

物 理

第1問 質量 m の小球 A, B が長さ l のひもの両端につながれている。図1のように水平な天井に小球 A, B を l だけ離して固定した。小球 B を固定した点を O とし、重力加速度の大きさを g とする。小球 A, B の大きさ、ひもの質量、および空気抵抗は無視できるものとする。以下の設問に答えよ。

I 小球 B を固定したまま小球 A を静かに放した。

- (1) ひもと天井がなす角度を θ とする。小球 A の速さを θ を用いて表せ。ただし、 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ とする。
- (2) 小球 A が最下点 ($\theta = \frac{\pi}{2}$) に達したときのひもの張力の大きさを求めよ。
- (3) 小球 A が最下点 ($\theta = \frac{\pi}{2}$) に達したときの小球 A の加速度の大きさと向きを求めよ。

II 小球 A がはじめて最下点 ($\theta = \frac{\pi}{2}$) に達したときに小球 B を静かに放した。

この時刻を $t = 0$ とする。

- (1) 2個の小球の重心を G とする。小球 B を放したあとの重心 G の加速度の大きさと向きを求めよ。
- (2) 時刻 $t = 0$ における、重心 G に対する小球 A, B の相対速度の大きさと向きをそれぞれ求めよ。
- (3) 時刻 $t = 0$ における、ひもの張力の大きさを求めよ。
- (4) 時刻 $t = 0$ における、小球 A, B の加速度の大きさと向きをそれぞれ求めよ。
- (5) 小球 B を放してから、はじめて小球 A と小球 B の高さが等しくなる時刻を求めよ。
- (6) 小球 B を放したあとの時刻 t における小球 A の水平位置を求めよ。ただし、点 O を原点とし、右向きを正とする。

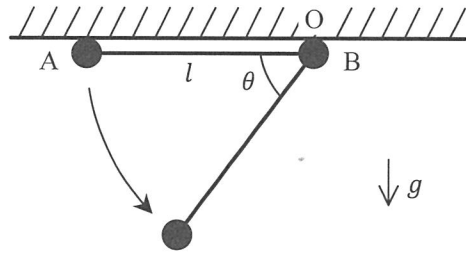


图 1

第2問 図2のように、2本の十分に長い導体のレールP, Qが、水平面と θ の角度をなして互いに平行に設置されている。レールの太さと抵抗は無視できるとする。レール間の距離は L である。これらのレール上には、長さ L 、質量 m 、抵抗 R の十分に細い N 本の棒 $1, 2, 3, \dots, N$ が下から順にレールに対して垂直に置かれている。それらはレールに対して垂直のまま、レールに沿って摩擦なく滑る。磁束密度 $B(B > 0)$ の一樣な磁場が鉛直上向きにかけられている。はじめ、すべての棒は固定されている。以下では、空気抵抗、および棒とレールを流れる電流により発生する磁場の影響は無視する。重力加速度の大きさを g とする。以下の設問に答えよ。

I 棒1の固定をはずしたところ、棒1はレールに沿って下に動き始め、しばらくして一定の速さ u になった。

(1) レールPからQに向かって棒1を流れる電流 I を u を用いて表せ。

(2) u を求めよ。

II 次に、棒1が他の棒から十分離れた状態で、棒1をレールに沿って上方向に一定の速さ w で動かし続けた。このとき、棒2から棒 N の固定をすべてはずしたところ、それらは動かなかった。 w を求めよ。

III すべての棒を固定した状態から始めて、棒 N 以外の固定を下から順番にはずしていった。しばらくして、棒 N 以外の速さはすべて u' となった。 u' を求めよ。

IV 設問IIIの状況で、さらに棒 N の固定もはずした。 n 番目の棒($1 \leq n \leq N$)のレールに沿った速度を v_n 、加速度を a_n とする。ただし、速度と加速度はレールに沿って滑り降りる向きを正とする。

