

2022 年 度

問題冊子

教 科	科 目	ページ数
理 科	物 理	10

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には、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、すべて(5枚)の解答用紙に志望学部及び受験番号を必ず記入すること。
2. 理科の選択科目は、出願時に選択したものと異なるものについて解答してはいけない。
3. 下書き用紙は、片面だけ使用すること。
4. 試験終了時には、解答用紙を必ずページ順に重ね、机上に置くこと。解答用紙は、解答していないものも含め、すべて(5枚)を回収する。
5. 試験終了後、問題冊子及び下書き用紙は持ち帰ること。

〔選択問題〕

〔 I 〕 図 1 のように、同じ質量 m [kg] の小球 A, B がある。小球 A は床上の点 P に、小球 B は天井から糸でつり下げられた状態で点 Q にそれぞれ静止している。点 P と点 Q 間の水平距離、鉛直距離はともに d [m] である。ある時、床上の点 P から小球 A を斜め上方に打ち出した。小球 A を打ち出すと同時に点 Q から小球 B を自由落下させたところ、小球 A と小球 B は床からの高さが $\frac{d}{2}$ [m] のところで衝突した。重力加速度を g [m/s²] として、以下の問いに対し、物理量には単位を付けて答えなさい。ただし、小球は質点とみなし、空気抵抗は無視できるものとする。角度は、 x 軸正方向を 0° とし反時計回りの向きを正とする。

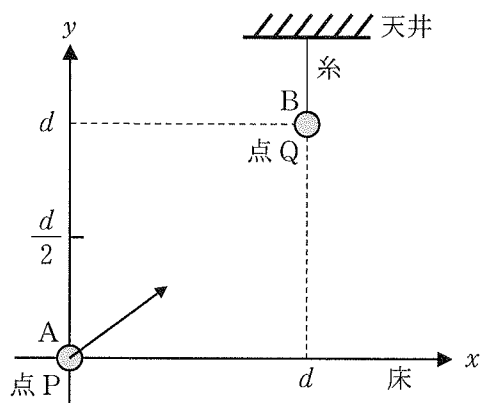


図 1

- (1) 小球 A を打ち出してから、小球 A が小球 B と衝突するまでの時間を求めなさい。
- (2) 小球 A を打ち出したときの、小球 A の初速度の大きさを求めなさい。
- (3) 小球 A を打ち出した角度を求めなさい。
- (4) 小球 A, B がそれぞれ点 P, Q から出発し衝突するまでの間、小球 B から見た小球 A の運動はどのような運動に見えるか文章で答えなさい。
- (5) 衝突直前の小球 A, B のそれぞれの速度の大きさと向きを求めなさい。ただし、向きは角度で答えなさい。

(4) (3)の解答にもとづき、 V_0 [V] と陰極、陽極の金属の種類に関する解釈

- ①～④のうち適切なものを一つ選びなさい。
- ① V_0 [V] は陰極の金属の種類で変化し、陽極の金属の種類では変化しない。
- ② V_0 [V] は陽極の金属の種類で変化し、陰極の金属の種類では変化しない。
- ③ V_0 [V] は陰極、陽極ともに金属の種類によって変化する。
- ④ V_0 [V] は陰極、陽極どちらの金属の種類によっても変化しない。

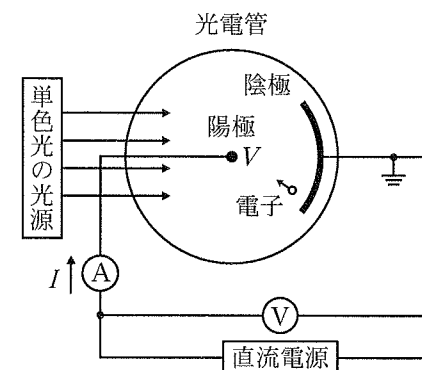


図 5-1

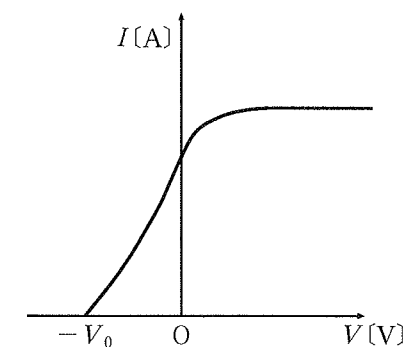


図 5-2

〔選択問題〕

〔V〕 光電管で図5-1の回路をつくり、光電効果を調べる。陰極は接地されており、直流電源の電圧を変えることにより陽極の電位 V [V] を変えることができる。単色光を光電管に当て、 V [V] と光電流 I [A] の関係を調べたところ、図5-2のグラフが得られた。プランク定数を h [J·s]、単色光の振動数を ν [Hz]、電子の質量を m [kg]、電気素量を e [C] として、以下の問いに答えなさい。

