

物 理

第1問

図1—1のように、3個のおもりと3本の棒を互いに固定した物体の運動を考える。ただし、図1—2のように、おもりAに対して2本の棒はなめらかに回転できる。はじめ物体は、図1—1のように、おもりAとおもりBが水平な床に接するように置かれており、おもりCはおもりAの真上にある。おもりCには水平に張られた糸がつながれており、糸を図の右方向に引く力の大きさを F とする。3個のおもりの質量はいずれも m であり、棒と糸の質量は考えなくてよい。おもりAからおもりBまでの距離、およびおもりAからおもりCまでの距離はいずれも d であり、おもりの大きさは考えなくてよい。また、重力加速度の大きさを g とする。

I まず、おもりAが床に固定されている場合を考える。

- (1) 図1—1の状態において、 F を徐々に大きくしていったところ、 F がある大きさに達したときにおもりBが床から離れた。このときの F を求めよ。
- (2) 糸を引き続けて、図1—2のように物体を傾けていくことを考える。おもりBが床から離れてから糸を引く力がした仕事の大きさを W とする。 W がある大きさ W_0 を超えると、物体は倒れて、おもりCは床に衝突する。 W_0 を求めよ。

II 次に、おもりAが床に固定されていない場合を考える。図1—1のようにおもりAとおもりBは床に接している。おもりAと床との間の静止摩擦係数は μ ($\mu < \frac{1}{3}$)であり、おもりBと床との間には摩擦はない。

- (1) F が小さく、物体が静止しているとき、おもりBが床から受ける垂直抗力の大きさを、 F を含む式で表せ。
- (2) 前問II(1)のとき、おもりAが床から受ける垂直抗力の大きさを、 F を含む式で表せ。
- (3) F を徐々に大きくしていったところ、 F がある大きさに達したとき、おもりBが床に接したまま物体が右に動き始めた。このときの F を求めよ。

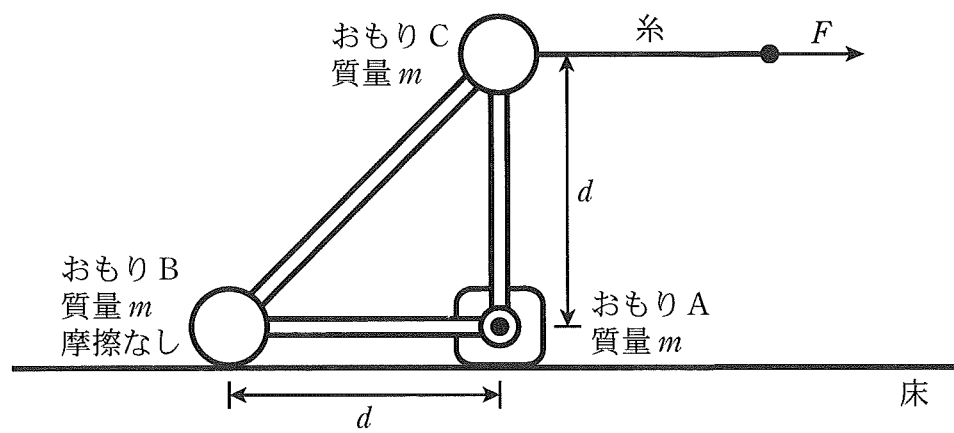


図 1—1

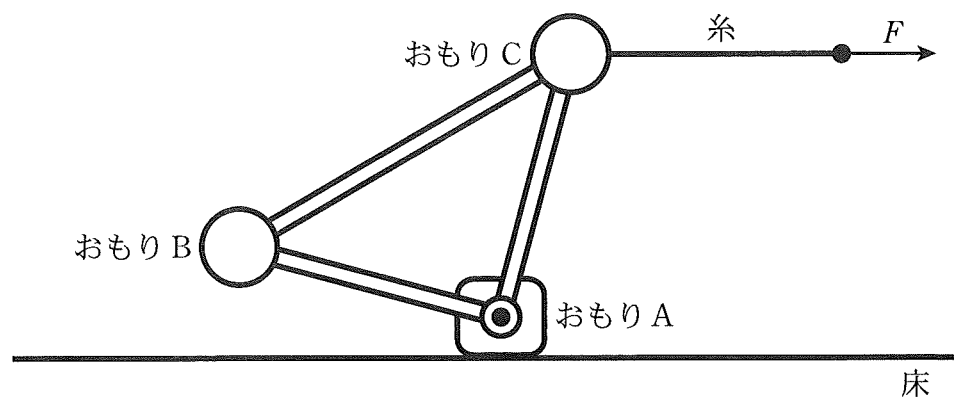


図 1—2

Ⅲ 最後に、おもり A とおもり B が床に接したまま、物体が右に動いている場合を考える。おもり A と床との間の動摩擦係数は μ' ($\mu' < \frac{1}{3}$) であり、おもり B と床との間には摩擦はない。

