平成28年度　〔試験時間　80分〕

S3 物　理　　S4 化　学

この冊子は，物理と化学の問題を1冊にまとめてあります。

数学科は，物理または化学のどちらかを選択

建築学科と電気電子情報工学科は物理指定

物理の問題は，1ページより20ページまであります。
化学の問題は，21ページより31ページまであります。

〔注　意〕

(1) 試験開始の指示があるまで，この冊子を開いてはいけません。

(2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら，解答用マークシートに受験番号と氏名を記入し，さらに受験番号と志望学科をマークしてください。

(3) 解答は，所定の解答用マークシートにマークしたものだけが採点されます。

(4) 解答用マークシートについて

① 解答用マークシートは，絶対に折り曲げてはいけません。

② マークには黒鉛筆(HBまたはB)を使用してください。指定の黒鉛筆以外でマークした場合，採点できないことがあります。

③ 誤ってマークした場合は，消しゴムで丁寧に消し，消しくずを完全に取り除いたうえ，新たにマークしてください。

④ 解答欄のマークは，横1行について1箇所に限ります。2箇所以上マークすると採点されません。あいまいなマークは無効となるので，はっきりマークしてください。

⑤ 解答用マークシート上部に記載されている解答上の注意事項を，必ず読んでから解答してください。

(5) 試験開始の指示があったら，初めに問題冊子のページ数を確認してください。
ページの落丁・乱丁，印刷不鮮明等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせてください。

(6) 問題冊子は，試験終了後，持ち帰ってください。

◇M36(210—632)

物　　理

1　次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。)　(40点)

冬のある日，S君はスノーボードをしにゲレンデに来ていた。ゲレンデのかたすみに，円筒状に雪を積み上げて作ったジャンプ台があった。ジャンプ台で遊ぶ人々を観察していると，じゅうぶんな助走があればジャンプできるが，そうでないと円筒状の台の頂上をすべったまま通過してしまったり，登りきれずに後退してしまったりするようすが見られた。家に戻ったS君は，ゲレンデで見たジャンプのモデル化を試みた。

スノーボードのジャンプ台のモデルとして，平面と円筒面をつなげて作った台を考えよう。**図1-1**は，その鉛直断面図である。水平面に対して45°傾いた直線ABとDEに，円弧BCDとEFGがなめらかにつなげられている。点O_1，O_2はそれぞれ円弧BCD，EFGの中心であり，半径はともに$a\,[\mathrm{m}]$である。また，点Fは円筒状の台の最高点とする。

斜面AB上のある点から質量$m\,[\mathrm{kg}]$の小物体を初速度$0\,\mathrm{m/s}$ですべらせる。なお，その点の水平面CGから測った高さを$h\,[\mathrm{m}]$とする。ただし，重力加速度の大きさを$g\,[\mathrm{m/s^2}]$とし，また，空気抵抗，まさつは無視できるものとする。

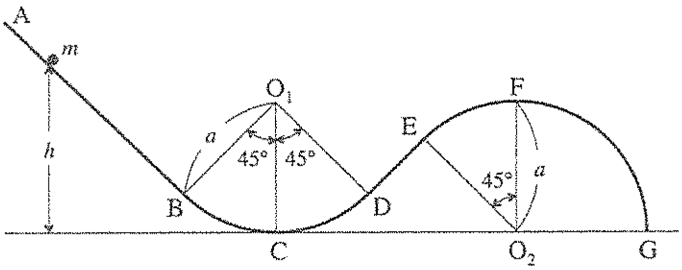

図1-1

右のページは白紙です。

(1)　小物体はすべりだしてから $\sqrt{\dfrac{1}{g} \times \left[\boxed{\text{(ア)}} \times h + \boxed{\text{(イ)}} \times a \right]}$ [s] 後に点 B を通過し，このときの速さは $\sqrt{g \times \left[\boxed{\text{(ウ)}} \times h + \boxed{\text{(エ)}} \times a \right]}$ [m/s] である。小物体が AB 間にあるとき，小物体が斜面から受ける抗力の大きさは $\left(\boxed{\text{(オ)}} \right) \times mg$ [N] である。小物体が点 B を通過した直後に円筒面から受ける抗力の大きさは $\left(\boxed{\text{(カ)}} \right) \times mg$ [N] となる。

