

'22

前期日程

理 科

(医学部医学科)

注 意 事 項

問題(①~⑦)の全てに解答してください。

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子は1冊(38頁)、解答用紙は7枚、下書用紙は3枚です。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所等があった場合には申し出てください。
3. 氏名と受験番号は解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. 解答は指定の解答用紙に記入してください。
5. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
6. 問題冊子と下書用紙は持ち帰ってください。

1

【I】 図1のように，軽くて伸びない糸の一方の端に質量 m の小物体を取り付け，もう一方の端を鉛直線上で糸がたるまないように上下させ，小物体を鉛直線上で運動させる。鉛直上向きを，速度，加速度，力の正の向きとする。以下では，重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗は無視する。

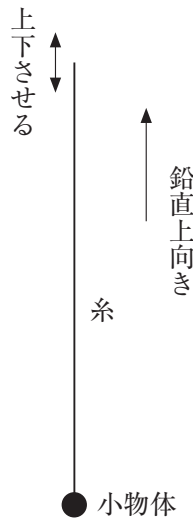


図1

小物体の速度 v と時刻 t の関係を図2に示す。 $0 \leq t \leq t_1$, $t_2 \leq t \leq t_3$ では，グラフは，それぞれ異なる傾きをもつ傾き一定の直線となっている。 $t_1 \leq t \leq t_2$ では，速度は正の一定値 v_1 となっていて， $t_3 \leq t \leq t_4$ では，速度は負の一定値 $-v_1$ となっている。図2中の時刻 t_A , t_B , t_C は，それぞれ， $t_A = \frac{t_1}{2}$, $t_B = \frac{t_1 + t_2}{2}$, $t_C = \frac{t_2 + t_3}{2}$ である。また， t_C では速度の大きさが0となっている。

以下の問(1)~(4)に v_1 , t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , g , m のうち必要なものを用いて答えよ。

- (1) 時刻 t_A における，糸が小物体を引く力を求めよ。
- (2) 時刻 t_B における，糸が小物体を引く力を求めよ。
- (3) 時刻 t_C における，糸が小物体を引く力を求めよ。
- (4) $t = t_1$ から $t = t_3$ の間に，糸が小物体を引く力が小物体にした仕事と，重力が小物体にした仕事の和を求めよ。

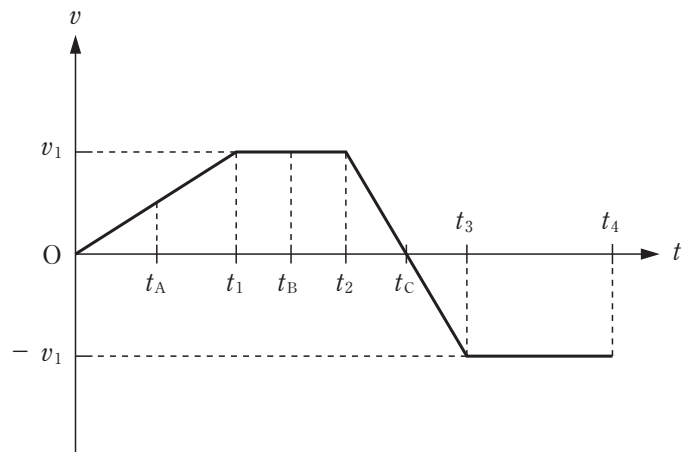


図2

図3は， $t = 0$ における小物体の高さを0とした，小物体の高さ h と時刻 t の関係を示したグラフである。ここで，小物体の高さの最大値を h_M ， $t = t_4$ における小物体の高さを h_4 とする。

