明治大学
理工学部

を

理　科　問　題

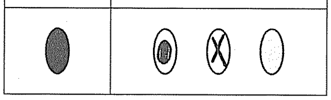
注　意

1. この問題冊子は51ページあります。解答用紙には，表と裏があります。
2. あなたの受験番号は解答用紙に印刷されています。印刷されている受験番号と，受験票の受験番号が一致していることを確認しなさい。
3. 解答用紙の所定の欄に氏名を記入しなさい。
4. 問題は物理３題(Ａ，Ｂ，Ｃ)，化学３題(Ｄ，Ｅ，Ｆ)の合計６題からなっています。
5. この６題のうちから３題を任意に選択して解答しなさい。
４題以上解答した場合には，すべての解答が無効になります。
6. 解答はすべて解答用紙の所定の欄にマークするか，または所定の欄に書きなさい。
7. １問につき２つ以上マークしないこと。２つ以上マークした場合には，その解答は無効になります。
8. 解答は，必ず鉛筆またはシャープペンシル(いずれもHB・黒)で記入しなさい。
9. 訂正するときは，消しゴムできれいに消し，消しクズを残さないこと。
10. 解答用紙は，絶対に汚したり折り曲げたりしないこと。また，所定の欄以外には絶対に記入しないこと。
11. 解答用紙は必ず提出しなさい。
12. 試験時間は80分です。

※　この問題冊子は必ず持ち帰りなさい。

（マーク記入例）

良い例	悪　い　例



物　　　理

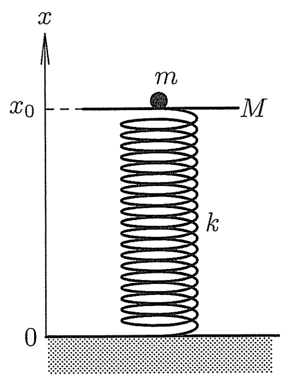
〔A〕　次の文中の $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{ケ}}$ に最も適するものをそれぞれの解答群から一つ選び，解答用紙の所定の欄にその記号をマークせよ。また，空欄 $\boxed{\text{a}}$ に適する式を解答用紙の所定の欄に記入せよ。

図のように，水平な床に一端を固定した自然長 L，ばね定数 k の軽いばねの他端に厚さの無視できる質量 M の板を取り付け，その上に質量 m の小球をのせる。鉛直方向に x 軸をとり，上向きを正の向きとし，床面を $x=0$ とする。重力加速度の大きさを g とする。以下すべての設問において空気の抵抗は無視し，板と小球は鉛直方向にのみ運動するものとし，ばねも鉛直方向に伸び縮みするものとする。

はじめ，板と小球はつり合いの位置で静止していた。このときの板と小球の位置 x_0 は $\boxed{\text{ア}}$ である。

つり合いの位置から板と小球を押し下げて静止させたのち手を放した。小球は板とともに鉛直上向きに運動を始め，やがて板から離れ上方に放り出された。この運動を詳しく見てみよう。

板と小球を押し下げて静止させた位置を $x=h$ とする。この位置で板と小球を静止させるために手が加えている力の大きさは，x_0 を用いて $\boxed{\text{a}}$ となる。初速度が0になるようにして手を放すと，板と小球は鉛直上向きに運動を始めた。



手を放したのち，板から離れるまでの小球の運動方程式は，小球の加速度を a，小球が板から受ける力の大きさを T とすると，$ma =$ $\boxed{\quad イ \quad}$ となる。板と小球の位置を x として，板の運動方程式をたて，小球の運動方程式と連立させれば，$a =$ $\boxed{\quad ウ \quad}$，$T =$ $\boxed{\quad エ \quad}$ と求められる。手を放してから小球が初めて位置 x_0 に到達するまでの時間は $\boxed{\quad オ \quad}$ で，位置 x_0 での小球の速度は $\boxed{\quad カ \quad}$ である。

