

物 理 $\frac{1}{7}$

I 図1のように、一辺の長さ l の正方形を断面を持つ質量 m の直方体が水平な床の上に置かれ、静止している。その上に辺の長さ l の正三角形 ABC を断面を持つ質量 M の三角柱が、辺 AC で壁と接し、辺 AB の中点 P の位置で直方体と接した状態で重さの無視できるひもでつるされ、静止している。三角柱と直方体は回転せず、それぞれ図1の y 軸方向、 x 軸方向のみに動き、また、三角柱と壁、直方体と床は離れない工夫がしてある。三角柱と壁および直方体との間に摩擦はないものとする。重力加速度の大きさを g とする。

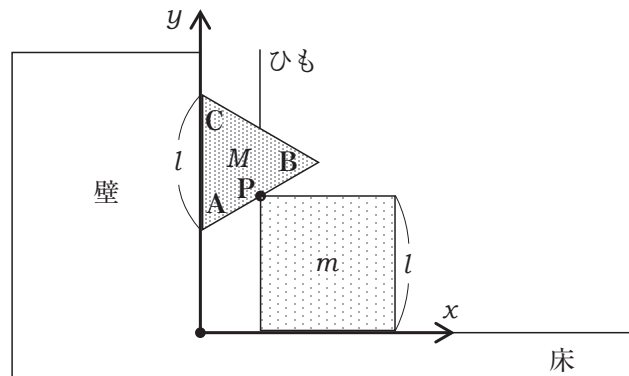


図1

まず、床と直方体の間に摩擦がない場合を考える。三角柱をつるしたひもを静かに切ったところ、直方体は床の上を x 軸方向に滑り始めた。

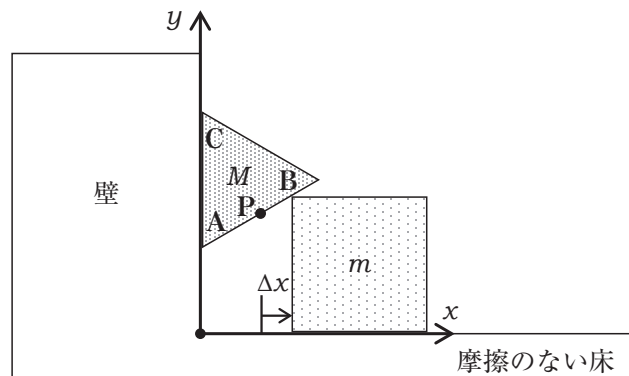


図2

問1 図2のように、直方体が x 軸方向に微小距離 Δx 動く間に三角柱が移動する距離を、 Δx を用いて表せ。

物 理 $\frac{2}{7}$

問2 直方体が微小距離 Δx だけ動いたとき、直方体の速さは v_m となった。このとき、三角柱の速さを v_m を用いて表せ。

問3 三角柱と直方体が離れた瞬間の直方体の速さを M, m, g, l を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。

次に、床と直方体の間に摩擦がある場合を考える。図3のように、三角柱は辺 AB の中点 P の位置で直方体と接した状態でひもでつるされ、三角柱と直方体は静止している。三角柱をつるしたひもを静かに切ったところ、直方体は床の上を x 軸方向に動き始めた。

問4 床と直方体との間の静止摩擦係数を μ とする。直方体動き出すために必要な μ の条件を求めよ。解法欄には導出過程を記述せよ。

問5 床と直方体との間の動摩擦係数を μ' とする。直方体と三角柱が離れる瞬間の直方体の速さを求めよ。解法欄には導出過程を記述せよ。

問6 問5において、直方体と三角柱が離れる瞬間の直方体の速さを v とするとき、直方体と三角柱が離れてから、直方体が静止するまでの間に、直方体が移動する距離を v, μ', g を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。

