

平成 28 年 度

## 問題冊子

教	科	科	目	ページ数
理	科	物	理	6

試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。

## 解答の書き方

1. 解答は、すべて別紙解答用紙の所定欄に、はっきりと記入すること。
2. 解答を訂正する場合は、きれいに消してから記入すること。
3. 解答用紙には、解答と選択した選択問題の番号、志望学部及び受験番号のほかは、いっさい記入しないこと。
4. 問題〔Ⅰ〕、〔Ⅱ〕、〔Ⅲ〕、〔Ⅳ〕、〔Ⅴ〕は選択問題である。5つのうち4つを解答すること。5問すべてを解答してはいけない。選択問題〔Ⅰ〕、〔Ⅱ〕、〔Ⅲ〕、〔Ⅳ〕、〔Ⅴ〕のうち、選択した問題の番号を解答用紙(その1)の所定の枠内に記入すること。

## 注意事項

1. 試験開始の合図の後、5枚すべての解答用紙に志望学部及び受験番号を必ず書くこと。
2. 選択科目は、願書に記載したものと違ったものについて答えてはいけない。
3. 下書き用紙は、片面だけ使用すること。
4. 問題の内容についての質問には、いっさい応じないが、その他の用事があるときは、だまって手をあげて、監督者の指示を受けること。
5. 試験終了時には、解答用紙を机上の右側に置くこと。
6. 試験終了後、問題冊子および下書き用紙は持ち帰ること。

[I] 図1のように2辺の長さが  $a, b$ , 質量  $M$  の直角三角形の板があり, 長さ  $b$  の辺が鉛直 ( $y$  軸方向) となるように直角の頂点を原点  $O$  に置いてある。以下の実験(ア), (イ)のように高さ  $h$  ( $y = h$ ) の位置  $P$  に力  $F$  を作用させる。

実験(ア):  $x$  軸方向の正の向き(図の右方向)に力  $F$  を加え徐々に大きくしたところ,  $F = F_1$  のときに板は  $x$  軸方向の正の向きにその姿勢のまますべり始めた。

実験(イ):  $x$  軸方向の負の向き(図の左方向)に力  $F$  を加え徐々に大きくしたところ,  $F = F_2$  のときに板は原点  $O$  を中心として傾いた。

板は厚さ  $c$  の一様な材質であり, 変形したり水平面にめり込むことはない。板と水平面との間の静止摩擦係数を  $\mu$ , 垂直抗力を  $R$ , 重力加速度の大きさを  $g$  とし, 以下の問いに答えなさい。

- (1) この板の密度を求めなさい。
- (2)  $R$  の大きさを求めなさい。
- (3) 実験(ア)について, すべり始める直前の  $x$  と  $y$  それぞれの軸方向の力のつり合いの式を示しなさい。
- (4) 実験(イ)について, 傾き始める直前の  $x$  と  $y$  それぞれの軸方向の力の関係式と力のモーメントのつり合いの式を示しなさい。ただし, 板の重心の座標を  $(X_g, Y_g)$  とする。
- (5) 板の重心の座標  $X_g, Y_g$  の値を  $a, b$  を用いて示しなさい。
- (6) 実験(イ)について, 板の傾きの角度が  $\theta$  を超えたとき, 板は図の左方向に倒れた。  $\tan \theta$  の値を示しなさい。

(7) 実験(ア)と(イ)から, 板と水平面との間の静止摩擦係数  $\mu$  がとり得る範囲を力  $F$  を用いなくて答えなさい。

(8) 次に作用点の高さ  $h$  を変えて実験(ア)を再び行ったところ,  $F = F_3$  のときに板はすべらないで傾いた。  $h$  がとり得る範囲を答えなさい。

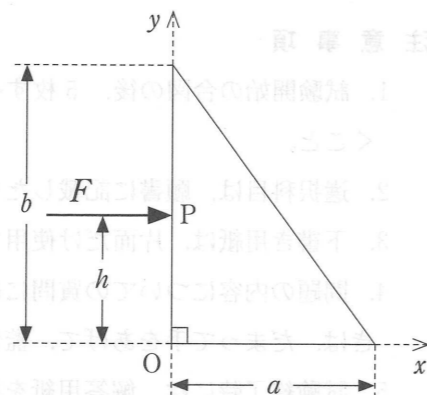


図1

図5-3に示すように, 電極 HI が設置されている場所に  $x, y$  軸と直交する  $z$  方向に磁極 NS を置き, 電極板が作る電場の領域に磁束密度  $B$  の一様磁場を生成させた。