以下の問(5)，(6)に v_1 ， t_1 ， t_2 ， t_3 ， t_4 ， g ， m のうち必要なものを用いて答えよ。

- (5) 小物体の高さが h_M であるときの、小物体の加速度を求めよ。
(6) h_M と h_4 の差, $h_M - h_4$ を求めよ。

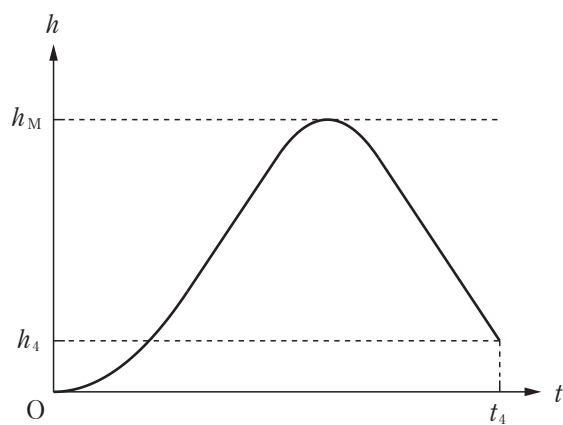


図 3

【II】 図4のように、長さ L の軽くて伸びない糸の一方の端を質量 m の小物体に取り付け、もう一方の端を空間に固定された点 O に取り付ける。小物体を、鉛直面内において、点 O を中心とする半径 L の円周上で運動させる。点 P は点 O から鉛直下方に L だけ離れた点である。鉛直面内水平方向に、点 O を原点に選んだ x 軸をとる。

時刻 $t = 0$ において、小物体は点 P を大きさ v_2 の速度で x 軸の正の向きに通過した。その後、小物体は点 Q を通過して点 R に達した。点 R に達したときの小物体の速度の大きさは 0 であった。ここで、 $\angle POQ = \theta$ 、 $\angle POR = \theta_M$ とする。ただし、 $0 < \theta < \theta_M < \frac{\pi}{2}$ である。以下では、重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視する。

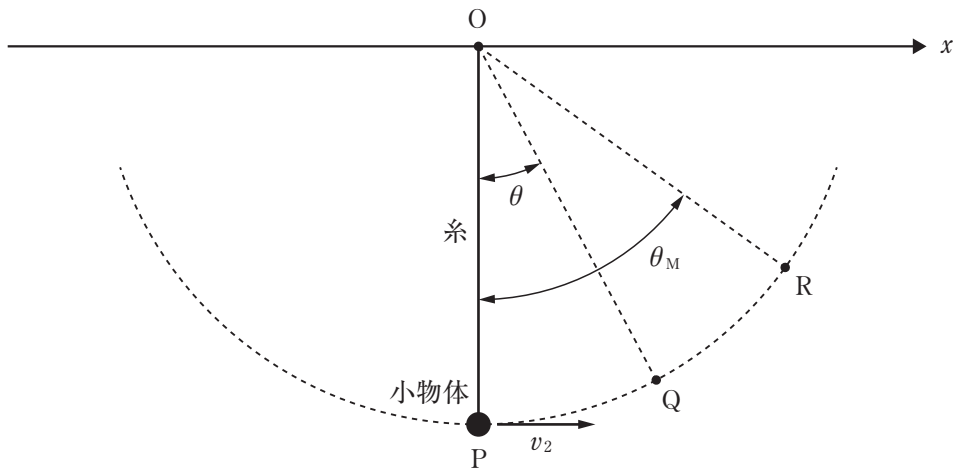


図4

- (7) 小物体が点 P にあるときの、糸が小物体を引く力の大きさを T_P とする。このときの小物体の鉛直方向の加速度の大きさを、 m, g, T_P のうち必要なものを用いて表せ。
- (8) 小物体が点 P にあるときの、糸が小物体を引く力の大きさ T_P を、 L, m, g, v_2 のうち必要なものを用いて表せ。
- (9) 小物体が点 Q にあるときの、小物体の運動エネルギーを、 L, m, g, v_2, θ のうち必要なものを用いて表せ。
- (10) 小物体が点 Q にあるときの、糸が小物体を引く力の大きさを、 L, m, g, v_2, θ のうち必要なものを用いて表せ。
- (11) 小物体が点 P から点 R に移動する間に、糸が小物体を引く力が小物体にした仕事 W_T と、重力が小物体にした仕事 W_G を、 L, m, g, θ_M のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。
- (12) 小物体が点 P から点 R に移動する間に、糸が小物体を引く力が小物体に与えた力積の x 成分 I_T と、重力が小物体に与えた力積の x 成分 I_G を、 L, m, g, v_2, θ_M のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

