

1 (50点)

[A] 図1のように、水平で滑らかな床の上に一辺の長さ L 、質量 M の立方体を置く。立方体と床の間には摩擦がはたらかないものとする。立方体の一面は高さが L の壁と平行に向かい合っている。立方体の右上の辺の midpoint と壁の上端を質量の無視できる長さ $2s$ の糸でつなぎ、その中央に大きさが無視できる質量 $\frac{M}{3}$ のおもりを取り付ける。立方体の材質は一様で、その中心に重心があり、立方体の重心、糸、おもりは常に同一鉛直面内にあるものとする。 $s < L$ であり、おもりが床と接触することはない。

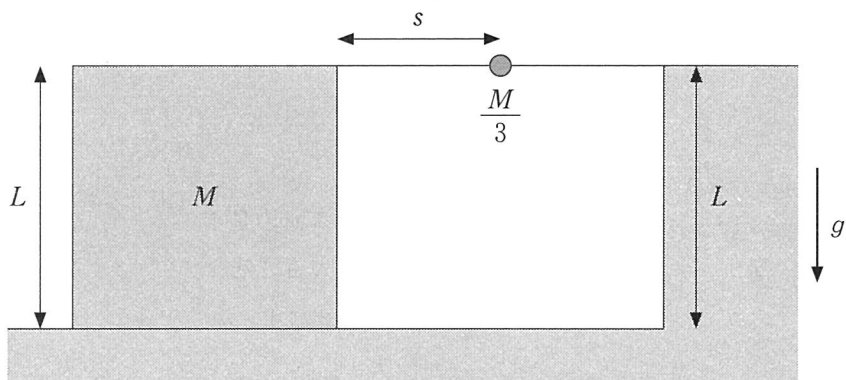


図1 (側面図)

おもりを高さ L まで持ち上げ、糸がたるまないように立方体の位置を調節した。そのあとおもりを静かに放したところ、立方体は壁のほうへ向かって滑り出した(図 2)。ただし、運動の途中で立方体が傾いたり、糸がたるんだりすることはないものとする。

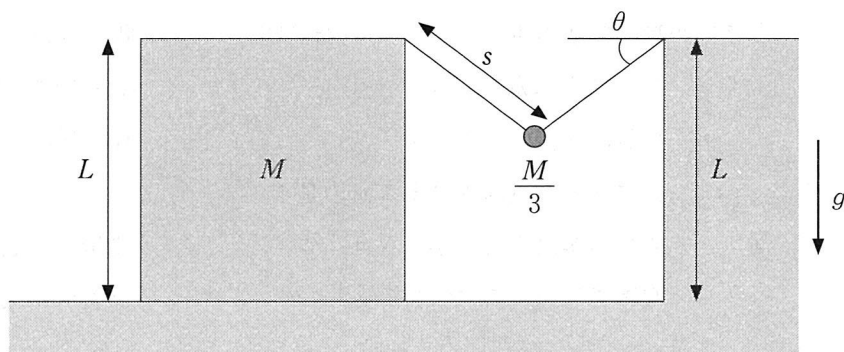


図 2 (側面図)

糸と水平面のなす角を θ 、おもりと立方体をつなぐ糸の張力の大きさを T_1 、おもりと壁をつなぐ糸の張力の大きさを T_2 とする。図の右向きを正として、立方体の速度、加速度をそれぞれ V 、 a とする。おもりを放してからおもりが最下点に到達する直前までの運動について、以下の問に答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

- (a) おもりの水平方向の速度と水平方向の加速度を、右向きを正として、それぞれ V と a を用いて表せ。
- (b) 糸の張力の大きさについて、それらの比 $\frac{T_2}{T_1}$ の値を求めよ。
- (c) 糸の傾きが $\theta = \frac{\pi}{6}$ に達したときの立方体の速度 V を M 、 L 、 s 、 g のうち必要な記号を用いて表せ。
- (d) 糸の傾きが $\theta = \frac{\pi}{6}$ に達したときの張力の大きさ T_2 を M 、 L 、 s 、 g のうち必要な記号を用いて表せ。