- (1) 図 1—3 のように、物体が等速直線運動をしているときの F を求めよ。
- (2) 糸を引くのをやめて $F = 0$ にすると、物体は等加速度で減速する。このとき、図 1—4 に示すように、加速度は速度と逆向きであり、その大きさを a ($a > 0$) とする。おもり B が床から受ける垂直抗力の大きさを、 a を含む式で表せ。
- (3) 前問Ⅲ(2)の a を求めよ。

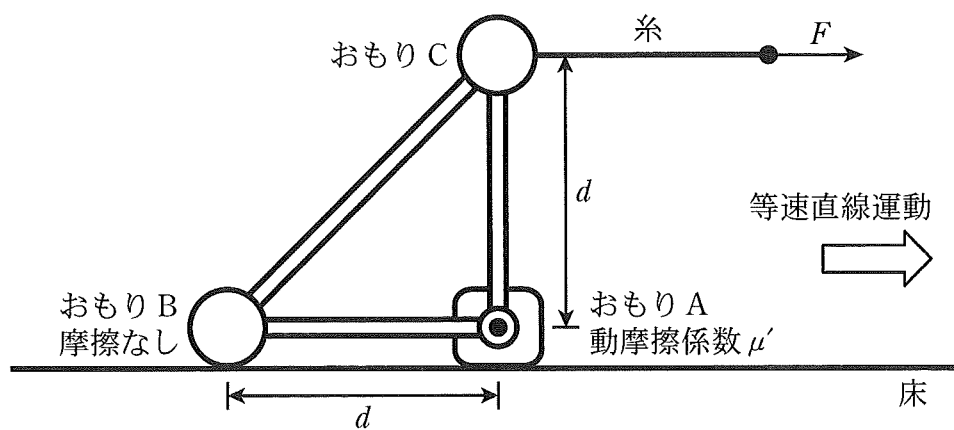


図 1—3

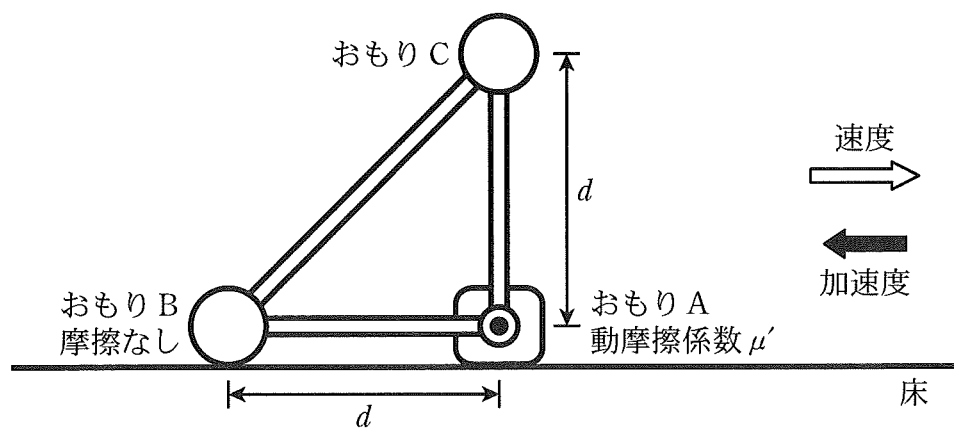


図 1—4

第2問

I 図2—1のように、真空中に直径 a 、長さ ℓ 、巻数 N のソレノイド A がある。その中心軸を x 軸にとり、原点 O をソレノイド A の中心となるようにとった。 x 軸は右向きを正とする。 ℓ は a より十分に大きい。ソレノイド A に右から左に向けて一定の大きさ I の直流電流を流す。真空の透磁率(磁気定数)を μ_0 として以下の設問に答えよ。

- (1) 原点 O での磁束密度の大きさ B_0 を求めよ。
- (2) ソレノイド A を中央で二分割して左半分($x < 0$)を取り除き、図2—2のように、右から左に向けて一定の大きさ I の直流電流を流した。このとき、原点 O 付近の磁力線は図2—3のように表される。原点 O における磁束密度の大きさ B_1 を、 B_0 を用いて表せ。

