物　　理　（その１）

第1問

図のように、なめらかで水平な床の上に直角三角形の形をした台を置く。台の直角になっている角には軽くてなめらかな滑車が取り付けてある。以下では、滑車も含めて単に“台”ということにする。

軽くて丈夫なひもの端におもりPをその他端におもりQをとりつけ、ひもを滑車にかけて、おもりP、Qを斜面にのせる。また、ひもは常に台の斜面と平行になっているものとする。台の図中での左右の斜面は共になめらかである。

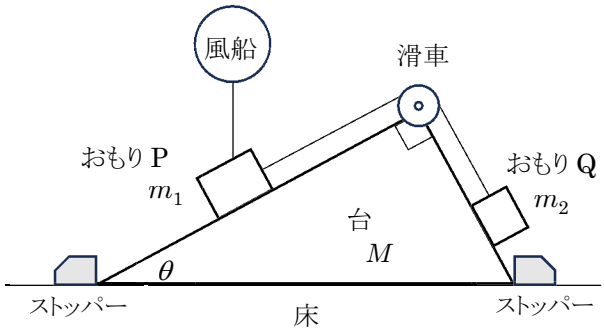


図1-1

おもりPの質量を m_1 、おもりQの質量を m_2 、台の質量を M 、重力加速度の大きさを g とする。台の図中左側の傾斜角を θ（ただし、$0<\theta<45^\circ$ ）とする。

[A] はじめ、台の左右にストッパーを設けて、台が床に対して滑らないようにする。

この状態で、おもりPに風船を軽い糸でとりつけて風船に働く浮力の大きさを調節し、おもりP、Qが斜面に接した状態で全体を静止させた。ここで、おもりPと風船をつなぐ糸は鉛直になっているとする。

問1　おもりPとQを結ぶひもの張力の大きさを求めよ。

問2　おもりPと風船を結ぶ糸の張力の大きさを求めよ。

問3　おもりPが斜面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。

問4　台が床から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。

続いて、おもりPから風船を取り外し、おもりPとQを静かにはなすとおもりPが斜面を下り始めた。このとき、

問5　m_1 は m_2 の何倍より大きいか答えよ。

問6　おもりPとQを結ぶひもの張力の大きさを求めよ。

問7　おもりPの加速度の大きさを求めよ。

物　　理　（その２）

[B]　つぎに、台の両端に設置したストッパーを取り除いて、おもりと台の全体を静止させた後、静かにはなすと台とおもりが動き出した（**図1-2**）。おもり P の最初の斜面上の位置を点 A とする。点 B は斜面に沿って点 A から距離 L だけ下にある斜面上の点である。

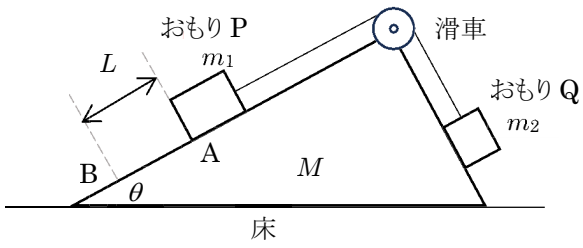


図1-2

問8　おもり P が点 A から斜面をすべって点 B に達する間に、台の重心が床に対して移動する距離を求め、さらに図中の左右どちら向きに動くか解答欄に「左向き」または「右向き」で答えよ。求める過程・考え方が分かるように説明を記述すること。

おもり P が斜面を下りている間における、斜面から見たおもり P の加速度の大きさを α、床に対する台の加速度の大きさを β、ひもの張力の大きさを T、おもり P と台との間の垂直抗力の大きさを N_P、おもり Q と台との間の垂直抗力の大きさを N_Q として、以下の問いに答えよ。

問9　おもり P が接する斜面から見た、おもり P の斜面方向の運動方程式を立てよ。

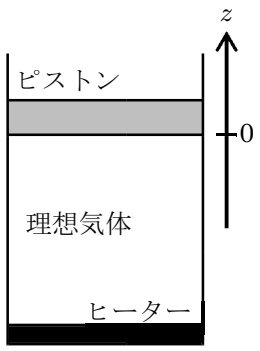
問10　おもり Q が接する斜面から見た、おもり Q の斜面方向の運動方程式を立てよ。

