

# 平成 31 年 度

## 試 験 問 題 ①

# 学 科 試 験

(9 時 ~ 12 時)

### 【注 意】

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中をみてはならない。
2. 試験教科、試験科目、ページ、解答用紙および選択方法は下表のとおりである。

| 教 科 | 科 目 | ペー ジ    | 解 答 用 紙 数 | 選 択 方 法                                  |
|-----|-----|---------|-----------|--|
| 数 学 | 数 学 | 1 ~ 10  | 2 枚       | 数学、英語は必須解答とする。<br>理科は左の3科目のうちから1科目を選択せよ。 |
| 英 語 | 英 語 | 11 ~ 14 | 3 枚       |  |
| 理 科 | 化 学 | 15 ~ 26 | 2 枚       |  |
|     | 生 物 | 27 ~ 44 | 2 枚       |  |
|     | 物 理 | 45 ~ 52 | 1 枚       |  |

3. 監督者の指示に従って、選択しない理科科目を含む全解答用紙(10枚)に受験番号と選択科目(理科のみ)を記入せよ。
  - ① 受験番号欄に受験番号を記入せよ。
  - ② 理科は選択科目記入欄に選択する1科目を○印で示せ。

上記①、②の記入がないもの、および理科2科目または理科3科目選択した場合は答案全部を無効とする。
4. 解答はすべて解答用紙の対応する場所に記入せよ。
5. 問題冊子の余白を使って、計算等を行ってもよい。
6. 試験開始後、問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせよ。
7. 解答用紙はいずれのページも切り離してはならない。
8. 解答用紙は持ち帰ってはならない。問題冊子は持ち帰ってよい。

# 物 理

【1】 以下の  の中に適当な数、式または語句を記入せよ。

図1のような摩擦のないレールがある。レールの水平部分と半径  $R$  [m] の半円部分は、P の地点で滑らかにつながっているものとする。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] として、以下の問いに答えよ。

質量  $M$  [kg] の質点 A がある速さで原点 O を右向きに通過し、P に静止していた質量  $M$  [kg] の質点 B に衝突した。2つの質点は衝突後一体となって運動を続けた。

衝突直後の一体となった質点の速さは  $V$  [m/s] であったとすると、質点 A が原点を通過したときの速さは

[m/s]

であり、A と B が一体となったときに、物体系の力学的エネルギーは

[J]

だけ減少したことになる。

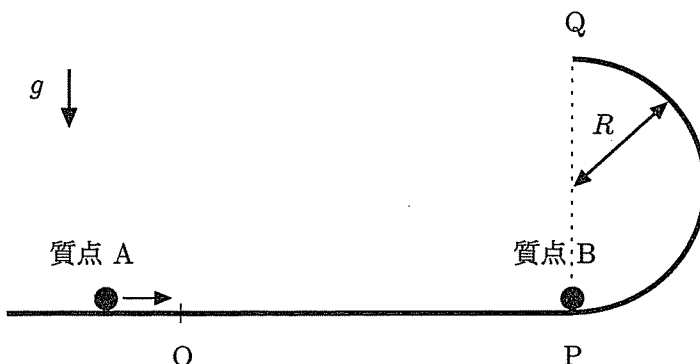


図 1

一体となった質点は半円部分から離れることなく Q の地点に到達した。このことより、

$$V > \boxed{(1 \cdot 3)}$$

であることがわかる。Q における質点の速さは

$$\boxed{(1 \cdot 4)} \quad [\text{m/s}]$$

である。P から Q の間に質点の運動エネルギーは減少するが、

$$\boxed{(1 \cdot 5)}$$

は増加し、両者の和は一定に保たれる (適切な語句を答えよ)。

Q を通過した質点は、放物運動を行って、軌道の水平部分に落下した。水平部分に落下するのは、Q を通過してから

$$\boxed{(1 \cdot 6)} \quad \text{秒後}$$

になる。

【2】 以下の  の中に適当な数、式または記号を記入せよ。

図2のように、 $XY$  平面と平行に幅  $a$  [m]、厚さ  $b$  [m] の半導体の試料を置き、 $X$  方向に  $I$  [A] の電流を流す。さらに、 $Y$  方向に磁束密度  $B$  [T] の一様な磁場をかけた。