2

【I】 真空中に平行に置かれた2枚の平らな極板間における，電気量 Q [C]，質量 m [kg] の荷電粒子の運動を考える。図1のように，水平面上に x 軸を，鉛直方向に y 軸をとる。 y 軸正の向きは鉛直上向きであり，荷電粒子には，重力加速度の大きさが g [m/s²] で， y 軸負の向きの重力がはたらく。面積の等しい2枚の極板を $y = \pm d$ [m] の位置に水平に固定し， $y = d$ の極板を端子電圧 V [V] の直流電源の正極に， $y = -d$ の極板を負極に，それぞれ接続する。極板の面積は十分大きく，荷電粒子の電荷が極板の電荷に及ぼす影響は十分小さいため，荷電粒子が極板間を運動している間，荷電粒子は一様な電場中を運動しているとしてよい。また，極板間にある座標原点 O は，極板の端から十分に離れた位置にある。

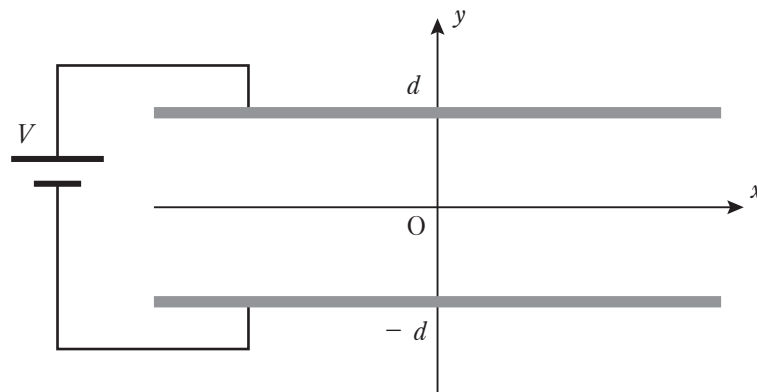


図1

原点 O で，荷電粒子を，初速度の大きさ 0 で静かにはなすと，荷電粒子は y 軸上を正の向きに進み， $y = d$ にある極板と衝突した。

- (1) 2枚の極板の電荷が，極板間につくる電場の大きさを求めよ。
- (2) 荷電粒子の電気量 Q の符号として正しいものを，以下の選択肢①，②から選び，記号で答えよ。

① 正 ② 負

- (3) 荷電粒子が原点 O をはなれてから極板に到達するまでの間に、荷電粒子が電場からうける力が、荷電粒子にする仕事を求めよ。
- (4) 荷電粒子が原点 O をはなれてから極板に到達するまでの間に、重力が荷電粒子にする仕事を求めよ。
- (5) 荷電粒子が極板に衝突する直前の、荷電粒子の速度の大きさを求めよ。
- (6) 荷電粒子が原点 O をはなれてから極板に到達するまでの時間を求めよ。

次に、極板と直流電源を図 1 と同じ状態で接続したまま、空間全体に、紙面に垂直な方向の一様な磁場をかける。この状態で、原点 O から、荷電粒子を、 x 軸正の向きに、初速度の大きさ v_0 [m/s] で射出したところ、荷電粒子は x 軸上を直進した。

- (7) 一様な磁場の向きとして正しいものを、以下の選択肢③、④から選び、記号で答えよ。
 - ③ 紙面に垂直で表から裏の向き
 - ④ 紙面に垂直で裏から表の向き
- (8) 一様な磁場の磁束密度の大きさを求めよ。

【II】 真空中を運動する，細い金属線でできた1巻きの正方形のコイルabcdを考える。コイルの一辺の長さは L [m]であり，コイル1周分の抵抗値は R [Ω]である。図2のように，紙面上に x 軸をとり，辺abが x 軸に垂直になるようにコイルを置く。コイルの面は紙面内にある。空間の $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ および $\frac{3L}{2} \leq x \leq 2L$ の領域には，紙面に垂直で表から裏の向きに，磁束密度の大きさ B [T]の様な磁場がかかっている。コイルは，辺abが x 軸に垂直で，コイルの面が紙面内にある状態を保ったまま， x 軸に平行に移動できる。コイルを流れる電流が作る磁場の影響，および，重力の影響は無視できるものとする。

