

受験番号

物 理

No. 1

問題用紙 4 枚, 解答用紙 3 枚, 3 題, 総点 120 点, 80 分  
解答はすべて解答用紙の所定の箇所に記入すること。  
問題用紙の裏面を計算用紙の代わりに使用しても良い。

I

1. 国際単位系では, 時間の単位は秒(s), 長さの単位はメートル(m), 質量の単位はキログラム(kg), 電流の単位はアンペア(A)を用いる。例えば, 力の単位であるニュートン(N)はこれらの単位を用いて,  $N = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$  と表される。このように, 物理量の単位は, 他の物理量の単位の組み合わせで表すことができる。これを踏まえ, 以下の問いに答えよ。

- (1) 仕事や電力量などのエネルギーの単位であるジュール(J)を kg, m, s を用いて表せ。
- (2) 電気量の単位であるクーロン(C)を A, s を用いて表せ。
- (3) 電圧(電位差)の単位であるボルト(V)を J, A, s を用いて表せ。
- (4) 電気抵抗の単位であるオーム( $\Omega$ )を V, A を用いて表せ。
- (5) 仕事率や電力の単位であるワット(W)を J, s を用いて表せ。
- (6) 仕事率や電力の単位であるワット(W)を V, A を用いて表せ。
- (7) 電力量の単位はジュール(J)のほか, ワット時(Wh)を用いる場合がある。1.0 Wh は何 J か有効数字 2 桁で答えよ。
- (8) 電子 1 個がもつ電気量を  $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  とする。導線に 1.0 A の大きさの電流が流れているとき, 導線の断面を 1.0 s の間に通過する自由電子の個数はいくらか。有効数字 2 桁で答えよ。

2. 次の文章を読み, 問い(1)~(3)に答えよ。ただし, 地球のもつ磁場である地磁気の大きさは十分に小さく, 無視できるものとする。

電流の周囲には磁場がつくられ, その磁場中に置かれた方位磁針は磁気力を受ける。磁針の N 極が指す向きが力の向き(磁場の向き)となる。図 1 では, 十分に長い 1 本の導線に, 紙面の表から裏の向きに直線電流が流れている。このとき, 導線の真南に位置する点 A に置かれた磁針が受ける力の向き(N 極の指す向き)は ( ① ) となる。

図 2 のように, 平行に並んだ十分に長い 2 本の導線を用意する。点 C は 2 本の導線の間中に位置し, 点 C と 2 本の導線は同一平面内にある。また, 点 C の真北にある点 B から 2 本の導線に下ろした垂線とこの平面のなす角は  $45^\circ$  とする。2 本の導線に, 紙面の表から裏の向きに電流を流したとき, 点 B と点 C に置かれた磁針の受ける力の向き(N 極の指す向き)を調べよう。

点 B の磁針は, 2 つの直線電流からそれぞれ力を受けることになる。まず始めに, 片方の導線にのみ電流を流した場合を考察する。左側の導線にのみ電流を流したとすると, 左側の導線によって点 B の磁針が受ける力の向きは ( ② ) となる。次に, 右側の導線にのみ電流を流したとすると, 点 B の磁針の受ける力の向きは ( ③ ) となる。2 本の導線に同じ大きさの電流を同時に流したとき, 磁針はこれら 2 つの力を同時に受けることになる。力はベクトルであり, これら 2 つの力は合成することができるので, 点 B の磁針の N 極の指す向き(合力の向き)は ( ④ ) となる。

同様に, 点 C の磁針も 2 つの直線電流からそれぞれ力を受けることになる。点 C の磁針が, 左側の導線から受ける力の向きは ( ⑤ ) であり, 右側の導線から受ける力の向きは ( ⑥ ) となる。左側の導線に比べて, 3 倍の大きさの電流が右側の導線に流れている場合, 力の大きさ(磁場の強さ)は ( ⑦ ) ので, これら 2 つの力の合力の向き(点 C の磁針の N 極の指す向き)は ( ⑧ ) となる。