キャリア (電流を担う荷電粒子) の電荷を  $q$  [C]、速度の  $X$  成分を  $v$  [m/s] とすると、キャリアは特定の方向に  $qvB$  [N] のローレンツ力を受ける。試料中のキャリアの密度を  $n$  [個/m<sup>3</sup>] とすれば  $I = nqabv$  であり、これを用いて  $v$  を消去すると、

$$qvB = \text{  (2・1) }$$

となる。

$I > 0$ 、 $B > 0$  のとき、ローレンツ力の向きは

(イ)  $X$  軸の正の向き (ロ)  $X$  軸の負の向き (ハ)  $Z$  軸の正の向き (ニ)  $Z$  軸の負の向き

のうち

$$\text{  (2・2) }$$

である (適当な選択肢の記号を答えよ)。

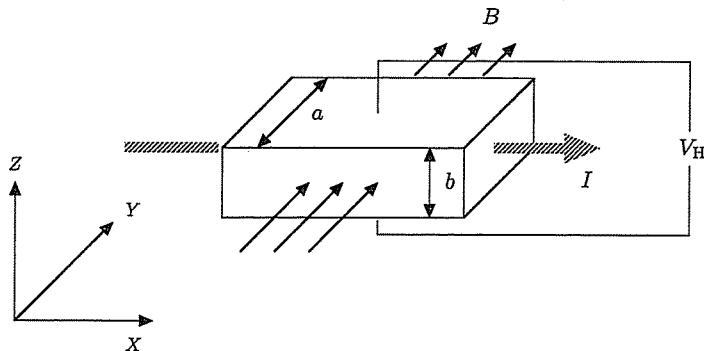


図2 磁場中の半導体試料。

ローレンツ力に引き寄せられたキャリアにより試料中には電場が発生するが、この電場から受ける力と磁場からのローレンツ力がつりあえば、キャリアは(その軌道が曲がることなく)  $X$  軸方向へ移動することになる。これは電場の  $Z$  成分が

$$\boxed{(2 \cdot 3)} \quad [\text{V/m}]$$

のときである ( $v$  を用いずに答えよ)。

このときの電場の  $Z$  成分を電圧 (試料の底面を基準とした上面の電位) に換算したものが、ホール電圧  $V_H$  [V] であり、

$$V_H = R_H \frac{IB}{a}$$

と表される。ここで

$$R_H = \boxed{(2 \cdot 4)}$$

である。  $R_H$  はホール係数と呼ばれ、符号を含め試料の物質ごとに異なる値をとることがわかる。

$a = 5.0 \times 10^{-4}$  [m] の二種類の試料  $\alpha$  ,  $\beta$  について、  $B = 6.0 \times 10^{-2}$  [T] で測定を行い、以下の結果を得た。

$$\text{試料 } \alpha \quad I = 1.0 \times 10^{-3} [\text{A}] \text{ のとき } V_H = 2.0 \times 10^{-3} [\text{V}]$$

$$\text{試料 } \beta \quad I = 8.0 \times 10^{-4} [\text{A}] \text{ のとき } V_H = -5.0 \times 10^{-3} [\text{V}]$$

$n$  型半導体に相当するのは

$$\boxed{(2 \cdot 5)}$$

であり (試料  $\alpha$  , 試料  $\beta$  のどちらかを答えよ)、そのホール係数は

$$\boxed{(2 \cdot 6)} \quad \text{m}^3/\text{C}$$

となる (有効数字2桁で答えよ)。

【3】 以下の  の中に適当な数または式を記入せよ。

円筒形で上部の閉じた質量  $M$  [kg]、断面積  $S$  [m<sup>2</sup>] のシリンダーに、質量の無視できる理想気体が、質量の無視できるピストンでふたをして閉じ込めてある。ピストンは気密性を保ったままなめらかに動くことができる。また、シリンダーとピストンの装置は傾くことがなく、鉛直方向にのみ変位する。シリンダーとピストンの厚み、空気による浮力は無視でき、水面の位置は変わらないものと考えてよい。水の密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] は一様であり、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] として、以下の問いに答えよ。

図3のようにシリンダーの上部が水面から浮き出て静止したとする。ピストンと水面の距離を  $d_0$  [m] とすると、水による浮力の大きさは  $d_0$  を用いて

