

平成 29 年度 入学者選抜学力検査問題

理 科

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、問題冊子及び解答用紙の中を見てはいけません。
- 2 出題科目、ページ及び解答用紙の枚数は、下表のとおりです。

出題科目	ページ	解答用紙枚数
物 理	1 ～ 10	4
化 学	11 ～ 18	5
生 物	19 ～ 32	5
地 学	33 ～ 40	5

- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の枚数の過不足や汚れ等に気がついた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- 4 試験開始後、すべての解答用紙に受験番号、志望学部及び氏名を記入してください。受験番号の記入欄はそれぞれ2箇所あります。
- 5 解答はすべて解答用紙の指定された解答欄に記入してください。
- 6 問題冊子の余白は適宜使用してください。
- 7 各問題の配点は100点満点としたときのものです。
- 8 試験終了後、問題冊子は持ち帰ってください。

物 理

1 以下の説明文を読み、その後の問いに答えなさい。(配点 25)

図1のように、伸び縮みしない糸で結ばれた質量 m [kg] の質点が、摩擦のない水平な板の上を角速度 ω [rad/s] で等速円運動をしている。糸は、板の中央(点 O) に開けられた穴を通して下方に垂れ下がり、点 A において力 F [N] で引っ張られているものとする。また、質点と点 O の間の距離を r [m]、点 O と点 A の間の距離を l [m] とする。

問 1 質点が半径 r の等速円運動をしているとき、点 A での力 F を求めなさい。

問 2 等速円運動しているこの質点の運動エネルギーを求めなさい。

問 3 点 A で糸を距離 Δl [m] だけ下方に引っ張るときの、力 F のする仕事を求めなさい。ただし、 Δl は l に比べて十分小さいとし、結果は $m, r, \omega, \Delta l$ を用いて表しなさい。

問 4 問 3 での過程によって、質点と点 O との距離 r は $r - \Delta l$ に減少すると同時に質点の角速度 ω は $\Delta\omega$ [rad/s] だけ大きくなり、 $\omega + \Delta\omega$ となった。このとき、質点の運動エネルギーが問 2 のときと比べてどれだけ増加したか求めなさい。ただし、 $\Delta\omega$ は ω に比べて十分小さいとし、下記の近似式を用いなさい。また、計算過程も示しなさい。

$\varepsilon, \varepsilon'$ がそれぞれ x, y に対して十分小さい場合、以下の近似式が成り立つ。

$$(x - \varepsilon)^2 (y + \varepsilon')^2 = x^2 y^2 + 2(x^2 y \varepsilon' - x y^2 \varepsilon)$$

問 5 問 3 での仕事が、問 4 の運動エネルギーの増加に変わったとして、質点の角速度の増加 $\Delta\omega$ を求めなさい。また、計算過程も示しなさい。

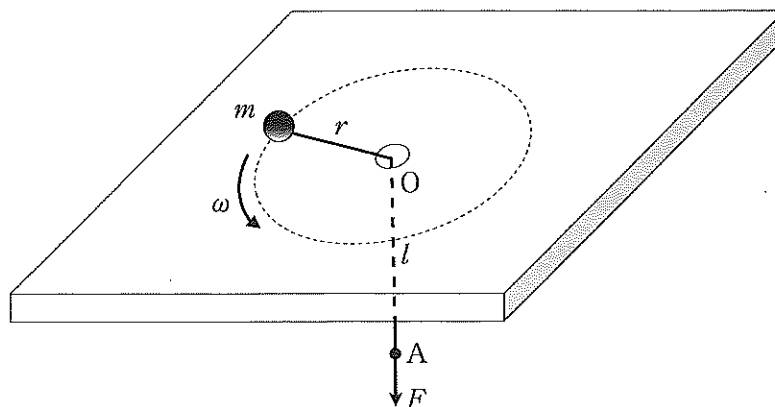


図1 水平な板の上で回転する質点

2 以下の説明文を読み、その後の問いに答えなさい。(配点 25)