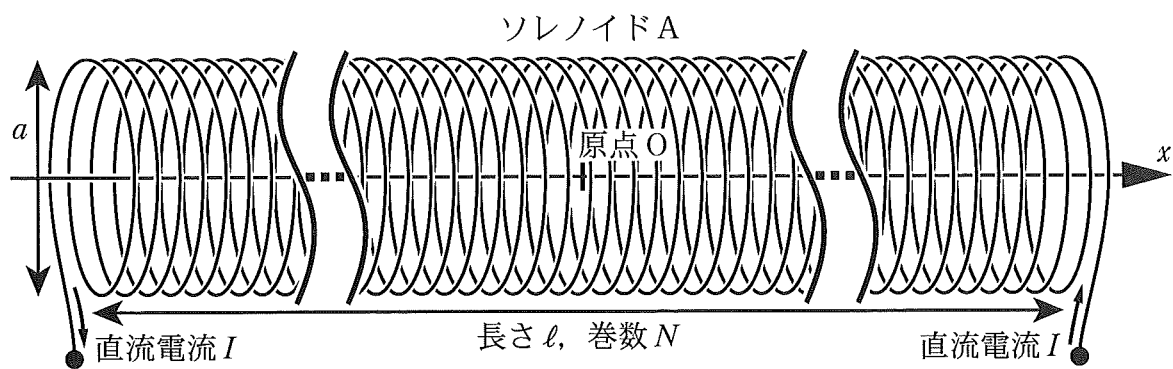


図 2—1

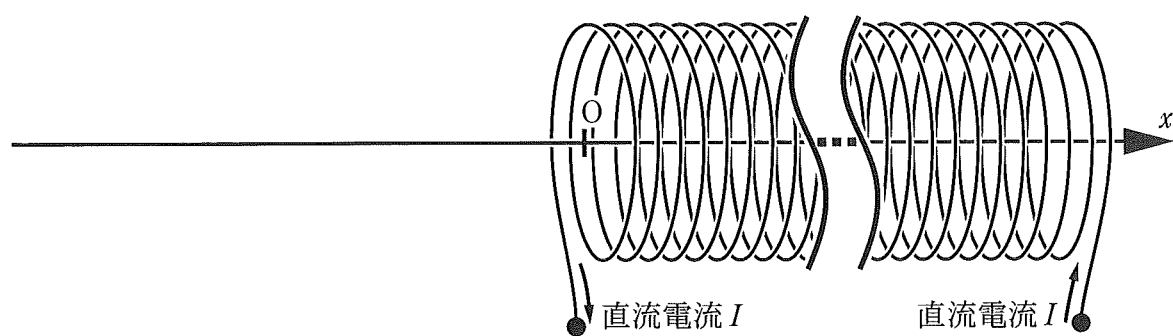


図 2—2

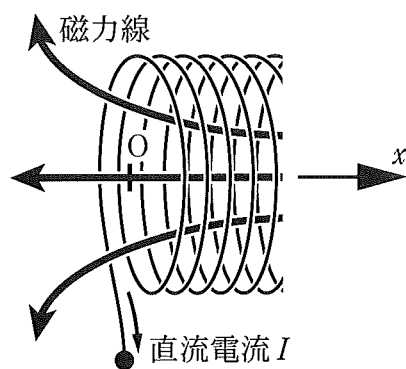


図 2—3

Ⅱ 図2—4のように、設問Ⅰ(1)での長さ ℓ のソレノイドAを、中心軸が x 軸、左端面中心が原点Oとなるように固定し、右から左に向けて一定の大きさ I の直流電流を流す。さらに、直径 b ($b < a$)、巻数1の円形コイルBを、位置 $x = -x_0$ ($x_0 > 0$)からソレノイドA内部の位置 $x = x_0$ まで等速運動させる。円形コイルBの中心は常に x 軸上にあり、コイル面は x 軸に垂直である。 x_0 は ℓ より十分に小さい。また、円形コイルBには紙面の手前側に端子 X_B 、 Y_B がある。その端子間距離は十分に小さく、円形コイルBの電気抵抗と自己インダクタンスは無視できる。

- (1) 端子 X_B 、 Y_B 間に抵抗値 R の電気抵抗を接続し、円形コイルBを等速運動させた。円形コイルBを貫く磁束が短い時間 Δt の間に $\Delta\Phi$ だけ変化したとき、円形コイルBに流れる電流の大きさ I_B を求めよ。
- (2) 円形コイルB全体が磁場から受ける力を F とする。 F は右向きを正とする。前問Ⅱ(1)と同様に端子 X_B 、 Y_B 間に抵抗値 R の電気抵抗を接続し、円形コイルBを位置 $x = -x_0$ から $x = x_0$ まで速さ v_0 で等速運動させたとき、 x と F の関係を表すグラフの概形として最も適切なものを図2—5の(あ)～(し)から一つ選んで答えよ。
- (3) 前問Ⅱ(2)において、電気抵抗の抵抗値を R から $2R$ にすると、 F の大きさの最大値は何倍になるか、理由とともに答えよ。

