

平成 27 年 度

問題冊子

教 科	科 目	ページ数
理 科	物 理	9

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つさい記入しないこと。
4. 問題〔Ⅳ〕、〔Ⅴ〕は選択問題である。どちらか一方のみを解答すること。両方を解答してはいけない。選択問題〔Ⅳ〕、〔Ⅴ〕のうち、選択した問題の番号を解答用紙 4 ページ目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、全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. 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，水平な床面に沿って x 軸(右方向を正)，鉛直方向に y 軸(上方を正)をとり，床面上に存在する原点を点 O とする。高さ h [m] ($h > 0$) の位置に水平で固定された軌道があり，その軌道上を質点 A (質量 m_A [kg]) を載せた射出台 P が左から右に向かって等加速度直線運動を行う。射出台 P の初速度は v_P [m/s] で，点 O の直上に t_0 [s] ($t_0 > 0$) 後に達する。射出台 P は点 O の直上に達した瞬間に鉛直上方向に初速度 v_A [m/s] ($v_A > 0$) で質点 A を射出する。それと同時に，点 O からは質量 m_B [kg] の質点 B を右上方に角度 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$)，初速度 v_B [m/s] ($v_B > 0$) で射出することになっている。射出台 P の加速度は，質点 A と質点 B を空中で衝突させることができるように設定される。これについて，以下の問いに答えなさい。ただし，重力加速度は g [m/s²]，空気の抵抗は無視できるものとする。また，射出後の質点 A と質点 B は，射出台 P とその軌道を透過するものと仮定する。

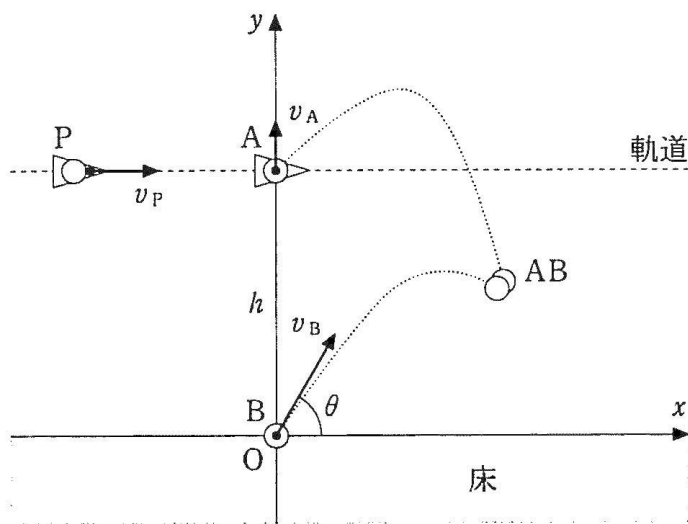


図 1

- (1) 射出台 P の加速度を求めなさい。
- (2) 図 1 のように、質点 A が落下中に質点 B と衝突する場合、質点 A の高さが最高となる位置の x 座標と y 座標を求めなさい。
- (3) 質点 A と質点 B が射出されてから空中で衝突するまでの時間を求めなさい。
- (4) 質点 A が落下中に質点 B と衝突する場合、 h が満たすべき条件を求めなさい。

質点 A と質点 B は、床に落下する前に完全非弾性衝突により質点 AB となる。 $m_A = 3.0 \text{ kg}$, $v_A = 3.0 \text{ m/s}$, $m_B = 2.0 \text{ kg}$, $v_B = 8.0 \text{ m/s}$, $\theta = 30^\circ$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sqrt{3} = 1.7$ であるとして以下の問いに答えなさい。

- (5) 質点 A と質点 B が衝突して質点 AB となった位置の x 座標と y 座標を求めなさい。
- (6) 質点 A と質点 B が衝突して質点 AB となった直後の、質点 AB の速度の x 成分と y 成分を求めなさい。

〔Ⅱ〕 図2のような直流回路において、起電力 $E_1 = 24\text{ V}$ 、 $E_2 = 8\text{ V}$ の電池、抵抗 $R_1 = 100\ \Omega$ 、 $R_2 = 25\ \Omega$ 、 $R_3 = 60\ \Omega$ 、可変抵抗 $R[\Omega]$ 、電流計 A、および、スイッチ S が接続されている。ただし、電池および電流計の内部抵抗は無視できるものとする。解答において、必要な場合は、小数点第2位まで答えよ。