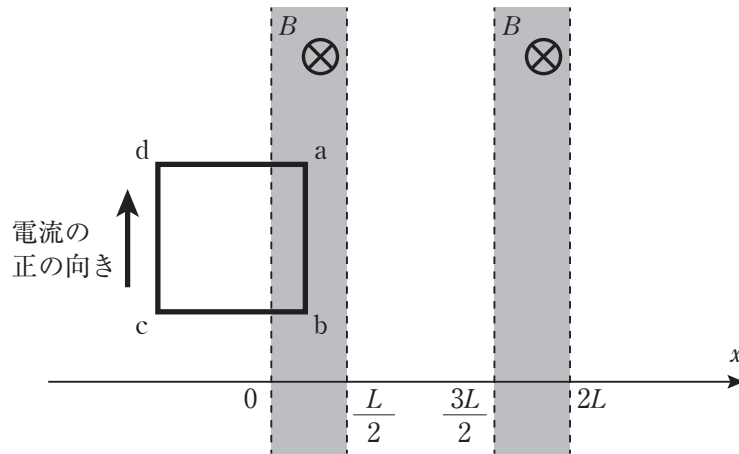


図2

コイルを x 軸正の向きに，一定の速さ v [m/s]で移動させた。ただし，時刻 $t = 0$ で，コイルの辺abが $x = 0$ の位置にあったとする。

- (9) コイルを貫く磁束の大きさの， $0 \leq t \leq \frac{3L}{v}$ の範囲における最大値を Φ_0 [Wb]とする。 Φ_0 を， B ， L ， v ， R のうち必要なものを用いて表せ。

- (10) $0 \leq t \leq \frac{3L}{v}$ の範囲について、コイルを貫く磁束の大きさを、解答欄のグラフに時刻 t の関数として図示せよ。
- (11) コイルに流れる電流の大きさの、 $0 \leq t \leq \frac{3L}{v}$ の範囲における最大値を I_0 [A] とする。 I_0 を、 B 、 L 、 v 、 R のうち必要なものを用いて表せ。
- (12) コイルに流れる電流と時刻 t の関係を表したグラフとして、最も適切なものを、図3の選択肢(あ)~(し)から選び、記号で答えよ。ただし、図2に示すように、電流の正の向きは、 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$ の向きであるとする。
- (13) コイル全体が磁場からうける力の大きさの、 $0 \leq t \leq \frac{3L}{v}$ の範囲における最大値を F_0 [N] とする。 F_0 を、 B 、 L 、 v 、 R のうち必要なものを用いて表せ。
- (14) コイル全体が磁場からうける力の x 成分と時刻 t の関係を表したグラフとして、最も適切なものを、図4の選択肢(ア)~(シ)から選び、記号で答えよ。
- (15) $0 \leq t \leq \frac{3L}{v}$ の間にコイルで発生するジュール熱の大きさを、 B 、 L 、 v 、 R のうち必要なものを用いて表せ。