問11　床に対する台の水平方向の運動方程式を立てよ。

物　　理　（その３）

第2問

図のように鉛直に立ったシリンダー内に質量 M のピストンで理想気体が封じられている。シリンダーとピストンは断熱材でできており、内部にヒーターが取り付けられている。ただし、ヒーターの熱容量は無視できるとする。ピストンは水平を保ちながらシリンダー内をなめらかに動くとする。最初、ピストンがつりあって静止した状態でシリンダー内の気体の圧力、体積、絶対温度はそれぞれ P_0、V_0、T_0 であった。図のように鉛直上向きを正として z 軸を取り、最初のピストンの位置を $z=0$ とする。シリンダーの断面積を S、大気圧を P_A、重力加速度の大きさを g とする。



まず、ピストンに鉛直上向きの外力を加え、力のつり合いを保ちながらゆっくりとピストンを引き上げた。その間、気体の温度が一定のままになるようにヒーターで熱を加えた。ピストンの位置が $z=h_1$ になったところでヒーターを停止しピストンを止めると、気体の圧力は P_1 になった。

問１　ピストンが $z=0$ から $z=h_1$ へ動く間に大気圧と重力がピストンにした仕事をそれぞれ求めよ。

問２　気体の内部エネルギーの増加量を求めよ。

問３　ピストンが $z=0$ から $z=h_1$ へ動く間に外力がピストンにした仕事を W としたとき、ヒーターで気体に与えた熱量を W、M、P_A、h_1、S、g で表せ。

問４　P_1 を P_0、V_0、S、h_1 で表せ。

問５　ピストンが $z=h_1$ にあるときの外力の大きさを P_0、V_0、S、h_1 で表せ。

つぎに、ヒーターを停止したまま、ピストンに働く力のつりあいを保ちながら外力の大きさを徐々に小さくするとピストンがゆっくりと動いた。外力の大きさが 0 になるとピストンは $z=h_2$ の位置で静止し、気体の絶対温度は T_2 になった。

問６　ピストンが $z=h_1$ から $z=h_2$ へ動く間に外力がピストンにした仕事を W' とする。W' の正負について、選択肢 ｛（ア）正、 （イ）負、 （ウ）どちらともいえない ｝ の中から正しいものを選び記号で答えよ。また、このときの気体の内部エネルギーの増加量を W'、M、P_A、h_1、h_2、S、g で表せ。

問７　比熱比を γ として、h_2 と T_2 を V_0、T_0、S、h_1、γ のうち必要な記号を用いて表せ。
ただし、断熱変化における圧力と体積の関係 (圧力)×(体積)$^{\gamma}$=(一定) を用いてよい。

物　　理　（その４）

第３問

最初、音源 A、観測者、音源 B が図のような順で直線上に並んで静止している。音源 A と音源 B はともに図中の左右に向けて振動数と音の大きさが等しい音波を同位相で発生する。音の減衰は無視でき、互いの音は互いの音源によって反射､吸収されることなく通過する。音源 A と音源 B が発生する音の振動数を f とし、音速を V とする。

まず、観測者が音源 B に向かって速さ v で走り始めた。

問１　観測者が観測する 1 秒あたりのうなりの回数を求めよ。

続いて、音源 B が速さ v_B で音源 A から離れる向きに走り始めた。このとき、観測者は音源 A と音源 B の間を走行中であった。

問２　観測者が観測する 1 秒あたりのうなりの回数を求めよ。

問３　音源 B がある速さのとき、うなりが聞こえなくなる。うなりが聞こえなくなるときの v_B を v と V で表せ。

さらに、音源 B が静止し音源 B へ向かって走行中の観測者も静止すると、音が全く聞こえなくなった。そこから音源 B に向かってゆっくり移動すると音が聞こえ始め、ある距離進むと聞こえる音の大きさが最大になった。さらに進むと再び音が小さくなり、聞こえなくなった。この音の大きさの変化は観測者が音源 B に達するまで繰り返し生じた。

