

物理基礎・物理 (その1)

第1問 大きさの無視できるボール1(質量 m) と大きさの無視できるボール2(質量 M) を、**図1**のように地表から高さ H のところから初速度ゼロで落下させる。ボール1と2は鉛直方向の同じ直線上を運動する。先にボール2を落下させ、次にボール1を落下させると、ボール2は地表に衝突してはね返り、落下してきたボール1と地表から高さ h のところで衝突した。重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗はないとする。また、地表とボール2の衝突と、ボール1と2の衝突においては、どちらもはね返り係数は1である。

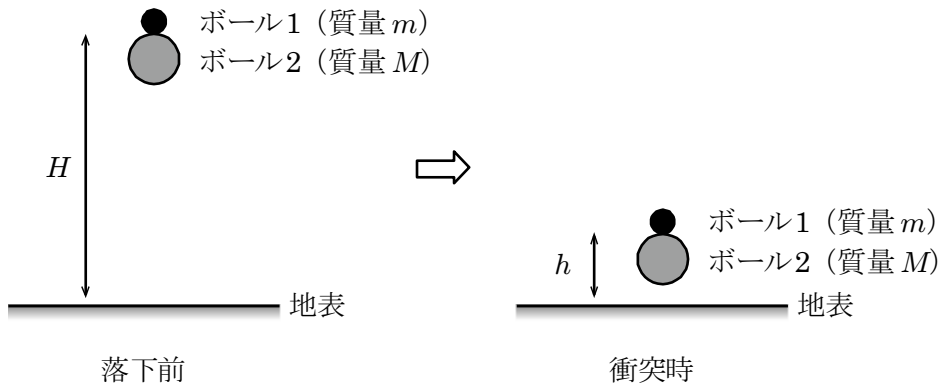


図1

問1 ボール2が地表と最初に衝突する直前の速さを答えよ。

問2 ボール1と2が最初に衝突する直前のボール2の速さ v を答えよ。

問3 ボール1と2が最初に衝突した直後のボール1と2の速度をそれぞれ v , m , M を使って表せ。その際、鉛直上向きを正とせよ。

問4 ボール1が最初に衝突した後に到達する最高点の地表からの高さは、 m/M の値に応じて変化するが、ある上限を超えることはない。この上限の値は H の何倍か。数値で答えよ。ただし、 $h = 0$ とみなしてよい。答えを求める過程も記述すること。

物理基礎・物理 (その2)

第2問 図2-1のように磁石が作る磁場の中に円形導線(コイル)をおき、コイル面と垂直な方向に速さ v で動かして磁石に近づける。ここで、コイル面とはコイルを含む平面のコイルの内側の部分である。コイル上の磁束密度の大きさは B であり、磁束密度の方向はコイルと垂直で(図2-2)、コイル面と角度 θ をなしている(図2-3)。磁束密度はコイル面の中心を垂直に通る直線の周りの回転に対して対称である。

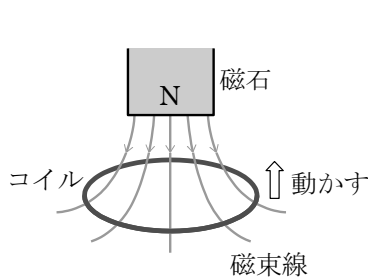


図2-1

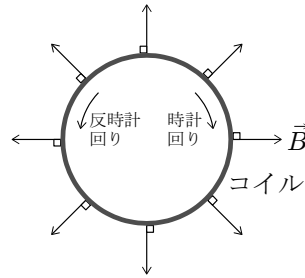


図2-2: 磁石側から見た図

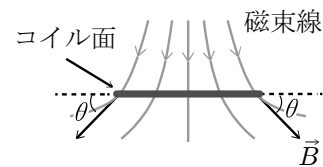


図2-3: コイルを横から見た図

問1 コイル内に自由に動くことができる電気量 q ($q > 0$)の点電荷があるとする。この点電荷が受けるローレンツ力の大きさを答えよ。

問2 問1のローレンツ力を、電場から受ける力とみなす。この電場は点電荷がある位置での円の接線方向を向いている。この電場の大きさ E を答えよ。また、この電場の向きは、図2-2の時計回り・反時計回りのどちらか、解答用紙の「時計」もしくは「反時計」を丸で囲め。