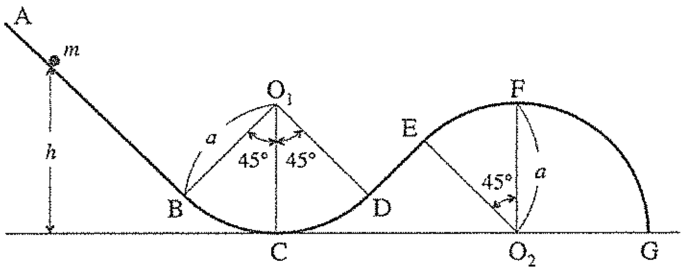

図 1-1（再掲）

(ア), (イ), (ウ), (エ) の解答群

⓪ 1　① 2　② 4　③ $\sqrt{2}$

④ $(\sqrt{2}-1)$　⑤ $(1-\sqrt{2})$　⑥ $2(\sqrt{2}-1)$　⑦ $(\sqrt{2}-2)$

⑧ $(2-\sqrt{2})$　⑨ $2(\sqrt{2}-2)$

(オ), (カ) の解答群

⓪ $\dfrac{1}{2}$　① $\dfrac{\sqrt{2}}{2}$　② $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

③ 1　④ $3\sqrt{2}-\dfrac{1}{2}+\dfrac{h}{a}$　⑤ $\dfrac{\sqrt{3}}{2}-1+\dfrac{h}{a}$

⑥ $\dfrac{3\sqrt{2}}{2}-2+\dfrac{h}{a}$　⑦ $3\sqrt{2}-\dfrac{1}{2}+\dfrac{2h}{a}$　⑧ $\dfrac{\sqrt{3}}{2}-1+\dfrac{2h}{a}$

⑨ $\dfrac{3\sqrt{2}}{2}-2+\dfrac{2h}{a}$

(2) 小物体が CF 間で面から離れるための条件は，h が $\boxed{\text{(キ)}}$ $\times a$ [m] よりも大きいことである。このとき，面を離れる点の C 点からの水平距離は $\boxed{\text{(ク)}}$ $\times a$ [m] である。面を離れた小物体が到達する最高点の高さは水平面 CG から $\boxed{\text{(ケ)}}$ [m] であり，その点の C 点からの水平距離は $\boxed{\text{(コ)}}$ [m] である。

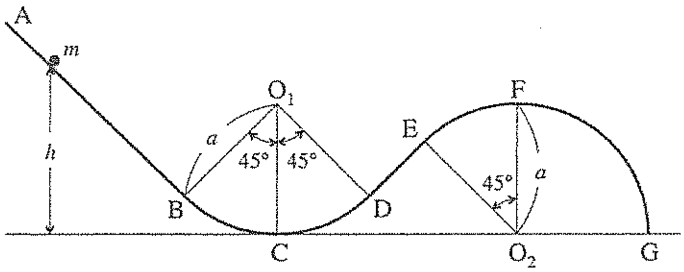

図 1-1（再掲）

(キ) の解答群

⓪ $\dfrac{\sqrt{3}}{4}$　① $\dfrac{\sqrt{2}}{2}$　② $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$　③ $\dfrac{3\sqrt{2}}{4}$

④ $\dfrac{3\sqrt{2}}{2}$　⑤ $3\sqrt{2}$

(ク) の解答群

⓪ $\dfrac{\sqrt{2}-1}{2}$　① $\dfrac{3\sqrt{2}-2}{2}$　② $\dfrac{2-\sqrt{3}}{4}$

③ $\dfrac{2\sqrt{3}-1}{4}$　④ $\dfrac{2+\sqrt{3}}{4}$　⑤ $\dfrac{2\sqrt{3}+1}{4}$

(ケ), (コ) の解答群

⓪ $\dfrac{h+\sqrt{2}a}{4}$　① $\dfrac{2h+\sqrt{2}a}{4}$　② $\dfrac{h+(\sqrt{2}-1)a}{2}$