$T = 0$ となったとき小球は板から離れるので，板と小球を押し下げ手を放した位置 h は $\boxed{\quad キ \quad}$ の条件を満たしていたはずである。板から離れる瞬間の小球の速度を V とすると，小球が到達する最も高い位置は $x =$ $\boxed{\quad ク \quad}$ である。一方で板が到達する最も高い位置は $x =$ $\boxed{\quad ケ \quad}$ である。

$\boxed{\quad ア \quad}$ の解答群

① $\dfrac{m}{k}g$　② $L + \dfrac{m}{k}g$　③ $L - \dfrac{m}{k}g$

④ $\dfrac{M}{k}g$　⑤ $L + \dfrac{M}{k}g$　⑥ $L - \dfrac{M}{k}g$

⑦ $\dfrac{M+m}{k}g$　⑧ $L + \dfrac{M+m}{k}g$　⑨ $L - \dfrac{M+m}{k}g$

$\boxed{\quad イ \quad}$ の解答群

① $T + mg$　② $T - mg$　③ $mg - T$

④ $T + (m+M)g$　⑤ $T - (m+M)g$　⑥ $(m+M)g - T$

⑦ $T + \dfrac{mM}{m+M}g$　⑧ $T - \dfrac{mM}{m+M}g$　⑨ $\dfrac{mM}{m+M}g - T$

$\boxed{\text{ウ}}$ の解答群

① $\dfrac{k}{M+m}(x+x_0)$　② $\dfrac{k}{M+m}(x_0-x)$

③ $\dfrac{k}{M+m}(x-x_0)$　④ $\dfrac{k}{M+m}(x+x_0)+g$

⑤ $\dfrac{k}{M+m}(x_0-x)+g$　⑥ $\dfrac{k}{M+m}(x-x_0)+g$

⑦ $\dfrac{k}{M+m}(x+x_0)-g$　⑧ $\dfrac{k}{M+m}(x_0-x)-g$

⑨ $\dfrac{k}{M+m}(x-x_0)-g$

$\boxed{\text{エ}}$ の解答群

① $\dfrac{m}{M}k(x_0-x)$　② $\dfrac{m}{M}k(x-x_0)$

③ $\dfrac{m}{M}k(x_0-x)+mg$　④ $\dfrac{m}{M}k(x-x_0)+mg$

⑤ $\dfrac{m}{M+m}k(x_0-x)$　⑥ $\dfrac{m}{M+m}k(x-x_0)$

⑦ $\dfrac{m}{M+m}k(x_0-x)+mg$　⑧ $\dfrac{m}{M+m}k(x-x_0)+mg$

$\boxed{\text{オ}}$ の解答群

① $\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　② $\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　③ $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$

④ $\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{M+m}{k}}$　⑤ $\pi\sqrt{\dfrac{M+m}{k}}$　⑥ $2\pi\sqrt{\dfrac{M+m}{k}}$

⑦ $\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{Mm}{k(M+m)}}$　⑧ $\pi\sqrt{\dfrac{Mm}{k(M+m)}}$　⑨ $2\pi\sqrt{\dfrac{Mm}{k(M+m)}}$