(1) 回路の条件を次のように変えたとき、 V [V] と I [A] の関係を示すグラフはどのように変化するか。それぞれ概略の曲線を描きなさい。解答用紙の図では図5-2の曲線は点線で示してある。

- ① 単色光の光を強くする。
- ② 単色光の振動数を大きくする。

(2) 陰極の仕事関数を W [J] とする。光電効果によって陰極から飛び出した直後の電子の速さの最大値 v_{max} [m/s] を h [J·s]、 ν [Hz]、 W [J]、 m [kg] のうち必要なものを用いて求めなさい。

(3) 陰極と陽極で異なる金属を用いる場合を考える。陽極の仕事関数を W' [J] とすると、陰極と陽極の金属の仕事関数の違いに伴う電位差 K [V] は次式で得られる。

$$eK = W' - W$$

ここで、回路に電流が流れている状態から直流電源の電圧を徐々に下げていくと I [A] はついには0となった。このときの電圧計の電圧を $-V_0$ [V] とすると、次式の関係が得られる。

$$\frac{1}{2} m v_{max}^2 = e(V_0 + K)$$

このとき V_0 [V] を e [C]、 h [J·s]、 ν [Hz]、 W [J]、 W' [J] のうち必要なものを用いて表しなさい。

(6) 小球 A、B が衝突によって一体になったとする。一体となった物体を物体 C とする。このとき、

- ア) 衝突直後の物体 C の速度の大きさと向きを求めなさい。ただし、向きは角度で答えなさい。
- イ) 衝突によって失われた力学的エネルギーを求めなさい。
- ウ) 物体 C が床に落ちた位置を点 P からの距離として求めなさい。

〔選択問題〕

〔Ⅱ〕 図2-1のように、 xy 平面上において x 軸上の $x = -a$ [m] ($a > 0$)の位置を点A、 $x = a$ [m]の位置を点Bとする。点Aに $2Q$ [C] ($Q > 0$)の点電荷を固定する。クーロンの法則の比例定数を k [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$]とし、また、電位の基準は無限遠にとるものとして、以下の問いに答えなさい。

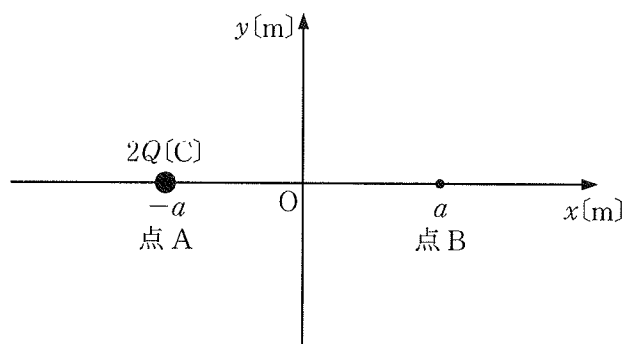


図2-1

- (1) 点Bでの電場の強さを求めなさい。
- (2) 点Bでの電位を求めなさい。

次に、図2-2のように、点Aに $2Q$ [C]の点電荷を固定したまま、点Bに $-Q$ [C]の点電荷を固定する。また、 y 軸上の $y = a$ [m]の位置を点C、 $x = -a$ [m]かつ $y = a$ [m]の位置を点D、 x 軸上の $x = 2a$ [m]の位置を点Eとする。

- (3) 点Bに置いた点電荷が受ける静電気力の大きさを求めなさい。
- (4) 点Cでの電場の強さを求めなさい。
- (5) 点Dでの電位を求めなさい。
- (6) xy 平面上で電位が0 Vとなる位置の x [m]と y [m]の関係を式で表しなさい。また、 xy 平面上で電位が0 Vの等電位線を描きなさい。ただし、無限遠は除くものとする。