〔B〕 図3のように、水平な床の上に一辺の長さ L 、質量 M の立方体を置く。ただし今度は、立方体と床の間に摩擦がはたらくものとする。立方体の一面は高さが L の壁と平行に向かい合っている。立方体が動かないように手で押さえながら、立方体の右上の辺の midpoint と壁の上端を、質量の無視できる長さ $11d$ の糸でつなぐ。さらに、糸の中央に対して左右対称になるように、大きさが無視できる質量 m のおもりを等間隔 d で10個取り付ける。おもりが床に接することはなく、糸の中央における張力の大きさは T であった。立方体の材質は一様で、その中心に重心があり、立方体の重心、糸、全てのおもりは常に同一鉛直面内にあるものとする。

この状態で静かに立方体から手をはなす。立方体の質量や、立方体と床の間の静止摩擦係数を変えて実験を繰り返したところ、立方体が床の上を滑る場合、傾く場合、動かずに静止し続ける場合などがあった。重力加速度の大きさを g として以下の問に答えよ。

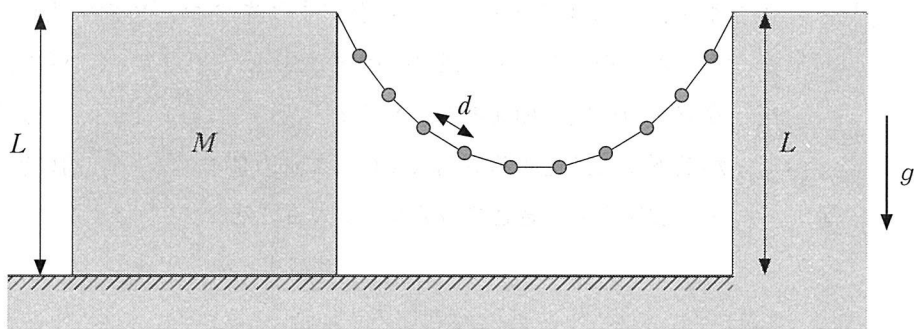


図3 (側面図)

- (e) 立方体が動かないように手で押さえているときに、立方体に接続されている点にはたらく糸の張力の大きさを求めよ。 L, T, M, m, d, g のうち必要な記号を用いて表せ。
- (f) 立方体と床の間の静止摩擦係数が十分大きい場合に、立方体の質量を変化させて実験を繰り返した。すると、立方体の質量がある質量 M_1 よりも大きいときには立方体は動かずに静止したが、それよりも少し小さい場合には立方体が右下端を中心に滑ることなく傾き始めた。ただし、立方体が傾いても立方体と床の間の静止摩擦係数は変化しないものとする。 L, T, m, d, g のうち必要な記号を用いて M_1 を表せ。
- (g) 立方体と床の間の静止摩擦係数を、問(f)の実験よりも小さな値 μ にして、問(f)と同様の実験を再び行った。すると、今度は立方体の質量がある値 M_2 よりも大きいときには立方体は静止したが、 M_2 よりも少し小さい場合には傾くことなく壁の方へ滑り始めた。 L, T, m, d, μ, g のうち必要な記号を用いて M_2 を表せ。

2

(50点)

図1のように、半径 a の円形導線が水平面上に固定されている。円形導線の中心を通る鉛直軸の周りに、コの字型部分を含む導線 $OPQQ'P'O'$ が回転する機構がある。以降、この導線 $OPQQ'P'O'$ を回転子と呼ぶ。4つの点 O, P, P', O' は回転軸上にあり、 $PQQ'P'$ は長方形をなす。辺 PQ の長さを a 、 QQ' の長さを b とする。導線 QQ' は円形導線と滑らかに接触しており、また回転子は接点 O, O' を介して右の回路と滑らかに接触している。また点 P において、長さ d の絶縁体棒が導線 PO に対して垂直に取りつけられている。棒の先端 A に、円周方向の力(大きさ F)をかけることによって、回転子を回転させることができる。点 Q, P, A は同一直線上にある。

右の回路には、抵抗値 R の抵抗が2つ、電気容量 C のコンデンサーが1つ、そして、電圧 V_0 の電池が1つ接続されている。接点 O の電位をゼロとし、はじめコンデンサーには電荷がなかったものとする。 $S1 \sim S5$ はスイッチを表し、回路を構成している導線や接点の抵抗は無視できるものとする。円形導線および回転子のインダクタンスは無視できるものとして、以下の各問に答えよ。

[A] 磁束密度 B の一様な磁場が鉛直上向きにかかっている。以下の問(a)~(d)に答えよ。ただし問(a)~(d)において、スイッチ $S1$ は常に開いているものとする。

