

令和6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、この冊子と解答用紙を開いてはいけません。
2. この冊子の問題は8ページからなっています。また、解答用紙は3枚、下書用紙は1枚あります。監督者から解答開始の合図があったら、この冊子、解答用紙を確認し、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。
3. 解答用紙には、受験番号を記入する欄がそれぞれ2箇所ずつあります。監督者の指示に従って、すべての解答用紙(合計3枚)の受験番号欄(合計6箇所)に受験番号を必ず記入しなさい。
4. この冊子の白紙と余白は、計算などに適宜使用してよい。
5. 解答は、必ず別紙の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。その際、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. 解答用紙の欄外や裏面には何も記入しないこと。
7. 下書用紙への記入の有無・内容は自由です。
8. 解答用紙は、持ち帰ってはいけません。
9. この冊子および下書用紙は、持ち帰りなさい。

I

図1のように、なめらかな水平面が点 O を中心とする半径 r の半円筒となめらかにつながっている。半円筒のなめらかな内面上の最高点 A 、任意の点 B 、最下点 C は点 O と同じ鉛直面上にあり、点 O から点 B と点 C に向けて引いた線分 OB と線分 OC のなす角を θ とする。水平面上に固定した壁にばね定数 k の軽いばねの右端を取り付けた。ばねの左端には質量が無視できる硬い小板を取り付けて、質量 m の小球 P をこの小板に接しておく。ばねの両端は点 A, B, C と同じ鉛直面上にあり、小球 P はその鉛直面内で運動する。ここで、重力加速度の大きさを g とし、小球の大きさは無視できるものとする。小球 P を壁側に向かって右方向に押すことによってばねを自然長から長さ d だけ押し縮めて、静かに手をはなしたところ、小球 P はばねが自然長に戻った位置で小板から離れて点 C に向かって移動し、点 C に達した後は半円筒の内面に沿って運動した。以下の問いに答えよ。

- (1) 点 C における小球 P の速さを、 d, k, m を用いて表せ。
- (2) 点 B における小球 P の速さを、 d, g, k, m, r, θ を用いて表せ。
- (3) 点 B において小球 P が半円筒から受ける垂直抗力の大きさを、 d, g, k, m, r, θ を用いて表せ。
- (4) 小球 P が点 A に達するためのばねの縮み d の最小値を、 g, k, m, r を用いて表せ。

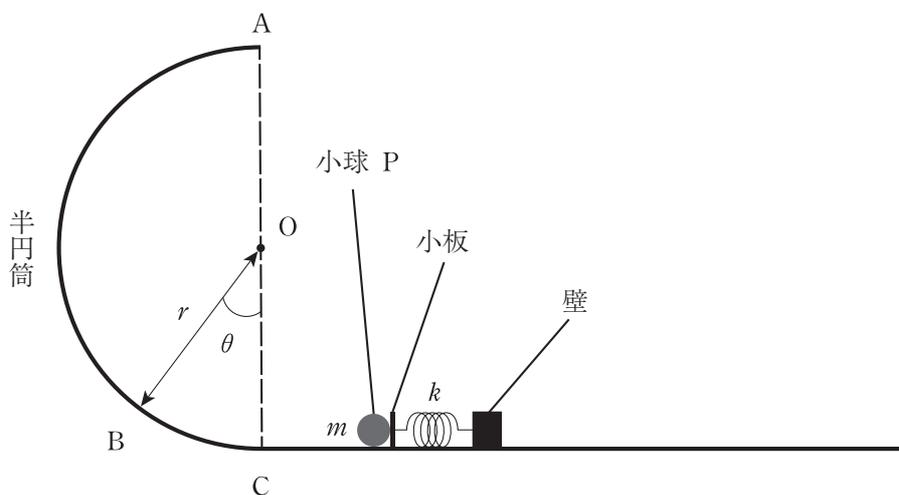


図 1

次に図2のように、なめらかな水平面上に表面がなめらかで一辺が r の立方体の物体 Q を置いた。物体 Q の密度は一様で質量は $5m$ である。物体 Q の重心は半円筒内面上の点 A , B , C と同じ鉛直面上にある。物体 Q の左側面は点 D の位置にあり、点 C から点 D までの距離は ℓ である。問(4)の条件よりさらにばねを縮めることによって、半円筒の内面に沿って運動した小球 P は点 A を速さ v_A で飛び出した。飛び出した小球 P が物体 Q の左側面に衝突した後、物体 Q は水平面上を移動する。さらに物体 Q と小球 P が衝突したとき、物体 Q の左側面に沿った力は生じないものとする。以下の問いに答えよ。