図 3 では, 平行に並んだ十分に長い 2 本の導線に, 左側の導線には紙面の表から裏の向きに電流が流れ, 右側の導線にはそれとは逆向きに電流が流れている。2 本の導線に流す電流の大きさは同じとする。ただし, 点 E は 2 本の導線の間中に位置し, 点 E と導線の真東に位置する点 F は 2 本の導線と同一平面内にある。点 D から 2 本の導線に下ろした垂線とこの平面のなす角は  $45^\circ$  とする。図 2 と同様の考察から, 点 D に置かれた磁針が受ける合力の向き(N 極の指す向き)は ( ⑨ ) となる。点 E の位置に置かれた磁針が受ける合力の向き(N 極の指す向き)は ( ⑩ ) となる。電流に近いほど磁針が磁場から受ける力は大きくなるため, 点 F に置かれた磁針が受ける合力の向き(N 極の指す向き)は ( ⑪ ) となる。

(1) 空欄①～⑩に入る語句として適切なものを、以下の選択肢から1つ選べ。ただし、東西南北に関しては図中の方角を参照せよ。また、一度使用した選択肢を繰り返し用いて良い。

- |                |                |               |          |
|----------------|----------------|---------------|----------|
| (ア) 東向き        | (イ) 西向き        | (ウ) 南向き       | (エ) 北向き  |
| (オ) 北東向き       | (カ) 南東向き       | (キ) 南西向き      | (ク) 北西向き |
| (ケ) 紙面の表から裏の向き | (コ) 紙面の裏から表の向き | (サ) 存在せず零ベクトル |          |

(2) 空欄㉑に入る語句として適切なものを以下の選択肢から1つ選べ。

- (ア) 電流が大きいほど大きくなる (イ) 電流が大きいほど小さくなる (ウ) 電流の大きさによらず一定となる

(3) 電流と磁場に関する以下の文章のうち、間違っているものを以下の選択肢から1つ選べ。

- (ア) 平行に並んだ十分に長い2本の導線に直線電流を流すと、2つの電流の向きが同じ向きか逆向きかに応じて、2本の導線には引力または斥力が働く。
- (イ) 両端に検流計をつないだコイルに磁石を近づけたり遠ざけたりすると、検流計の針が左右に振れる。
- (ウ) 磁石とコイルを利用したものに、直流発電機や交流発電機がある。
- (エ) 円形コイルやソレノイドでは、向きの異なる電流が作る磁場が打ち消し合う。そのため、円形コイルやソレノイドの周りでは、どの地点においても磁場の大きさはゼロとなる。

