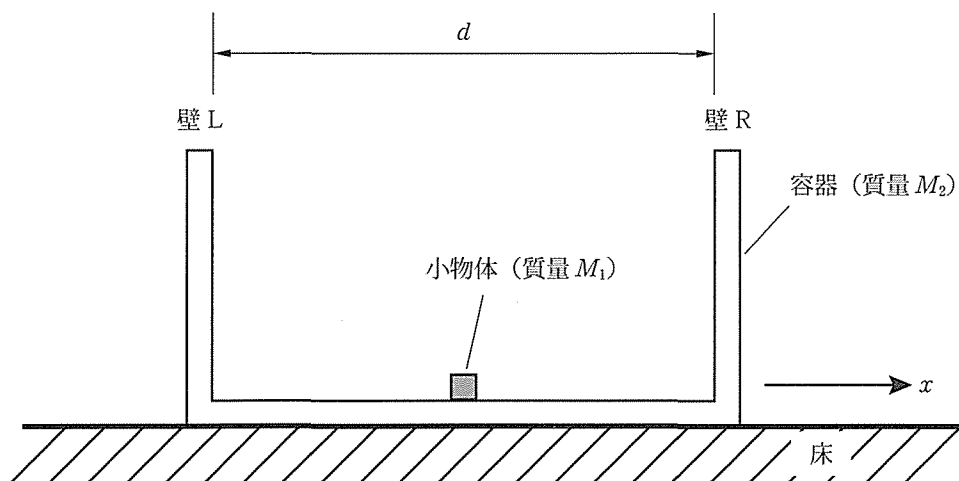
1. 以下の文章中の〔ア〕～〔コ〕に適切な式, または数字を記入しなさい。

水平な床の上に直方体の容器を置き, その底面の中心に小物体を置く。小物体の質量は  $M_1$ , 容器の質量は  $M_2$  である。図のように, 向かい合う容器の壁 L, 壁 R に垂直に  $x$  軸をとり, 壁 L と壁 R の間の距離を  $d$  とする。以下の 3 つの設問のいずれの場合も, 最初容器を静止させ, 小物体には  $x$  方向に初速度  $V_0 (> 0)$  を与える。小物体は常に容器の壁と弾性衝突するものとし, 小物体と容器は  $x$  軸方向にのみ運動する。弾性衝突での反発係数 (はね返り係数) は 1 であることを用いてよい。重力加速度を  $g$  とする。

1) 小物体と容器, 容器と床との間の摩擦がいずれも無視できる場合を考える。小物体は壁 R, L, R, L, … と弾性衝突を繰り返す。壁 R と 1 回目に衝突した直後, 小物体の床に対する速度は〔ア〕, 容器に対する相対速度は〔イ〕となる。次に壁 L と衝突した後, 小物体の容器に対する相対速度は (イ)  $\times$  〔ウ〕となる。その後, 小物体は時間間隔〔エ〕で壁 L と衝突を繰り返す。

2) 容器と床との間に摩擦はなく, 小物体と容器の間には摩擦がある場合を考える。動摩擦係数を  $\mu'$  とする。静止した容器の底面の中心から小物体が初速度  $V_0$  で運動を始めると, 容器は床に対して加速度〔オ〕で動き出した。このとき, 容器とともに動く人から見た小物体の加速度は〔カ〕である。その後, 小物体は何回か壁と弾性衝突したのちに容器に対して止まった。容器とともに動く人から見ると, 小物体が動き始めてから止まるまでに移動する総距離は〔キ〕となる。

3) 小物体と容器, 容器と床との間の両方に摩擦がある場合を考える。動摩擦係数はいずれも  $\mu'$  とする。容器の底面の中心から小物体が初速度  $V_0$  で運動を始めると, 小物体が壁 R と衝突するまで容器は静止していた。この間, 容器は床から  $x$  方向に力〔ク〕を受ける。小物体が壁 R と弾性衝突すると, 容器は動き始めた。この衝突の直後, 容器とともに動く人から見た小物体の加速度は〔ケ〕となる。小物体は壁 L に達する前に容器に対して止まったとすると, その位置は壁 R から距離〔コ〕である。ただし, 小物体が容器に対して止まったときに容器は床に対して動き続けていたものとする。



