

1

図1-1のように、長さ h のあらい上面をもつ質量 $5m$ の台車がなめらかな床の上に置かれている。さらに、台車の右側面は水平に張られたひも1によってつながれ、ひも1の他端には質量 M_1 のおもりがなめらかな滑車を介して吊り下げられている。一方、質量 m の小物体が台車上面の右端に置かれ、水平に張られたひも2によって壁とつながれている。また、ひもは軽くて伸びることはなく、たわまないものとする。重力加速度の大きさを g 、台車上面と小物体間の動摩擦係数を μ とし、以下の問いに答えよ。なお、解答用紙には途中の計算過程も記すこと。

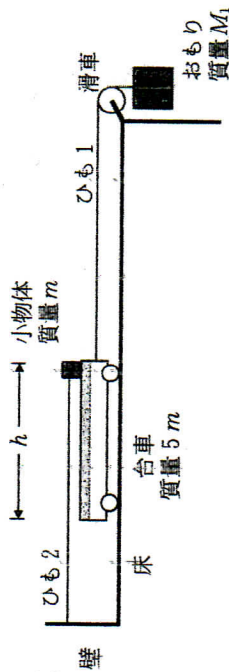


図1-1

問1 おもりを静かに離したところ台車は動き出した。台車が動き出してから小物体が台車上面の左端から離れる間を考えるとす。

問2 台車の加速度の大きさ a_1 、ひも2が小物体を引っ張る力の大きさ T_1 を M_1, m, g, μ, h のうち必要なものを用いて表せ。

問3 台車が動き出してから小物体が台車上面の左端から離れるまでの時間 t_1 を M_1, m, g, μ, h のうち必要なものを用いて表せ。

問4 小物体が台車上面の左端から離れるまでに、摩擦によって失われた力学的エネルギー W を M_1, m, g, μ, h のうち必要なものを用いて表せ。

問5 つぎに、図1-2のように、小物体が台車上面の右端に置かれ、台車左側面と小物体は壁に設置したなめらかな滑車を介して、水平に張られたひも2によってつながれている。ひも1につなげられた質量 M_2 のおもりを静かに離れたところ台車は動き出した。台車が動き出してから小物体が台車上面の左端から離れる間を考えるとす。

問6 台車の加速度の大きさ a_2 、ひも2が小物体を引っ張る力の大きさ T_2 を M_2, m, g, μ, h のうち必要なものを用いて表せ。

問7 台車が動き出してから小物体が台車上面の左端から離れるまでの時間 t_2 を M_2, m, g, μ, h のうち必要なものを用いて表せ。

問8 小物体が台車上面の左端から離れる直前の、台車に対する小物体の相対速度の大きさ v を M_2, m, g, μ, h のうち必要なものを用いて表せ。

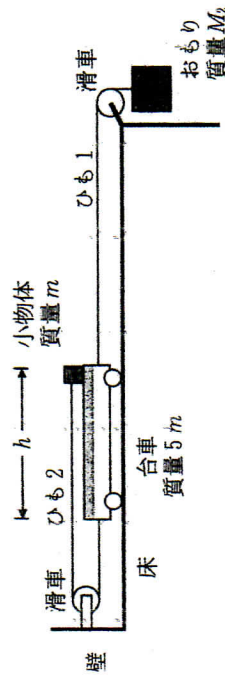


図1-2

2

図 2-1 のように、真空中に $+z$ 方向を向いた磁束密度 B の一様な磁場があり、その中に質量 m 、電荷 q ($q > 0$) の荷電粒子が点 $P(x_0, 0, 0)$ の位置から x 軸に垂直で、かつ xy 平面に対して角度 θ で上向きに速さ v_0 で放たれた。すると、その荷電粒子はらせん状の軌道を描きながら $+z$ 方向に進んだ。以下の問いに答えよ。ただし、重力の影響は無視できるものとする。なお、解答用紙には途中の計算過程も記すこと。