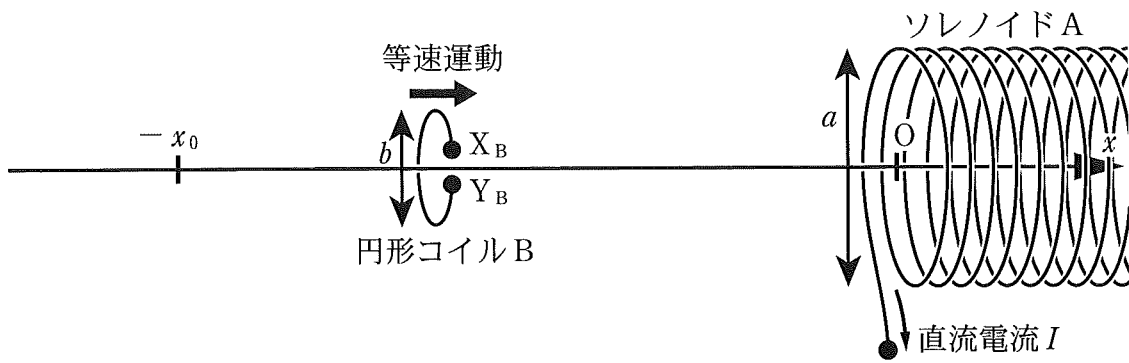


図 2—4

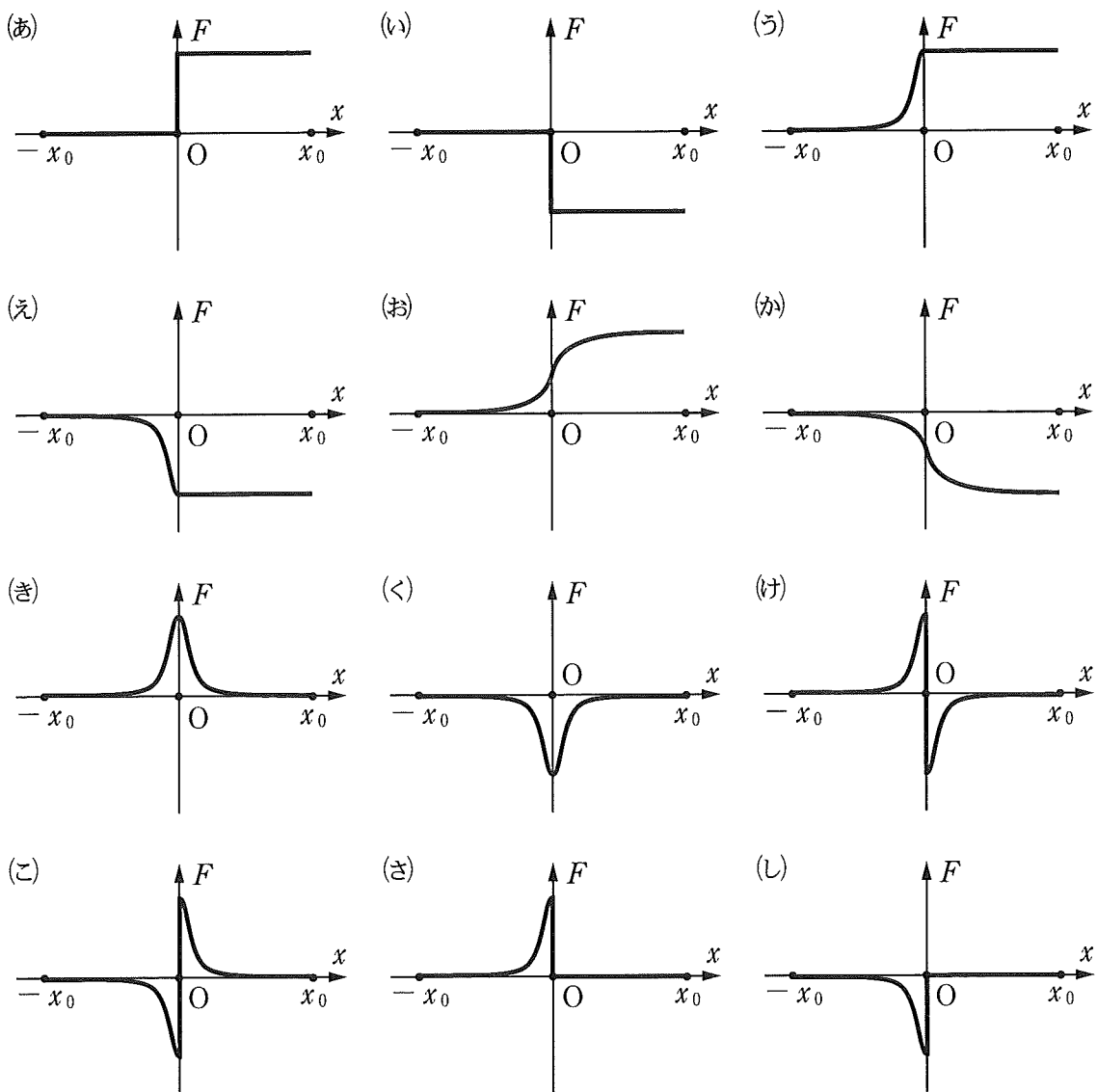


図 2—5

- (4) 図 2—6 に示す素子 1～9 は，抵抗値 R の電気抵抗，電気容量 C のコンデンサー，ダイオードからなる。ダイオードでは，順方向には抵抗 0 で電流が流れ，逆方向には流れないものとする。例えば素子 4 においては，紙面下向きには電流が流れ，上向きには流れない。

ソレノイド A に流す直流電流の向きを逆にし，左から右に向けて一定の大きさ I の直流電流を流した。ここで，円形コイル B の端子 X_B , Y_B 間に素子 1～9 のうち一つを選んで接続し，円形コイル B を位置 $x = -x_0$ から $x = x_0$ まで速さ v_0 で等速運動させる場合を考える。ただし，円形コイル B の端子 X_B に素子の端子 X を，端子 Y_B に素子の端子 Y を接続するものとする。このとき， x と F の関係が，設問 II(2) と全く同じになる素子を図 2—6 の素子 1～9 からすべて選び，番号で答えよ。