③ $h+(\sqrt{2}-1)a$　④ $2h+(\sqrt{2}-1)a$　⑤ $2h+(\sqrt{3}-1)a$

(3)　小物体がCF間で面を離れることなくすべってFを越えるための条件は，hが $\boxed{\text{(キ)}}$ $\times a$ [m] を超えず，かつ， $\boxed{\text{(サ)}}$ $\times a$ [m] よりも大きいことである。このとき，小物体がFG間で面を離れる点の高さは水平面CGから $\boxed{\text{(シ)}}$ $\times h$ [m] である。

hが $\boxed{\text{(サ)}}$ $\times a$ [m] よりも小さければ，小物体は面から離れることなくC点を最下点とする往復運動を行うことになる。

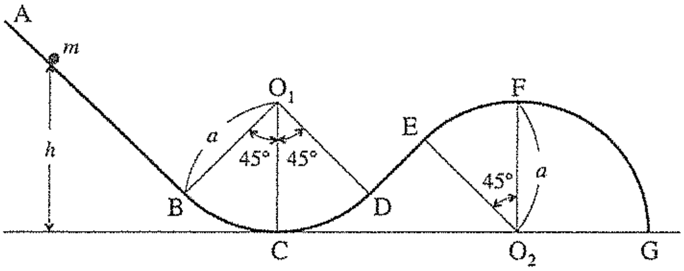

図 1-1（再掲）

(サ) の解答群

⓪ $\dfrac{\sqrt{2}}{2}$　　① 1　　② $\sqrt{2}$　　③ $\dfrac{3\sqrt{2}}{4}$

④ $\dfrac{3\sqrt{2}}{2}$　　⑤ $3\sqrt{2}$

(シ) の解答群

⓪ $\dfrac{1}{3}$　　① $\dfrac{1}{2}$　　② $\dfrac{\sqrt{3}}{3}$　　③ $\dfrac{2}{3}$

④ $\dfrac{\sqrt{2}}{2}$　　⑤ $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

$\boxed{2}$ 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。)　(35点)

音響装置に使われるスピーカーには，コイルやコンデンサーなどを組み合わせた交流回路を用いて，音の振動数に応じた交流電流が流れている。ここでは，交流回路におけるコイルとコンデンサーの役割について考える。

以下の問では，ω [rad/s] は回路を流れる交流の角周波数，V_0 [V] と I_0 [A] はそれぞれ交流電圧と交流電流の最大値を表す。このとき，回路のリアクタンス X [Ω] は V_0 と I_0 を用いて $X = \dfrac{V_0}{I_0}$ と表される。なお，コイルの抵抗は無視できるとする。また，以下の設問で必要ならば，$|x|$ がじゅうぶん小さいとき ($|x| \ll 1$) に成り立つ近似式 $\cos x \fallingdotseq 1$，$\sin x \fallingdotseq x$ を利用せよ。

右のページは白紙です。

(1)　コイルに交流電圧を印加すると，コイルに流れる電流が時間変化するため，コイルを貫く磁束も変化する。この磁束の変化を妨げるようにコイルには誘導起電力が生じる。この現象を $\boxed{\text{(ア)}}$ とよぶ。

図 2-1 は，時刻 t [s] において，自己インダクタンス L [H] のコイルに交流電圧 V [V] を印加し，矢印の向きを電流の正の向きとして交流電流 I [A] が流れている状態を示している。

このコイルに流れる交流電流 I が，時刻 t から，わずかな時間 Δt [s] の間に ΔI [A] だけ変化し，コイルに誘導起電力 V' [V] が生じたとする。この誘導起電力 V' と交流電圧 V の間には，キルヒホッフの法則から $V + V' = 0$ が成り立つので，交流電圧 V は，$V = \boxed{\text{(イ)}}$ と表せる。

ここで，**図 2-1** のコイルに流れる交流電流 I が $I = I_0\sin\omega t$ で表せるとき，時刻 t から $t + \Delta t$ の間に流れる電流の変化分 ΔI は，

$$\begin{aligned}\Delta I &= I_0\sin\{\omega(t+\Delta t)\} - I_0\sin\omega t \\ &= I_0\{\sin\omega t\cdot\cos(\omega\Delta t) + \cos\omega t\cdot\sin(\omega\Delta t)\} - I_0\sin\omega t \\ &\fallingdotseq \boxed{\text{(ウ)}}\end{aligned}$$