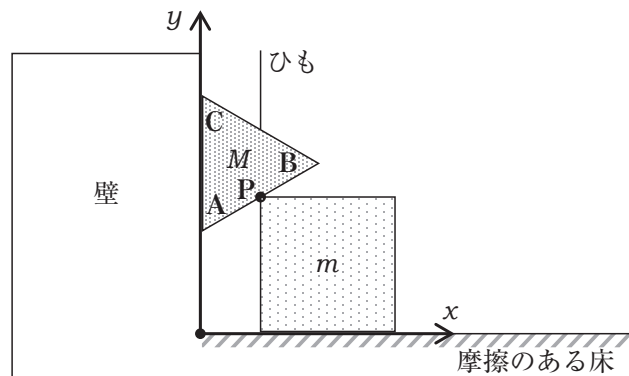


図3

Ⅱ 長さ L で抵抗値 $2R$ の円柱状の抵抗 1 に、内部抵抗が無視できる起電力 V の電池 V をつないで図 4 のような回路を作ると、抵抗 1 の内部に電場が発生し電流が流れた。抵抗 1 の断面の直径は長さ L に対して十分小さく、抵抗率は場所によらず一定で、抵抗内部で発生する電場の向きは抵抗の軸方向とする。抵抗 1 の両端を A 、 B とし、 A から x ($0 < x < L$) の位置を D とする。電子 1 個がもつ電気量の絶対値（電気素量）を e とする。

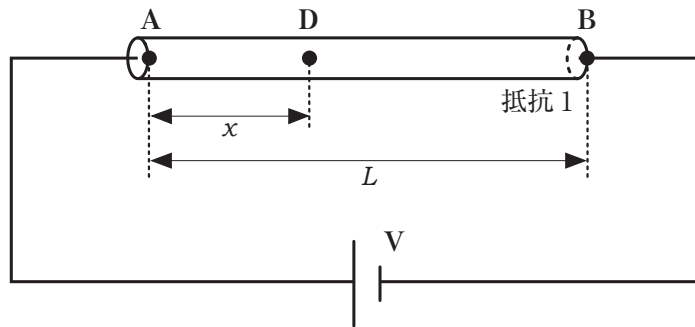


図 4

問 1 A と D の間の電位差を、 L 、 V 、 x を用いて表せ。

問 2 抵抗 1 の断面を単位時間あたりに通過する自由電子の個数を、 e 、 R 、 V を用いて表せ。

図4の回路に、さらに抵抗2（抵抗値 R ）とスイッチ S をつなぎ、抵抗2の一端につながっている接触棒 H を抵抗1の B に接触させ、図5のような回路を作った。以下、接触棒 H の抵抗および接触棒 H と抵抗1の接触部における抵抗は無視できるものとする。

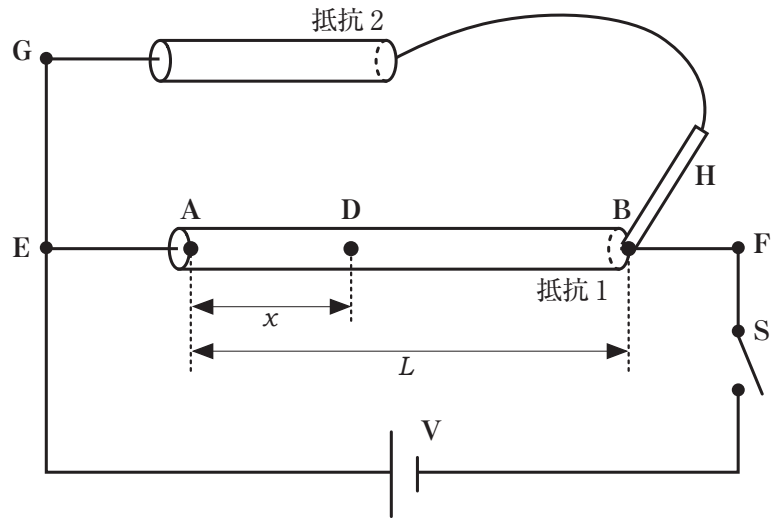


図5

問3 EF間の抵抗値を求めよ。

図5の状態から接触棒 H を移動させ、 A からの距離が $x(0 < x < L)$ の位置 D で抵抗1に接触させた。

問4 EF間の抵抗値を、 L, R, x を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。

接触棒 H を抵抗1の D に接触させた状態でスイッチ S を閉じると、回路に電流が流れた。

問5 F を流れる電流を I_F 、 G を流れる電流を I_G とする。このとき、 $\frac{I_G}{I_F}$ を L, x を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。