(1) スイッチ S を a 側に入れた状態にする。

- ① 電流計に電流が流れないようにしたとき、点 O に対する点 P の電位 [V] を求めなさい。
- ② 電流計に電流が流れないようにしたとき、可変抵抗 $R[\Omega]$ の大きさを求めなさい。
- ③ 電流計に 0.17 A の電流が図の上から下に向かって流れたとき、可変抵抗 $R[\Omega]$ の大きさを求めなさい。

(2) スイッチ S を a 側から、b 側に切り替えた状態にする。

- ① 電流計に電流が流れないようにしたとき、可変抵抗 $R[\Omega]$ の大きさを求めなさい。
- ② 可変抵抗 $R = 30\ \Omega$ にしたとき、回路全体の消費電力 [W] を求めなさい。
- ③ 可変抵抗 $R = 30\ \Omega$ にしたとき、電流計に流れる電流 [A] の大きさを求めなさい。

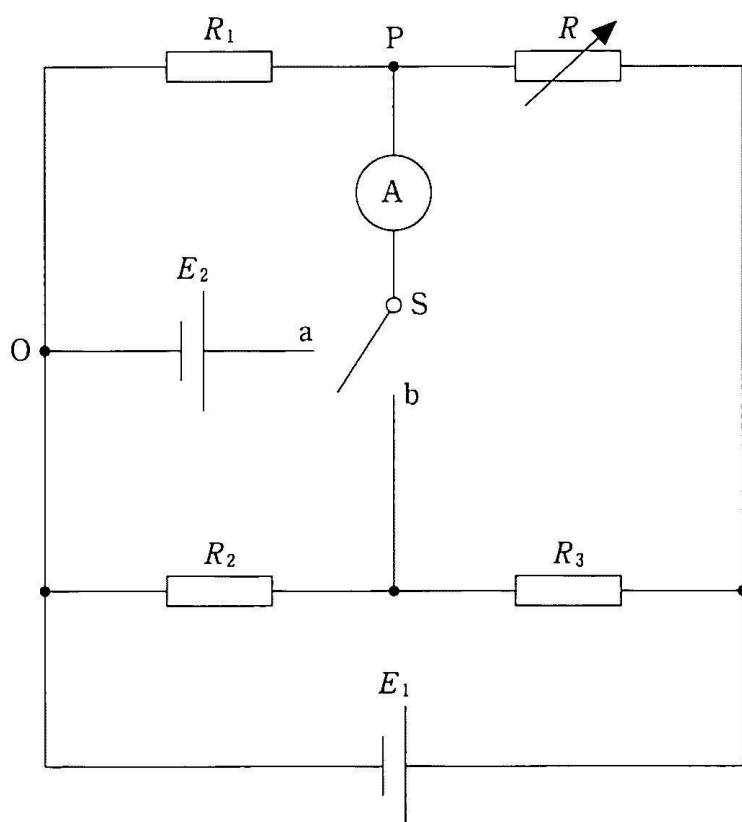


図 2

〔Ⅲ〕 正弦波が x 軸に沿って正の向きに進んでいる。観測機器を地点 $x = 0 \text{ m}$ に設置し波の変位 $y \text{ [m]}$ を観測した結果、図 3 の波形を得た。

- (1) 図 3 の波形について、変位 $y \text{ [m]}$ と時刻 $t \text{ [s]}$ との関係を正弦関数を用いて表しなさい。
- (2) この波の振動数 $f \text{ [Hz]}$ を答えなさい。

