

平成 28 年度(前期日程)

入学者選抜学力検査問題

物 理

〔注意事項〕

1. 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. 解答用紙のすべて(3枚)について、それぞれ2箇所ずつ、受験番号を記入しなさい。
3. この冊子は、この表紙および白紙のページと、問題が印刷されたページ1～6からなっています。落丁・乱丁および印刷の不鮮明な箇所などがあれば、手をあげて監督者に知らせなさい。
4. この冊子の白紙と余白は、適宜下書きなどに使用してもよろしい。
5. 解答は、別紙「物理解答用紙」の指定された場所(問題番号や設問の番号・記号などが対応する解答欄の中)に記入しなさい。指定された場所以外への解答は採点の対象外です。また、特に要求されていなければ、途中の計算式などを書かずに、問いに対する答えのみを記入しなさい。
6. 解答用紙は、持ち帰ってはいけません。
7. この冊子は、持ち帰りなさい。

I

図1のような羽根車を考える。羽根車は、中心となる質量 m の小球に、長さが L で質量の無視できる 6 枚の薄い板を 60° の間隔で取り付けたものであり、図2のように真横から見たときの小球の中心を O 、板の先端を A, B, \dots, F とする。この羽根車を A, B が接地するように水平な地面の上に垂直に立てて置き、小球に対して線分 BO に垂直な方向に大きさ v_0 の初速度 \vec{v}_0 を与えたところ、小球は図3、図4の破線のように B を支点とする時計回りの回転運動をおこない、高さが最大の状態(図3)を経て、 C が地面に着いた(図4)。ただし、支点となる板の先端は地面に対してすべることはなく、板の変形は生じないとする。重力加速度を g として以下の問いに答えよ。

- (1) 図3の瞬間の小球の位置エネルギーは、図2のときと比べてどれだけ増しているか(ア)。
また、小球が途中で逆戻りせずに図3の状態を通過して C が地面に着くためには、 v_0 はいくらより大きくなければならないか(イ)。
- (2) C が地面に着く直前(図4の状態)の小球の速度 \vec{v}_1 の大きさを求めよ。
- (3) 図4において、速度 \vec{v}_1 を線分 OC に平行な成分と垂直な成分に分解した場合の、線分 OC に平行な成分の大きさを答えよ。ただし、 \vec{v}_1 の大きさを v_1 とせよ。

C が地面に着いた直後(図5の状態)、 C は地面との接触を維持し、小球は、今度は線分 CO に垂直な方向の速度 \vec{v}_2 で、 C を支点とする時計回りの回転運動を始めた(図6はその後の様子を表す)。この速度 \vec{v}_2 を求めるため、次のように考える。 C が地面に着いた瞬間、小球には板を通じて地面からの撃力が作用し、この力によって、小球が地面に着く直前に持っていた速度 \vec{v}_1 のうち、線分 OC に平行な速度成分はゼロになり、垂直な成分のみが残る。その結果、小球の速度は \vec{v}_1 から \vec{v}_2 に変化する。

- (4) C が地面に着いた瞬間に小球が受ける力積の大きさを求めよ。
- (5) 速度 \vec{v}_2 の大きさを求めよ。

次に、図7のように、 30° 間隔の 12 枚の板を持つ羽根車を、上と同じ小球と板を用いて構成した。真横から見たときの小球の中心を O 、板の先端を P_1, P_2, \dots, P_{12} とする。この羽根車を P_1, P_2 が接地するように水平な地面の上に置き、小球に対して、図中の矢印のように線分 P_2O に垂直な方向の初速度を与えたところ、羽根車は P_2 を支点とする時計回りの回転運動をおこなったあと、 P_3, P_4, \dots の順に支点を次々に切り替えながら転がった。以下の空欄(ア)~(ウ)に入る式を答えよ。ただし、(イ)と(ウ)では、隣りあう板の間の角度 30° を θ とおいて答えよ。

- (6) 板の先端が地面に着いて支点が切り替わるたびに、支点切り替え直後の小球の速さは切り替え直前の (ア) 倍になる。羽根車が半回転して P_8 が支点となったあと、次の P_9 が地面に着くことはなかった場合、初速度の大きさは (イ) より大きく (ウ) より小さい。

(配点率 33%)