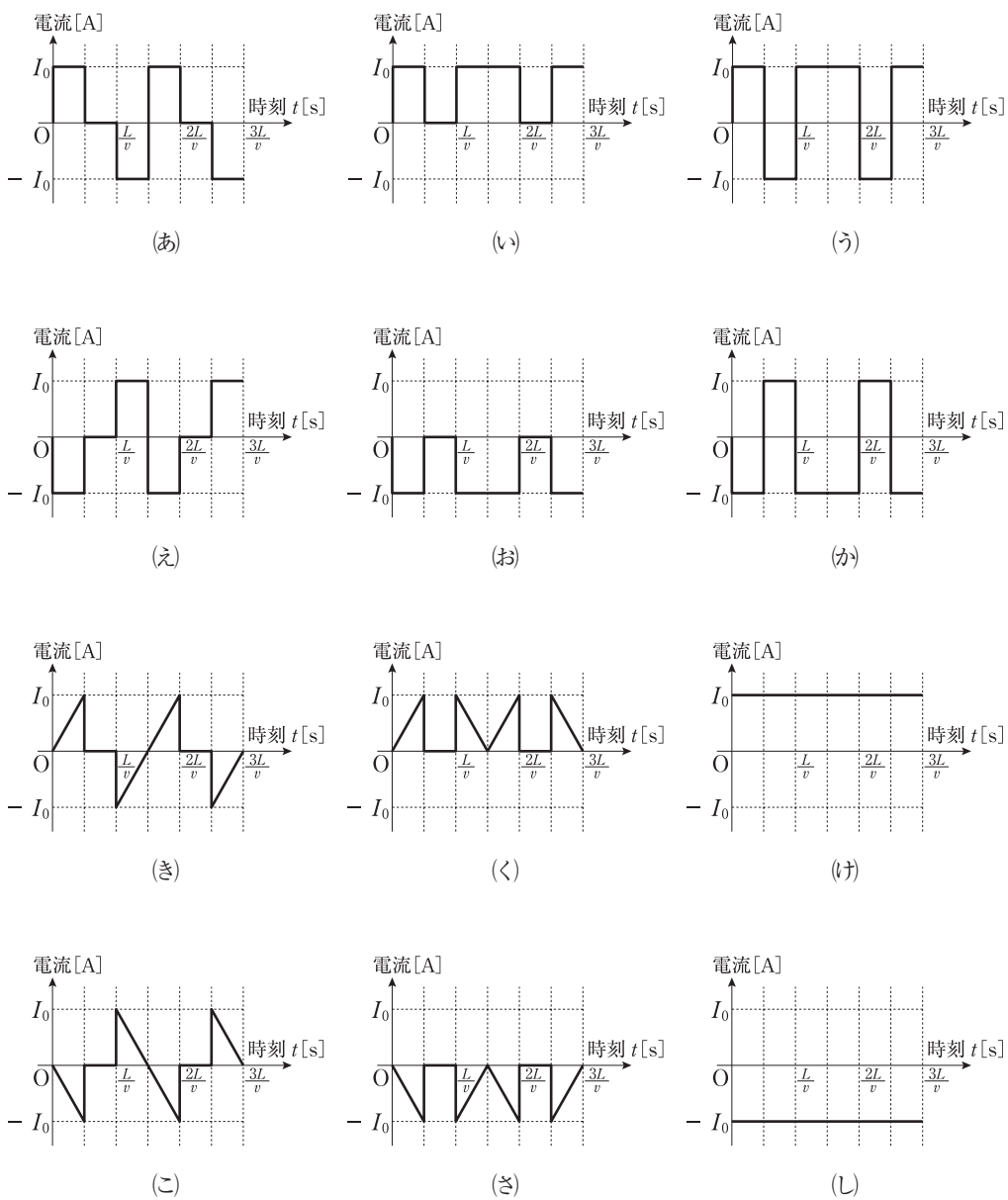


図 3

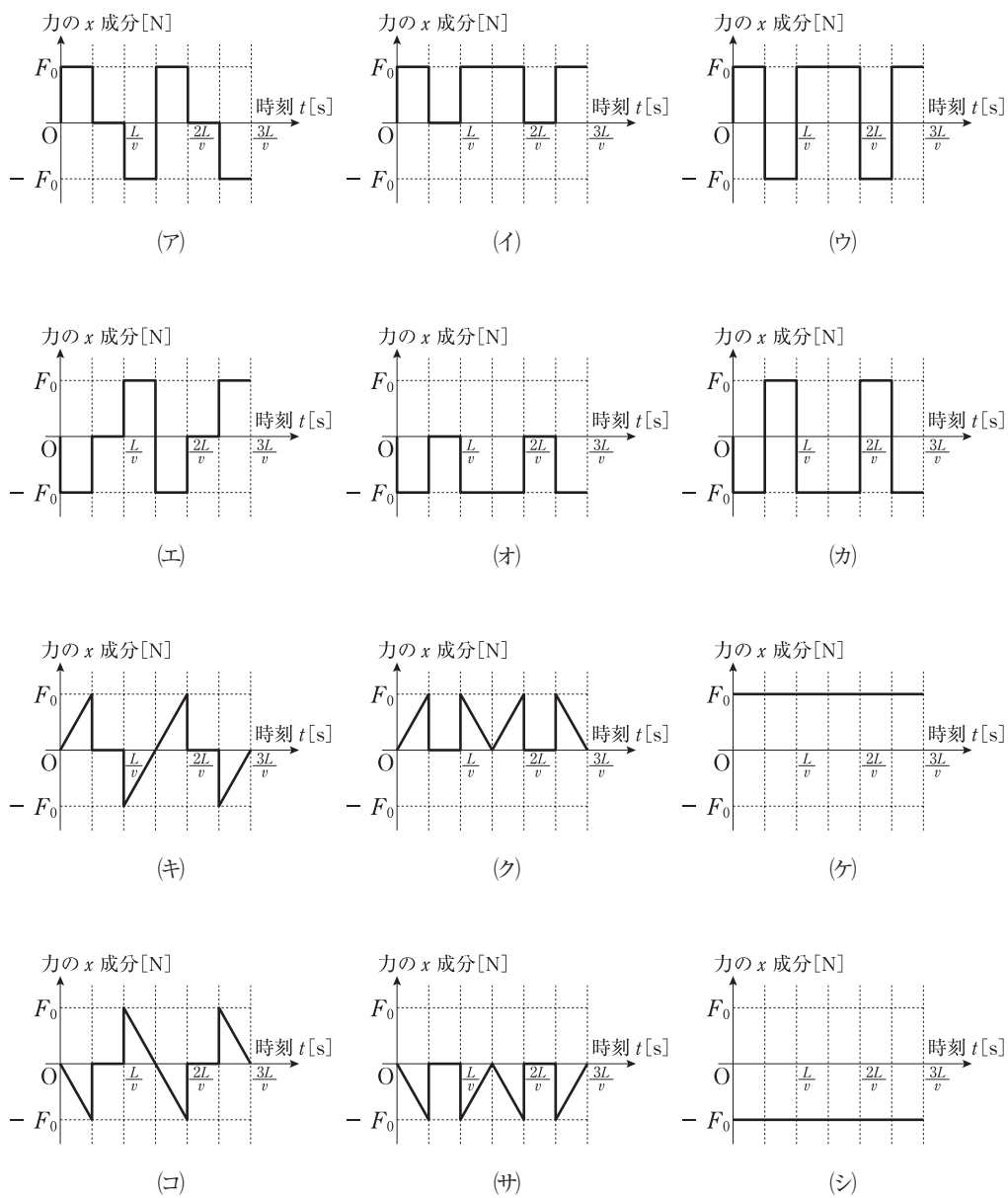


図 4

- 3 なめらかに動くピストンが付いたシリンダーの中に単原子分子理想気体(以下, 気体と呼ぶ) 1 mol が閉じ込められている。気体を状態 A(温度 T_A [K], 圧力 p_2 [Pa], 体積 V_1 [m³])から, 外部との熱および仕事のやり取りを調整することによって, 状態 C(温度 T_C [K], 圧力 p_1 [Pa], 体積 V_2 [m³])までゆっくり変化させる。図1のように $A \rightarrow B \rightarrow C$ の実線に沿って, 状態 B(温度 T_B [K], 圧力 p_2 [Pa], 体積 V_2 [m³])を経由する状態変化を過程 I と呼ぶ。ここで, $A \rightarrow B$ は定圧変化, $B \rightarrow C$ は定積変化であり, $V_2 > V_1$, $p_2 > p_1$ である。