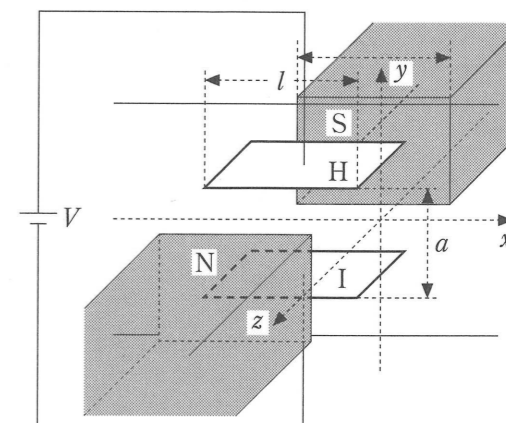


図5-3

(5) 電圧  $V$  と磁束密度  $B$  を一定に保ち, 電子銃 G の電圧  $U$  を変化させた。電子銃 G の電圧が  $U_0$ , 電子の速度が  $v_0$  となったところ

で, 蛍光面上の発光点は原点  $O$  に一致した。  $v_0, V, B$  の間の関係を答えなさい。ただし  $V \neq 0$  である。

(6) (1)で求めた関係式より, 電子の比電荷  $e/m$  を  $v_0$  を用いずに求めなさい。

陰極線管から電極 HI や磁極 NS を外し,  $x$  軸上に結晶試料 P を置いた。電子銃 G の電圧を  $U_0$  として速度  $v_0$ , 波長  $\lambda$  の電子を結晶試料 P に照射したところ, 結晶試料中の格子面間隔  $d$  によって,  $x$  軸より回折角  $2\theta = 60^\circ$  の角度方向に  $2d \sin \theta = \lambda$  のブラッグ反射が生じた(図5-4)。

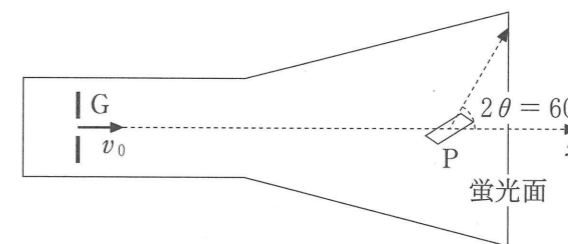


図5-4

(7) (2)の結果を用いて面間隔  $d$  と電子銃 G の電圧  $U_0$  との関係を,  $\lambda$  を用いずに答えなさい。

(8) (6)と(7)の結果より電子の電荷  $e$  および電子の質量  $m$  を求める式を,  $v_0$  と  $\lambda$  を用いずに答えなさい。

〔V〕 電子の電荷  $e$  と電子の質量  $m$  を求めるために次の実験を行った。プランク定数を  $h$  として以下の問いに答えなさい。

図5-1に示すように、真空容器内で中央に穴が開いた金属電極  $G$  に  $+U$  の電圧をかけて陽極とすると、陰極  $C$  より出てきた電子が陽極  $G$  の穴から速さ  $v$  で放出される。これを電子銃と呼ぶ。ここでは電子の速さ  $v$  は光速より十分遅いものとする。

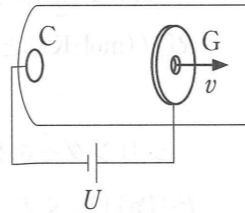


図5-1

- (1) 電子銃から出てくる電子の速さ  $v$  を答えなさい。
- (2) 電子の波長  $\lambda$  を答えなさい。

この電子銃(以下電子銃  $G$  とする)を図5-2に示す右端面が蛍光面の陰極線管に取り付けた。電子銃  $G$  から初速度  $v$  で出てきた電子は陰極線管の中心軸を運動し、蛍光面の中心で発光した。この蛍光面中心を原点  $O$  として、電子銃  $G$  から原点  $O$  の方向を  $x$  軸、蛍光面の上下方向を  $y$  軸とする。