$\boxed{\text{カ}}$ の解答群

① $(x_0 - h)\sqrt{\dfrac{k}{M+m}}$

② $(h - x_0)\sqrt{\dfrac{k}{M+m}}$

③ $\sqrt{\dfrac{k}{M+m}(x_0 - h)^2 - g(x_0 - h)}$

④ $\sqrt{\dfrac{k}{M+m}(h - x_0)^2 - g(h - x_0)}$

⑤ $\sqrt{\dfrac{k}{M+m}(x_0 - h)^2 - 2g(x_0 - h)}$

⑥ $\sqrt{\dfrac{k}{M+m}(h - x_0)^2 - 2g(h - x_0)}$

⑦ $\sqrt{\dfrac{k}{M+m}(x_0 - h)^2 - \dfrac{mg}{M}(x_0 - h)}$

⑧ $\sqrt{\dfrac{k}{M+m}(h - x_0)^2 - \dfrac{mg}{M}(h - x_0)}$

$\boxed{\text{キ}}$ の解答群

① $h < 2x_0 - L$

② $h > 2x_0 - L$

③ $h < x_0 - L$

④ $h > x_0 - L$

⑤ $h < L - 2x_0$

⑥ $h > L - 2x_0$

⑦ $h < L - x_0$

⑧ $h > L - x_0$

$\boxed{\text{ク}}$ の解答群

① $\dfrac{V^2}{g}$

② $x_0 + \dfrac{V^2}{g}$

③ $L + \dfrac{V^2}{g}$

④ $L - x_0 + \dfrac{V^2}{g}$

⑤ $\dfrac{V^2}{2g}$

⑥ $x_0 + \dfrac{V^2}{2g}$

⑦ $L + \dfrac{V^2}{2g}$

⑧ $L - x_0 + \dfrac{V^2}{2g}$

$\boxed{\text{ケ}}$ の解答群

① $\dfrac{\sqrt{(Mg)^2+kMV^2}+Mg}{k}$

② $\dfrac{\sqrt{(Mg)^2+kMV^2}-Mg}{k}$

③ $L+\dfrac{\sqrt{(Mg)^2+kMV^2}}{k}$

④ $L-\dfrac{\sqrt{(Mg)^2+kMV^2}}{k}$

⑤ $L+\dfrac{\sqrt{(Mg)^2+kMV^2}+Mg}{k}$

⑥ $L-\dfrac{\sqrt{(Mg)^2+kMV^2}+Mg}{k}$

⑦ $L+\dfrac{\sqrt{(Mg)^2+kMV^2}-Mg}{k}$

⑧ $L-\dfrac{\sqrt{(Mg)^2+kMV^2}-Mg}{k}$

（このページは，計算に使用してよい。）

〔B〕　次の文中の $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{キ}}$ に最も適するものをそれぞれの解答群から一つ選び，解答用紙の所定の欄にその記号をマークせよ。また，空欄 $\boxed{\text{b}}$ に適する式を解答用紙の所定の欄に記入せよ。

図1のように，真空中におかれた面積 S〔$\mathrm{m^2}$〕，極板間の間隔 d〔m〕の平行板コンデンサーに電圧 V〔V〕の電源を接続して，スイッチを閉じると，極板Aに正の電荷 $+Q_0$〔C〕，極板Bに負の電荷 $-Q_0$〔C〕が蓄えられた。極板の面積は十分広く，一様な電場（電界）が極板間にのみ生じているとみなしてよい。電気力線は極板に垂直で，その総本数は，真空中におけるクーロンの法則の比例定数を k_0〔$\mathrm{N\cdot m^2/C^2}$〕として，$4\pi k_0 Q_0$ 本である。電場の強さは，電場に垂直な面を貫く単位面積当たりの電気力線の本数として求められる。極板間の電場の強さは $\boxed{\text{ア}}$〔N/C〕であり，極板AとBの電位差 V は $\boxed{\text{イ}}$ と表すことができる。また，コンデンサーの電気容量は $\boxed{\text{ウ}}$〔F〕である。

スイッチを閉じたまま，極板間隔を d から $2d$ まで広げると，コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは，極板間隔を広げる前の $\boxed{\text{エ}}$ 倍になる。その間に，極板Aから $\boxed{\text{オ}}$〔C〕の電荷が流れ出す。

その後，スイッチを開き，極板間に面積 S，厚さ $\dfrac{d}{2}$ の帯電していない導体板を両極板に平行に入れた。図2のように，x 軸を極板Bから極板Aに向かって極板に垂直にとり，極板Bの位置を原点とする。導体板の底面は $x=\dfrac{d}{2}$ の位置にある。極板AとBの間の空間において，電位と x の関係を図示すると，縦軸を電位とし