問４　観測者が静止した地点からゆっくり移動して最初に音の大きさが最大になった地点までの距離を求めよ。

そして、観測者が音源 B を通過すると音が聞こえなくなった。

問５　音源 A と音源 B の間の距離を f、V、n (n＝1, 2, 3, …)を用いて表せ。

物　　理　（その５）

第4問

真空中に、右図（**図4-1**）のような2本の平行な金属レールと直線導線と導体棒 PQ でつくった装置を考える。

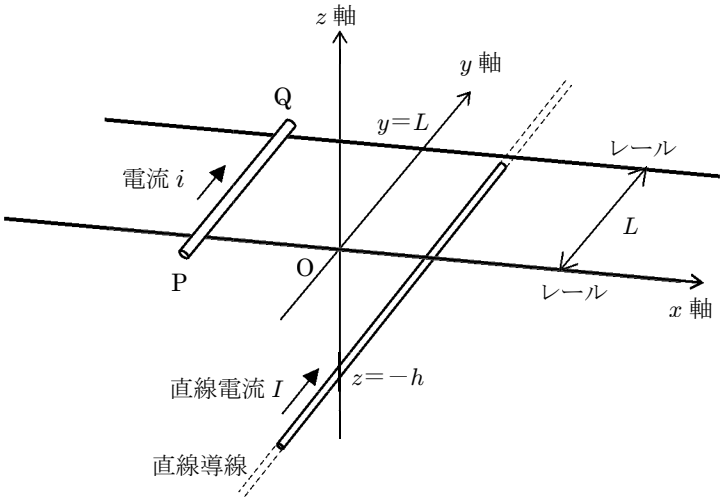


図4-1

点 O を原点として水平面上に xy 軸をとり、鉛直上向きに z 軸をとる。2本の平行なレールは xy 平面上で、一方が x 軸と重なり、もう一方のレールが $y=L$ になるように設置されている。直線導線は yz 平面上 $z=-h$ （$h>0$）の位置に y 軸と平行にあり、十分に長いものとする。この直線導線に流れる電流の大きさを I とする（以降、直線電流 I と呼ぶことにする）。導体棒 PQ には一定の大きさ i の電流が直線電流 I と同じ向きに流れているとする。導体棒 PQ の質量を M、真空の透磁率を μ_0、円周率を π、重力加速度の大きさを g とする。導体棒 PQ は y 軸（および直線電流 I）に対して常に平行を保ったまま、なめらかに動くものとする。また、直線電流 I がつくる磁場以外の磁場の影響は無視できるものとする。

問1　直線電流 I が、点 O につくる磁束密度の大きさを答えよ。

導体棒 PQ をレールの上に置き、$x=A$ （$A>0$）の位置で静かに手をはなす。**図4-2**は横から（y 軸方向に）見た図である。

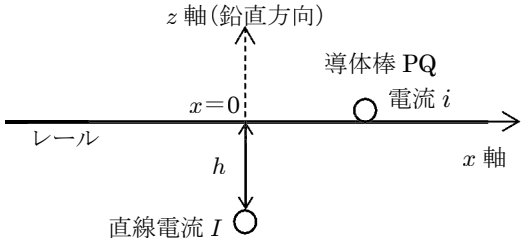


図4-2

問2　導体棒 PQ の x 座標が x のとき、導体棒 PQ が直線電流 I のつくる磁場から受ける力の大きさを求めよ。

問3　導体棒 PQ の x 座標が x のとき、導体棒 PQ がレールから受ける垂直抗力の大きさを求めよ。

問4　x 軸正の向きを力の正の向きにとり、導体棒 PQ の加速度を α として、導体棒 PQ の x 軸方向の運動方程式を立てよ。

問5　$A \ll h$ のとき、導体棒 PQ は単振動をする。この周期を求めよ。

物　　理　（その６）

つぎに、直線電流 I と導体棒 PQ の位置を上下逆にする（**図4-3**）。**図4-3**は横から（y 軸方向に）見た図であり、図中の下向きが鉛直下向きである。

導体棒 PQ をレールの下側に接するように置き静かに手をはなす場合を考える。静かに手をはなす位置が点 O に近いとき、導体棒 PQ はレールに接した状態で運動を始めたが、手をはなす位置が $x>2h$ にあるときにはレールから離れて落下した。

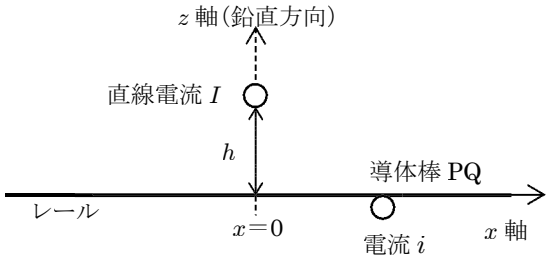


図4-3

問6　直線電流 I の大きさを求めよ。

問7　直線電流 I の大きさを前問で求めた大きさにする。導体棒 PQ の x 座標が x のとき、レールから受ける垂直抗力の大きさ $N_{PQ}(x)$ を x、M、h、g を用いて表し、さらに $-2h \leqq x \leqq 2h$ の範囲で、横軸を x にとって $N_{PQ}(x)$ のグラフの概形を描け。