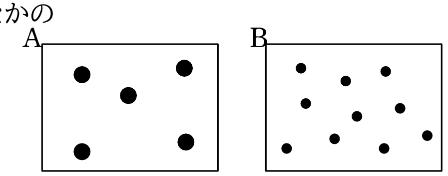
63．熱と温度

(1)　右のA、Bは物体を表わし、そのなかの黒点は分子を表わしている。A、Bは同じ質量である。
「温度とは分子1個あたりの運動エネルギーである。」
「熱とは全分子の運動エネルギーである」
「温度の上がりにくさを比熱という。比熱が大きいほど温度が上がりにくい。」
ということを理解したうえで次の問いに答えよ。

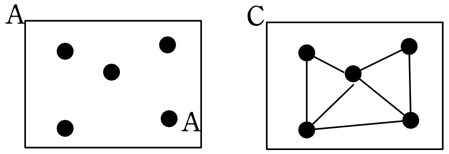


分子5個　　分子10個

・　A、Bに100Jの同じ熱エネルギーを加えた。分子にはエネルギーが等配分される。

①　A、Bそれぞれ分子1個あたりにどれだけエネルギーが配分されるか
②　A,Bどちらの温度がより上昇したといえるか。
③　A、Bどちらの比熱が大きいか。

・　右図のCは各分子が分子間力でつながっている。分子間の線はばねをイメージせよ。
A、Bに同じ熱エネルギーを加えた



分子5個　　分子5個

④　分子1個あたりに分配される運動エネルギーはどちらか大きいか
⑤　A,Bどちらの温度がより上昇したといえるか。
⑥　A、Bどちらの比熱が大きいか。

(2)　摂氏温度（℃）は水の融点（0℃）が基準となった温度である。0℃は分子1個あたりの運動エネルギーが0ではない。分子1個あたりの運動エネルギーが0となる時の温度は－273℃でこの温度を絶対０度といい0Kで表わす。この温度を0として測った温度が絶対温度である。絶対温度に対して以下の問いに答えよ。

①　273Kは摂氏温度で何℃か
②　27℃は絶対温度で何Kか
③　t[℃]とT[K]の間に成り立つ式を求めよ。
④　10Kのとき分子1個あたりの運動エネルギーが20Jだったとき、20Kになると分子1個あたりの運動エネルギーはいくらになるか。

解説

(1)　①　A＝100÷5＝20J　B＝100÷10＝10J
②　Aの方が分子1個あたりの運動エネルギーが大きいので　A
③　同じ熱を加えてもBの方が温度が上がりにくいので　Bの比熱が大きい
④　Cは分子間力の位置エネルギーに熱エネルギーを奪われるので、分子1個あたりの運動エネルギーはAの方が大きくなる。　A
⑤　A
⑥　B

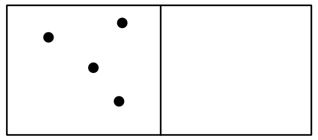
(2)　①　0℃　②　273＋27＝300K　③　$T=273+t$
④　温度が2倍になると分子1個あたりの運動エネルギーが2倍になるので、　40J

(3)　①　40J　②　分子にはどこからもエネルギーが追加されていない　40J
③　10J　④　仕切りをとっても温度は変わらない　20℃

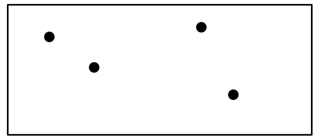
(4)　①　40J　②　120J　③　40＋120＝160J
④　160÷10＝16J　（これは平均に他ならない）
⑤　気体を混合した時の温度は平均を求めればよいことになる。
$$\frac{10\times4+20\times6}{4+6}=16\text{K}$$
⑥　$\dfrac{n_1T_1+n_2T_2}{n_1+n_2}$

(3)　右図Aはある気体をある容器の右半分に密閉し片方を真空にしたものである。図Bは瞬間的に中央の仕切りを取り去り、気体が容器内全体に広がった状態を示している。Aの分子1個あたり運動エネルギーを10Jとして、以下の問いに答えよ。