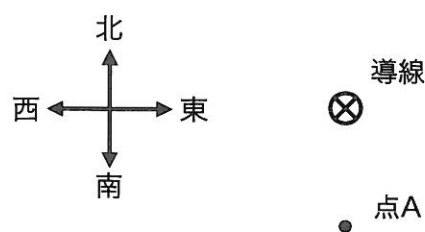


図1

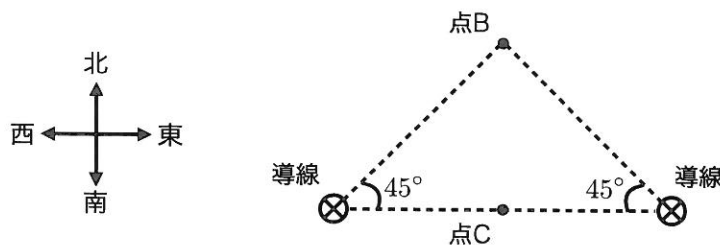


図2

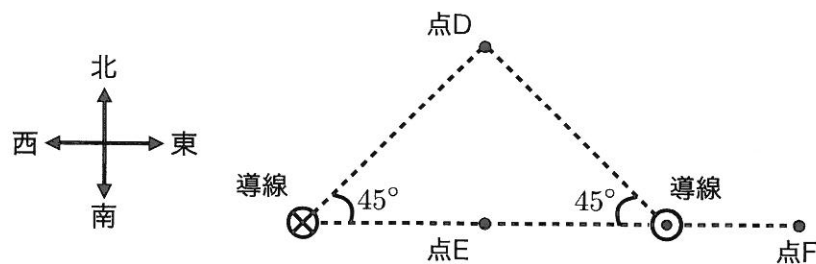
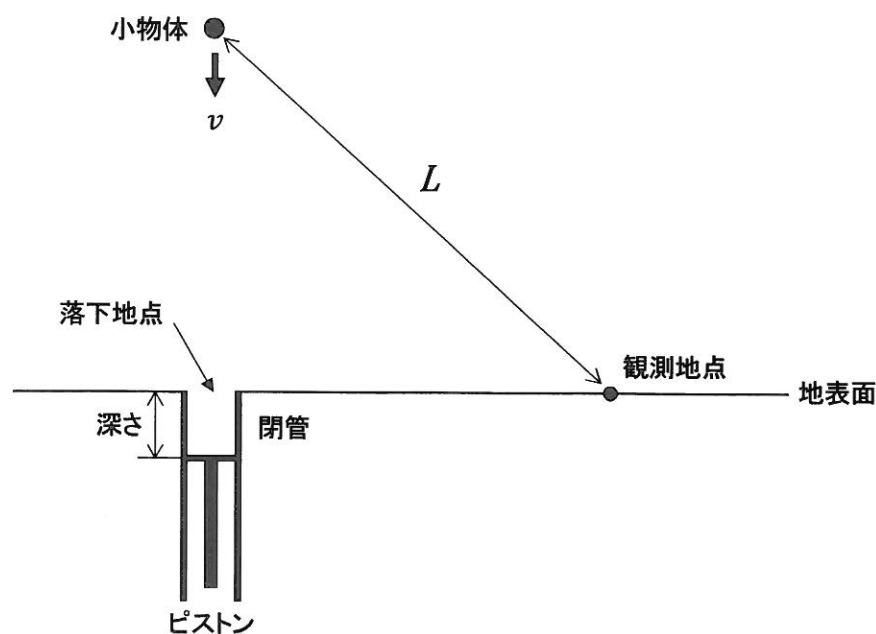


図3

## II

下図のように、小物体が一定の振動数の音波を発しながら、一定の速さ  $v$  [m/s] で無風状態の空气中を鉛直に落下している。このとき、小物体は終端速度に達しており、等速直線運動している。ただし、小物体は球面波を発する点音源とみなせるものとする。また、空气中での音速は  $V$  [m/s] とし、 $V > v$  とする。観測者は、小物体の落下地点より一定距離離れた地表面上の観測地点にて、小物体が発した音波の振動数を測定する。

小物体と観測地点との距離が  $L$  [m] となった時刻を  $t = 0$  [s] とし、この高度で小物体から発せられた音波を観測地点で測定したところ、音波の振動数は  $f_1$  [Hz] と測定された。その後、時刻  $t = T$  [s] において、小物体は落下地点地表面から垂直に掘り込まれた円筒形の閉管に入り込んだ。小物体が閉管に入り込む直前に発した音波の振動数は、観測地点において  $f_2$  [Hz] と測定された。このとき、以下の問いに答えよ。



- (1) 観測地点で測定された音波の振動数  $f_1, f_2$  [Hz] のうち、小物体（点音源）が発する音波の振動数に一致するのはどちらか。一致する振動数を解答欄に○で囲め。
- (2) 小物体に働く空気抵抗は小物体の速さ  $v$  [m/s] に比例し、その大きさは  $kv$  [N] と表すことができる。ここで、 $k$  は比例定数である。小物体の質量を  $M$  [kg] とし、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。このとき、空気抵抗の比例定数  $k$  を  $v, M, g$  を用いて表せ。ただし、導出過程も示すこと。
- (3) 閉管の底部はピストンとなっており、閉管の深さを調整することができる。ピストンの位置を地表面から徐々に下げていったところ、深さが  $h_1$  [m] となったとき、閉管上空を落下中の小物体が発する音波によって閉管内の気柱が1度目の共鳴（基本振動）を起こした。さらにピストンを下げ、深さが  $h_2$  [m] となったとき、2度目の共鳴（3倍振動）を起こした。
  - ① 閉管内に生じた、音波による定在波の波長を  $h_1, h_2$  を用いて表せ。
  - ② この閉管の開口端補正の値を  $h_1, h_2$  を用いて表せ。
  - ③ 振動数  $f_2$  [Hz] を  $V, v, h_1, h_2$  を用いて表せ。
- (4) 小物体と観測地点までの距離  $L$  [m] を  $V, v, T, f_1, f_2$  を用いて表せ。ただし、導出過程も示すこと。

## III

図1のように、途中で1回ループしているレールが鉛直面内に置かれている。ループは半径  $r$  [m] の円軌道であり、レールの斜面、水平部分、ループは全て滑らかに接続されている。斜面上の点 A の位置(円軌道最下点 B から高さ  $h$  [m] の位置)に質量  $M$  [kg] の小球1を置き、初速度  $0$  [m/s] でレール上を滑らせる。レールの幅や厚み、小球の大きさ、小球とレールの間の摩擦や空気抵抗は無視できるものとする。また、重力加速度の大きさは  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。このとき、以下の問い(1)~(5)に答えよ。ただし、問い(3)以外は全て  $M, g, h, r, \theta$  の中から必要な記号を用いて解答せよ。