この荷電粒子の運動を z 軸の正から負の方向にみると、図 2-2 のように xy 平面上で点 $C(x_1, 0)$ を中心とした円運動をしているようにみえる。

問 1 荷電粒子が磁場から受ける力の大きさ F を、 m 、 q 、 x_0 、 v_0 、 B 、 θ のうち必要なものを用いて表せ。

問 2 点 C の x 座標 x_1 を、 m 、 q 、 x_0 、 v_0 、 B 、 θ のうち必要なものを用いて表せ。

問 3 円運動の周期 T を、 m 、 q 、 x_0 、 v_0 、 B 、 θ のうち必要なものを用いて表せ。

問 4 荷電粒子が円運動を 1 回する間に z 方向に進む距離 D_1 を、 m 、 q 、 x_0 、 v_0 、 B 、 θ のうち必要なものを用いて表せ。

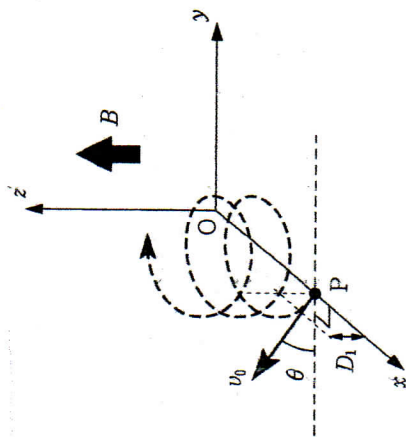


図 2-1

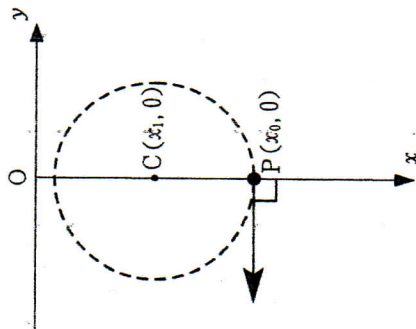


図 2-2

つぎに、図2-3のように、磁場に加えて $-z$ 方向を向いた大きさ E の様な電場がある場合を考える。点Pから放たれた荷電粒子は、らせん状の軌道を描き円運動をちょうど3回して点S($x_0, 0, D_2$)に到達したとき、速度の z 方向成分が0となった。

問5 荷電粒子の z 方向の加速度 a を、 $m, q, x_0, v_0, B, E, \theta$ のうち必要なものを用いて表せ。

問6 電場の大きさ E を、 $m, q, x_0, v_0, B, \theta$ のうち必要なものを用いて表せ。

問7 荷電粒子が円運動を3回する間に z 方向に進む距離 D_2 を、 $m, q, x_0, v_0, B, \theta$ のうち必要なものを用いて表せ。

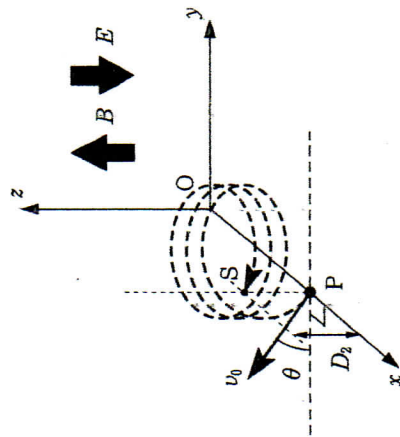


図2-3

3

図3-1のように、質量 M 、断面積 S のピストンのついたシリンダが鉛直におかれている。シリンダ内には単原子分子の理想気体が密閉されていて、外側の圧力は P_0 である。また、ピストンにつけられたばね定数 k のばねの他端が天井に固定されている。さらに、シリンダ内の気体は加熱・冷却器によって、加熱または冷却することができる。ピストンおよびシリンダは熱を伝えないものとする。重力加速度の大きさを g とし、以下の問いに答えよ。なお、解答用紙には途中の計算過程も記すこと。