問 1 以下の文中の(ア)～(キ)を埋める適切な式を記入しなさい。なお、同じ記号の空欄には同じ式が入る。

導体の両端に電圧を加えると導体内部に電流が生じる。図 1 のように長さ L (m)、断面積 S (m²) の導体の両端に V (V) の電圧を加える。導体を流れる電流の大きさ I (A) は、単位時間当たりに導体の断面を通過する電気量の大きさである。導体断面に垂直な方向の電子の速度の大きさを v (m/s)、導体内の単位体積当たりの電子の数を n (個/m³) とする。時間 t (s) の間に断面を通過する電子の数は (個) である。電子の電気量は $-e$ (C) であるので、時間 t (s) の間に断面を通過する電気量の大きさは (C) である。したがって、導体を流れる電流 I の大きさは $I =$ (A) と表される。

導体両端の V (V) の電圧により、長さ L (m) の導体内部には一様な電場が生じる。この電場により、電気量 $-e$ (C) の電子は大きさ (N) の力を受けて正極方向に移動する。電子は熱振動している導体内部のプラスイオンと衝突して、移動方向と逆向きの抵抗力を受ける。この抵抗力の大きさは電子の速度に比例すると仮定して、その比例定数を k とする。電子の速さが増すにつれて抵抗力が大きくなり、やがて電場から受ける力と抵抗力がつりあう。この力のつりあいの条件から電子の速度の大きさ v は、 e, k, V, L を用いて $v =$ (m/s) と表される。上記の $I =$ (A) に $v =$ (m/s) を代入すると、導体に流れる電流は、 e, n, k, V, L, S を用いて $I =$ (A) となる。オームの法則を用いると、導体の電気抵抗 R (Ω) は、

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

となる。ここで ρ (Ω・m) は n, k, e を用いて $\rho =$ (Ω・m) と表される。この ρ を導体の抵抗率と呼ぶ。

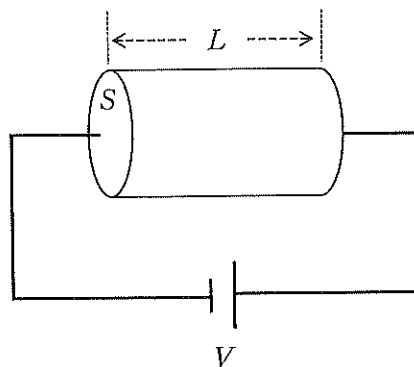


図 1 電圧を加えた導体

問 2 問 1 の導体の抵抗率は導体の材質と温度に依存する。導体が金属の場合、温度上昇とともに抵抗率は増加する。あまり広くない温度範囲では、 0°C での抵抗率を ρ_0 、 $T[^{\circ}\text{C}]$ での抵抗率を ρ とすると、

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha T)$$

という関係式が成り立つ。ここで $\alpha[1/^{\circ}\text{C}]$ は抵抗率の温度係数である。ある金属の 0°C での抵抗の値を $R_0[\Omega]$ として以下の問いに答えなさい。

- (1) $T[^{\circ}\text{C}]$ での金属の抵抗 $R[\Omega]$ を、 R_0 、 α 、 T を用いて表しなさい。
- (2) 温度上昇 1°C あたりの抵抗 R の増加を R_0 、 α を用いて表しなさい。

問 3 ある金属の電気抵抗の温度変化を測定し、図 2 のようなグラフが得られた。グラフから、抵抗と温度の関係は直線で表されることがわかった。この金属の抵抗率の温度係数 $\alpha[1/^{\circ}\text{C}]$ を求めなさい。有効数字 3 桁で計算し、3 桁目の数字を四捨五入して有効数字 2 桁で求めなさい。計算過程も示しなさい。