A



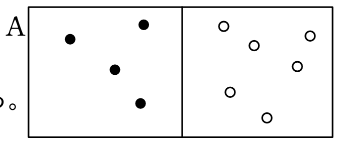
B



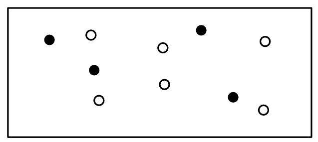
①　Aの全熱エネルギーはいくらか
②　Bの全熱エネルギーはいくらか
③　Bの分子1個あたりの運動エネルギーはいくらか
④　Aの状態の気体の温度が20℃だったとき、Bの状態の気体の温度は何℃になるか

(4)　右図Aは密閉容器に断熱材の仕切りをいれ左側に分子1個あたりのエネルギー10Jの分子4つ、右側に分子1個あたりのエネルギーが20Jの分子6つを入れたものであり、Bは瞬間的に仕切りを取り去ったものである。以下の問いに答えよ。

A



B



①　Aの右側の全分子の熱エネルギーはいくらか
②　Aの左側の全分子の熱エネルギーはいくらか
③　Bの全分子の熱エネルギーはいくらか
④　Bの分子1個あたりの運動エネルギーはいくらか

・　Aの右側に10K、4molの気体をいれ、左側に20K、6molの気体をいれ、仕切りを取った。

⑤　Bの気体の温度は何Kになるか

・　Aの右側にT_1[K]、n_1[mol]の気体をいれ、左側にT_2[K]、n_2[mol]の気体を入れて仕切りをとった。

⑥　Bの気体の温度は何Kになるか

64.　融解熱と気化熱

(1)　融解熱とは固体1gを同じ温度の液体にする（融かす）のに必要な熱エネルギーのことである。以下の問いに答えよ。

・　水の融解熱は80J/gである。

①　0℃の氷1gを融かすのに何J必要か
②　0℃の氷2gを融かすのに何J必要か

・　融解熱Q[J/g]の物質について

③　1gの物質を融かすのに何J必要か
④　2gの物質を融かすのに何J必要か
⑤　m[g]の物質を融かすのに何J必要か

(2)　気化熱とは液体1gを同じ温度の気体にする（蒸発）のに必要な熱エネルギーのことである。以下の問いに答えよ。

・　水の気化熱は120J/gである。

解説

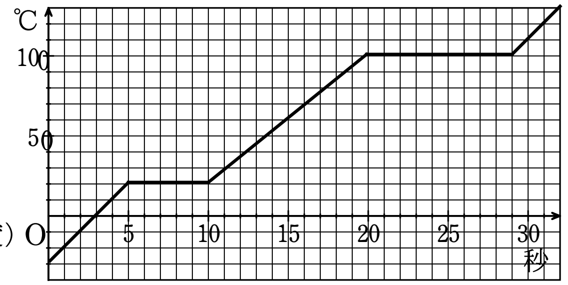
(1)　①　80J　②　160J　③　Q[J]　④　$2Q$[J]　⑤　mQ[J]
(2)　①　120J　②　240J　③　Q[J]　④　$2Q$[J]　⑤　mQ[J]

① 100℃の水1gを蒸発させるのに何J必要か
② 100℃の水2gを蒸発させるのに何J必要か
・ 気化熱Q[J/g]の物質について
③ 1gの物質を蒸発させるのに何J必要か
④ 2gの物質を蒸発させるのに何J必要か
⑤ m[g]の物質を蒸発させるのに何J必要か