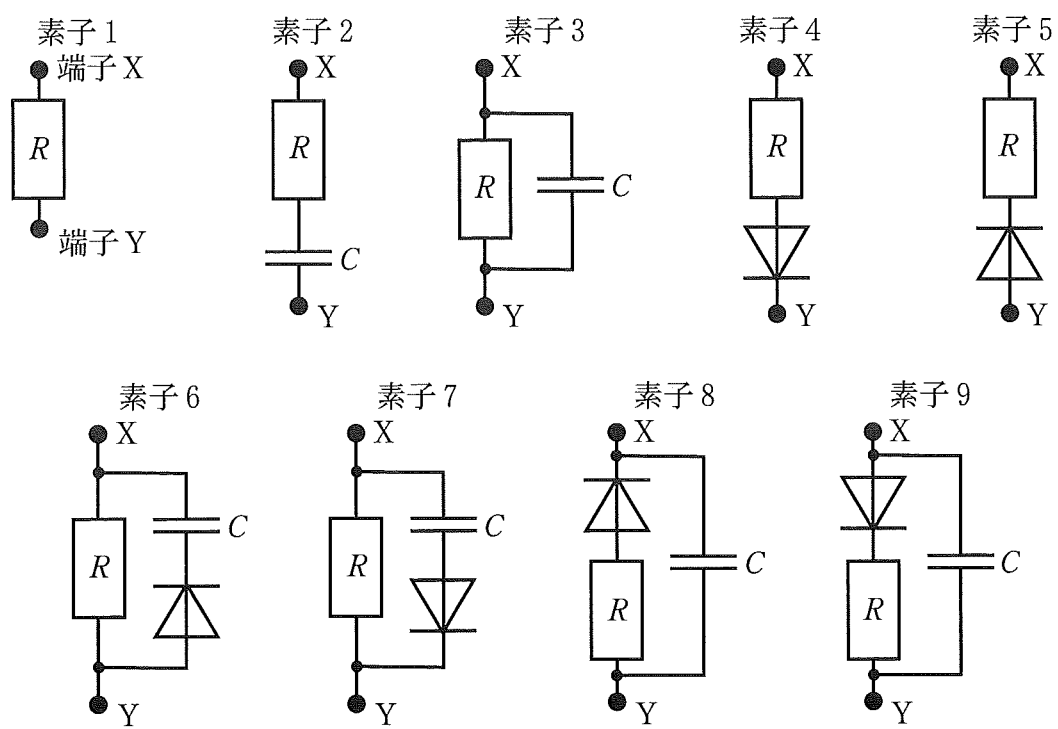


图 2—6

Ⅲ 図 2—7 のように，図 2—4 の状態からソレノイド A を取り除き，代わりに直径 a ，巻数 1 の円形コイル C を固定した。円形コイル C の中心は原点 O に一致し，コイル面は x 軸に垂直である。円形コイル C に一定の大きさの直流電流を，左から見て反時計回りに流して磁場を作る。円形コイル B の端子 X_B ， Y_B 間に抵抗値 R の電気抵抗を接続し，円形コイル B を位置 $x = -x_0 (x_0 > 0)$ から $x = x_0$ まで等速運動させる。

円形コイル B 全体が磁場から受ける力を F とする。 F は右向きを正とする。 x と F の関係を表すグラフの概形を描け。なお， F の最大値や最小値，それらをとる x の値を示す必要はない。

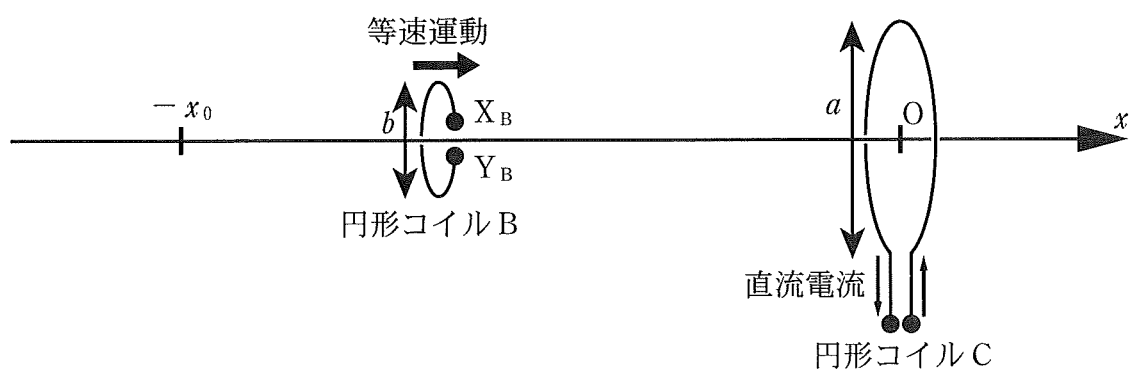


図 2—7

第3問

運動する台車とピストンつき容器の中の単原子分子理想気体に関する以下の設問に答えよ。ただし、断熱変化において気体の圧力 p と体積 V についてポアソンの法則「 $pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ 」が成り立つことを用いてよい。気体定数を R とする。台車と床との摩擦、およびピストンの質量は無視できる。ピストンつき容器の外側は真空である。台車の速度は右向きを正とする。