コイルを微小時間 Δt 動かしたとする。図2-4は、動かす前と後のコイルの状態を表す。 Δt は十分に小さく、コイル上の各点における磁束密度はコイルを動かしている間、変化しないとみなしてよい。

動かす前のコイル面を S_1 、動かした後のコイル面を S_2 と呼ぶ。動いたコイルが掃く軌跡は円筒の側面の形になり、この円筒側面を S_3 と呼ぶ。コイルの半径は r である。

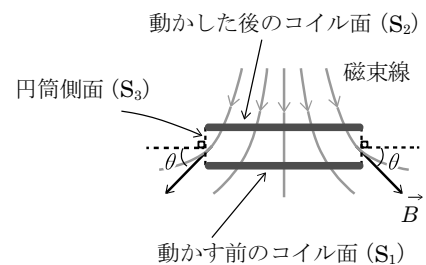


図2-4

問3 円筒側面 S_3 を貫く磁束 Φ_3 を v , B , θ , Δt , r の中から必要な記号を使って表せ。

問4 S_2 を貫く磁束線の本数は、 S_1 と S_3 を合わせた面を貫く磁束線の本数と等しい。 S_2 を貫く磁束 Φ_2 と S_1 を貫く磁束 Φ_1 の差、 $\Phi_2 - \Phi_1$ を v , B , θ , Δt , r の中から必要な記号を使って表せ。

問5 コイル面を貫く磁束が変化することによってコイルに誘導起電力が生じる。この誘導起電力の大きさ V を v , B , θ , Δt , r の中から必要な記号を使って表せ。

問6 問5で求めた誘導起電力の大きさ V は問2で求めた電場の大きさ E を使って、 $V = cE$ と表すことができる。この際の比例定数 c を答えよ。

物理基礎・物理 (その3)

第3問 点 O を中心とした球形の風船を考える。風船は膨張していて、球の半径は単位時間当たり一定の割合で大きくなっている。球面上の2点 A と B を考える。図3-1は点 AB を含み中心 O を通る球の断面を表している。ある時刻で球の半径は r であった。以下では図3-1の点 AB を結ぶ短い方の円弧の長さを“点 AB 間の距離”ということにする。角 AOB の角度は θ で、時刻によらない定数である。角度は弧度法で表している。

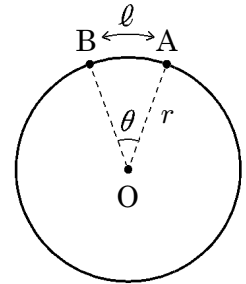


図3-1

問1 この時刻での点 AB 間の距離 l はいくらか。 r と θ を使って答えよ。

問2 時間が経過して球の半径が Δr 増加した(図3-2)。この時間での点 AB 間の距離の増加分 Δl はいくらか。 r , θ , Δr の中から必要な記号を使って答えよ。

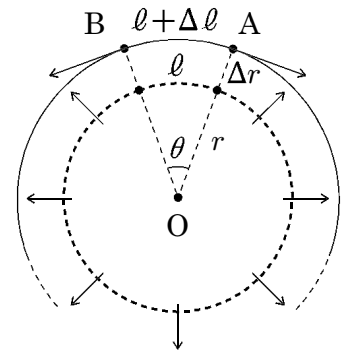


図3-2

問3 時間が経つにつれ点 AB 間の距離 l は増加している。この l の時間変化率 v はいくらか。 θ と V を使って答えよ。

時刻0で球の半径はゼロとする。

問4 時刻 t における球の半径 r を V と t を使って表せ。

問5 点 AB 間の距離 l の時間変化率 v は距離 l に依存し、以下のように表すことができる。

$$v = Hl$$

この H を t を使って表せ。

物理基礎・物理 (その4)