- (5) 小球 P が水平面に衝突することなく物体 Q の左側面に直接衝突するとき、 v_A の取りうる範囲を、 g , ℓ , r を用いて表せ。
- (6) 問(5)の物体 Q の左側面への衝突位置が高さ $\frac{r}{2}$ であったとき、衝突後の小球 P の速度の水平方向成分(ア)と物体 Q の速さ(イ)を、 g , ℓ , r を用いて表せ。ただし、小球 P と物体 Q の左側面との間の反発係数を 1 とし、水平方向右向きを正とする。
- (7) 問(6)の条件が成り立ち、物体 Q に衝突した小球 P が水平面に最初に到達した点を E とするとき、点 C から点 E までの距離を、 ℓ を用いて表せ。ただし、点 E の位置はばねを取り付けた壁の右側面と点 D の間にあるとする。

(配点率 36%)

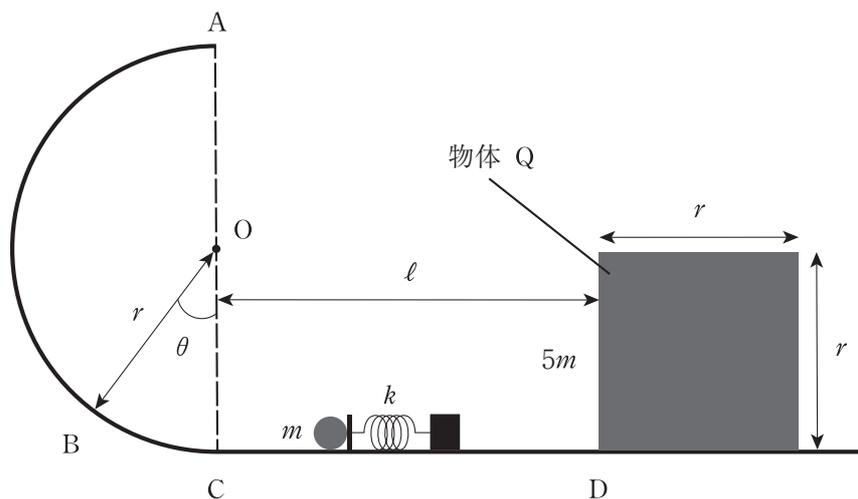


図2

Ⅱ 図1のような、電池、スイッチ、素子 A または素子 B のいずれかが接続された回路がある。素子に光を当てる条件を変え、さらにスイッチを操作して電池の極性の向きと電圧を変化させながら、素子に流れる電流 I と素子にかかる電圧 V の関係を調べた。ここでは、光を当てる条件として明るさを変化させ、暗い方から暗時、薄明時、明時の3つの条件を設定した。素子 A および素子 B について、電流と電圧の関係は、図2および図3のグラフのようにそれぞれ表されることがわかった。

以下の問いに答えよ。ただし、問(2)から問(5)では、有効数字を2桁とせよ。

(1) 下記の文において、空欄(ア)から(キ)に適切な語句を入れよ。

素子 A では、電圧を加えて光を当てると、 が流れるようになり、グラフは一つの明るさの条件に対して、一つの直線で与えられる。明るさを変えると、グラフの直線の傾きに関する物理量である が変化する。その大きさは、当てる光が明るくなるほど なる。素子 A は光の明るさに応じて、 を変化させ、電力を消費する負荷といえる。

一方で、素子 B は、暗時には一方向の電圧でしか が流れない を示す。薄明時および明時には、素子の両端に電圧がかからない状態($V = 0$)でも が流れ、その絶対値は、素子に当てる光が明るくなるほど なる。素子 B は エネルギーを エネルギーに変換する素子といえる。