また, 図1の $A \rightarrow C$ の破線に沿った状態変化は断熱変化であり, これを過程 II と呼ぶ。以下の問(1)~(5)に答えよ。なお, 気体定数は R [J/(mol·K)] とし, 気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$, 定圧モル比熱は $\frac{5}{2}R$ である。

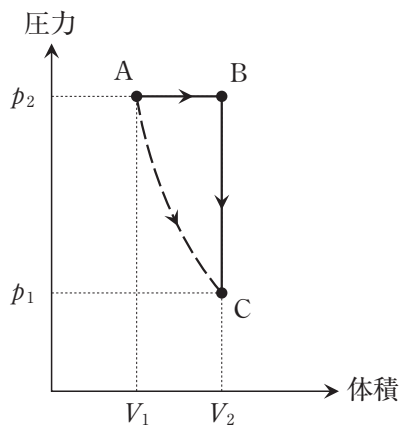


図1

- (1) $A \rightarrow B$ の状態変化で, 気体が外部にした仕事を p_1 , p_2 , V_1 , V_2 のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) $B \rightarrow C$ の状態変化で, 気体が外部から吸収した熱量を R , T_A , T_B , T_C のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) 過程 II の状態変化で, 気体が外部にした仕事を R , T_A , T_B , T_C のうち必要なものを用いて表せ。