と近似できる。ただし，$|\omega\Delta t| \ll 1$ である。

この結果から交流電圧は $V = \boxed{\text{(イ)}} = \boxed{\text{(エ)}}$ と表せる。

一方，コイルに印加する交流電圧 V は，交流電流 $I = I_0\sin\omega t$ と比べて位相がずれるので，$V = V_0\sin(\omega t + \phi)$ と表せる。ここで，交流電圧と交流電流の位相差を ϕ [rad] $(-\pi < \phi \leqq \pi)$ とした。このとき，$V_0 = \boxed{\text{(オ)}} \times I_0$，$\phi = \boxed{\text{(カ)}}$ である。これよりコイルのリアクタンス X_L [Ω] は，$X_L = \boxed{\text{(オ)}}$ と表せる。

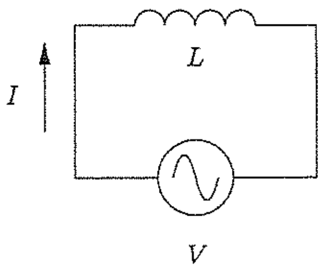

図 2-1

(ア) の解答群

⓪ 光電効果　① ホール効果　② 相互誘導

③ ドップラー効果　④ 自己誘導　⑤ 電圧降下

(イ) の解答群

⓪ $-L\dfrac{\Delta t}{\Delta I}$　① $-L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$　② $L\dfrac{\Delta t}{\Delta I}$　③ $L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

④ $-\dfrac{\Delta t}{L\Delta I}$　⑤ $-\dfrac{\Delta I}{L\Delta t}$　⑥ $\dfrac{\Delta t}{L\Delta I}$　⑦ $\dfrac{\Delta I}{L\Delta t}$

(ウ) の解答群

⓪ $-I_0\,\omega\,\Delta t\,\sin\omega t$　① $-I_0\,\Delta t\,\sin\omega t$　② $I_0\,\omega\,\Delta t\,\sin\omega t$

③ $I_0\,\Delta t\,\sin\omega t$　④ $-I_0\,\omega\,\Delta t\,\cos\omega t$　⑤ $-I_0\,\Delta t\,\cos\omega t$

⑥ $I_0\,\omega\,\Delta t\,\cos\omega t$　⑦ $I_0\,\Delta t\,\cos\omega t$

(エ) の解答群

⓪ $-\dfrac{I_0}{L}\,\omega\,\sin\omega t$　① $-I_0\,\omega\,L\,\sin\omega t$　② $\dfrac{I_0}{L}\,\omega\,\sin\omega t$

③ $I_0\,\omega\,L\,\sin\omega t$　④ $-\dfrac{I_0}{L}\,\omega\,\cos\omega t$　⑤ $-I_0\,\omega\,L\,\cos\omega t$

⑥ $\dfrac{I_0}{L}\,\omega\,\cos\omega t$　⑦ $I_0\,\omega\,L\,\cos\omega t$

(オ) の解答群

⓪ $2\pi\sqrt{\omega L}$　① $\omega^2 L$　② ωL　③ ωL^2　④ $\dfrac{\omega}{L}$

⑤ $\dfrac{L}{\omega}$　⑥ $\dfrac{1}{\omega^2 L}$　⑦ $\dfrac{1}{\omega L}$　⑧ $\dfrac{1}{\omega L^2}$　⑨ $\dfrac{1}{2\pi\sqrt{\omega L}}$

(カ) の解答群

⓪ $-\dfrac{\pi}{2}$　① $-\dfrac{\pi}{3}$　② $-\dfrac{\pi}{4}$　③ 0

④ $\dfrac{\pi}{4}$　⑤ $\dfrac{\pi}{3}$　⑥ $\dfrac{\pi}{2}$　⑦ π

(2) **図 2-2** は，時刻 t [s] において，電気容量 C [F] のコンデンサーに交流電圧 V [V] を印加し，矢印の向きを電流の正の向きとして交流電流 I [A] が流れている状態を示している。この交流電圧を $V = V_0\cos\omega t$ [V] とすると，コンデンサーには $Q = CV_0\cos\omega t$ [C] の電気量が蓄えられる。

ここで，時刻 t から $t+\Delta t$ の間に，コンデンサーに蓄えられた電気量が ΔQ [C] だけ変化したととすると，

$$\begin{aligned}\Delta Q &= CV_0\cos\{\omega(t+\Delta t)\} - CV_0\cos\omega t \\ &\fallingdotseq \boxed{\text{(キ)}}\end{aligned}$$