図5の回路に、さらに抵抗2と接触棒Hの間にコンデンサーC（電気容量C）をつないだ。最初、図6のようにスイッチSは閉じられ接触棒Hは抵抗1に接触しておらず、コンデンサーは充電されていない状態であった。

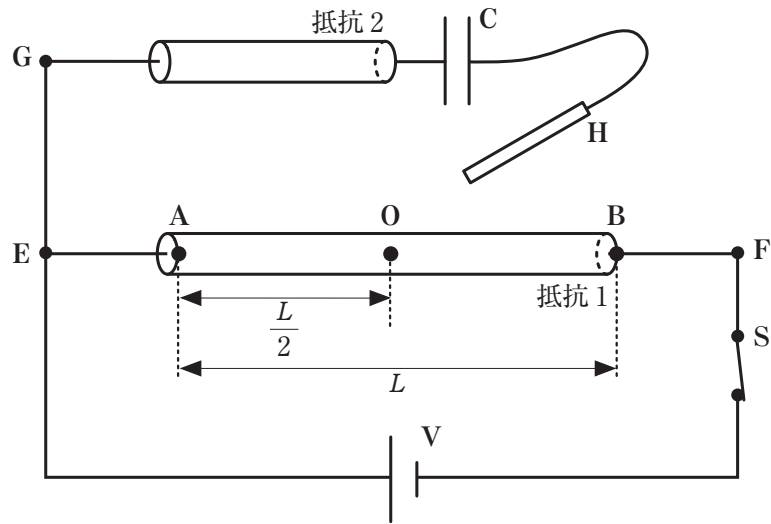


図6

この状態から、接触棒Hを抵抗1のBに接触させた。

問6 接触させた直後に抵抗2を流れる電流を、 R 、 V を用いて表せ。

接触棒Hを抵抗1のBに接触させて十分に時間が経過した後、スイッチSを開いた。スイッチSを開いてから十分時間が経過するまでに抵抗2で発生する熱量を Q_B とする。また、図6のはじめの状態から接触棒Hを抵抗1の midpoint Oに接触させて十分に時間が経過した後、スイッチSを開いた。スイッチSを開いてから十分時間が経過するまでに抵抗2で発生する熱量を Q_O とする。

問7 $\frac{Q_O}{Q_B}$ を求めよ。解法欄には導出過程を記述せよ。

Ⅲ n モルの単原子分子理想気体を滑らかに動くピストンがついたシリンダーに封入し、図7のように気体の圧力 P と体積 V を変えて状態変化させた。最初、気体の体積は $2V_0$ 、圧力は P_L であった (状態 A)。次に、ピストンに加重がゆっくりかかるようにおもりを載せると、シリンダーの外とは熱交換せず体積は半減して V_0 となり、圧力は P_H となった (状態 B)。次に、熱源 I とシリンダーを接触させ熱交換させると、圧力は同じで体積が倍増して $2V_0$ に戻った (状態 C)。次に、おもりをゆっくり取り除くと、シリンダーの外とは熱交換せず体積は膨張して $4V_0$ となり、圧力は P_L となった (状態 D)。最後に、熱源 II とシリンダーを接触させ熱交換させると、圧力と体積は状態 A に戻った。シリンダーとピストンの熱容量は無視できるものとする。気体定数を R とする。