点 AB 間の距離 ℓ が分かっている場合、 ℓ の時間変化率 v をドップラー効果を利用して測定することで、風船が膨らみはじめてからの経過時間が分かる。

今、点 B には音波送信機が付いていて一定の振動数の音が発信されており、点 A にある受信機がこの音を観測しているとする(図 3-3)。球の半径は点 AB 間の距離に比べて十分大きく、点 AB 間の円弧は直線と見なせるものとする。このとき、点 AB 間の距離が時間変化率 v で増加しているため、点 A と B は直線上を同じ速さ $\frac{v}{2}$ で反対向きに動いているものとみなせる。音は大気を伝わり風はないとする。音が点 AB 間を伝わる間の点 AB 間の距離の変化や点 A、B が動く速さの変化は無視できるとする。

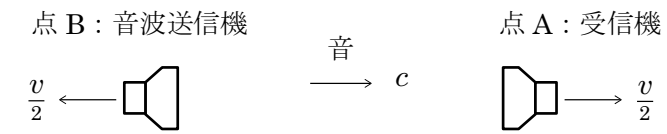


図 3-3

点 B にある音波送信機が発信する音の振動数を f 、点 A にある受信機が観測する音の振動数を f_L 、音速を c とする。点 A と B が大気に対して動く速さは $\frac{v}{2}$ である。

問 6 f_L はいくらか。 f 、 c 、 v で表せ。

問 7 $\frac{f_L}{f} = 1 - 10^{-4}$ であった。また、点 AB 間の距離は $\ell = 6.8 \text{ m}$ であった。風船が膨らみはじめたのはこの瞬間の何 s 前か。問 5 と問 6 の結果を用いて求めよ。有効数字 2 桁で答えること。ただし、音速 c は 340 m/s である。

物理基礎・物理 (その5)

第4問 図4-1のように、断面積 S のシリンダーと、質量をもつピストンでできた容器がある。その中に物質量 n の理想気体を封入し図4-1のように鉛直にたてる。ピストンとシリンダー間に摩擦はないが、ピストンを動かないように固定することもできる。気体定数を R 、気体の定積モル比熱を $3R/2$ 、大気圧を p_0 、重力加速度の大きさを g とする。以下、熱を与えたり奪ったりする以外には熱の出入りはないとする。



図4-1

はじめピストンは固定されていないが静止しており、気体の圧力は p_1 、体積は V_1 であった(状態A)。

問1 ピストンの質量はいくらか。

問2 気体の絶対温度はいくらか。

次に、ピストンを固定して、その後、シリンダーに高温熱源を接触させて気体に熱を与えると、気体は体積が V_1 のまま圧力が p_2 に上昇した(状態B)。

問3 状態A→状態Bの変化の間に気体に与えた熱量はいくらか。

この状態で、図4-2のように、ピストンの上に物体を載せてからピストンの固定を外すと、ピストンは静止したままであった。ピストンの固定を外し物体を載せたまま気体にさらに熱を与えると、気体は圧力が p_2 のまま膨張し体積が V_2 になった(状態C)。

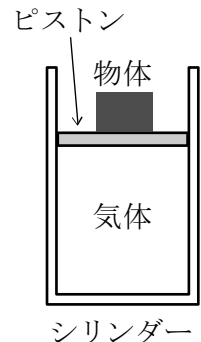


図4-2

問4 状態B→状態Cの膨張のとき、気体がした仕事はいくらか。

問5 状態B→状態Cの膨張のとき、気体に与えた熱量はいくらか。

次に、ピストンを固定して、ピストンに載せた物体を降ろし、その後、シリンダーに低温熱源を接触させて気体から熱を奪うと、気体は体積が V_2 のまま圧力が p_1 に減少した(状態D)。この状態でピストンの固定を外すと、ピストンは静止したままであった。その後、さらにシリンダーに低温熱源を接触させて気体から熱を奪うと、気体は圧力が p_1 のまま圧縮され体積が V_1 になった(状態Aに戻った)。

問6 状態AからB, C, Dを経てAに戻ってくる上述の変化を表す圧力-体積グラフを解答欄に書け。軸には適切な目盛りと記号を書き込むこと。

問7 この気体の変化を繰り返せば、高温熱源から熱を受け取り物体を高所に持ち上げる仕事をする熱機関になる。状態A, B, C, Dの気体の絶対温度を、それぞれ300 K, 600 K, 1000 K, 500 Kとする。この熱機関の熱効率はいくらか。有効数字2桁の数値で答えよ。