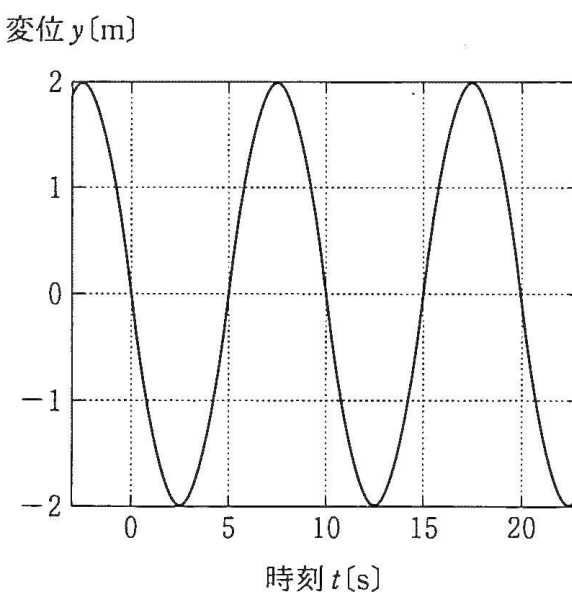


図 3

地点 $x = 20 \text{ m}$ に別の観測機器を設置したところ、地点 $x = 0 \text{ m}$ での測定と比較して逆位相となる波形を観測した。このような観測地点は $0 \text{ m} < x < 20 \text{ m}$ には存在しないことも分かった。

- (3) この波の波長 $\lambda \text{ [m]}$ を答えなさい。
- (4) この波の進む速さ $v \text{ [m/s]}$ を答えなさい。
- (5) 時刻 $t \text{ [s]}$ における、地点 $x \text{ [m]}$ の波の変位 $y \text{ [m]}$ を答えなさい。
- (6) 時刻 $t = 15 \text{ s}$ における、波の変位 $y \text{ [m]}$ をグラフに書きなさい。

上記の正弦波と同じ周期・振幅を持つ正弦波を x 軸の負の向きに加えた。このとき二つの波は干渉し、定常波が発生する。

- (7) 最も振幅が大きくなる点を定常波の腹という。定常波の腹での振幅 [m] を答えなさい。
- (8) 腹と腹との間隔 [m] を答えなさい。

〔Ⅳ〕 選択問題

図4に示すように断熱された容器とピストンを用いて、単原子分子からなる n [mol] の理想気体を密封した。ピストンの断面積は S [m²] で質量は無視できる。容器内には発熱体を取り付けられている。容器内部の理想気体の初期状態は体積 V_0 [m³]、圧力 p_0 [Pa]、絶対温度 T_0 [K] だった。気体定数を R [J/(mol・K)] として以下の問いに答えなさい。

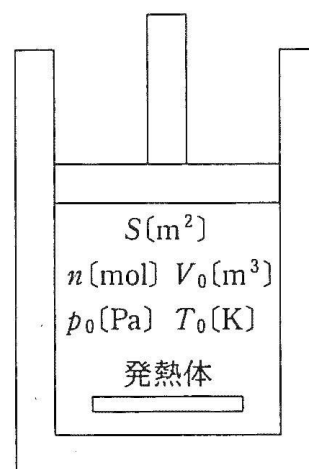


図4

- (1) ピストンが動かないように固定した。初期状態の理想気体に、発熱体を用いて Q [J] の熱を与えた。しばらく時間がたつと、容器内の状態は一様となり、体積 V_1 [m³]、圧力 p_1 [Pa]、絶対温度 T_1 [K] となった。
- ① このとき、 n [mol] の気体の内部エネルギー U_1 [J] を求めなさい。
 - ② T_1 [K] と元の温度 T_0 [K] との差を ΔT_1 [K] とする。加えた熱 Q [J] と ΔT_1 [K] の関係を示しなさい。
- (2) ピストンが滑らかに動くことができるようにした。初期状態の理想気体に、発熱体を用いて Q [J] の熱を与えた。しばらく時間がたつと、容器内の状態は一様となり、体積 V_2 [m³]、圧力 p_2 [Pa]、絶対温度 T_2 [K] となった。
- ① このとき、 n [mol] の気体の内部エネルギー U_2 [J] を求めなさい。
 - ② 気体が外部に行った仕事 W_{out} [J] を 体積を用いて 答えなさい。
 - ③ 気体が外部に行った仕事 W_{out} [J] を 体積を用いず に答えなさい。
 - ④ T_2 [K] と元の温度 T_0 [K] との差を ΔT_2 [K] とする。加えた熱量 Q [J] と ΔT_2 [K] の関係を示しなさい。

この実験装置を上皿はかりに乗せたところ、 $M_0[\text{kg}]$ と表示された。重力加速度を $g[\text{m/s}^2]$ として以下の問いに答えなさい。はかりの皿の上下動はごくわずかで無視できるものとする。