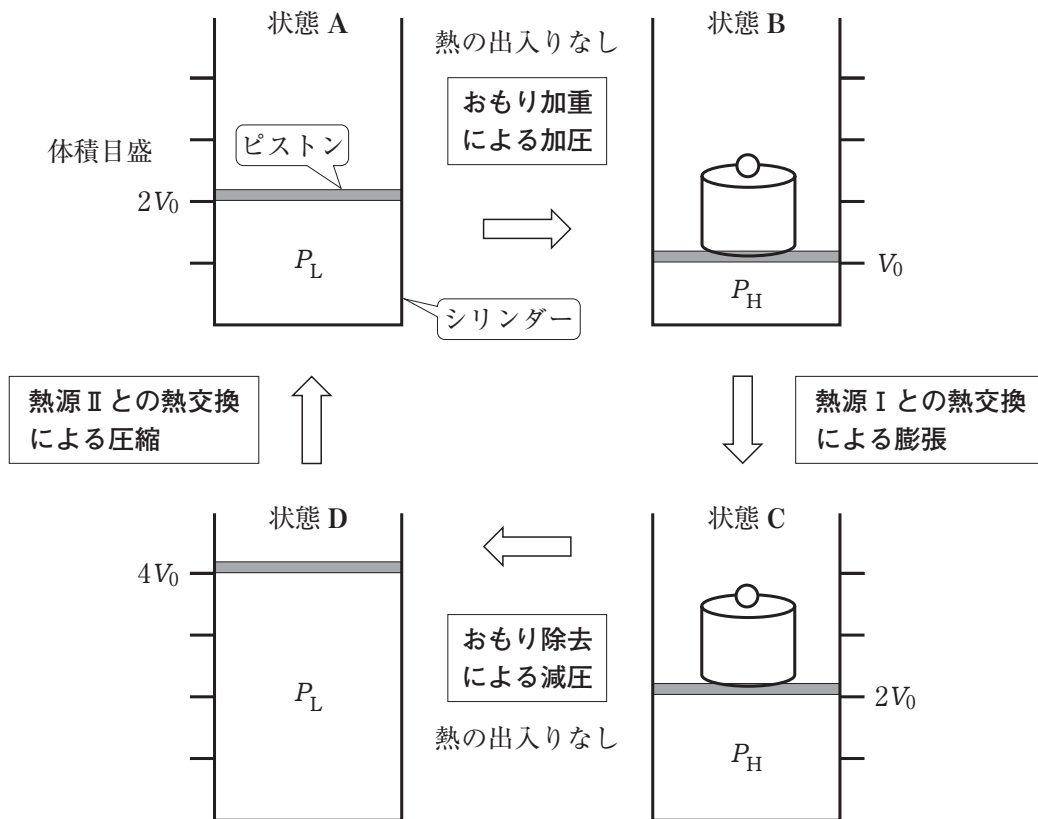


図 7

問 1 状態 A における絶対温度を n, R, P_L, V_0 を用いて表せ。

問 2 状態変化 $A \rightarrow B$ における気体の内部エネルギーの変化 ΔU_{AB} と気体のする仕事 W_{AB} を P_H, P_L, V_0 を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。

物 理 $\frac{7}{7}$

- 問3 状態変化 $B \rightarrow C$ における気体の内部エネルギーの変化 ΔU_{BC} と気体のする仕事 W_{BC} を P_H , V_0 を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。
- 問4 状態変化 $B \rightarrow C$ における熱源 I との熱交換で気体は熱を受け取ったか、もしくは失ったか。理由を付けて答えよ。また、その熱量 Q_{BC} を受け取ったときを正、失ったときを負として P_H , V_0 を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。
- 問5 状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を圧力-体積図 (P - V 図) に描け (状態を示す A , B , C , D も書き込む)。それぞれの变化は P - V 図上で直線か曲線か、曲線の場合は上に凸か下に凸かも記述すること。
- 問6 状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の1サイクルにおいて気体ができる仕事を P_H , P_L , V_0 を用いて表せ。解法欄には導出過程を記述せよ。
- 問7 この1サイクルを熱機関とみなしたとき、熱効率を求めよ。