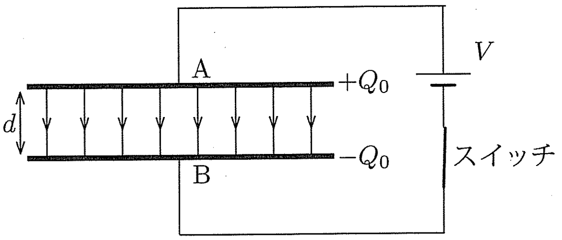


図1

て $\boxed{\text{カ}}$ のようになる。ただし，極板Bの電位を基準とする。また，電場の強さとxの関係を図示すると，縦軸を電場の強さとして $\boxed{\text{キ}}$ のようになる。導体板を入れる前の極板AとBの電位差はVであり，そのとき極板Aに蓄えられていた電荷はQ〔C〕であった。導体板を入れたときのコンデンサーの電気容量は，VとQを用いて $\boxed{\text{b}}$ 〔F〕となる。

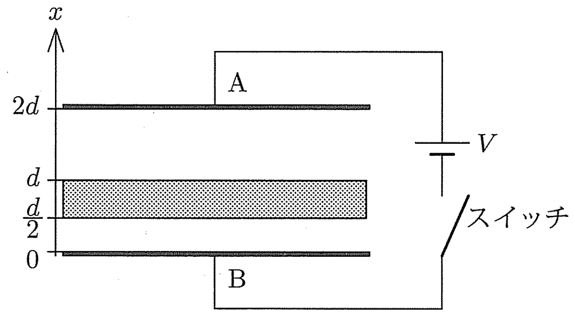


図 2

$\boxed{\text{ア}}$ の解答群

① $\dfrac{2\pi k_0}{S}$　② $\dfrac{4\pi k_0}{S}$　③ $\dfrac{8\pi k_0}{S}$

④ $\dfrac{2\pi k_0 Q_0}{S}$　⑤ $\dfrac{4\pi k_0 Q_0}{S}$　⑥ $\dfrac{8\pi k_0 Q_0}{S}$

⑦ $2\pi k_0 Q_0 S$　⑧ $4\pi k_0 Q_0 S$　⑨ $8\pi k_0 Q_0 S$

イ の解答群

① $\dfrac{2\pi k_0 d}{S}$　② $\dfrac{4\pi k_0 d}{S}$　③ $\dfrac{8\pi k_0 d}{S}$

④ $\dfrac{2\pi k_0 Q_0 d}{S}$　⑤ $\dfrac{4\pi k_0 Q_0 d}{S}$　⑥ $\dfrac{8\pi k_0 Q_0 d}{S}$

⑦ $2\pi k_0 Q_0 dS$　⑧ $4\pi k_0 Q_0 dS$　⑨ $8\pi k_0 Q_0 dS$

ウ の解答群

① $\dfrac{S}{2\pi k_0 d}$　② $\dfrac{S}{4\pi k_0 d}$　③ $\dfrac{2\pi k_0 d}{S}$　④ $\dfrac{4\pi k_0 d}{S}$

⑤ $\dfrac{k_0 S}{2\pi d}$　⑥ $\dfrac{k_0 S}{4\pi d}$　⑦ $\dfrac{2\pi d}{k_0 S}$　⑧ $\dfrac{4\pi d}{k_0 S}$