(1) $a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_N$ を求めよ。

(2) 1から $N-1$ までの整数 n に対して、 $a_{n+1} - a_n = -k(v_{n+1} - v_n)$ が成り立つ。定数 k を求めよ。

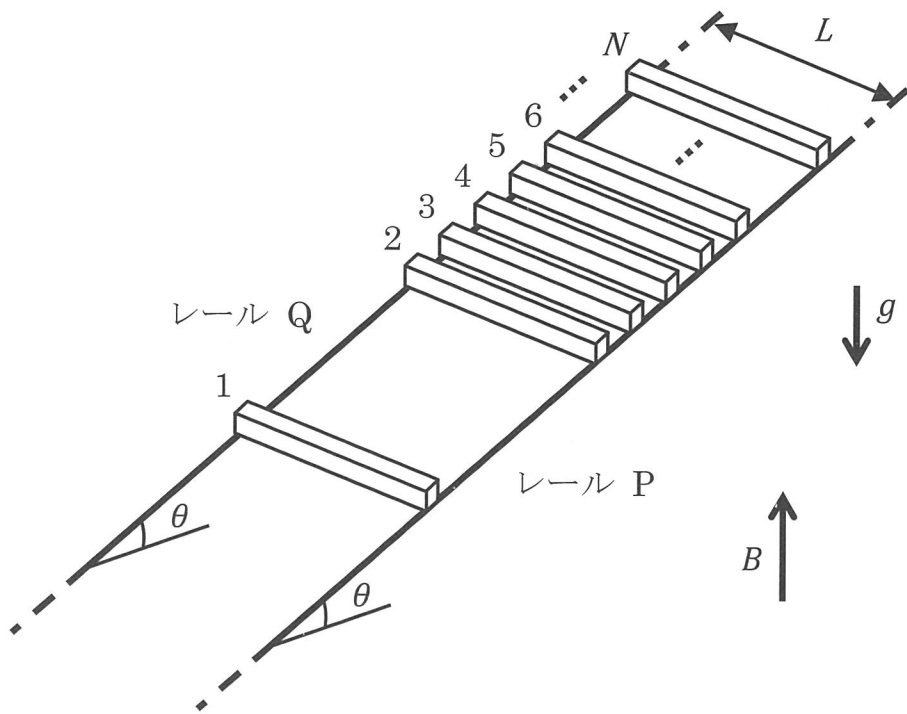
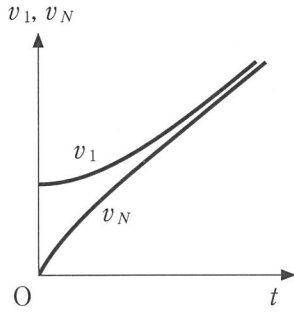


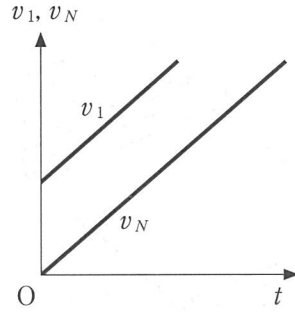
図 2

- (3) 棒 N の固定をはずしてからの経過時間 t に対して、 v_1 と v_N はどのように変化するか。以下の説明とグラフの中から最も適当なものを選べ。なお、一般に加速度 a および速度 v をもつ物体の運動が $a = -Kv$ (K は正の定数) を満たす場合、 v は時間の経過とともに 0 に近づく。