2. 以下の文章中の (ア) ~ (ケ) に適切な式を記入しなさい。

図1のように、2本の平行な導体のレールを同一水平面上に距離  $d$  隔てて固定する。その上に2本の導体棒を、導体棒1が導体棒2の右側になるように置く。導体棒1、導体棒2のそれぞれの質量は  $M_1, M_2$ 、電気抵抗は  $R_1, R_2$  である。導体棒はレールに直交したまま、レールに沿って摩擦なしで動くことができる。磁束密度の大きさが  $B$  の一様な磁場を、紙面に垂直に表から裏に向かって加える。レールは十分に長く、導体棒がレールの端に達することはない。導体棒やレールを流れる電流が作る磁場は無視できる。また、レールの電気抵抗、およびレールと導体棒の接触点での電気抵抗は無視する。

1) まず、導体棒2の位置を固定した場合を考える。導体棒1の  $x$  方向の速度が  $V_1$  のとき、導体棒1には  $y$  方向に電流 (ア) が流れ、 $x$  方向に力 (イ) がはたらく。導体棒1で発生する単位時間あたりのジュール熱は、導体棒2でのその (ウ) 倍である。

ある時刻で導体棒1に  $x$  方向の速度  $V_0 (> 0)$  を与えたところ、導体棒1に流れる電流は次第に減少し、十分な時間が経過すると0となった。それまでの間に導体棒1で発生したジュール熱は (エ) である。

2) 次に、2つの導体棒がどちらも動く場合を考える。導体棒1、導体棒2の  $x$  方向の速度がそれぞれ  $V_1, V_2$  のとき、導体棒1には  $y$  方向に電流 (オ) が流れる。2つの導体棒にはたらく力は大きさが等しく、互いに逆向きであるので、運動量の保存則  $M_1V_1 + M_2V_2 = \text{一定}$  が成り立つ。

ある時刻で導体棒1に  $x$  方向の速度  $V_0 (> 0)$  を、導体棒2に  $-V_0$  を与えたところ、導体棒1に流れる電流は次第に減少し、十分な時間が経過すると0となった。このとき導体棒1の  $x$  方向の速度は (カ) である。それまでの間に導体棒1で発生したジュール熱は (キ) である。

導体棒2を取り外し、図2のように、内部抵抗の無視できる起電力  $E$  の電池、抵抗値  $R_1, R_2$  の2つの抵抗、およびスイッチ  $S$  からなる回路をレールの左端に接続する。以下では、回路を流れる電流によって生じる磁場は無視する。

3) 最初スイッチを開き、導体棒1を静止させておく。ある時刻でスイッチを閉じると導体棒は動き始めた。導体棒1の  $x$  方向の速度が  $V_1$  のとき、導体棒1には  $y$  方向に電流 (ク) が流れる。その電流は次第に減少し、十分な時間が経過すると0となった。このときの導体棒1の  $x$  方向の速度は (ケ) である。