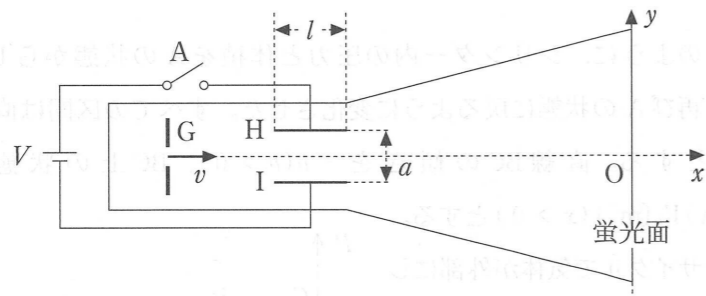


図5-2

$x$  軸に沿って平行板電極  $HI$  を置いた。電極板は  $x$  軸方向の長さが  $l$  で間隔  $a$  離れて、 $y$  方向に電場を生じさせることができる。スイッチ  $A$  を閉じて、電極  $HI$  間に電圧  $V$  をかけた。

- (3) 電極  $HI$  間に生じる電場  $E$  の大きさを答えなさい。
- (4) 電極  $HI$  間にかかった電圧  $V$  によって、蛍光面における発光位置は原点  $O$  から  $y$  軸の上方に移動した。電子が電極  $HI$  間で受ける力  $F$  の大きさを答えなさい。

〔II〕 図2のように、起電力  $E$  [V] の電池、抵抗  $R_1, R_2$ 、コンデンサー  $C_1, C_2, C_3, C_4$ 、スイッチ  $S_1, S_2$  が接続された電気回路がある。抵抗  $R_1$  と  $R_2$  の抵抗値はいずれも  $R$  [ $\Omega$ ]、コンデンサーの電気容量は、 $C_1, C_2, C_3, C_4$  の順に、 $3C$  [F],  $C$  [F],  $C$  [F],  $4C$  [F] である。最初、スイッチ  $S_1, S_2$  は両方とも開いており、いずれのコンデンサーにも電荷は蓄えられていないものとする。以下の問いに  $E, R, C$  のうち必要なものを用いて答えなさい。

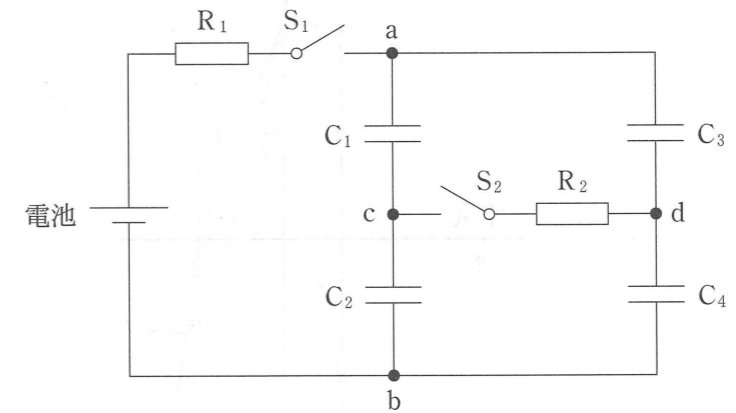


図2

まず、スイッチ  $S_1$  のみを閉じた。

- (1) スイッチ  $S_1$  を閉じた直後に抵抗  $R_1$  を流れる電流の大きさを求めなさい。

スイッチ  $S_1$  を閉じてから十分に時間が経過した後、抵抗  $R_1$  に電流が流れなくなった。

- (2) 点  $b$  を基準とした点  $a$  の電位を求めなさい。
- (3) コンデンサー  $C_1$  および  $C_2$  の両端の電位差をそれぞれ求めなさい。
- (4) コンデンサー  $C_1$  に蓄えられている静電エネルギーを求めなさい。

次に、スイッチ  $S_1$  を開いた。その後、スイッチ  $S_2$  のみを閉じた。

- (5) スイッチ  $S_2$  を閉じた直後に抵抗  $R_2$  を流れる電流を求めなさい。ただし、点  $c$  から点  $d$  に流れる向きを正とする。
- (6) スイッチ  $S_2$  を閉じてから十分に時間が経過した後、抵抗  $R_2$  に電流が流れなくなった。このとき、コンデンサー  $C_1$  の両端の電位差を求めなさい。

〔Ⅲ〕 屈折のため水中にある物が実際より大きく見えるが、この現象を考えよう。

図3のように、長さ  $a$  の物体  $OP$  が水面からの深さ  $d$  の位置にある。点  $O$  の鉛直上方の、水面から  $h$  の高さの点  $E$  から真下を見たところ、深さ  $d$  にある物体  $OP$  が長さ  $a'$  に見えたとする。点  $P$  から出た光は水中から空气中へ入射角  $i$  で入射し、屈折角  $r$  で点  $E$  にいたるものとし、以下の問いに答えなさい。