- (3) 図5のようにピストンの上に、固定板を設置し、ピストンが初期状態の位置から、上に上がらないようにした。固定板の質量は、はかりの表示に影響しない。初期状態の理想気体に、発熱体を用いて $Q[\text{J}]$ の熱を与えた。しばらく時間がたつと、容器内の状態は一様となり、体積 $V_1[\text{m}^3]$ 、圧力 $p_1[\text{Pa}]$ 、絶対温度 $T_1[\text{K}]$ となった。

- ① $p_1[\text{Pa}]$ と元の圧力 $p_0[\text{Pa}]$ との差を $\Delta p_1[\text{Pa}]$ とする。 $\Delta p_1[\text{Pa}]$ を 絶対温度を用いて 答えなさい。
- ② 上皿はかりに表示される質量の $M_0[\text{kg}]$ からの変化量 $\Delta M_1[\text{kg}]$ を 絶対温度や圧力を用いず に答えなさい。

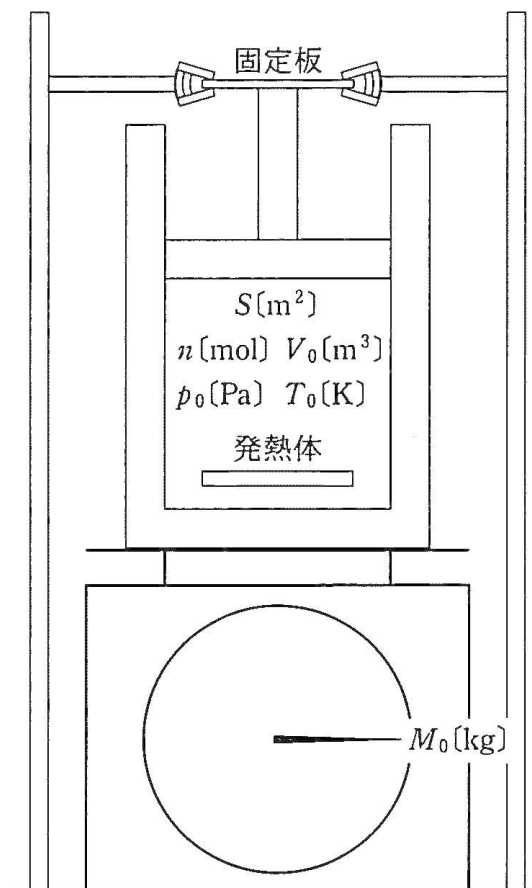


図5

(4) 図6のように、実験装置を上皿はかりに載せたまま固定板を外し、ピストンが滑らかに動くことができるようにした。初期状態からゆっくりとピストンを押し込むと体積 $V_3[\text{m}^3]$ 、圧力 $p_3[\text{Pa}]$ 、絶対温度 $T_3[\text{K}]$ となった。この場合、発熱体は発熱しない断熱変化の過程なので、 $pV^\gamma = \text{一定}$ が成立する。 γ は比熱比と呼ばれ、(1)–②で得られた ΔT_1 と(2)–④で得られた ΔT_2 の比 $\Delta T_1/\Delta T_2 = \gamma$ で与えられる。上皿はかりに表示される質量の $M_0[\text{kg}]$ からの変化量 $\Delta M_3[\text{kg}]$ を 絶対温度 や 圧力 を用いずに答えなさい。ただし、初期状態の絶対温度 $T_0[\text{K}]$ は用いてよい。