- (1) 円軌道最下点 B の高さを基準にしたとき、位置 A での小球1の位置エネルギーを求めよ。
- (2) 小球1がループの開始位置 B に達したとき、小球1の速さを求めよ。
- (3) 図中の  $\angle BOC$  のなす角を  $\theta$  [rad] ( $0 < \theta < \pi/2$ ) とし、位置 C での小球1の速さを  $v_C$  [m/s] とする。位置 C に達した小球1がレールから受ける垂直抗力の大きさを  $M, g, r, \theta, v_C$  を用いて表せ。ただし、 $r < h$  とする。
- (4) 位置 C での小球1の速さ  $v_C$  [m/s] を求めよ。
- (5) 小球1がレールから落下することなく円軌道の最高点 D にたどり着くための条件は  $h \geq$  ① となる。空欄①に当てはまる式を求めよ。

次に、図2に示すように、先ほどと同じレール上で2つの小球の衝突を考える。小球1と同質の小球2をループの開始位置 B に置いておく。小球1を図1と同じ条件で点 A から滑らせ、小球2と衝突させる。2つの小球の質量はともに  $M$  [kg] とする。小球同士の反発係数は  $e$  とし、2つの小球は衝突直後もレール上を運動するものとする。このとき、以下の問い(6)~(9)に答えよ。ただし、問い(6)および(7)は  $M, g, h, e$  の中から必要な記号を用いて解答せよ。

- (6) 衝突直後の2つの小球の速さをそれぞれ求めよ。
- (7) 衝突直前、直後における2つの小球の運動エネルギーの合計をそれぞれ  $E, E'$  [J] とし、衝突前後での運動エネルギーの合計の変化量を  $\Delta E = E' - E$  と定義する。変化量  $\Delta E$  [J] を求めよ。
- (8) 2つの小球の運動エネルギーの合計が衝突直前と直後で変化しないのはどのような場合か簡潔に説明せよ。
- (9) 小球1の初期位置の高さを  $h = 40r$  とする。このとき、衝突後の2つの小球がレールから落下することなく円軌道最高点 D にたどり着くための条件は  $0 \leq e \leq$  ② となる。空欄②に当てはまる数値を求めよ。

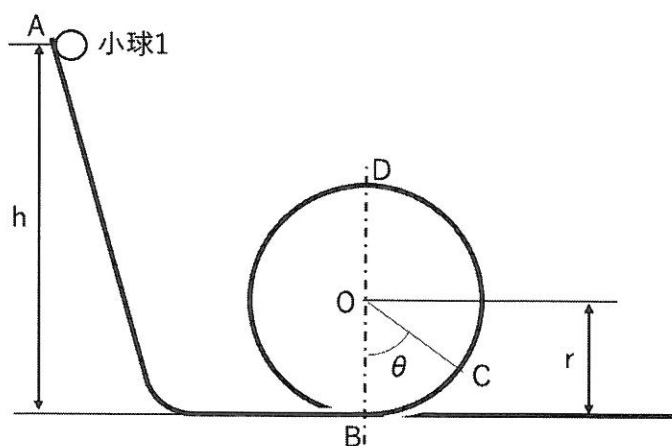


図1

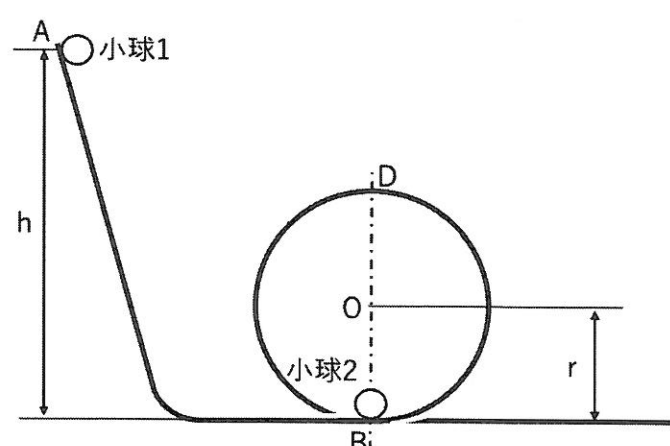


図2