エ の解答群

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

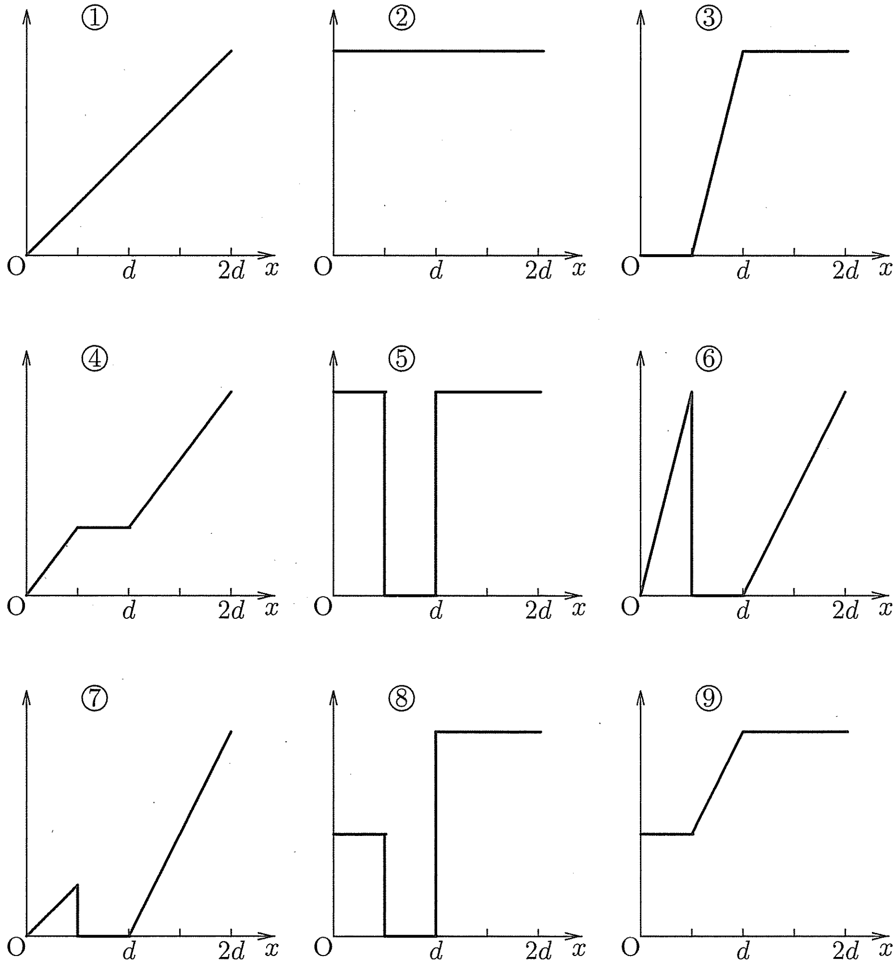
⑤ 2　⑥ 3　⑦ 4

オ の解答群

① $\dfrac{Q_0}{8}$　② $\dfrac{Q_0}{6}$　③ $\dfrac{Q_0}{4}$　④ $\dfrac{Q_0}{3}$

⑤ $\dfrac{Q_0}{2}$　⑥ $\dfrac{Q_0}{\sqrt{2}}$　⑦ Q_0

$\boxed{\text{カ}}$ および $\boxed{\text{キ}}$ の解答群



（このページは，計算に使用してよい。）

（このページは，計算に使用してよい。）

〔C〕　次の文中の $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{ク}}$ に最も適するものをそれぞれの解答群から一つ選び，解答用紙の所定の欄にその記号をマークせよ。

単原子分子理想気体 1 mol を用いた，図 1 のようなサイクルを持つ熱機関（熱機関 1）を考える。気体定数を R〔J/mol・K〕として，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。単原子分子理想気体の断熱変化では，その圧力を p〔Pa〕，体積を V〔m^3〕として，$pV^{\frac{5}{3}}$ が一定に保たれる。以下では，外部と出入りする熱量 Q〔J〕について，その大きさだけではなく符号も考え，気体が外部から熱を吸収する場合を正 ($Q > 0$)，熱を外部へ放出する場合を負 ($Q < 0$) にとる。

始めの状態 A の圧力は p_A〔Pa〕，体積は V_A〔m^3〕，温度は T_A〔K〕である。

- 過程 A → B では，状態 A から定圧変化により，体積 V_B〔m^3〕，温度 T_B〔K〕の状態 B へ移る。この過程で，気体は外部に対して $\boxed{\text{ア}}$〔J〕の仕事をする。また，$Q_1 = \boxed{\text{イ}}$〔J〕の熱量が外部との間で出入りする。
- 過程 B → C では，状態 B から断熱変化により，圧力 p_C〔Pa〕，体積 V_C〔m^3〕，温度 T_C〔K〕の状態 C へ移る。$p_C = \boxed{\text{ウ}}$ であり，この間に気体が外部にする仕事は，p_A，V_B，V_C を用いて，$\boxed{\text{エ}}$〔J〕と表すことができる。
- 過程 C → D では，状態 C から定積変化により，圧力 p_D〔Pa〕，温度 T_D〔K〕の