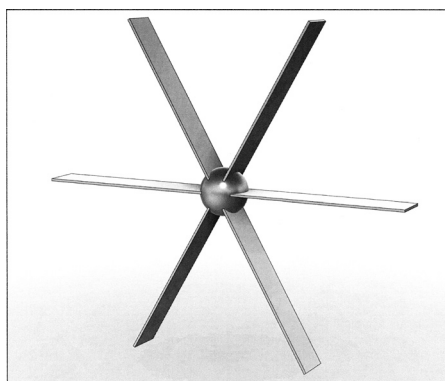


図1 羽根車

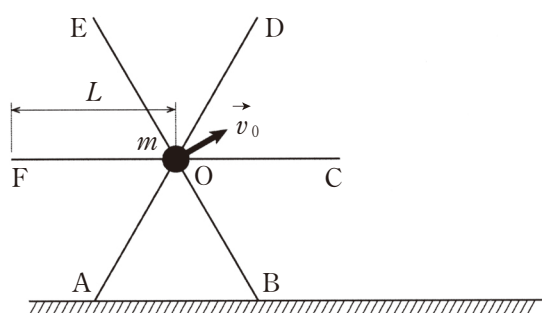


図2 はじめの状態

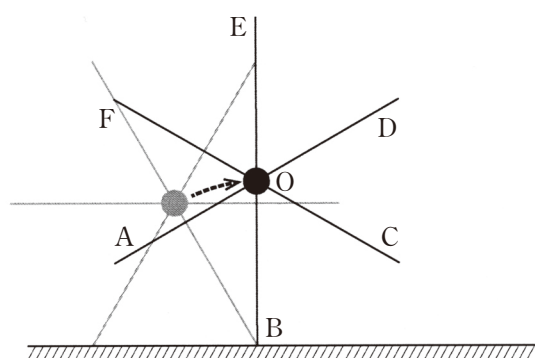


図3 Bを支点として回転

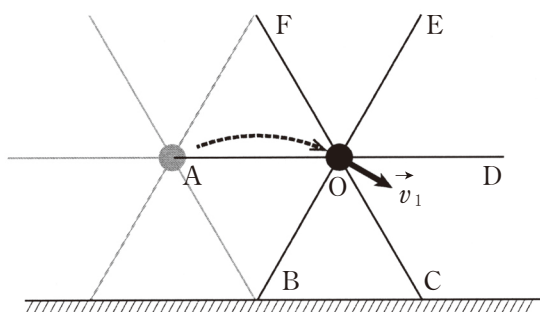


図4 Cが地面に着く直前

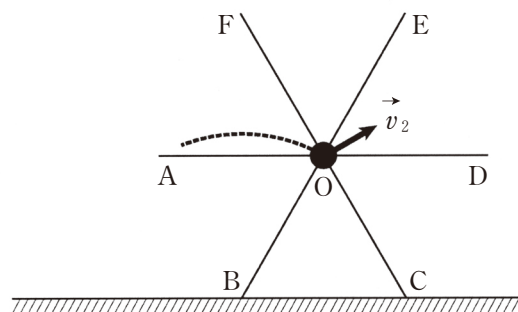


図5 Cが地面に着いた直後

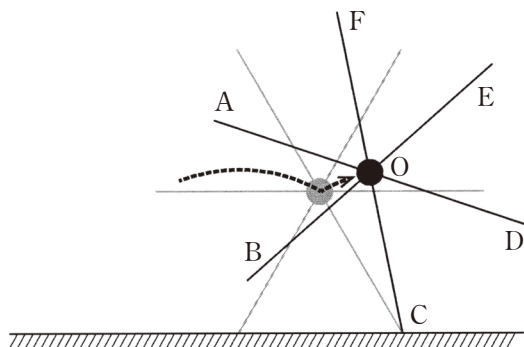


図6 Cを支点として回転

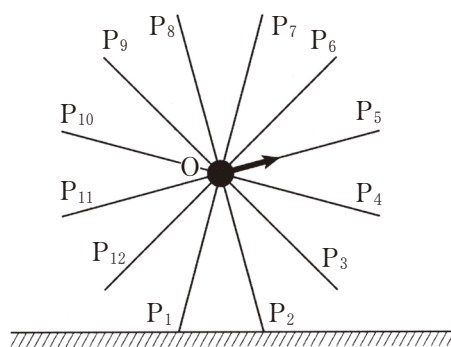


図7

Ⅱ 図1のように、内部抵抗が無視できる起電力 E の電池、抵抗値 R の抵抗、ダイオード D からなる回路を考える。電位の基準を電池の負極(一極)にとり、点 A の電位を V_A 、回路に流れる電流の大きさを I として、以下の問いに答えよ。

- (1) 抵抗にかかる電圧を、 E と V_A を用いた式で表せ。
- (2) 抵抗に流れる電流の大きさを、 E と V_A と R を用いた式で表せ。

ダイオード D の順方向の電流-電圧特性を図2に示す。図1の回路において、ダイオードに流れる電流の大きさは I に等しく、ダイオードの両端の電圧は V_A に等しいので、 I と V_A は図2の曲線上の点で表される。一方、同じ電流が抵抗に流れるので、 I と V_A との関係は、(2)で求めた式が表す直線上の点でもある。したがって、 E と R の値を与えたとき、 I と V_A の値は、これらの曲線と直線の交点として求められる。