である。ここでも，$|\omega\Delta t| \ll 1$ として，$\boxed{\text{(ウ)}}$ を導いたのと同様な近似を用いた。

この結果から，交流電流 I は，$I = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t} = \boxed{\text{(ク)}}$ と表せる。

一方，コンデンサーを流れる交流電流 I は，交流電圧 $V = V_0\cos\omega t$ と比べて位相がずれるので，$I = I_0\cos(\omega t + \theta)$ と表せる。ここで，交流電圧と交流電流の位相差を θ [rad] $(-\pi < \theta \leqq \pi)$ とした。このとき，$V_0 = \boxed{\text{(ケ)}} \times I_0$，$\theta = \boxed{\text{(コ)}}$ である。これよりコンデンサーのリアクタンス X_C [Ω] は，$X_C = \boxed{\text{(ケ)}}$ と表せる。

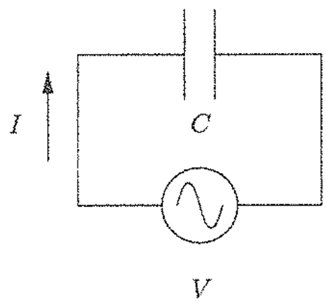

図 2-2

(キ)，(ク) の解答群

⓪ $-CV_0\sin\omega t$　① $-CV_0\omega\sin\omega t$　② $-CV_0\omega\Delta t\sin\omega t$

③ $CV_0\omega\sin\omega t$　④ $CV_0\omega\Delta t\sin\omega t$　⑤ $-CV_0\omega\cos\omega t$

⑥ $-CV_0\omega\Delta t\cos\omega t$　⑦ $CV_0\cos\omega t$　⑧ $CV_0\omega\cos\omega t$

⑨ $CV_0\omega\Delta t\cos\omega t$

(ケ) の解答群

⓪ $2\pi\sqrt{\omega C}$　① $\omega^2 C$　② ωC　③ ωC^2　④ $\dfrac{\omega}{C}$

⑤ $\dfrac{C}{\omega}$　⑥ $\dfrac{1}{\omega^2 C}$　⑦ $\dfrac{1}{\omega C}$　⑧ $\dfrac{1}{\omega C^2}$　⑨ $\dfrac{1}{2\pi\sqrt{\omega C}}$

(コ) の解答群

⓪ $-\dfrac{\pi}{2}$　① $-\dfrac{\pi}{3}$　② $-\dfrac{\pi}{4}$　③ 0

④ $\dfrac{\pi}{4}$　⑤ $\dfrac{\pi}{3}$　⑥ $\dfrac{\pi}{2}$　⑦ π

(3) 小問 (1)，(2) の結果から，回路を流れる交流の周波数 f [Hz] とすると，コイルのリアクタンス X_L は f に対して $\boxed{\text{(サ)}}$ こと，コンデンサーのリアクタンス X_C は f に対して $\boxed{\text{(シ)}}$ ことがわかる。このことから，$\boxed{\text{(ス)}}$ ことがわかる。

ここでは，これまでに考察した交流回路におけるコイルとコンデンサーの特性をスピーカーに利用することを考える。**図 2-3** に示すように高音用スピーカーと低音用スピーカーを並列に接続する。また，端子 P，Q 間には音声出力を接続する。この音声出力からは，音声に対応する様々な周波数の交流電流が流れる。端子 A，B 間と，端子 C，D 間には，それぞれコイルとコンデンサーのいずれかを 1 個接続し，高音用スピーカーには主に高い周波数の交流電流が，低音用スピーカーには主に低い周波数の交流電流が流れるようにする。そのためには，端子 A，B 間に $\boxed{\text{(セ)}}$ を，端子 C，D 間に $\boxed{\text{(ソ)}}$ を接続すればよい。