はじめに、シリンダ内の気体の体積は V 、温度は T_1 で、ばねは自然長になっていた。この状態を A とする。

問1 状態 A におけるシリンダ内の気体の圧力 P_1 はいくらか。 M 、 S 、 g 、 P_0 を用いて表せ。

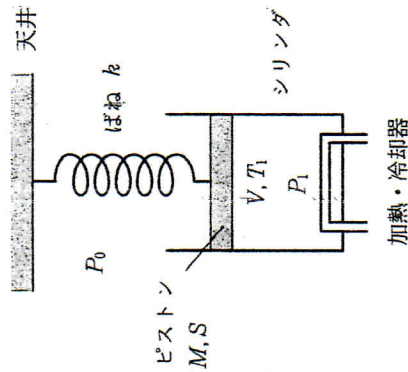


図3-1

つぎに、状態 A よりシリンダ内の気体をゆっくりと冷却すると、図3-2のように気体の体積が $\frac{1}{2}V$ となった。この状態を B とする。

問2 状態 B におけるシリンダ内の気体の圧力 P_2 はいくらか。 M 、 S 、 g 、 k 、 P_0 、 V を用いて表せ。

問3 状態 B におけるシリンダ内の気体の温度 T_2 はいくらか。 T_1 、 P_1 、 P_2 を用いて表せ。

問4 状態 A から状態 B になるとき、シリンダ内の気体の内部エネルギーの変化 ΔU はいくらか。 P_1 、 P_2 、 V を用いて表せ。また、シリンダ内の気体が外部からされた仕事 W はいくらか。 M 、 S 、 g 、 k 、 P_0 、 V を用いて表せ。

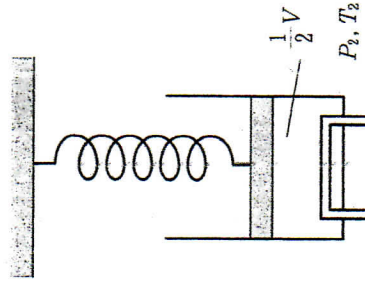


図3-2

図3-3のように、図3-1の状態Aのシリンダに、シリンダ内と同じ種類で圧力 $2P_1$ 、温度 T_1 の気体が入った体積 V の容器を、コックを介してつないだ。つぎに、加熱・冷却器を動作させながらコックをゆっくりと開き十分に時間が経過すると、図3-4のようにシリンダ内の気体の体積は $\frac{3}{2}V$ となり、シリンダ内と容器内の気体の温度および圧力は同じになった。なお、ピストン、シリンダおよび容器は熱を伝えないものとする。

問5 シリンダ内の気体の圧力 P_3 はいくらか。 M, S, g, k, P_0, V を用いて表せ。

問6 シリンダ内の気体の温度 T_3 はいくらか。 T_1, P_1, P_3 を用いて表せ。

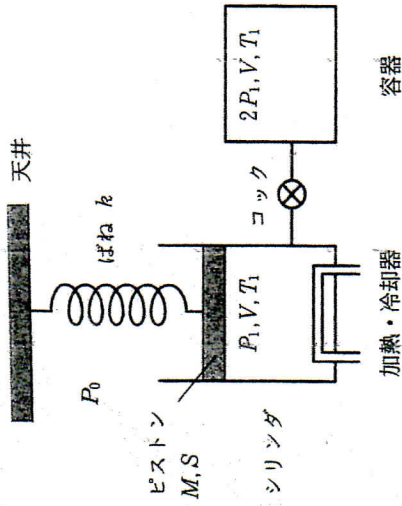


図3-3

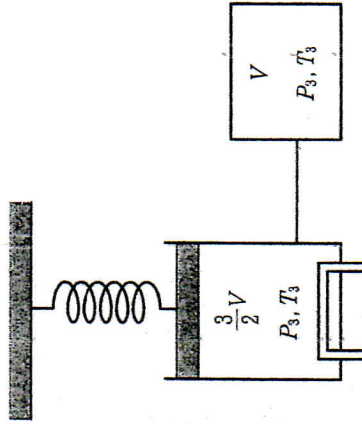


図3-4