- (3) $E = 1.6 \text{ V}$ 、 $R = 400 \ \Omega$ としたときの、 I の値(ア)と V_A の値(イ)を求めよ。ただし、電流は 0.1 mA 、電位は 0.01 V の位まで記せ。

次に、図3のように、内部抵抗が無視できる起電力 E の電池、抵抗値 R の抵抗、ダイオード D と同じ電流-電圧特性をもつ2つのダイオード D_1 と D_2 とを直列に接続した回路を考える。 E と R とをさまざまな値に変化させて、電流と電位を調べた。電位の基準を電池の負極(一極)にとり、点 B の電位を V_B 、点 C の電位を V_C 、回路に流れる電流の大きさを I とする。

- (4) 電位 V_B と V_C との間に成り立つ関係を式で表せ。
- (5) D_1 に流れる電流の大きさが 1.0 mA のときの V_B の値(ア)、 4.0 mA のときの V_B の値(イ)を求めよ。結果は 0.01 V の位まで記せ。
- (6) 回路に流れる電流の大きさ I と電位 V_B との関係を表すグラフを解答欄に記入せよ。
- (7) $E = 3.2 \text{ V}$ 、 $R = 800 \ \Omega$ としたときの、 V_B の値(ア)と V_C の値(イ)を求めよ。結果は 0.01 V の位まで記せ。

(配点率 33%)