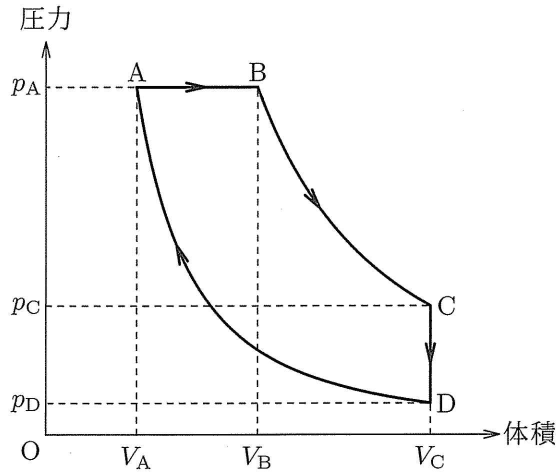


図 1

状態Dへ移る。状態C，Dでの気体の内部エネルギーをそれぞれU_C〔J〕，U_D〔J〕とすると，$U_D - U_C =$ $\boxed{\quad オ \quad}$ である。定積変化では気体は外部に対して仕事をしないので，$\boxed{\quad オ \quad}$ は外部との間で出入りする熱量Q_2〔J〕に等しい。

- 過程D→Aでは，状態Dから断熱変化によって始めの状態Aに戻る。

1サイクルの間に気体が外部から吸収した熱量が，外部に対する仕事に変換される割合を，熱機関の効率（熱効率）という。熱機関1の効率eは，1サイクルの間に外部から吸収する正の熱量の総和をQ_p，外部にする仕事の総和をWとして，$e = \dfrac{W}{Q_p}$で与えられる。eをQ_1，Q_2を用いて表すと，$e =$ $\boxed{\quad カ \quad}$ となる。$Q_1 =$ $\boxed{\quad イ \quad}$，$Q_2 =$ $\boxed{\quad オ \quad}$ の関係を利用すれば，各状態の温度を用いてeを表すことができる。

次に，図2のように，状態AからCまでの過程は熱機関1と同じであるが，状態Cから定圧変化によって，熱機関1の過程D→Aの途上にある状態D′に移り，始めの状態Aに戻るサイクルA→B→C→D′→Aを持つ熱機関（熱機関2）を考える。

熱機関1と2の効率の大小を知るには，1サイクルの間に外部から吸収する熱量と，外部に対してする仕事の大小を2つの熱機関で比較すればよい。熱機関2の1サイクルの間に外部から吸収する正の熱量の総和をQ_p'，外部にする仕事の総

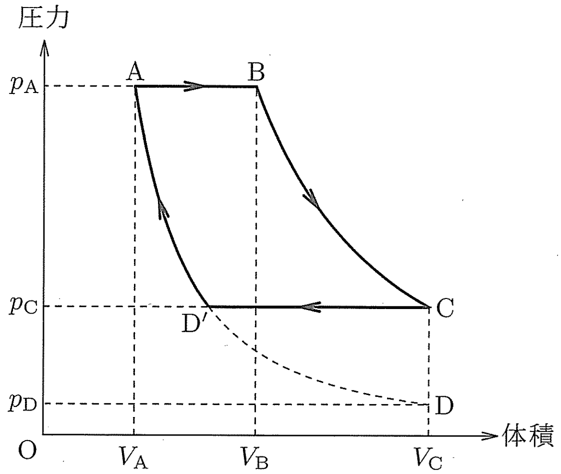


図2

和を W' とすれば，その効率 e' は $\dfrac{W'}{Q'_{\mathrm{p}}}$ で与えられる。e' を熱機関 1 の効率 e と比較すると，$\boxed{\text{キ}}$。

図 1， 2 に示した気体の状態変化は，気体の温度と体積の関係としても表すことができる。それぞれの過程を図示すると，$\boxed{\text{ク}}$ のようになる。

$\boxed{\text{ア}}$ の解答群

① $p_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{A}}-V_{\mathrm{B}})$　② $p_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{B}}-V_{\mathrm{A}})$　③ $\dfrac{3}{2}p_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{A}}-V_{\mathrm{B}})$