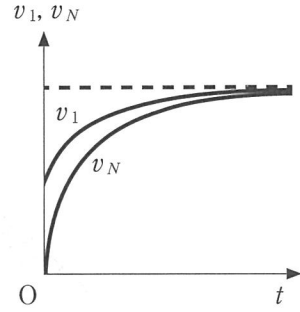
ア. v_1 と v_N は最終的にはともに増加し、その差は小さくなる。



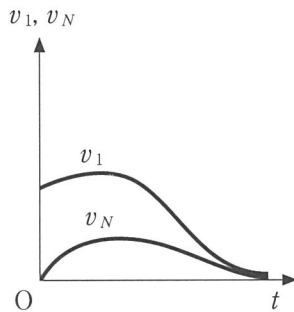
イ. v_1 と v_N は一定の差を保ったまま、ともに増加する。



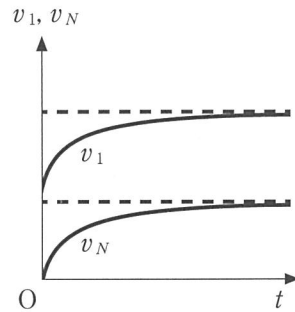
ウ. v_1 と v_N はともに増加し、共通の定数に近づく。



エ. v_1 と v_N は最終的にはともに減少し、0に近づく。



オ. v_1 と v_N はともに増加し、異なる定数に近づく。



(4) 棒1と棒 N の間の距離は時間が経つにつれてどのように変化するか。以下の中から最も適当なものを選べ。

ア. 大きくなる

イ. 一定値に近づく

ウ. 小さくなる

第3問 図3—1のように下端の開口部から水が自由に出入りできる筒状容器の上部に質量の無視できる単原子分子の理想気体1モル，下部には水が満たされている。容器の質量は m ，底面積は S であり，その厚さは無視できる。容器は傾かずに鉛直方向にのみ変位する。容器外の水面における気圧を P とする。水の密度 ρ は一様であるとし，気体定数を R ，重力加速度の大きさを g とする。以下の設問に答えよ。ただし，物体の受ける浮力の大きさは，排除した水の体積 V を用いて ρVg と表され，深さ h での水圧は $P + \rho gh$ で与えられる。

I 図3—1のように容器の上部が水面から浮き出ている場合を考える。

- (1) 容器が静止しているとき，容器内の水位と外部の水位の差 d (図3—1) を求めよ。
- (2) 設問 I (1) の状態から容器をひき上げて水位が容器の内と外で同じになるようにした。このとき気体の体積はもとの体積の r 倍であった。 r を ρ ， d ， g ， P を用いて表せ。ただし，気体の温度変化はないものとする。

II 図3—1の状態において気体の温度は T であった。これを加熱したところ，容器は水面に浮いたままゆっくりと上昇し，気体の体積は $\frac{6}{5}$ 倍になった。

- (1) この過程において気体がした仕事 W を R ， T を用いて表せ。
- (2) この過程において気体が吸収した熱量 Q を R ， T を用いて表せ。

III 図3—2のように容器全体が水中にある場合を考える。

- (1) 容器に働く合力が0となるつり合いの位置の深さ h (図3—2) を求めよ。ただし，気体の温度を T とし， $\frac{\rho RT}{mP}$ は1より大きいとする。

(2) 設問Ⅲ(1)のつり合いの位置に容器を固定したまま水面を加圧して P の値を大きくし、その後容器の固定をはずした。加圧前と比べてつり合いの位置はどうか。また固定をはずしたあとの容器の動きはどうか。以下から最も適当なものを選べ。

- ア. つり合いの位置は深くなる。容器は上昇する。
- イ. つり合いの位置は深くなる。容器は下降する。
- ウ. つり合いの位置は浅くなる。容器は上昇する。
- エ. つり合いの位置は浅くなる。容器は下降する。
- オ. つり合いの位置は変わらない。容器は動かない。

Ⅳ 図3—3のように筒状容器全体が水中にあり、容器内の気体と水が水平な仕切りで隔てられている場合を考える。気体に熱の出入りはない。仕切りは上下に滑らかに動くことができ、その体積と質量は無視できる。以下の過程では気体の圧力と体積は「(圧力) × (体積) ^{$\frac{5}{3}$} = 一定」という関係式を満たす。

- (1) はじめに、気体の体積は V_1 、温度は T_1 であった。容器に外力を加えてゆっくりと沈め、気体の体積を V_2 にした。この過程における気体の内部エネルギーの変化 ΔU を R 、 T_1 、 V_1 、 V_2 を用いて表せ。
- (2) 設問Ⅳ(1)の過程において容器に加えた外力のする仕事を W とすると、一般に W と ΔU は一致しない。差 $W - \Delta U$ に含まれる仕事やエネルギーとしてはどのようなものがあるか挙げよ。(60字以内)

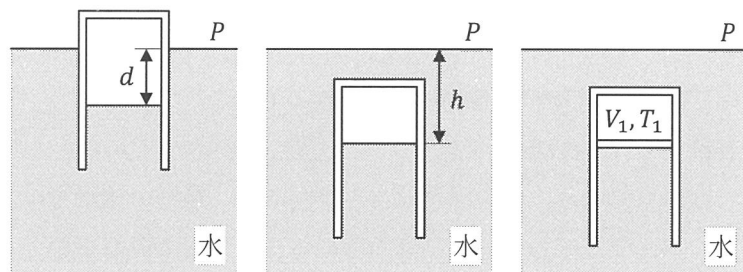


図3—1

図3—2

図3—3