(a) すべてのスイッチが開いた状態で、点 A を上から見て反時計回りに一定の速さ v で回転させた。点 Q における電位を符号も含めて答えよ。

(b) スイッチ $S3$ と $S4$ のみを閉じた状態で、点 A を上から見て反時計回りに一定の速さ v で回転させた。時刻 $t=0$ においてスイッチ $S2$ を閉じたが、加える力の大きさ F を調整することで、点 A をそのまま一定の速さ v で回転させることができた。スイッチ $S2$ を閉じる直前の力の大きさ F_0 、閉じた直後の力の大きさ F_1 、および閉じてから十分に時間 t が経過した後の力の大きさ F_2 を求めよ。

(c) 問(b)において、点Aに加える力の大きさが F_0 、 F_1 、 F_2 と変わっていく様子を答案用紙のグラフに描け。縦軸に F_0 、 F_1 、 F_2 を記入すること。なお、縦軸の原点は、縦軸と横軸の交差する点とする。

(d) スイッチS2とS5のみを閉じた状態で、回転子が静止した状態を保つためには、点Aにどれだけの力を加える必要があるか。その大きさを求めよ。

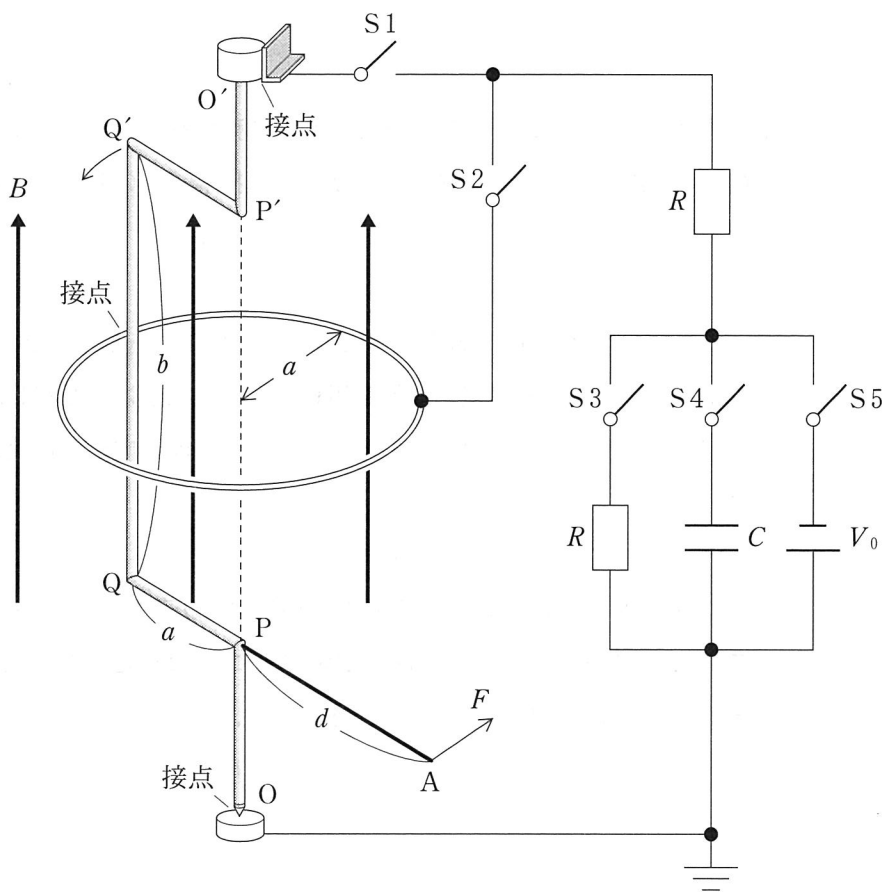


図1

[B] 今度は図2のように、磁束密度 B の一様な磁場を水平方向にかけた場合を考える。図1の電池をはずし、代わりに自己インダクタンス L のコイルをつなぐ。はじめコンデンサーに電荷はなかったものとする。以下の問(e)~(h)に答えよ。ただし問(e)~(h)では、スイッチ $S1$, $S4$, $S5$ は常に閉じていて、 $S2$ と $S3$ は常に開いているものとする。