I 図3—1のように、なめらかに動くピストンつきの断熱容器が水平な床に固定されており、この容器に1モルの単原子分子理想気体が封入されている。はじめ、容器内の気体の体積は V_0 、温度は T_0 であり、ピストンはストッパーの位置で静止している。このピストンに向かって質量 m の台車を速度 v_0 で運動させる。

この台車がピストンに接した時刻を t_0 とする。時刻 t_0 の後、台車はピストンを押し込み、気体の体積が V_1 、温度が T_1 となったところで速度が0となった。この時刻を t_1 とする。その後、台車はピストンに押し返されて、気体の体積が V_0 に戻った時刻 t_2 でピストンから離れた。

(1) 時刻 t_0 における台車の運動エネルギー K_0 と容器内の気体の内部エネルギー U_0 を m , v_0 , T_0 , V_0 , R のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

(2) T_1 と T_0 の比 $\frac{T_1}{T_0}$ を K_0 と U_0 のみを用いて表せ。

(3) V_1 と V_0 の比 $\frac{V_1}{V_0}$ を K_0 と U_0 のみを用いて表せ。

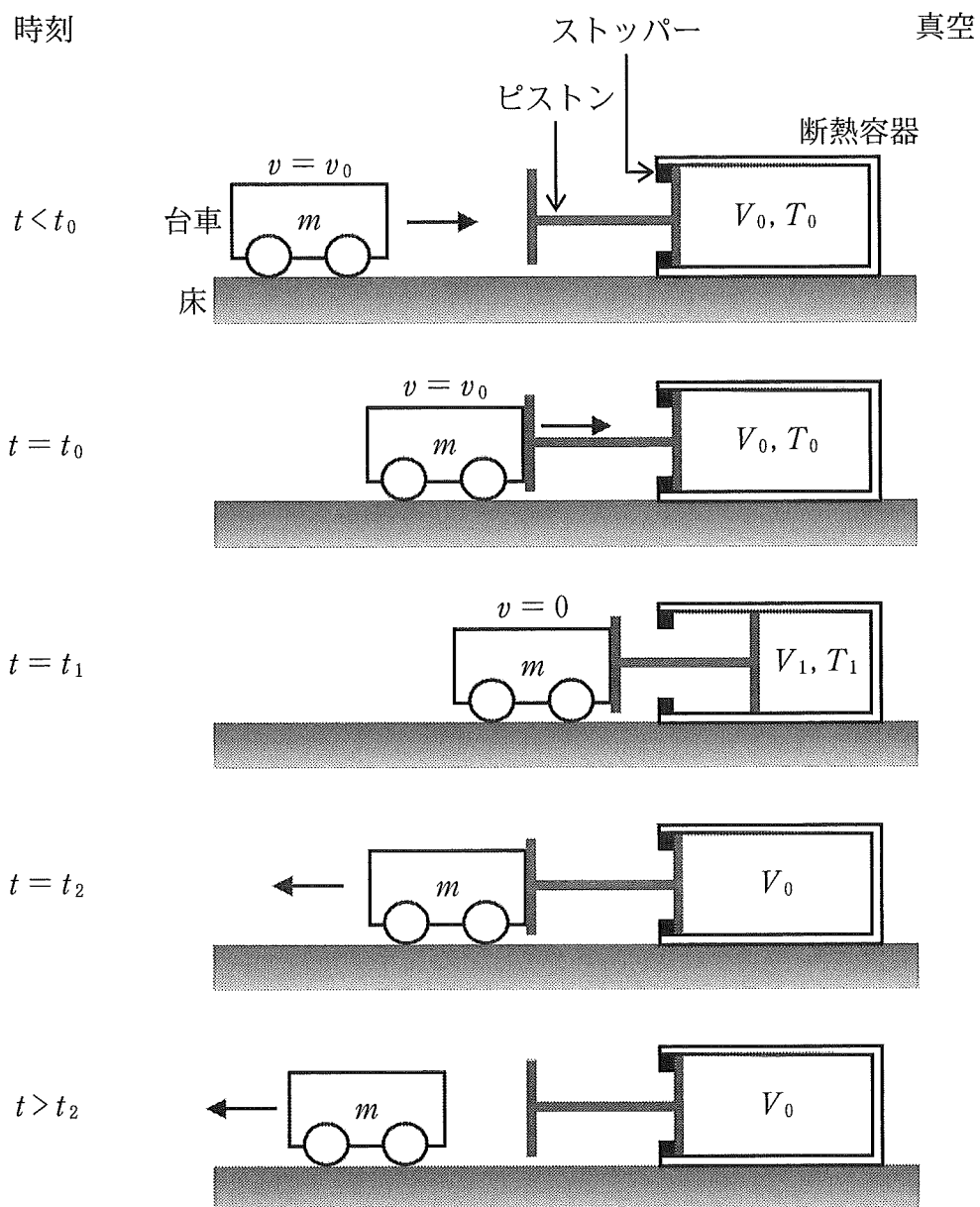


