

# 理 科

<監督者の指示があるまで開いてはいけない>

1. 受験票に指定した2科目について、解答を別紙の解答用紙に記入しなさい。
2. 下書きや計算は問題用紙の白紙部分を利用しなさい。
3. 記入中でない解答用紙は必ず裏がえしにしておきなさい。
4. 問題用紙は各科目の試験終了後持ち帰ってもよい。  
ただし、試験途中では持ち出してはいけない。

## 問 題 目 次

物 理	1 ~ 5	ページ
化 学	6 ~ 15	ページ
生 物	16 ~ 22	ページ

## 物 理

1. (I) 雨粒が空気中を落下するとき、空気による抵抗を受ける。その抵抗力の大きさは雨粒の速さ  $v$  [m/s] に比例して  $kv$  [N] で与えられ、向きは速度の逆向きである。雨粒が小さい場合、その形は球形と考えられるので、雨粒を変形しない微小球として、雨粒の空気中での運動を考える。雨粒の質量はすべて  $m$  [kg] であり、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] として、次の問いに答えよ。ただし、風はないものとする。

問 1. 雨粒の速度が鉛直方向に  $v_{\perp}$  [m/s]、水平方向に  $v_{\parallel}$  [m/s] であるとき、雨粒の鉛直方向の加速度を  $a_{\perp}$  [m/s<sup>2</sup>]、水平方向の加速度を  $a_{\parallel}$  [m/s<sup>2</sup>] として、鉛直方向、水平方向それぞれの運動方程式を書け。ただし、鉛直方向については重力の向きを負の向きとする。

問 2. 雨粒が十分に高い所から落下する場合、地表近くでは等速運動すると考えられる。そのときの速度(終端速度)の鉛直成分および水平成分を求めよ。

問 3. 時間雨量\*が  $l$  [mm] である雨が連続的かついたるところ一様に降るとする。雨の質量密度を  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] とするとき、平均として1秒あたり、1 m<sup>2</sup> あたりに降る雨粒の数を求めよ。

\*時間雨量とは1時間あたりに降った雨が溜まった深さを mm 単位で表記したものである。

問 4. 前問の状況の雨が水平な屋根に一様に降るとき、雨粒は屋根に落ちた瞬間付着し、跳ねることはないとする。このとき、雨粒は終端速度に達しているとし、その大きさを  $v_{\infty}$  として、雨粒が屋根に及ぼす平均の圧力を求めよ。ただし、屋根に水が溜まることはないものとする。

(II) 図1のようなドーム状の半球形の屋根に降った雨粒の運動を考える。

半径  $r$  [m] の半球形の屋根が高さ  $r$  の円柱部分の上に乗っている。屋根は超撥水性素材でできており、雨粒は球状になって表面を滑る。屋根の最高点  $P$  のごく近くに落ちた雨粒が滑り落ちることを考える。以下の問題では、雨粒の初期位置は最高点  $P$ 、初速度の大きさは  $0$ 、質量  $m$  [kg] として答えよ。ただし、雨粒と屋根との間の摩擦力、空気による抵抗力は無視できるものとし、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

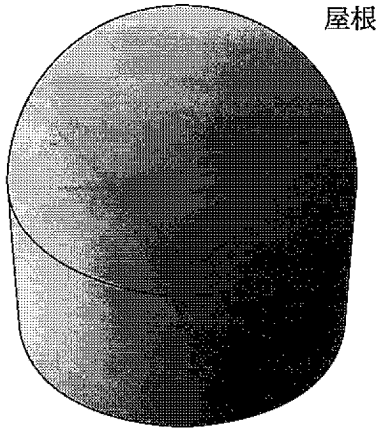


図1

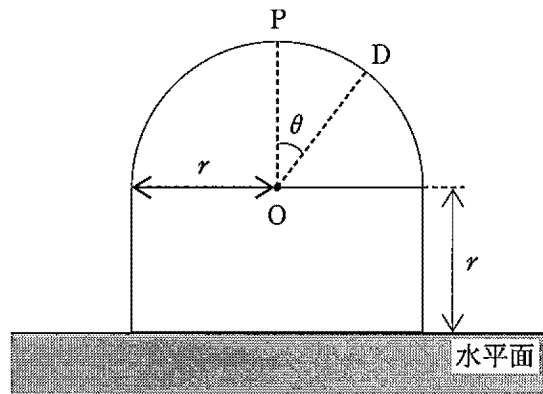


図2

- 問 1. 雨粒が屋根から離れずに運動し、屋根上の点  $D$  を通るとき、屋根から受ける力の大きさを  $m$ ,  $g$ ,  $\theta$  で表せ。ただし、 $\angle POD = \theta$  [rad] とする。
- 問 2. 雨粒が屋根から離れる点を点  $D$  とすると、 $\tan \theta$  はいくらか。
- 問 3. 雨粒が水平面に落下する点と点  $P$  との水平距離を求めよ。

2. 次の電流と磁場(磁界)に関する問いに答えよ。ただし、全ての系は真空中にあり、真空の透磁率は  $\pi$  を円周率として、 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [\text{H/m} = \text{N/A}^2]$  で与えられる。

(I) 図1のように、 $xyz$  座標の  $x$  軸に沿って正の向きに電流  $I_1$  [A]、 $y$  軸に沿って正の向きに電流  $I_2$  [A] が流れている。これらの電流によって周囲に作られる磁場を考える。