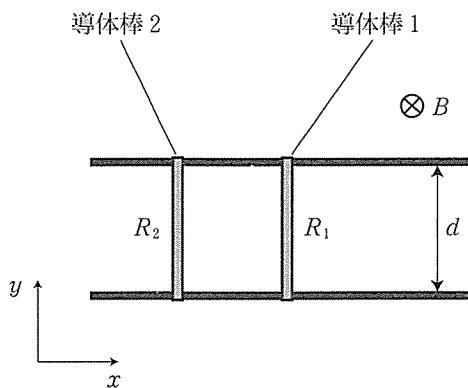


図1

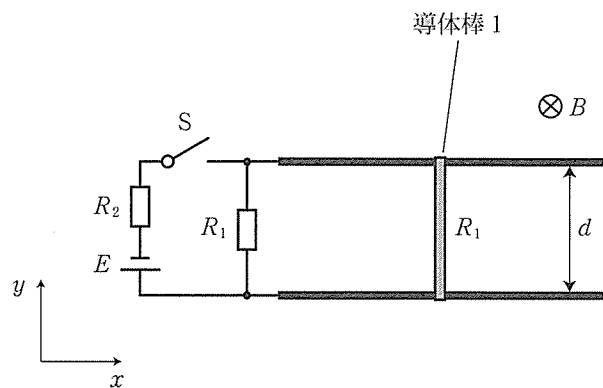


図2

3. 以下の文章中の (ア) ~ (ク) に適切な式を記入しなさい。 (ケ) には文章中の指示にしたがって適切なグラフを描きなさい。なお、(エ) 以外の解答に  $x$  を用いてはならない。

図のように、水平に固定された断面積  $S$  のシリンダーとなめらかに動くピストンで、1モルの単原子分子理想気体を閉じ込める。シリンダーとピストンは断熱材でできており、シリンダー内の気体への熱の出入りは加熱冷却器によって調整できる。シリンダー外部の気体の圧力は常に  $P_0$  に保たれている。ピストンは、シリンダーの外部にあるばね (ばね定数  $K$ ) と接触するときには、ばねの力を受けながら動く。シリンダー内部の左側面とピストンとの間の距離を  $x$  とするとき、ピストンの可動範囲は2つのストッパーにより  $L \leq x \leq 2L$  に制限されている。気体定数を  $R$ 、シリンダー内の気体の定積モル比熱を  $\frac{3}{2}R$  とする。ただし、加熱冷却器およびストッパーの熱容量と体積は無視できるものとする。

以下の手順で、熱をばねの位置エネルギーに変換して仕事をする熱機関を考える。

最初、ピストンは左側のストッパーの位置にあり ( $x = L$ )、シリンダー内の気体の圧力は  $P_0$  である (状態 A)。状態 A での気体の温度は (ア) である。ここでばねをピストンに接触させ、自然長から  $d$  だけばねの長さを縮める (状態 A')。過程  $A \rightarrow A'$  で気体の状態は変わらない。次にばねが取り付けられた右側の壁を固定し、ゆっくりと気体を加熱する。温度が (イ) になるとピストンが右に動き始める (状態 B)。過程  $A' \rightarrow B$  で気体に加えられる熱量は (ウ) である。

さらに気体を加熱し、ピストンが別のストッパーに達したとき ( $x = 2L$ )、加熱を止める (状態 C)。過程  $B \rightarrow C$  における気体の圧力は、 $x$  を変数として (エ) と表される。これより、過程  $B \rightarrow C$  で気体が外部にする仕事は (オ) と求められ、気体に加えられる熱量は (カ) となる。その後ピストンからばねを外し、ばねに蓄えられた位置エネルギーを利用して外部に仕事をさせ、ばねを自然長に戻す (状態 C')。

状態 C' からシリンダー内の気体を冷却すると、ある温度でピストンは左に動き始める (状態 D)。さらに気体を冷却し、ピストンが  $x = L$  の位置に達したときに冷却を止めて状態 A に戻す。過程  $D \rightarrow A$  で、気体が外部にする仕事は (キ) となる。

以上の1サイクルで気体が外部にする仕事の総和は (オ) と (キ) の和であり、この値は (過程  $C \rightarrow C'$  でばねが外部にする仕事) - (過程  $A \rightarrow A'$  でばねが外部からされる仕事) に等しい。この熱機関の熱効率は (ク) となるので、熱効率を上げるためには  $d$  を大きくすればよいことがわかる。また、 $d = L = \frac{P_0 S}{K}$  として1サイクルの気体の圧力-体積グラフを実線で描くと (ケ) となる。