図 3—1

- (4) 時刻 t と台車の速度 v との関係を表すグラフとして最も適切なものを
図 3—2 の①～⑨の中から選び、その理由も述べよ。

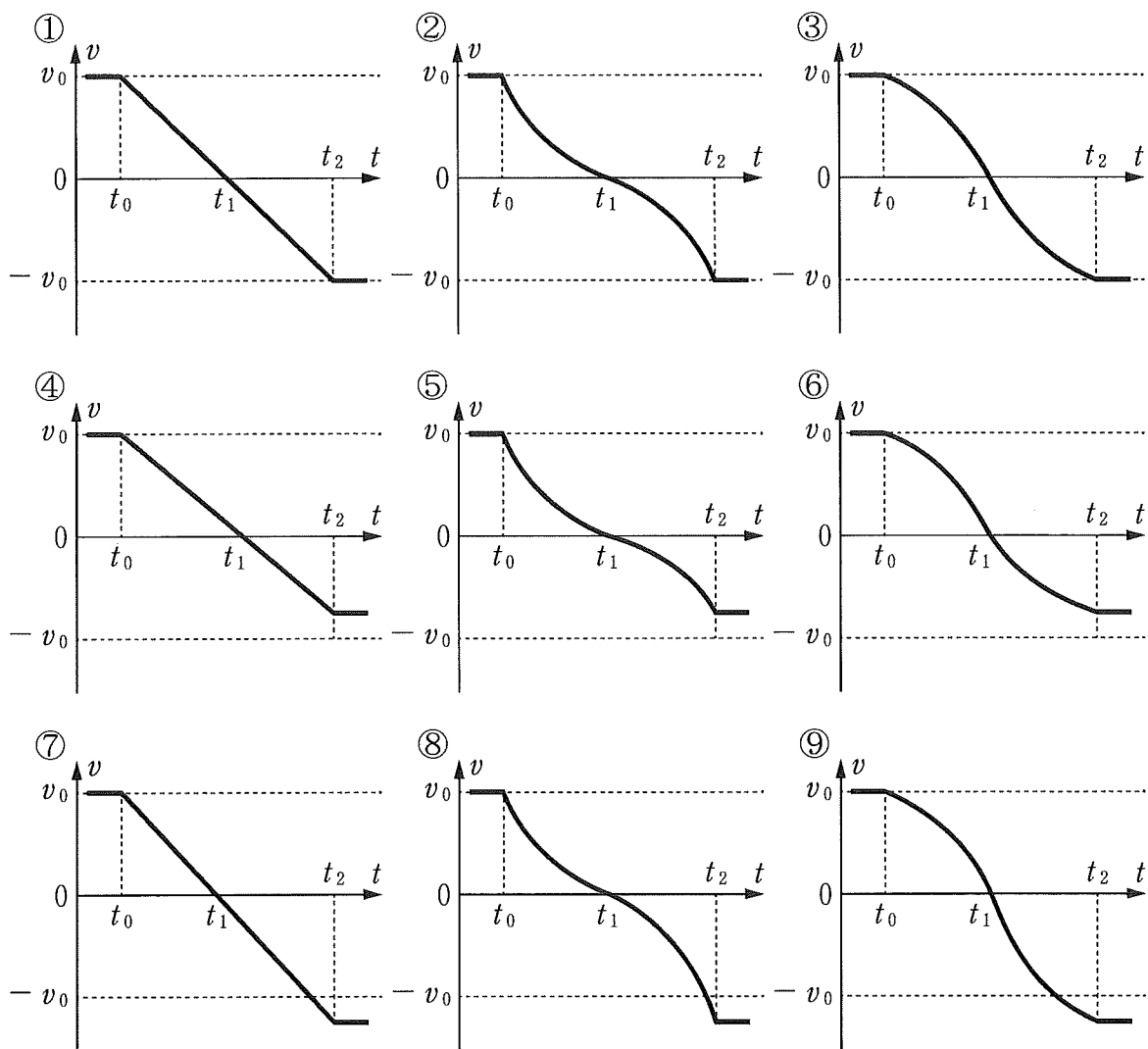


图 3—2

Ⅱ 図 3—3 のように、なめらかに動くピストン付きの断熱容器が水平な床に固定されている。容器の中央を固定壁で仕切り、左右の領域にそれぞれ 1 モルの単原子分子理想気体を封入した。はじめ、左右の領域内の気体はどちらも体積が V_0 、温度が T_0 であり、ピストンはストッパーの位置で静止している。設問Ⅰと同様に、このピストンに向かって質量 m の台車を速度 v_0 で運動させる。

台車が時刻 t_0 でピストンに接したのち、速度が 0 となった時刻を t_1 とする。このとき左の領域の気体の温度は T_1 になった。この時刻 t_1 で台車の位置を固定し、そのまま充分長い時間待ったところ、固定壁を通じた熱の移動により左右の領域の気体の温度はどちらも T_3 になった。こののち、時刻 t_3 で台車の固定を解除したところ、台車はピストンに押されて左向きに動き始め、左側の領域の気体の体積が V_0 に戻った時刻 t_4 でピストンから離れた。このときの台車の速度を v_4 とする。