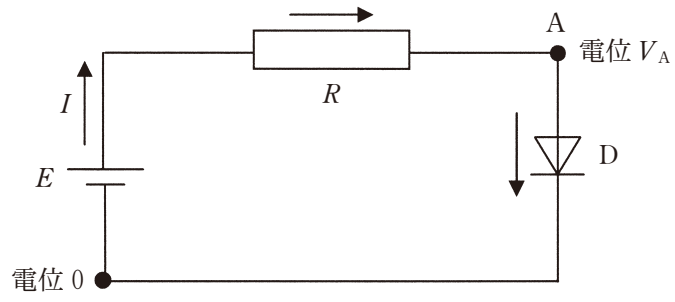


図 1

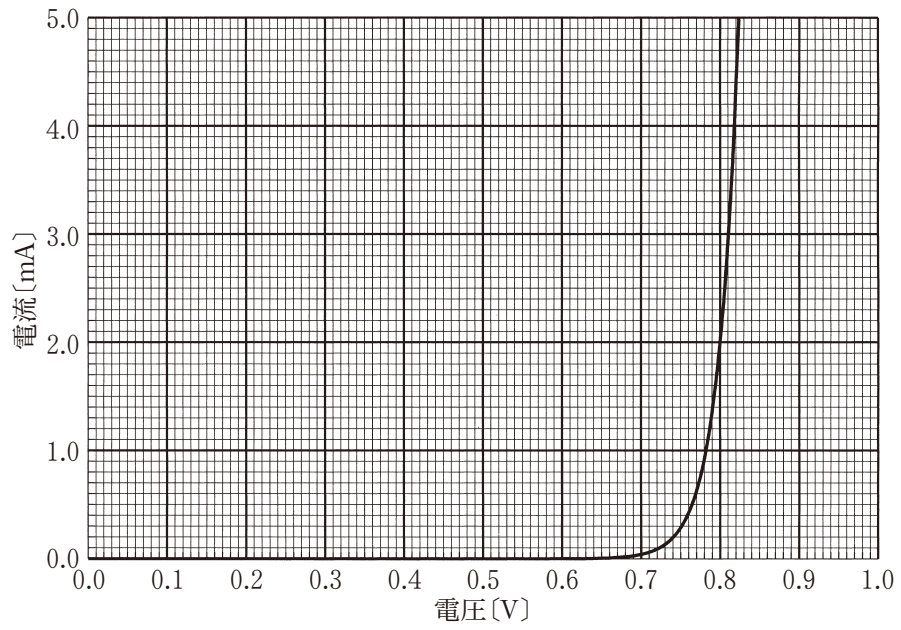


図 2 ダイオードの電流-電圧特性

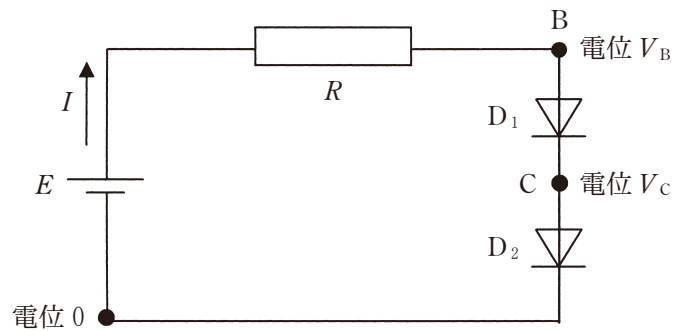


図 3

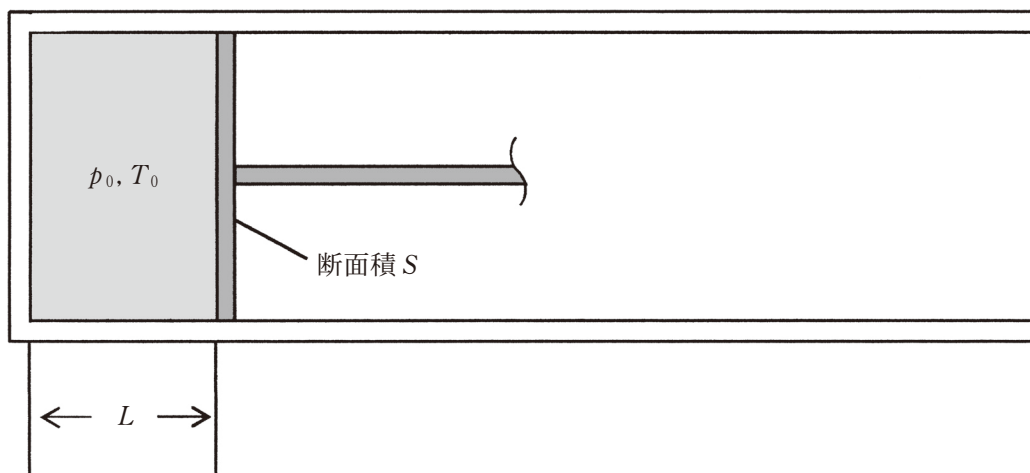
Ⅲ なめらかに動く断面積 S のピストンをそなえたシリンダーに、単原子分子からなる理想気体が入っている。初期状態において、この気体の圧力は p_0 、絶対温度は T_0 、シリンダーの底からピストンまでの距離は L であった (図)。この状態を A とする。この気体が、状態 A から次のような過程を経て変化した。最初の過程ではピストンの位置が一定のまま、圧力が $3p_0$ まで上昇した。この状態を B とする。次の過程では、圧力が $3p_0$ で一定のまま、ピストンがシリンダーの底から $3L$ のところまで動いた。この状態を C とする。その次の過程では、シリンダーの底からピストンまでの距離が $3L$ で一定のまま、圧力が p_0 まで減少した。この状態を D とする。そして最後の過程では、圧力が p_0 で一定のまま、初期状態 A に戻った。

- (1) この 1 サイクルにおける気体の圧力 p と体積 V の変化を解答欄の p - V グラフに描け。グラフ中に A, B, C, D を示し、それら各点での圧力と体積の値がわかるようにすること。
- (2) 状態 B, C, D のそれぞれの絶対温度はいくらか。
- (3) 各過程 $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$ のそれぞれにおいて、気体が外部にした仕事を W_{AB} , W_{BC} , W_{CD} , W_{DA} 、気体に入出入りする熱量の大きさを Q_{AB} , Q_{BC} , Q_{CD} , Q_{DA} とする。これらの値を p_0 , L , S を用いて表せ。答えは解答欄の表に記入し、熱量については吸収と放出の区別も示すこと。
- (4) 気体がした仕事の総和を $W (= W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA})$ として、 W , Q_{AB} , Q_{BC} , Q_{CD} , Q_{DA} の間に成り立つ関係式を書け。
- (5) この 1 サイクルにおける熱効率を小数点以下第 2 位まで求めよ。

次に、同じ気体と同じシリンダーを使った、仕事の総和が上のサイクルとほぼ等しい別のサイクルを考える。最初の過程では、図の状態 A からピストンの位置が一定のまま、圧力が $5p_0$ まで上昇した。この状態を E とする。次の過程では、温度が一定のまま、圧力が p_0 まで減少した。この状態を F とする。そして最後の過程では、圧力が p_0 で一定のまま、初期状態 A に戻った。

- (6) この 1 サイクルにおける気体の圧力 p と体積 V の変化を解答欄の p - V グラフに描け。グラフ中に A, E, F を示し、それら各点での圧力と体積の値がわかるようにすること。
- (7) この 1 サイクルで気体がする仕事はいくらか。 p_0 , L , S を用いて表せ。ただし、過程 $E \rightarrow F$ で気体がした仕事を $8.04 p_0 L S$ として計算せよ。
- (8) この 1 サイクルにおける熱効率を小数点以下第 2 位まで求めよ。

(配点率 34%)



图

(以 上)