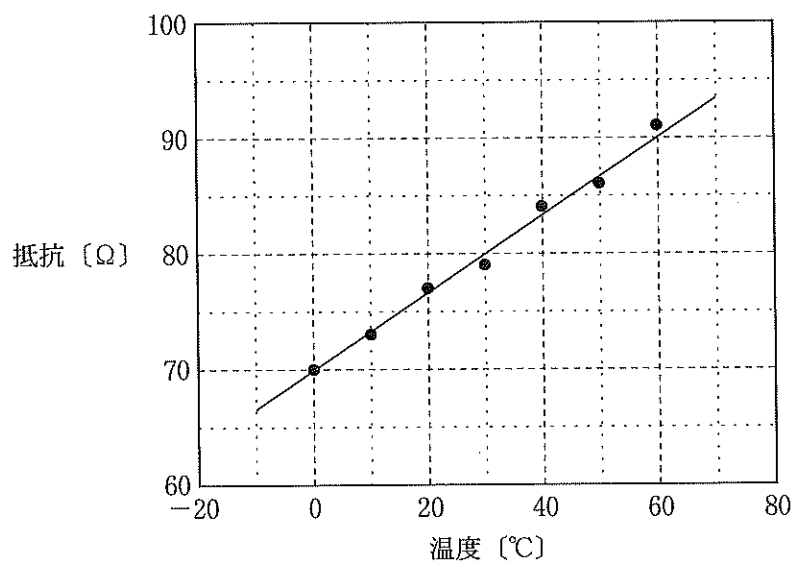


図 2 電気抵抗と温度の関係。黒丸が測定値。

3 以下の説明文を読み、その後の問いについて答えなさい。(配点 25)

なお、空気の屈折率を 1、水の屈折率を n とする。

問 1 以下の文中の (1) から (3) を埋める適切な式を記入しなさい。なお、同じ記号の空欄には同じ式が入る。

図 1 のように、光が屈折率の小さな空気中から屈折率の大きな水中に入射するとき、屈折角 r (rad) は入射角 i (rad) に比べて小さくなる。光は、入射角 i で点 A から点 B に向かって速度 v_1 (m/s) で進み水面に入射するとき、屈折角 r で点 O から点 C に向かって速度 v_2 (m/s) で水中を進む。なお、光が、点 A から点 B、点 O から点 C に達するまでの時間をともに t (s) とする。このとき、三角形 OAB と三角形 OBC は、辺 OB を共有していることから、以下の通りとなる。

$$\overline{OB} = \frac{v_1 t}{\boxed{(1)}} = \frac{v_2 t}{\boxed{(2)}}$$

このため、水中での光の速度に対する、空気中での光の速度の関係は以下の通りとなる。

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\boxed{(1)}}{\boxed{(2)}} = \boxed{(3)}$$

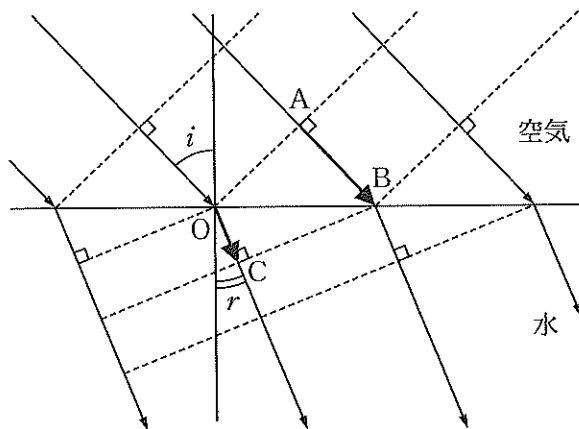


図 1 水中へ入射する光

問 2 以下の文中の (1) から (3) を埋める適切な語句または式を記入しなさい。

図 2 に示すように光が屈折率の大きな水中から、屈折率の小さな空气中へ入射するとき、屈折の法則から、入射角 i [rad] よりも屈折角 r [rad] は大きくなる。入射角 i を大きくしていくと、やがて $i = i_0$ [rad] となったところで屈折角 r が $90^\circ (= \pi/2 \text{ rad})$ に達する。この時の入射角 i_0 のことを (1) という。また、 i_0 以上の角度で入射した光は、空气中に入射することなく水中を進むが、この現象を (2) という。また、この時の入射角 i_0 は以下の通りとなる。