(2) 素子 A のグラフの傾きに関する物理量を、薄明時(ア)および明時(イ)の両方について求め、単位とともに答えよ。

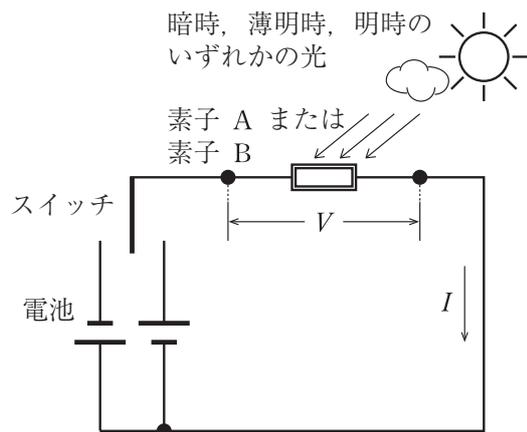


図1

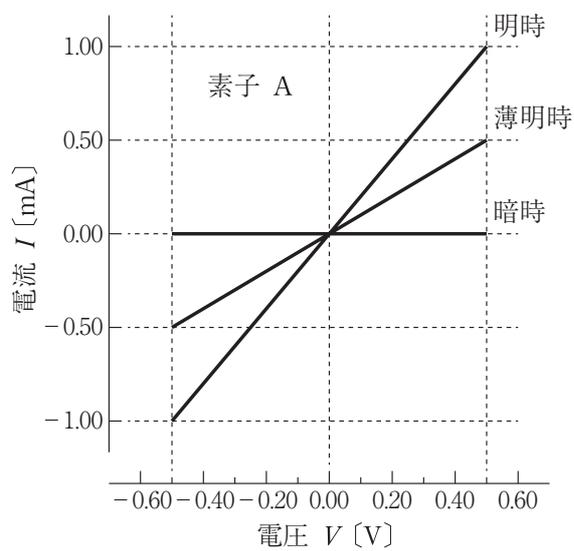


図2

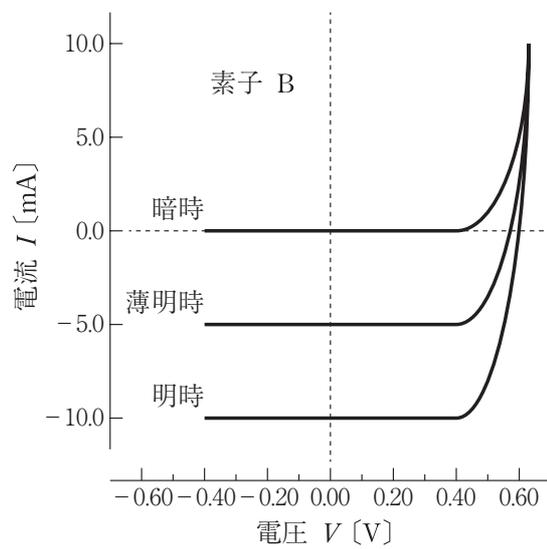


図3

ここで、図4のように素子 B を可変抵抗器に接続した回路について考えてみよう。素子 B に光を当てる条件を、薄明時、明時へと変えながら、可変抵抗器の抵抗値を変化させ、可変抵抗器両端の電圧 V と可変抵抗器に流れる電流 I をはかると、電流と電圧の関係は、図5のグラフのように表されることがわかった。

- (3) 明時に、素子 B から可変抵抗器を切り離し、素子 B の電極間を開放させたときの電極間電圧を求めよ。
- (4) 明時に、素子 B の電極間を短絡させたときの素子 B に流れる電流を求めよ。
- (5) 図5に示された明時の点 a の条件において、可変抵抗器で消費される電力を求めよ。

図5に示された点 a および点 b を参考にして、明時および薄明時に得られる電力を比較すると、光を当てる条件により、得られる電力は変化することがわかる。また、点 a および点 b では、可変抵抗器の抵抗値は異なる。このことについて、図6のような、電池と負荷抵抗器を接続した回路で考えてみよう。ここで、電池の起電力を E [V]、内部抵抗の抵抗値を r [Ω]、負荷抵抗器の抵抗値を R [Ω]とする。

- (6) 電池に何も接続せず、電池の電極間を開放させたときの電極間電圧を求めよ。
- (7) 電池の電極間を短絡させたときの電池に流れる電流を求めよ。
- (8) 電池に接続した負荷抵抗器において、消費される電力を求めよ。
- (9) 負荷抵抗器で消費される電力が最大となるときの R の r に対する比の値を求めよ。

(配点率 32%)