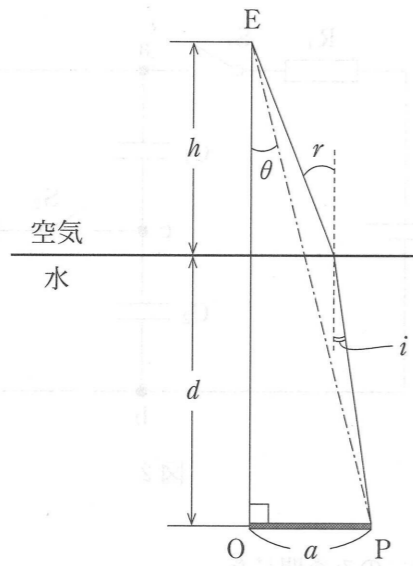


図3

- (1) 解答欄中の図に補助線を加えて、 $a'$  を図示しなさい。
- (2)  $a'$  は  $a$  の何倍か、 $\angle OEP$  を  $\theta$  として、倍率  $a'/a$  を  $\theta$  と  $r$  を用いて導出の過程も含めて答えなさい。
- (3) 空気の絶対屈折率が1、水の絶対屈折率が  $n$  であるとき、入射角  $i$ 、屈折角  $r$  と  $n$  の関係を示しなさい。
- (4)  $a$  が  $h$  や  $d$  に対して十分小さいとき、図に与えられている角度  $\theta$ 、 $i$ 、 $r$  は十分小さいとして  $\tan \theta \approx \sin \theta \approx \theta$  などのように近似できる。このとき倍率  $a'/a$  を  $h$ 、 $d$ 、 $n$  を用いて導出の過程も含めて答えなさい。

〔Ⅳ〕 片側の閉じたシリンダーに  $n$  [mol] の単原子分子理想気体を入れ、水平に滑らかに動くピストンで封じ込めた。シリンダーには熱源が設置されている。定積モル比熱を  $\frac{3}{2} R$  [J/(mol·K)]、定圧モル比熱を  $\frac{5}{2} R$  [J/(mol·K)]、気体定数を  $R$  [J/(mol·K)] とし、以下の問いに答えなさい。

シリンダーの体積を  $V_0$  [m<sup>3</sup>] と一定に保ったまま、気体の圧力を  $P_0$  [Pa] から  $P_1$  [Pa] ( $P_0 < P_1$ ) となるように変化させた。

- (1) 気体が吸収する熱量を答えなさい。
- (2) 変化前後で気体がされる仕事を答えなさい。

シリンダー内の気体の圧力を  $P_0$  [Pa] と一定に保ったまま、気体の体積を  $V_0$  [m<sup>3</sup>] から  $V_1$  [m<sup>3</sup>] ( $V_0 < V_1$ ) となるように変化させた。

- (3) 気体が吸収する熱量を答えなさい。
- (4) 変化前後で気体がされる仕事を答えなさい。

図4のように、シリンダー内の圧力と体積をAの状態からB、Cの状態を経て、再びAの状態に戻るように変化させた。すべての区間は直線に沿つての変化とする。直線BCの傾きを  $-b$  ( $b > 0$ )、BC上の状態Xの体積を  $(1+x)V_0$  [m<sup>3</sup>] ( $x > 0$ ) とする。

- (5) 1サイクルで気体が外部にした仕事は図4のどの領域に相当するか、図中の記号を用いて答えなさい。
- (6) BX間で気体がされる仕事を答えなさい。
- (7) BX間での内部エネルギーの変化を答えなさい。

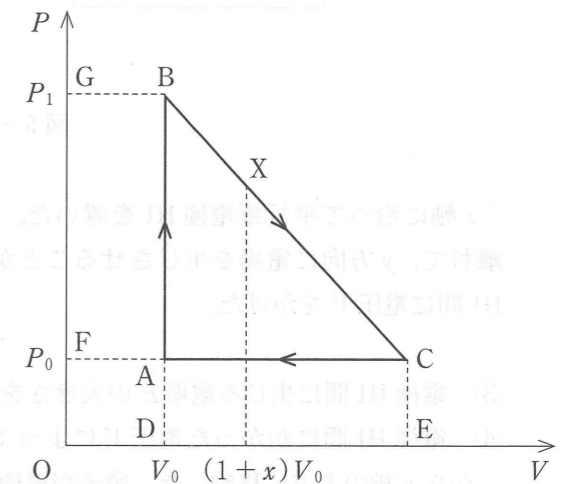


図4