$$\sin i_0 = \text{(3)}$$

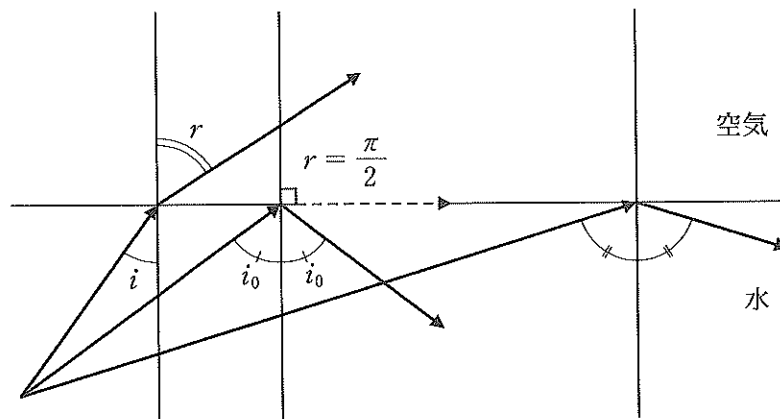


図 2 空気中に入射する光

問 3 以下の文中の (1) から (5) を埋める適切な式を記入しなさい。

波のないおだやかな水面を通して水中をのぞくとき、水中に静置された物体が実物と異なる見え方をすることがある。図 3 に示すように、水中の深さ d [m] の場所に水平に置かれた大きさ x [m] の物体 AB がある。点 B の真上、水面からの高さが h [m] の点 E に目があり、この物体を眺める。なお、点 A から出て目に達する光が水面に入射する角を i [rad]、屈折角を r [rad] とする。

点 A を出発した光は、入射角 i で水面に達し、水面で屈折して、屈折角 r で点 E の目に向かう。このとき、実物の大きさ x を d, h, i, r を用いて表すと、以下の通りとなる。

$$x = \boxed{(1)}$$

しかし、目は点 A から出発した光が水面で屈折していることを認識していないため、点 D を出発して点 E に直進したと錯覚し、物体 AB は実際の長さ x よりも大きい y [m] に見える。このとき、 y を d, h, r を用いて表すと、以下の通りとなる。

$$y = \boxed{(2)}$$

このため、水中に静置した物体の大きさは $\frac{y}{x}$ 倍に見える。入射角 i および屈折角 r が十分に小さい場合には、 $\tan i \doteq i$ および $\tan r \doteq r$ と近似することができるため $\frac{y}{x}$ は、以下の通り近似することができる。

$$\frac{y}{x} \doteq \frac{h+d}{h+d \times \boxed{(3)}}$$

一方、屈折率 n は入射角 i と反射角 r を使って書き表すことができるが、 i と r が十分に小さい場合には、 $\sin r \doteq r$ および $\sin i \doteq i$ と近似することができることから、屈折率 n は以下の通り近似することができる。

$$n \doteq \boxed{(4)}$$

したがって、最終的に $\frac{y}{x}$ は n, h, d を用いて表すと以下の通りとなる。

$$\frac{y}{x} \doteq \boxed{(5)}$$

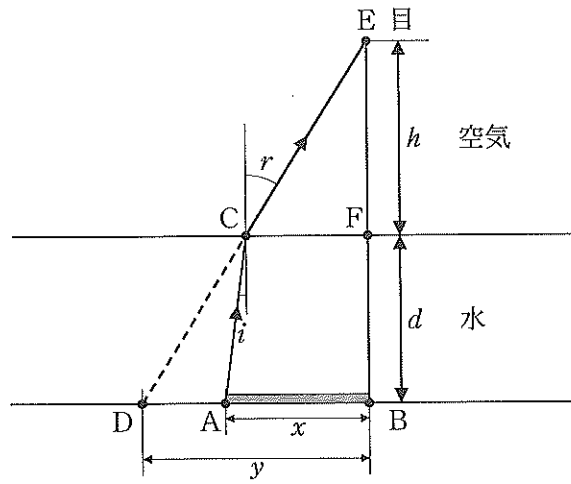


図3 水中に静置された物体の見え方

4 以下の説明文を読み、その後の問いに答えなさい。(配点 25)