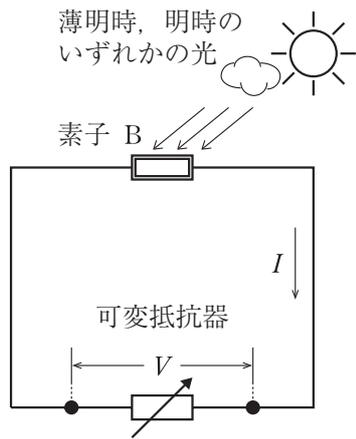


図 4

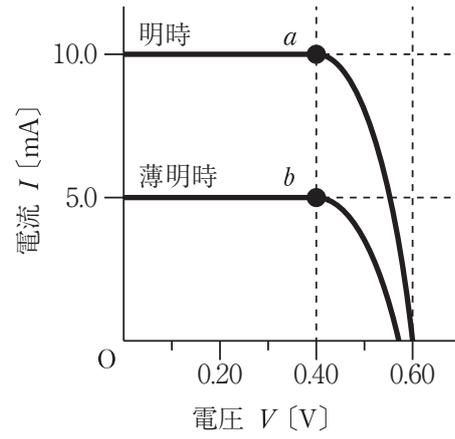


図 5

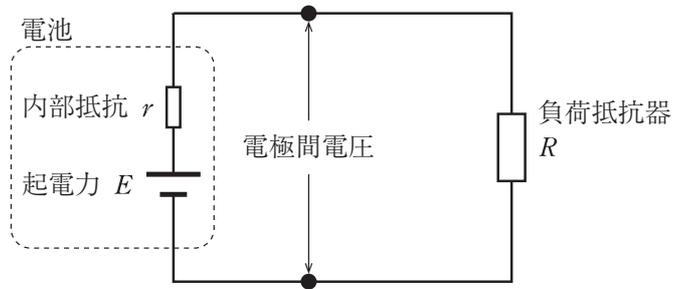
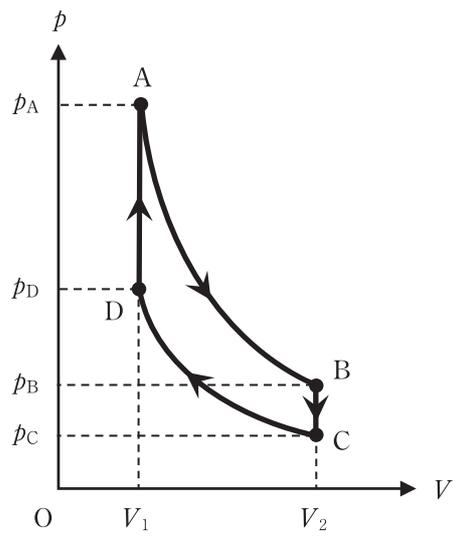


図 6

Ⅲ なめらかに動くピストンを備えたシリンダー内に 1 mol の単原子分子理想気体を封入し、図のような状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を 1 サイクルとする熱機関を作った。状態 A, B, C, D の圧力と温度をそれぞれ、 $(p_A [\text{Pa}], T_A [\text{K}])$, $(p_B [\text{Pa}], T_B [\text{K}])$, $(p_C [\text{Pa}], T_C [\text{K}])$, $(p_D [\text{Pa}], T_D [\text{K}])$ (ただし、 $p_A > p_D > p_B > p_C$) とし、状態 A と D の体積を $V_1 [\text{m}^3]$, 状態 B と C の体積を $V_2 [\text{m}^3]$ (ただし、 $V_2 > V_1$) とする。また、 $A \rightarrow B$ および $C \rightarrow D$ の過程は、断熱変化である。このサイクルについて以下の問いに答えよ。ただし、状態変化はすべてゆっくり行われるものとし、気体定数を $R [\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$ とする。

- (1) T_A を、 p_A , R , V_1 を使って表せ。
- (2) T_B と T_C の大小関係を、不等式で答えよ。
- (3) $A \rightarrow B$ の過程における、
 - (ア) 気体の内部エネルギーの増加 $\Delta U_{A \rightarrow B} [\text{J}]$
 - (イ) 気体が吸収した熱量 $Q_{A \rightarrow B} [\text{J}]$
 - (ウ) 気体が外部にした仕事 $W_{A \rightarrow B} [\text{J}]$
 を、 R , T_A , T_B の中から必要な文字を使って表せ。
- (4) $B \rightarrow C$ の過程における、
 - (ア) 気体が外部にした仕事 $W_{B \rightarrow C} [\text{J}]$
 - (イ) 気体が吸収した熱量 $Q_{B \rightarrow C} [\text{J}]$
 を、 R , T_B , T_C の中から必要な文字を使って表せ。また、
 - (ウ) $Q_{B \rightarrow C}$ は正か負か 0 か、答えよ。
- (5) $D \rightarrow A$ の過程における、
 - (ア) 気体が吸収した熱量 $Q_{D \rightarrow A} [\text{J}]$
 を、 R , T_A , T_D の中から必要な文字を使って表せ。また、
 - (イ) $Q_{D \rightarrow A}$ は正か負か 0 か、答えよ。
- (6) この熱機関の 1 サイクルの間に、気体が外部にした正味の仕事 $W [\text{J}]$ を、 R , T_A , T_B , T_C , T_D の中から必要な文字を使って表せ。
- (7) この熱機関の熱効率を、 R , T_A , T_B , T_C , T_D の中から必要な文字を使って表せ。

(配点率 32%)



图

(以 上)