(4) 以下の3つのケースのように、気体温度や圧力・体積の条件を一部変更した。このとき、それぞれのケースに対して、熱機関の効率 e を求めなさい。また最も効率が良いのはどのケースか答えなさい。

ケース1 状態1での気体の温度 T_1 [K]を $T'_1 = 2T_1$ [K]に変更する。

ケース2 圧力 p_H を $p'_H = 4p_L$ [Pa]に変更する。

ケース3 体積 V_H を $V'_H = 4V_L$ [m^3]に変更する。

(5) 定圧モル比熱 C_P [J/(mol·K)]と定積モル比熱 C_V [J/(mol·K)]の比 $\gamma (= C_P/C_V)$ を比熱比という。単原子分子理想気体の代わりに、比熱比 $\frac{7}{5}$ の気体を用いたときの熱機関の効率 e を求めなさい。

〔選択問題〕

〔IV〕 n [mol] の単原子分子理想気体に対して、図 4 のような変化 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ を 1 サイクルとする熱機関をつくった。 $1 \rightarrow 2$ および $3 \rightarrow 4$ の変化は定積過程であり、 $2 \rightarrow 3$ と $4 \rightarrow 1$ の変化は定圧過程である。状態 1 での圧力を p_L [Pa]、体積を V_L [m³] とし、状態 2、3 での圧力を $p_H (= 2p_L)$ [Pa]、状態 3、4 での体積を $V_H (= 2V_L)$ [m³] とする。状態 1 での気体の温度を T_1 [K]、気体定数を R [J/(mol·K)] とし、記号 n 、 T_1 、 R のうち必要なものを用いて、以下の問いに答えなさい。なお、熱機関の効率 e は分数で答えて良い。

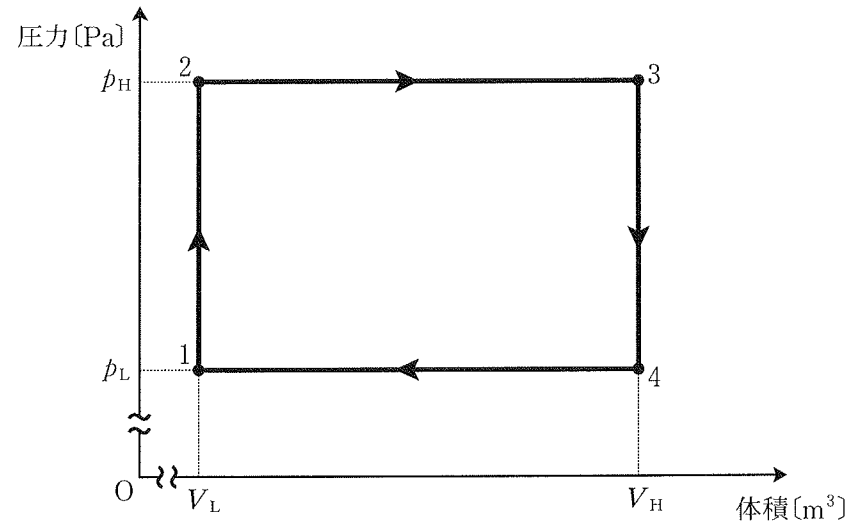


図 4

- (1) 状態 2、3、4 の気体温度 T_2 [K]、 T_3 [K]、 T_4 [K] をそれぞれ求めなさい。
- (2) サイクル $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ にて、気体が吸収する熱 Q_{in} [J]、気体が放出する熱 Q_{out} [J] を求めなさい。
- (3) 熱機関の効率 e を求めなさい。