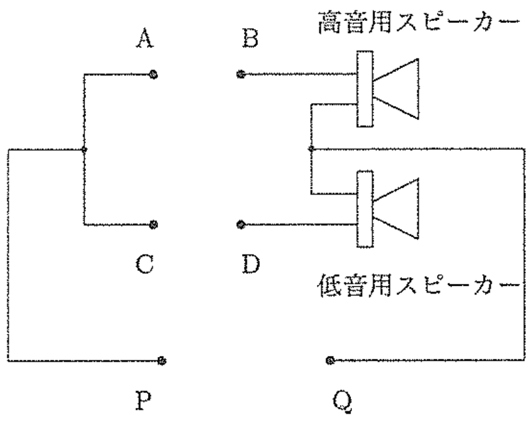

図 2-3

(サ), (シ) の解答群

⓪ 比例する　　① 反比例する　　② 変わらない

(ス) の解答群

⓪ コイル，コンデンサーともに高い周波数の交流を流しにくい

① コイル，コンデンサーともに低い周波数の交流を流しにくい

② コイルは高い周波数の交流を流しにくく，コンデンサーは低い周波数の交流を流しにくい

③ コイルは低い周波数の交流を流しにくく，コンデンサーは高い周波数の交流を流しにくい

(セ), (ソ) の解答群

⓪ コイル　　① コンデンサー

$\boxed{3}$ 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。答えが数値となる場合は最も近い数値を選ぶこと。) (25 点)

図 3-1 のような，まさつなく動くピストンとシリンダーがある。これらは断熱材で作られている。シリンダーには，内部の気体に熱を与えたり，吸収したりできる装置（熱交換器）がついているものとする。このシリンダー内に 1 モルの単原子分子理想気体を入れる。

図 3-2 は，理想気体の圧力 p [Pa] を縦軸に，体積 V [m^3] を横軸に表示したグラフである。**図 3-2** のように，気体の状態 A, B, C に対して A → B → C → A の向きに一巡する状態変化（サイクル）をゆっくりと行わせる。A → B, B → C, C → A の各過程は，等温過程，断熱過程，等積（定積）過程のいずれかである。また，状態 A の圧力，体積はそれぞれ p_0 [Pa], V_0 [m^3]，状態 B の体積は $\dfrac{V_0}{8}$ [m^3] とする。また，以下の設問で必要ならば，xy 平面上で関数 $y = \dfrac{1}{x}$ と x 軸，及び 2 本の直線 $x = a, x = b$ $(0 < a < b)$ で囲まれる部分の面積が自然対数 $\log_e \dfrac{b}{a}$ で与えられることを利用せよ。

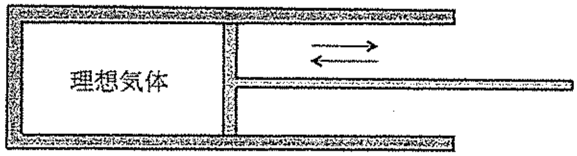

図 3-1

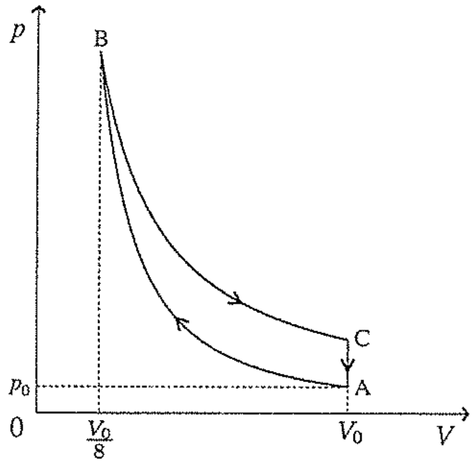

図 3-2　これは概念図で，2 点間の長さなど，正確には描かれてはいない。

(1) 理想気体では，温度を一定（等温）にしたとき，圧力と体積の積 pV が一定に保たれる。一方，熱の出入りがないようにして（断熱），圧力と体積を変化させたときには，pV^{γ} が一定に保たれる。ここで，γ は比熱比と呼ばれ，定積モル比熱を C_V [J/(mol · K)]，定圧モル比熱を C_p [J/(mol · K)] とすると，$\gamma = \dfrac{C_p}{C_V}$ である。単原子分子理想気体の γ の値は $\boxed{\text{(ア)}}$ である。

図 3-2 のサイクルで過程 A → B は $\boxed{\text{(イ)}}$ であり，実際の操作としては $\boxed{\text{(ウ)}}$。過程 B → C は $\boxed{\text{(エ)}}$ であり，実際の操作としては $\boxed{\text{(オ)}}$。過程 C → A は $\boxed{\text{(カ)}}$ であり，実際の操作としては $\boxed{\text{(キ)}}$。