④ $\dfrac{3}{2}p_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{B}}-V_{\mathrm{A}})$　⑤ $\dfrac{5}{2}p_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{A}}-V_{\mathrm{B}})$　⑥ $\dfrac{5}{2}p_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{B}}-V_{\mathrm{A}})$

$\boxed{\text{イ}}$ の解答群

① $R(T_{\mathrm{A}}-T_{\mathrm{B}})$　② $R(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{A}})$　③ $\dfrac{3}{2}R(T_{\mathrm{A}}-T_{\mathrm{B}})$

④ $\dfrac{3}{2}R(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{A}})$　⑤ $\dfrac{5}{2}R(T_{\mathrm{A}}-T_{\mathrm{B}})$　⑥ $\dfrac{5}{2}R(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{A}})$

$\boxed{\text{ウ}}$ の解答群

① $p_{\mathrm{A}}\left(\dfrac{V_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{C}}}\right)^{\frac{2}{3}}$　② $p_{\mathrm{A}}\left(\dfrac{V_{\mathrm{C}}}{V_{\mathrm{B}}}\right)^{\frac{2}{3}}$　③ $p_{\mathrm{A}}\left(\dfrac{V_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{C}}}\right)$　④ $p_{\mathrm{A}}\left(\dfrac{V_{\mathrm{C}}}{V_{\mathrm{B}}}\right)$

⑤ $p_{\mathrm{A}}\left(\dfrac{V_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{C}}}\right)^{\frac{5}{3}}$　⑥ $p_{\mathrm{A}}\left(\dfrac{V_{\mathrm{C}}}{V_{\mathrm{B}}}\right)^{\frac{5}{3}}$

$\boxed{\text{エ}}$ の解答群

① $p_A V_B \left\{ \left(\dfrac{V_B}{V_C} \right)^{\frac{2}{3}} - 1 \right\}$　　② $p_A V_B \left\{ 1 - \left(\dfrac{V_B}{V_C} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}$

③ $p_A V_B \left\{ \left(\dfrac{V_C}{V_B} \right)^{\frac{8}{3}} - 1 \right\}$　　④ $p_A V_B \left\{ 1 - \left(\dfrac{V_C}{V_B} \right)^{\frac{8}{3}} \right\}$

⑤ $\dfrac{3}{2} p_A V_B \left\{ \left(\dfrac{V_B}{V_C} \right)^{\frac{2}{3}} - 1 \right\}$　　⑥ $\dfrac{3}{2} p_A V_B \left\{ 1 - \left(\dfrac{V_B}{V_C} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}$

⑦ $\dfrac{3}{2} p_A V_B \left\{ \left(\dfrac{V_C}{V_B} \right)^{\frac{8}{3}} - 1 \right\}$　　⑧ $\dfrac{3}{2} p_A V_B \left\{ 1 - \left(\dfrac{V_C}{V_B} \right)^{\frac{8}{3}} \right\}$

$\boxed{\text{オ}}$ の解答群

① $R(T_C - T_D)$　　② $R(T_D - T_C)$　　③ $\dfrac{3}{2} R(T_C - T_D)$

④ $\dfrac{3}{2} R(T_D - T_C)$　　⑤ $\dfrac{5}{2} R(T_C - T_D)$　　⑥ $\dfrac{5}{2} R(T_D - T_C)$

$\boxed{\text{カ}}$ の解答群

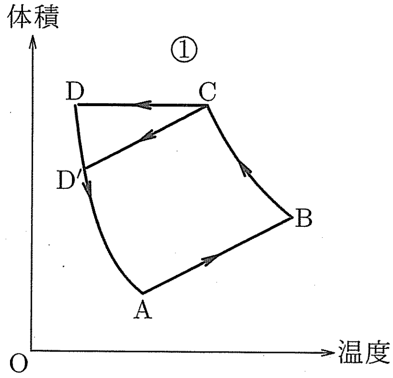
① $\dfrac{Q_1}{Q_2}$　② $\dfrac{Q_2}{Q_1}$　③ $1+\dfrac{Q_1}{Q_2}$　④ $1+\dfrac{Q_2}{Q_1}$