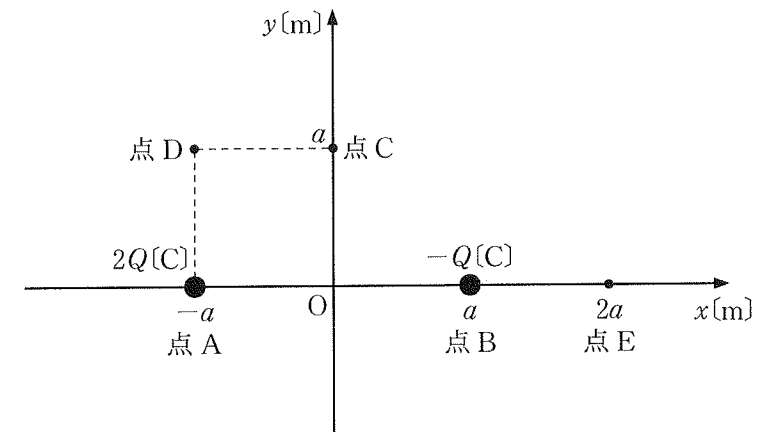


図 2-2

最後に、点 A に $2Q$ [C] の点電荷を固定したまま、点 B に固定していた $-Q$ [C] の点電荷を点 E まで x 軸に沿ってゆっくりと移動させた。

- (7) この移動のときに $-Q$ [C] の点電荷に加えた外力がした仕事を求めなさい。

〔選択問題〕

〔Ⅲ〕 光の速さを以下の実験 A、実験 B の方法により測定する。以下の問いに答えなさい。

実験 A：図 3-1 のようなフィゾーの測定について考える。歯車の歯の数を N 個(歯の幅とすき間の幅は等しいとする)、半径を r (m)、歯車と反射平面鏡の距離を l (m) とする。ただし、光がハーフミラーを通過する時間は無視できるものとする。図 3-1 において、光源からの光は、ハーフミラーで反射し、歯車のすき間を通り、反射平面鏡で反射したのち、再び歯車にいたる。

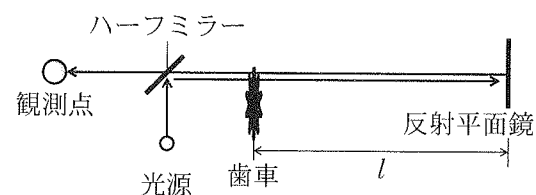


図 3-1

- (1) 光速を c (m/s) とするとき、光が歯車と反射平面鏡を往復する時間を求めなさい。
- (2) 歯車の 1 秒当たりの回転数を 0 から徐々に増していき、その回転数が f (1/s) となったとき反射してきた光が初めてさえぎられた。歯車がすき間から歯へ 1 つ分回転する時間を求めなさい。
- (3) 光速 c を求める式を書きなさい。

実験 B：空气中(屈折率 1 とする)で、一方が平面で他方が球面の平凸レンズを凸面を下にして平面ガラスの上に載せて、これに垂直に上から単色光をあてニュートンリングを作った(図 3-2)。平凸レンズの球面の半径を R (m)、単色光の波長を λ (m) とする。

- (4) 平凸レンズの中心から距離 r (m) の位置での d (m) を R および r で表しなさい。ただし、 R に比べて d および λ は十分小さいものとする。必要に応じて、 a が 1 に比べて十分小さいときに成り立つ近似式、 $(1 + a)^2 \approx 1 + 2a$ を用いなさい。

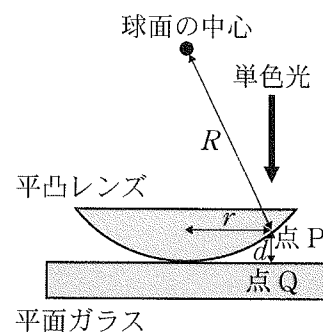


図 3-2

- (5) レンズの下面(点 P)で反射する光と平面ガラス上面(点 Q)で反射する光との光路差を、 R および r で表しなさい。
- (6) 暗環の半径について、 r^2 を正の整数 m を使って書きなさい。

暗環の半径をいくつか測定したところ表の結果を得た。ただし、中心から何番目かの情報は記録がなく、半径は中心に近いほうから順に 1 つずつ測定したものであった。また、単色光の振動数は 5.0×10^{14} Hz、 R は 5.0 m とする。

- (7) 表のデータについて縦軸に r^2 、横軸に測定順をとりグラフを描きなさい。
- (8) (7)のグラフにもとづいて、計算過程を示しながら有効数字 2 桁で光速を求めなさい。

表

測定順	1	2	3	4	5
半径 r [$\times 10^{-3}$ m]	3.0	3.4	3.9	4.2	4.6