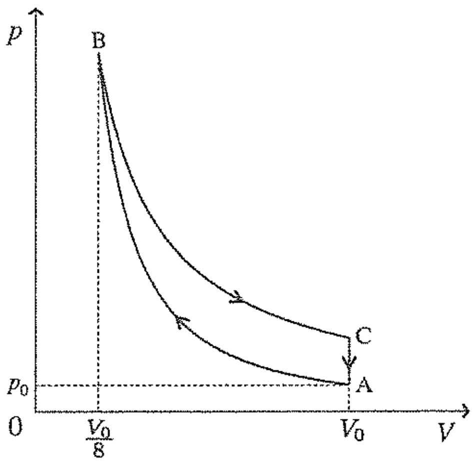

図 3-2（再掲）

(ア) の解答群

⓪ $\frac{1}{2}$　① $\frac{3}{5}$　② 1　③ $\frac{3}{2}$　④ $\frac{5}{3}$　⑤ $\frac{5}{2}$

(イ), (エ), (カ) の解答群

⓪ 等温過程　① 断熱過程　② 等積過程

(ウ), (オ), (キ) の解答群

⓪ ピストンを固定して（正の）熱を加える

① ピストンを固定して（正の）熱を奪う

② ピストンを自由にして（正の）熱を加える

③ ピストンを自由にして（正の）熱を奪う

④ 熱交換器は作動させずにピストンを引き出す

⑤ 熱交換器は作動させずにピストンを押し込む

⑥ 温度を一定にしてピストンを引き出す

⑦ 温度を一定にしてピストンを押し込む

(2) 以下では，各過程において，気体が吸収した熱量，および，気体がピストンからなされた仕事を求めていく。ただし，気体が正の熱を放出する場合，気体は負の熱量を吸収したと表現し，また，気体がピストンに対して正の仕事をする場合，気体はピストンから負の仕事をなされたと表現する。

図 3-2 のサイクルにおいて，状態 B の圧力は $\boxed{\text{(ク)}}$ $\times p_0$ [Pa]，状態 C の圧力は $\boxed{\text{(ケ)}}$ $\times p_0$ [Pa] である。過程 A → B で気体が吸収した熱量は $\boxed{\text{(コ)}}$ $\times p_0 V_0$ [J]，気体がなされた仕事は $\boxed{\text{(サ)}}$ $\times p_0 V_0$ [J] である。過程 B → C で気体が吸収した熱量は $\boxed{\text{(シ)}}$ $\times p_0 V_0$ [J]，気体がなされた仕事は $\boxed{\text{(ス)}}$ $\times p_0 V_0$ [J] である。過程 C → A で気体が吸収した熱量は $\boxed{\text{(セ)}}$ $\times p_0 V_0$ [J]，気体がなされた仕事は $\boxed{\text{(ソ)}}$ $\times p_0 V_0$ [J] である。このサイクルの熱効率は $\boxed{\text{(タ)}}$ である。熱効率の計算の際，必要ならば自然対数の近似値 $\log_e 2 \fallingdotseq 0.693$ を用いよ。

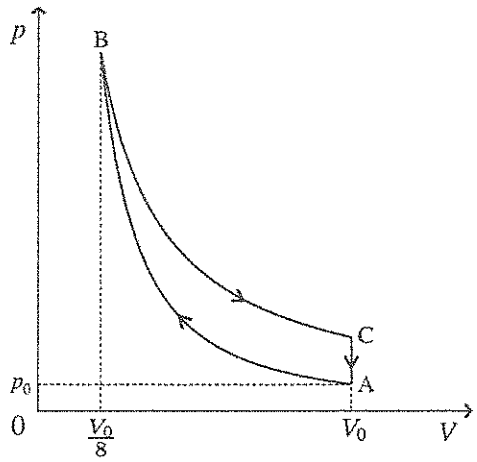

図 3-2（再掲）

(ク), (ケ), (コ), (サ), (シ), (ス), (セ), (ソ) の解答群

⓪ 0　① 4　② $\frac{9}{2}$　③ $12\log_e 2$

④ 32　⑤ -1　⑥ -4　⑦ $-\frac{9}{2}$

⑧ $-12\log_e 2$　⑨ -32

(タ) の解答群

⓪ 0.10　① 0.19　② 0.25　③ 0.37

④ 0.46　⑤ 0.63