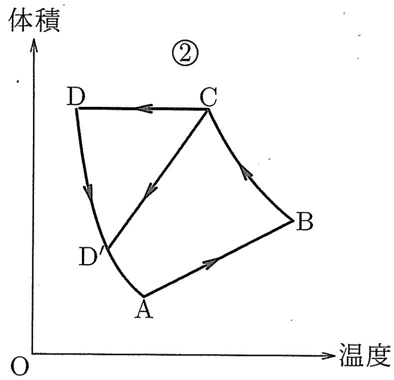
⑤ $1-\dfrac{Q_1}{Q_2}$　⑥ $1-\dfrac{Q_2}{Q_1}$　⑦ $\dfrac{Q_1}{Q_2}-1$　⑧ $\dfrac{Q_2}{Q_1}-1$

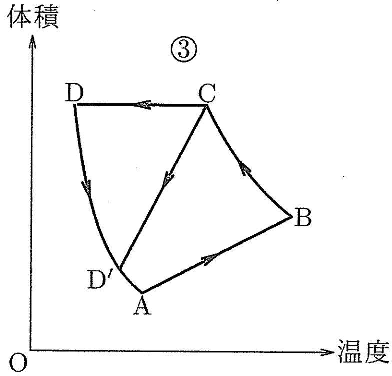
$\boxed{\text{キ}}$ の解答群

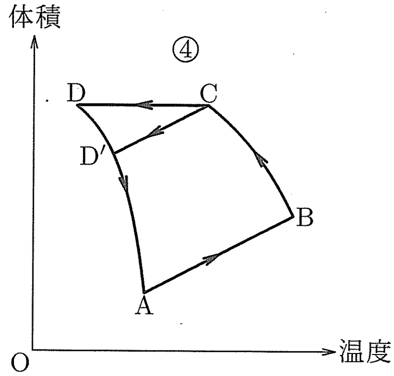
① $Q_{\mathrm{p}}=Q'_{\mathrm{p}}$，$W<W'$ より，$e<e'$ である
② $Q_{\mathrm{p}}<Q'_{\mathrm{p}}$，$W<W'$ より，$e<e'$ である
③ $Q_{\mathrm{p}}>Q'_{\mathrm{p}}$，$W<W'$ より，$e<e'$ である
④ $Q_{\mathrm{p}}>Q'_{\mathrm{p}}$，$W=W'$ より，$e<e'$ である
⑤ $Q_{\mathrm{p}}=Q'_{\mathrm{p}}$，$W>W'$ より，$e>e'$ である
⑥ $Q_{\mathrm{p}}<Q'_{\mathrm{p}}$，$W>W'$ より，$e>e'$ である
⑦ $Q_{\mathrm{p}}<Q'_{\mathrm{p}}$，$W=W'$ より，$e>e'$ である
⑧ $Q_{\mathrm{p}}>Q'_{\mathrm{p}}$，$W>W'$ より，$e>e'$ である

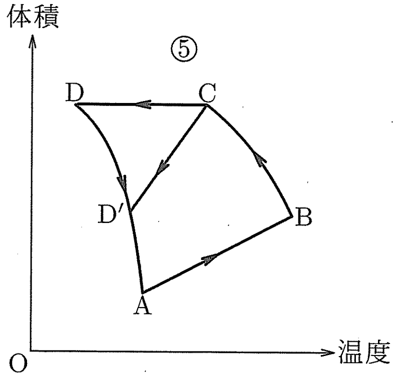
$\boxed{\text{ク}}$ の解答群

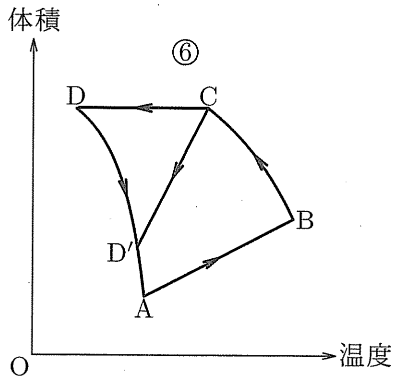












（このページは，計算に使用してよい。）

（このページは，計算に使用してよい。）