(4) 気体の温度 T_A , T_B , T_C の大小関係として正しいものを, 以下の①~⑧の中から1つ選べ。

- ① $T_A > T_B > T_C$ ② $T_A > T_C > T_B$ ③ $T_B > T_C > T_A$
 ④ $T_B > T_A > T_C$ ⑤ $T_A > T_B = T_C$ ⑥ $T_A = T_B > T_C$
 ⑦ $T_B > T_A = T_C$ ⑧ $T_A = T_B = T_C$

(5) 過程Ⅰの状態変化における, 気体が外部にした仕事を W_{ABC} [J], 気体が外部から吸収した熱量を Q_{ABC} [J], 気体の内部エネルギーの変化を ΔU_{ABC} [J]とする。過程Ⅱの状態変化における, 気体が外部にした仕事を W_{AC} [J], 気体が外部から吸収した熱量を Q_{AC} [J], 気体の内部エネルギーの変化を ΔU_{AC} [J]とする。 ΔU_{ABC} と ΔU_{AC} , W_{ABC} と W_{AC} , Q_{ABC} と Q_{AC} の関係を表す正しい式の組み合わせを, 以下の①~⑧の中から1つ選べ。

①	$\Delta U_{ABC} = \Delta U_{AC},$	$W_{ABC} = W_{AC},$	$Q_{ABC} = Q_{AC}$
②	$\Delta U_{ABC} = \Delta U_{AC},$	$W_{ABC} = W_{AC},$	$Q_{ABC} \neq Q_{AC}$
③	$\Delta U_{ABC} = \Delta U_{AC},$	$W_{ABC} \neq W_{AC},$	$Q_{ABC} = Q_{AC}$
④	$\Delta U_{ABC} = \Delta U_{AC},$	$W_{ABC} \neq W_{AC},$	$Q_{ABC} \neq Q_{AC}$
⑤	$\Delta U_{ABC} \neq \Delta U_{AC},$	$W_{ABC} = W_{AC},$	$Q_{ABC} = Q_{AC}$
⑥	$\Delta U_{ABC} \neq \Delta U_{AC},$	$W_{ABC} = W_{AC},$	$Q_{ABC} \neq Q_{AC}$
⑦	$\Delta U_{ABC} \neq \Delta U_{AC},$	$W_{ABC} \neq W_{AC},$	$Q_{ABC} = Q_{AC}$
⑧	$\Delta U_{ABC} \neq \Delta U_{AC},$	$W_{ABC} \neq W_{AC},$	$Q_{ABC} \neq Q_{AC}$

図2のように, 図1に状態X(温度 T_X [K], 圧力 p_1 [Pa], 体積 V_3 [m³])を新たに加え, 気体の状態を $A \rightarrow B \rightarrow X \rightarrow C \rightarrow A$ の実線に沿った経路で変化させた。ただし, $V_3 > V_2$ とする。ここで, $A \rightarrow B$ と $X \rightarrow C$ は定圧変化, $B \rightarrow X$ と $C \rightarrow A$ は断熱変化である。熱機関のサイクル $A \rightarrow B \rightarrow X \rightarrow C \rightarrow A$ について, 以下の問(6)~(11)に答えよ。

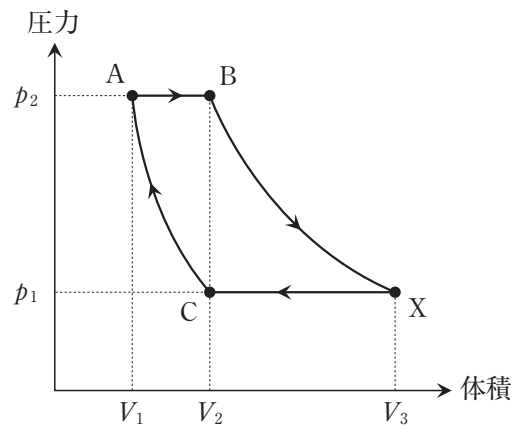


図 2

- (6) 熱機関のサイクル $A \rightarrow B \rightarrow X \rightarrow C \rightarrow A$ を，横軸を気体の体積，縦軸を気体の温度のグラフで表したものとして，最も適切な概略図を図 3 の(ア)～(カ)の中から 1 つ選び，記号で答えよ。ここで，図 3 の \bullet は気体の状態 A, B, X, C のいずれかに対応し，サイクル中の矢印は状態変化の向きを示している。
- (7) $A \rightarrow B$ の状態変化において，気体が外部から吸収した熱量を R , T_A , T_B , T_X , T_C のうち必要なものを用いて表せ。
- (8) $X \rightarrow C$ の状態変化において，気体が外部へ放出した熱量の大きさを R , T_A , T_B , T_X , T_C のうち必要なものを用いて表せ。
- (9) 1 サイクルで気体が外部にした仕事を R , T_A , T_B , T_X , T_C のうち必要なものを用いて表せ。
- (10) この熱機関の熱効率を T_A , T_B , T_X , T_C のうち必要なものを用いて表せ。