(e) 点 A を上から見て反時計回りに一定の速さ v_e で回転させたところ、接点 O' の電位が時間と共に周期的に変化した。その電位の振幅はいくらか。

(f) 問(e)において、コンデンサーとコイルに流れる電流を、それぞれ $I_C(t)$, $I_L(t)$ とする。 $I_L(t)$ の振幅 I_{L0} と $I_C(t)$ の振幅 I_{C0} の比 $\frac{I_{L0}}{I_{C0}}$ の値を求めよ。

(g) ここで、 $I_C(t)$ が図3のグラフに示すような変化をしたとき、 $I_L(t)$ はどのようなになるか。その概形を答案用紙のグラフに描け。ただし、図2において、コンデンサーとコイルのそばに示した矢印の向きを電流の正の向きにとる。

(h) 点 A を上から見て反時計回りに、ある一定の速さ v_h で回転させたところ、点 A に加える力の大きさ F が常にゼロとなった。このときの $I_C(t)$ と $I_L(t)$ の関係を求めよ。また v_h を求めよ。

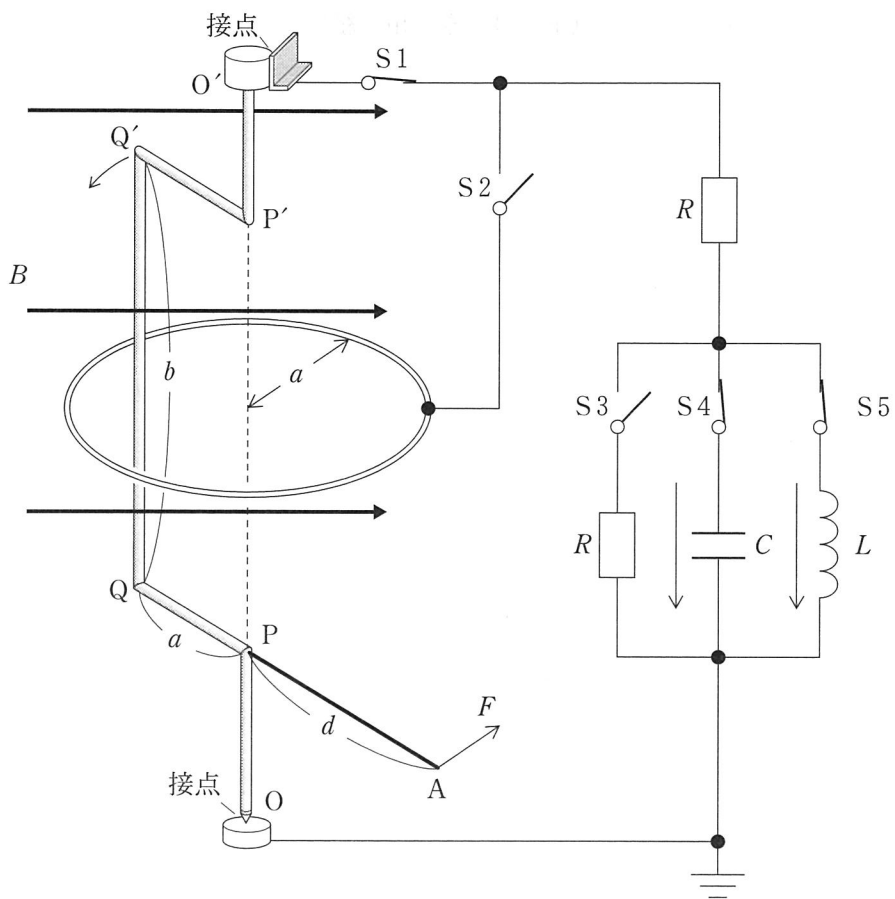


图 2

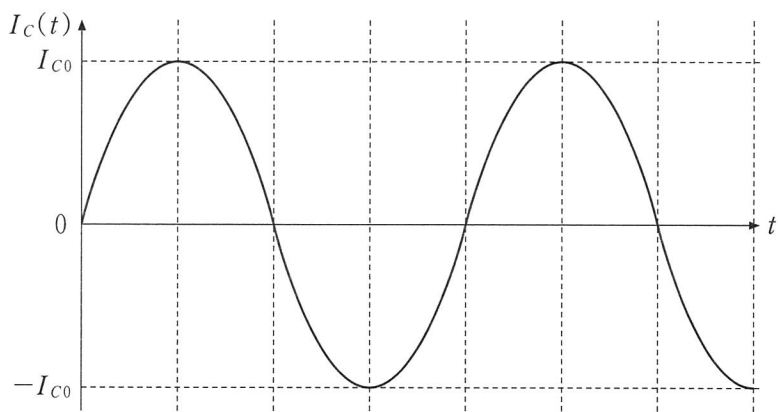


图 3

3

(50点)