ピストンが動いていた時間 $t_1 - t_0$ と $t_4 - t_3$ は充分短く、この間の固定壁を通じての熱の移動は無視できる。

(1) 台車がピストンから離れた時刻 t_4 における左右の領域の気体の温度はそれぞれ T_4 、 T_3 であった。 t_4 以降の時刻における台車の運動エネルギー K_4 を R 、 T_3 、 T_4 のうち必要なものを用いて表せ。

(2) 気体の温度 T_0 、 T_1 、 T_3 、 T_4 の間に成り立つ大小関係を

$$T_A \square T_B \square T_C \square T_D$$

の形で書け。ただし、A、B、C、D にはそれぞれどの温度かを指定する数字 (0, 1, 3, 4) のいずれかがひとつずつ入り、各 $\square$ には = (等号) または < (不等号) が入る。

(3) v_4 と v_0 の大きさの比を $e = \left| \frac{v_4}{v_0} \right|$ とする。時刻 t_0 における台車の運動エネルギー K_0 と左側の領域の気体の内部エネルギー U_0 のみを用いて e を表せ。

時刻

真空

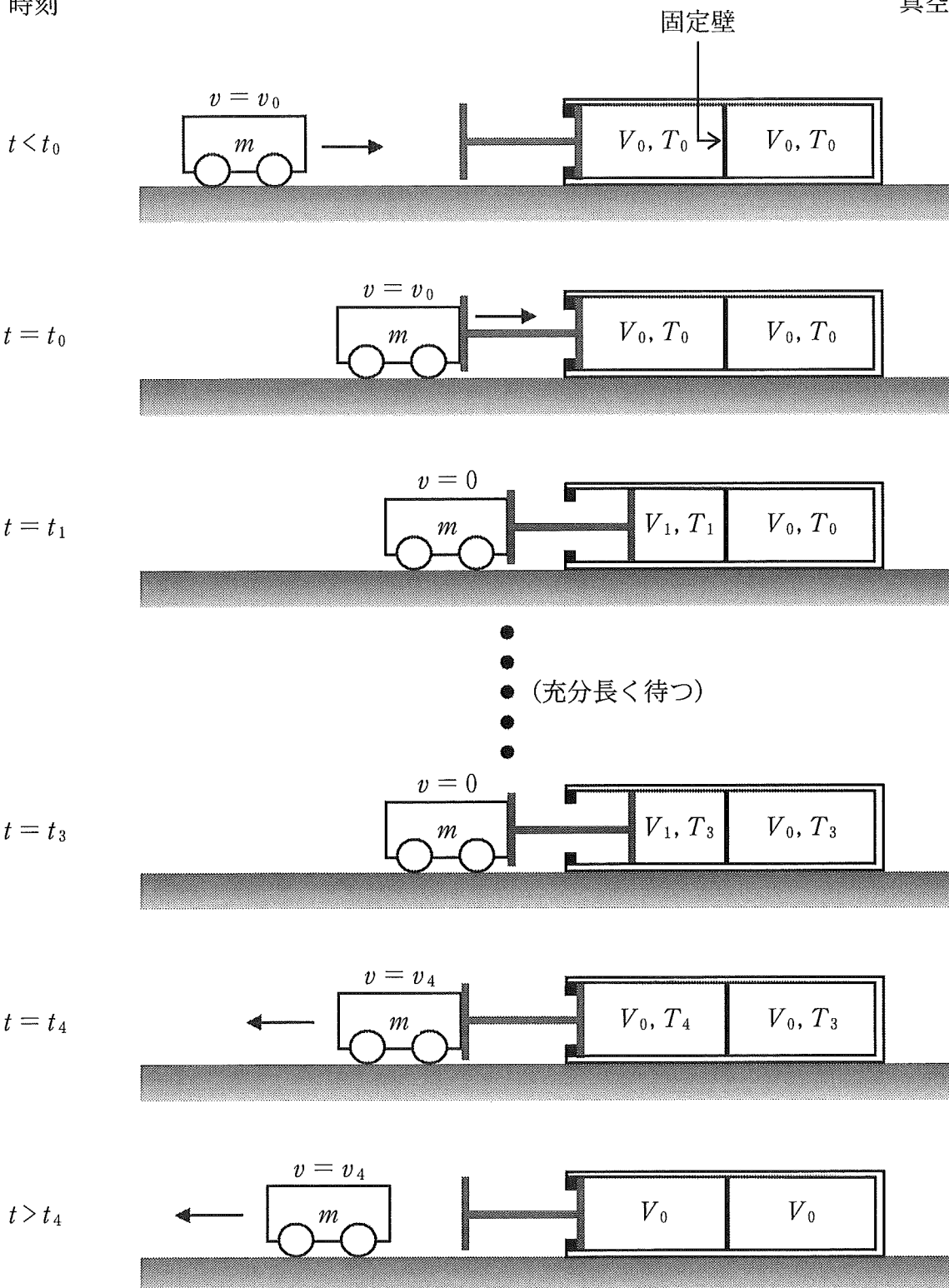


図 3—3