図 1 に示すような、なめらかに動く軽いピストンがついたシリンダーがある。1 モルの単原子分子理想気体がシリンダー内に閉じ込められている。シリンダー内部には、気体の温度を調節できる温度調節器がある。シリンダー(ピストンも含む)は外部との熱のやり取りはない。外部の圧力は、 P_0 [Pa]であった。最初、シリンダー内部の気体は、外部の圧力と釣り合っており、体積は V_A [m^3]であった。この最初の状態を、状態 A とする。この状態から、以下の操作を行った。

ピストンを固定し、温度調節器を作動させて気体を加熱した。温度調節器が気体に加えた熱量は Q_A [J]であった。加熱によって気体の温度は T_B [K]になった。このときの気体の圧力は $5P_0$ であった。この状態を状態 B とする。

次に、状態 B から温度調節器を作動させずにピストンの固定を外したところ、ピストンは右側に移動し、ある位置で停止した。この状態を状態 C とする。

最後に、状態 C から温度調節器を作動させると、ピストンが左側へ移動し、状態 A と同じ位置で停止した。

気体定数を R [J/(mol·K)] とするとき、単原子分子理想気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ である。この気体は比熱比は $\frac{5}{3}$ であり、断熱変化をするときに $PV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ の関係が成立する。必要であれば、 $5^{\frac{5}{3}} = 14.6$ 、 $5^{\frac{2}{3}} = 2.92$ 、 $5^{\frac{3}{5}} = 2.63$ を用いてよい。答えの中に小数が存在する場合、小数第 3 位を四捨五入して値を求めなさい。

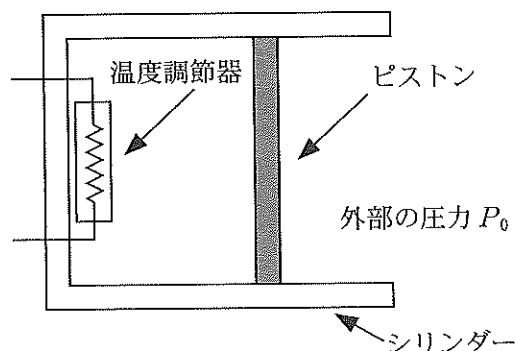


図 1 シリンダー

問 1 Q_A を、 P_0 と V_A を用いて表しなさい。

問 2 状態 C での体積 V_C [m^3] は、 V_A の何倍かを数値で求めなさい。

問 3 状態 B → 状態 C の変化の間に気体が外部に行った仕事 W_{BC} [J] を P_0 と V_A を用いて表しなさい。

問 4 状態 A → 状態 B → 状態 C → 状態 A の変化について熱効率 e の値を求めなさい。

状態 B から温度調節器を作動させて気体の温度を一定に保つようしながら、ピストンの固定を外した。するとピストンは右側に移動し、ある位置で停止した。この状態を状態 D とする。状態 D から温度調節器を作動させると、ピストンが左側に移動し、状態 A と同じ位置で停止した。

問 5 状態 D の体積 V_D [m^3] は、 V_A の何倍かを数値で求めなさい。さらに状態 B → 状態 D の変化における温度調節器の働きについて正しい説明を以下の選択肢から選び、記号で答えなさい。

- ① 温度調節器は、気体から熱を奪った。 ② 温度調節器は、気体に熱を与えた。

問 6 状態 D → 状態 A の変化の間に温度調節器が気体から奪った熱量 Q_D [J] を P_0 と V_A を用いて表しなさい。