図1のように、断面積 S の容器 A と断面積 $\frac{1}{2}S$ の容器 B が、実験室の天井に吊るされており、容器 A の底と容器 B の底はなめらかに動くことのできる細管で接続されている。容器 A は、質量が無視でき自由に動くことができるピストンで仕切られており、ピストンの上側には理想気体が満たされている。気体定数 R を用いて、この理想気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ 、定圧モル比熱は $\frac{5}{2}R$ で与えられる。図1のように、ピストンの下側から容器 B の下部に至るまで、細管を通じて密度 ρ の液体が満たされている。細管は十分に細く、細管や細管中の液体の質量は無視できる。また、ヒーターによって容器 A の理想気体を加熱することができる。ただし、理想気体が容器やピストンや液体と熱のやりとりをすることはしないものとする。容器 B の上部は一定圧力 p_0 の大気に開放されている。容器 A は伸び縮みしないワイヤーで固定されている。一方、容器 B は伸び縮みしないワイヤー、またはばねで吊るすことができ、容器 B とばねの質量は無視できるものとする。

理想気体の圧力は容器 A の中で一様とする。容器 A と B の液面は、それぞれの容器の底や上面に達することはないものとする。重力加速度の大きさを g として、以下の問に答えよ。

[A] 容器 A の液面と容器 B の液面が同一水平面上に位置するように、適当な長さのワイヤーを用いて容器 B を吊るした。この状態を初期状態とし、このときの理想気体の体積を V_0 とする。

(a) 初期状態からヒーターで理想気体をゆっくりと加熱したとき、理想気体の体積が ΔV だけ増加した。このときの理想気体の圧力 p_a を求めよ。ただし、 S 、 V_0 、 ΔV 、 g 、 p_0 、 ρ のうち必要な記号を用いて答えよ。

(b) 問(a)の過程における理想気体の圧力 p と体積 V の変化を、答案用紙のグラフに記入せよ。ただし、 p_0 、 p_a 、 V_0 、 $V_0 + \Delta V$ の座標はグラフに示されている。

また、この過程において理想気体がした仕事 W_a を、 ΔV 、 p_0 、 p_a を用いて答えよ。

(c) 問(b)で求めた仕事 W_a は、重力による液体の位置エネルギーの変化に費やされただけでなく、他の仕事 W_a' にも費やされている。 W_a' が何に対する仕事であるかを答えるとともに、 W_a' を S 、 V_0 、 ΔV 、 g 、 p_0 、 ρ のうち必要な記号を用いて表せ。

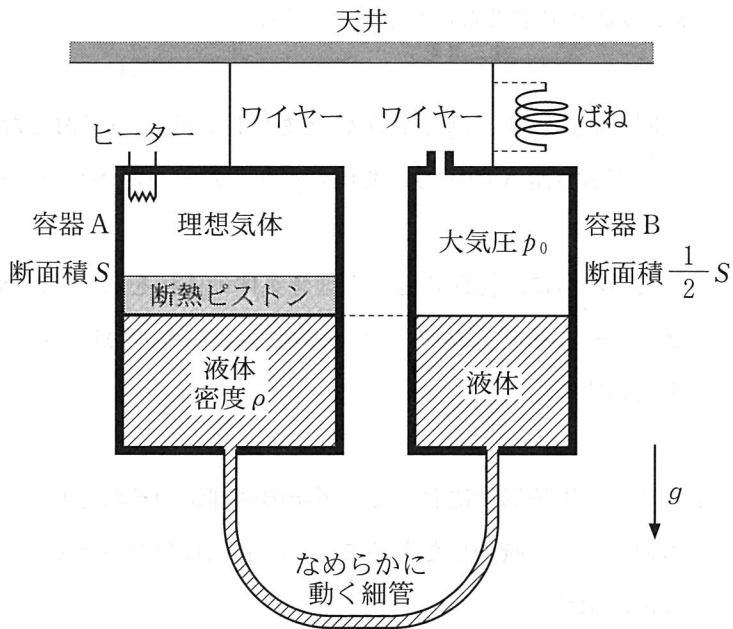


図 1

[B] 図2のように、種々のばね定数をもつばねで容器Bを吊るす。どのばねを用いた場合でも、容器Aの液面と容器Bの液面が同一水平面上に位置するように容器Aのワイヤーの長さを調整し、これを初期状態とする。初期状態における理想気体の体積は V_0 である。