$$\boxed{(3 \cdot 1)} \quad [\text{N}]$$

と表すことができる。水による浮力と装置にはたらく重力のつり合いから、

$$d_0 = \boxed{(3 \cdot 2)}$$

であることがわかる。以下の問いでは、 $d_0$  を用いずに答えよ。

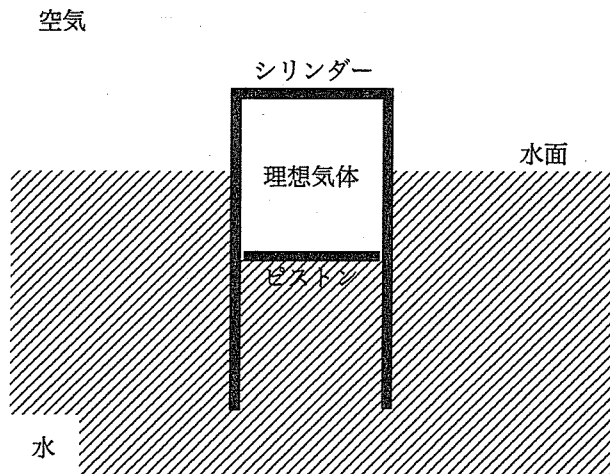


図3 シリンダーとピストンの装置。

装置を水中に入れる前、圧力  $P_0$  [Pa] の空気中に置かれた状態で、シリンダーの上部とピストンの間隔は  $L_0$  [m] であった。シリンダーとピストンは熱をよく通し、空気、水と理想気体の温度は常にすべて等しく一定である。

水に浮かんだ状態での理想気体の圧力は

$$(3 \cdot 3) \quad [\text{Pa}]$$

であり、シリンダーの上部とピストンの間隔は

$$(3 \cdot 4) \quad [\text{m}]$$

である。このことより、シリンダーが水に浮くためには、

$$L_0 > (3 \cdot 5)$$

である必要がある。

次に、空気中の圧力が  $P_1$  [Pa] の場合を考える。このとき、装置を水中に入れると、シリンダーの上部が水面の位置で水による浮力と装置にはたらく重力が釣り合った。この圧力のもとで、装置を水中に入れる前のシリンダーの上部とピストンの間隔は  $L_0$  を用いて

$$(3 \cdot 6) \quad [\text{m}]$$

と表すことができる。このことより、 $P_1$  は  $P_0$  と

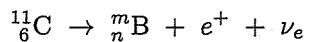
$$P_1 = (3 \cdot 7)$$

のように関係づけられることがわかる。空気中の圧力が  $P_1$  [Pa] より大きくなると、シリンダーとピストンの装置は水中に沈んでしまうことになる。

- 【4】 以下の  の中に適当な数または語句を記入せよ。(4・3), (4・4), (4・6) は有効数字2桁で答えよ。

放射性同位体を含む化合物を生物体を与えると、その同位体は放射性のない同位体と同じように生物体内に入り化学変化を受けるので、その元素が生物体内でどこに移動し、どこにとどまっているかを知ることができる。医療機関の検診によく利用されるものに、半減期の短い反 $\beta$  ( $\beta^+$ ) 崩壊を起こす放射性物質がある。通常の $\beta$ 崩壊では電子が核外に放出されるが、この崩壊では逆符号の電荷を持つ陽電子が放出される。

ここでは、炭素の同位体  ${}^{11}_6\text{C}$  (炭素11) を考える。炭素11は、半減期が20分で、他の原子核 (ホウ素B) および陽電子  $e^+$  に崩壊する。また、崩壊は電気的に中性の電子ニュートリノ  $\nu_e$  の放出をともなうことが知られている。崩壊の反応を表わす式は



で与えられる。ここで、ホウ素の原子番号は

$$n = \text{  } \quad (4 \cdot 1)$$

であり、質量数は

$$m = \text{  } \quad (4 \cdot 2)$$

である。

初めに 1.0 mg あった炭素11は、3時間後には

$$\text{  } \quad \text{mg} \quad (4 \cdot 3)$$

にまで減少する。



炭素 11, ホウ素の原子核の質量は, それぞれ  $1.26720 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ,  $1.26699 \times 10^{-26} \text{ kg}$  である. 崩壊前後の原子核は静止しているものとする. 光の速さ  $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$  を用いて計算すると, 放出される陽電子および電子ニュートリノの (質量を含む) 全エネルギーは

$$(4 \cdot 4) \quad \text{J}$$

となる.

陽電子はただちに体の中にある水分子等の中の電子と対になって反応し, 消滅 (対消滅) する. そして, 高いエネルギーをもつガンマ ( $\gamma$ ) 線が生成される. 検出装置では, この  $\gamma$  線を検出する.  $\gamma$  線は, 光 (可視光線) と同じ

$$(4 \cdot 5)$$

の一種である (適当な語句を答えよ).

反応前に電子・陽電子の重心は静止しており, これらの持つ運動エネルギーは無視してよいものとする. 対消滅で同じ大きさの運動量を持った 2 つの  $\gamma$  線が反対方向に放出されたとき, 放出された  $\gamma$  線の振動数は

$$(4 \cdot 6) \quad \text{Hz}$$

である. ただし, 電子および陽電子の質量は  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  であり, プランク定数は  $6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  である.