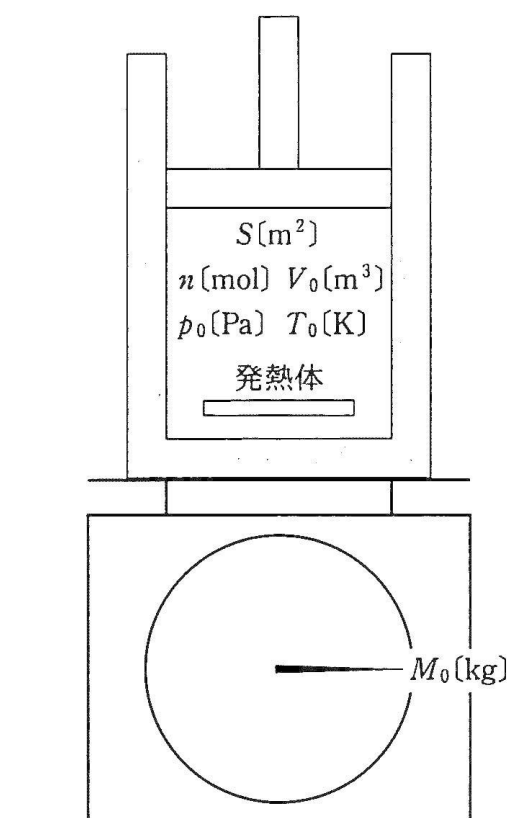


図6

〔V〕 選択問題

電子の電荷を求める実験がミリカンにより行われた。この実験と同様の実験を行った。

図 7 のように、絶縁体の容器に 2 つの水平で平行な極板を設置した。極板間に電圧をかけ、霧吹きを使って油滴を吹き込んだ。極板間の電場は一様であったとする。油滴周辺の空気分子に X 線を当ててイオン化させ、イオンを油滴に付着させた。この油滴は電場から電気力を受け運動をするが、この油滴 1 つずつを顕微鏡で観察した。

次に、極板間の電圧を 0 にして、油滴を落下させた。落下する油滴にたいして重力と空気抵抗がつりあう速度を観察した。

これら二通りの実験の間の油滴の運動の様子から油滴に付着した電荷を計算し、これにもとづいて電子の電荷を求めた。

重力加速度を g 、プランク定数を h 、光速を c とする。

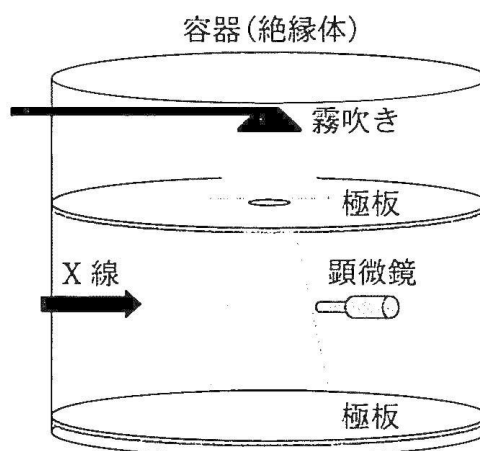


図 7

下線部(a)について以下の問いに答えなさい。

- (1) X 線の波長を λ とするとき、光子 1 個のエネルギーはいくらか答えなさい。
- (2) X 線管により X 線を発生させるとき、特定のエネルギーをもつ X 線が放射される。この X 線を何というか答えなさい。
- (3) X 線によりイオン化される現象の名称を 1 つ答えなさい。

下線部(b)について以下の問いに答えなさい。

- (4) 極板間の電圧が V 、間隔が d として、電場の大きさを答えなさい。
- (5) 油滴がイオン化され電荷が q として、受ける電気力を答えなさい。

下線部(c)について以下の問いに答えなさい。

- (6) 極板間で油滴が静止していた。このとき得られる関係式を答えなさい。ただし、油滴の質量を m とする。

下線部(d)について以下の問いに答えなさい。

- (7) 空気の抵抗力が油滴の落下する速さ v に比例し、比例定数を k とする。このとき得られる関係式を答えなさい。ただし、油滴の質量を m とする。

下線部(e)について、実験の結果得られた油滴の電気量を計算したところ、表 1 を得た。以下の問いに答えなさい。

- (8) 測定値の差を 6 通り計算し、小さな値から順に書きなさい。
- (9) (8)で答えた 6 個の電荷の差のうち最も小さな値を、それぞれ、電子 1 個、2 個、3 個分の電荷と仮定した場合について、6 個の電荷の差の値を比で表しなさい。表した比のうち簡単な整数比になるものを答えなさい。ただし測定値には、ばらつきがあることを考慮しなさい。
- (10) (9)にもとづき、表 1 の実験番号 1 の測定値は電子何個分の電荷に相当するか答えなさい。
- (11) 電子の電荷を求めるために、表 1 の結果をすべて反映させるように平均をとる。この計算式を書きなさい。

表 1 油滴の電気量

実験番号	1	2	3	4	5
電荷 [10^{-19} C]	14.42	11.22	7.99	4.81	3.19