- (11) 次の文章の ～ に入る適切な数値を答えよ。ただし、 は整数で、 と は小数点以下第2位までの小数で答えよ。また、必要なら $2^{\frac{5}{3}} \doteq 3.2$, $2^{\frac{2}{3}} \doteq 1.6$, $2^{\frac{3}{5}} \doteq 1.5$ を用いよ。

単原子分子理想気体の断熱変化では圧力 p [Pa] と体積 V [m^3] の間には、 $pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ 、という関係が成り立つ。図2の熱機関のサイクルにおいて $V_2 = 2V_1$ とすると、状態Xの体積は $V_3 = \text{あ} \times V_1$ 、圧力は $p_1 = \text{い} \times p_2$ となり、この熱機関の熱効率は となる。

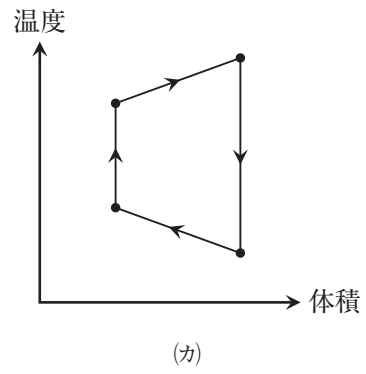
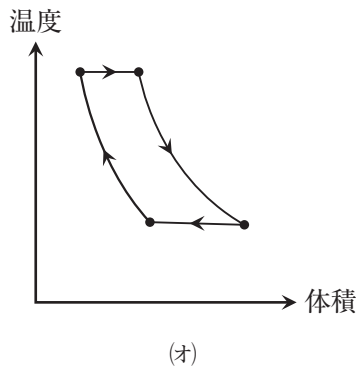
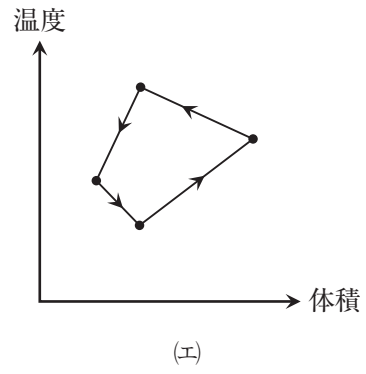
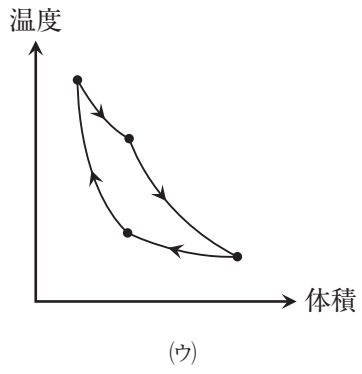
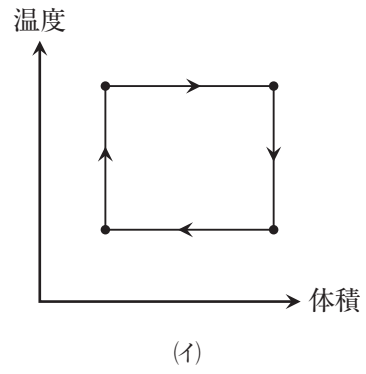
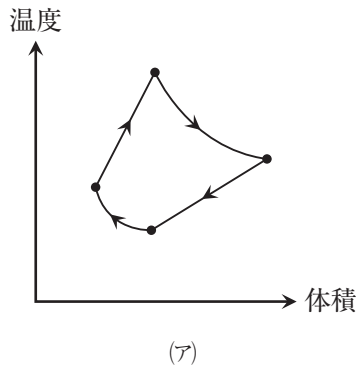


図 3