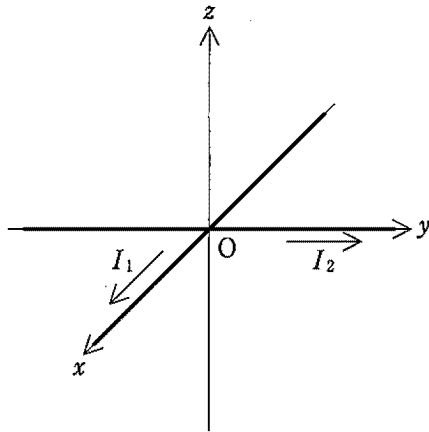


図1

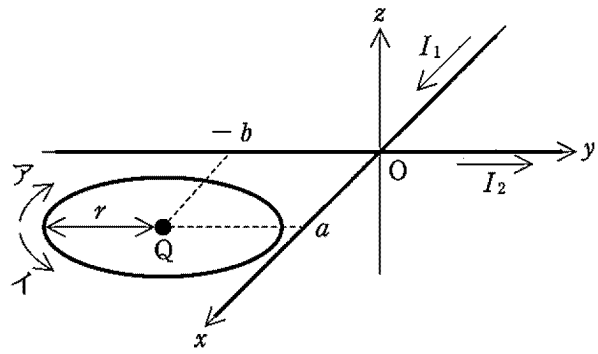


図2

- 問 1.  $z$  軸上の点  $P(0, 0, z)$  ( $z$  の単位はメートル) における磁場を 3次元ベクトルで表せ。
- 問 2. 磁場の強さが 0 となる点の集合が作る図形の方方程式を求めよ。ただし、 $x, y$  軸上は考慮しないものとする。
- 問 3. 図2のように、点  $Q(a, -b, 0)$  ( $a, b > 0$ ) を中心とする半径  $r$  ( $r < a, r < b$ ) の 1 巻きコイルが  $xy$  平面上に置かれている。点  $Q$  の磁場の強さを 0 にするために、コイルに流すべき電流の大きさと向きを求めよ。ただし、電流の向きは図2のアカイで答えよ。

(III) 図3のように、1辺の長さ5.0 cmの正三角形の各頂点に、3本の導線A, B, Cが互いに平行に張られ、A, Bにいずれも紙面に垂直に表から裏へ向かう向きに、2.0 A(アンペア)の電流が流れている。

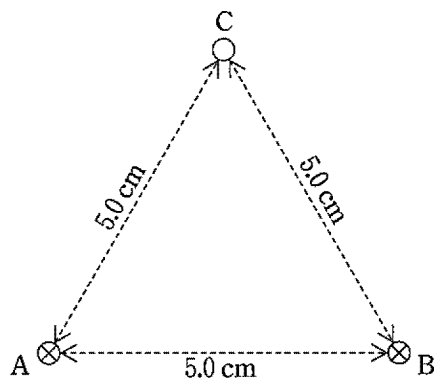
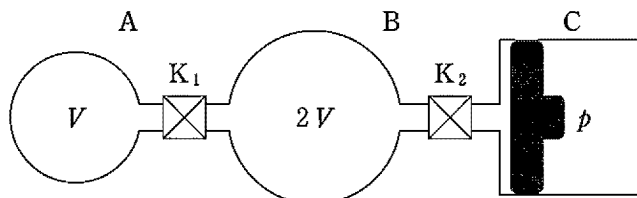


図3

- 問 1. 導線 C の位置の磁場の強さと向きを求めよ。
- 問 2. 導線 C にも同じ向きに 2.0 A の電流を流すと、導線 C に働く力の 1.0 m あたりの大きさと向きを求めよ。

3. 図のように、容器A、BとシリンダーCをコック $K_1$ 、 $K_2$ のついた細管で接続する。Cには気密性を保ったまま滑らかに動くピストンがはめ込まれ、ピストンの右側の気圧は大気圧 $p$  [ $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ ]になっている。



A、Bの容積はそれぞれ $V$ 、 $2V$  [ $\text{m}^3$ ]で、初め、 $K_1$ 、 $K_2$ が閉じ、ピストンがCの底まで押し込まれている状態で、Aには圧力 $3p$  [ $\text{Pa}$ ]、温度 $3T$  [ $\text{K}$ ]で定積モル比熱が $\frac{5}{2}R$  [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ]の理想気体 $G_1$ が入っている。Bには圧力 $2p$  [ $\text{Pa}$ ]、温度 $2T$  [ $\text{K}$ ]で定積モル比熱が $\frac{3}{2}R$  [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ]の理想気体 $G_2$ が入っている。ここで、 $R$ は気体定数である。

装置は全て断熱材でできており、外部との熱のやり取りはなく、その熱容量は無視できる。また、細管の容積も無視できるものとする。

(I) 初めの状態について以下の問いに答えよ。

- 問 1. 気体 $G_1$ のモル数は気体 $G_2$ のモル数の何倍か。  
 問 2. 気体 $G_1$ の内部エネルギーは気体 $G_2$ の内部エネルギーの何倍か。

(II) 次に、コック $K_2$ を閉じたまま、 $K_1$ をゆっくり開いて、 $G_1$ と $G_2$ を混合する。このとき、 $G_1$ と $G_2$ は化学反応を起こさないものとする。十分に時間が経ち熱平衡状態に達したときについて以下の問いに答えよ。

- 問 1. 混合気体の温度は $T$ の何倍か。  
 問 2. 混合気体の圧力は $p$ の何倍か。

(III) さらに、コック $K_2$ をゆっくり開いて、混合気体をCの中に膨張させる。このとき、C内の圧力は常に $p$  [ $\text{Pa}$ ]に保たれたままピストンが移動するものとする。全体が熱平衡状態に達したときについて以下の問いに答えよ。

- 問 1. C内にある混合気体の体積は $V$ の何倍か。  
 問 2. 混合気体の温度は $T$ の何倍か。