以下の問題においては、容器Aと容器Bの間で液体が移動し、ばねの伸びも変化するが、常に力のつり合いがとれていると仮定してよい。また、細管がばねの伸び縮みや容器Bの動きを妨げることはないものとする。

(d) 初期状態から、ヒーターで理想気体をゆっくりと加熱すると、理想気体の体積が ΔV だけ増加した($\Delta V > 0$)。このときの理想気体の圧力 p_d を求めよ。ただし、用いたばねのばね定数を k とする。 S , V_0 , ΔV , g , k , p_0 , ρ のうち必要な記号を用いて答えよ。

(e) 問(d)の実験を、ばね定数 k_e をもつばねを用いておこなったところ、加熱しても容器Aの圧力は変化しなかった。ばね定数 k_e を S , g , ρ を用いて表せ。

この場合に、初期状態から理想気体の体積を ΔV だけ増加させるためにヒーターが理想気体に与えた熱量 Q_e を、 V_0 , ΔV , p_0 のうち必要な記号を用いて答えよ。

(f) 問(e)の実験過程において、下記の物理量のそれぞれについて、増加したものに「+」、減少したものに「-」、変化しなかったものに「0」の記号を解答欄に記せ。

- ・理想気体の内部エネルギー U
- ・容器Bの液面から天井までの距離 d
- ・重力による液体の位置エネルギー E_L
- ・ばねの弾性力による位置エネルギー E_E
- ・位置エネルギーの合計 $E_L + E_E$

- (g) 問(d)の実験を適当なばね定数をもつばねを用いておこなうと、加熱しているにもかかわらず、温度が下がる場合がある。あるばねを用いて実験をしたところ、初期状態からの体積変化が $\Delta V = \frac{1}{4} V_0$ に達したとき、理想気体の絶対温度は初期状態の絶対温度の $\frac{15}{16}$ 倍となった。この過程における理想気体の圧力 p と体積 V の変化を、答案用紙の圧力 p -体積 V グラフに実線で記入せよ。ただし、 $\Delta V = \frac{1}{4} V_0$ をみたく $V_0 + \Delta V$ の座標がグラフに示されており、 $\frac{1}{4} V_0$ を超える体積変化はさせないものとする。また、この過程で加えたヒーターの熱量 Q_g を、 V_0 、 p_0 を用いて表せ。

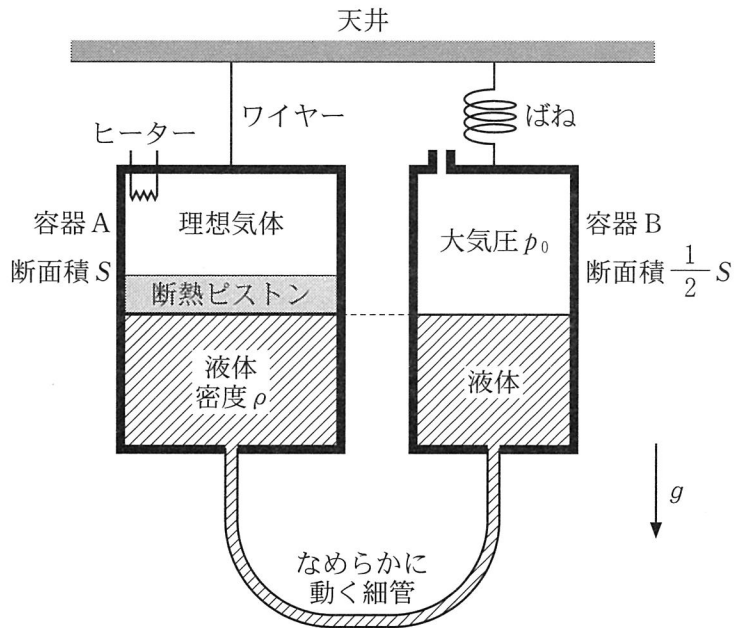


図 2