65. 比熱

(1) 「1gの物質の温度を1K上昇させる熱量[J]を比熱という。」これを元に以下の問いに答えよ。比熱c[J/gK]の物質について考えよ。
① 比熱c[J/gK]は1gの物質を1K上昇させるのに何Jの熱エネルギーが必要な物質か。
② 2gの物質を1K上昇させる熱エネルギーはいくらか
③ m[g]の物質を1K上昇させる熱エネルギーはいくらか（これを熱容量という）
④ m[g]の物質を2K上昇させる熱エネルギーはいくらか
⑤ m[g]の物質をΔt[K]上昇させる熱エネルギーはいくらか
⑥ 熱容量Cの物質を2K上昇させる熱量はいくらか
⑦ 熱容量Cの物質をΔt上昇させる熱量はいくらか

(2) 右図はある固体10gに毎秒20Jの熱を加え続けた時の物質の温度の変化を時間ごとに記録したものである。このグラフを見て以下の問いに答えよ。



① 融点（固体から液体になる温度）はいくらか
② 沸点（液体から気体になる温度）はいくらか
③ 固体が−30℃から20℃まで上昇する間にこの物体に何Jの熱が加わったか
④ この物質が固体である時の比熱はいくらか
⑤ この物質の融解熱はいくらか
⑥ この物質が液体である時の比熱はいくらか
⑦ この物質の気化熱はいくらか
⑧ この物質が気体である時の比熱はいくらか

(3) 熱容量400J/Kの銅製断熱容器に水200gを入れ20℃に保った。この状態で比熱不明の金属球200gを100℃に加熱してこの容器内に入れたところ25℃になった。水の比熱を4J/gKとして、以下の問いに答えよ。
① 銅製容器が得た熱量はいくらか
② 水が得た熱量はいくらか
③ 水と容器は合わせていくらの熱量を得たか
④ 金属球が失った熱量はいくらか
⑤ 金属球の比熱を求めよ。

解説

(1) ① c[J] ② $2c$[J] ③ mc[J] ④ $2mc$[J] ⑤ $mc\Delta t$[J]
⑥ $2C$[J] ⑦ $C\Delta t$[J]

(2) ① 20℃ ② 100℃ ③ 5秒間であるので20×5＝100J
④ 100Jで10gが50℃上昇しているので　1g1℃あたり、$\dfrac{100}{10\times50}=0.2$J/gK
⑤ 5秒間であるので100J。10gが100Jで融けているので1gあたり　$\dfrac{100}{10}=10$J/g
⑥ 10秒間なので、20×10＝200J、温度は80℃上昇しているので
1g、1℃あたり、　$\dfrac{200}{10\times80}=0.25$J/gK
⑦ 10秒間なので200J。10gが200Jで蒸発するので1gあたり　$\dfrac{200}{10}=20$J/g
⑧ 気体になった後1秒間に10℃上昇している。20Jで10℃上昇したので、
1g、1℃あたり、$\dfrac{20}{10\times10}=0.2$J/gK

(3) ① 熱容量400J/Kなので、5℃上昇しているから400×5＝2000J
② 4J/gKの水200gが5℃上昇しているので4×200×5＝4000J
③ 2000＋4000＝6000J
④ 水と容器が得た熱量は金属球が失った熱量である。6000J失っている
⑤ 比熱をx[J/gK]が200gで75℃温度が下がっているので　200×75xだけ熱を失ったことになる。これが失った熱量6000Jになる。
$200\times75x=6000$　　$x=0.2$J/gK

(4) 熱容量400J/Kなので、10℃上昇しているから容器は400×10＝4000Jの熱を得た。
4J/gKの水200gが10℃上昇しているので水は4×200×10＝8000Jの熱を得た。
容器と水はあわせて4000＋8000＝12000Jの熱を得ているので、
金属球が失った熱量は12000である。
比熱をx[J/gK]が200gで60℃温度が下がっているので　200×60xだけ熱を失ったことになる。これが失った熱量12000Jになる。
$200\times60x=12000$　　$x=1$J/gK

(4)　熱容量400J/Kの銅製断熱容器に水200gを入れ30℃に保った。この状態で比熱不明の金属球200gを100℃に加熱してこの容器内に入れたところ40℃になった。水の比熱を4J/gKとして、

66.　圧力

(1)　圧力とは$1m^2$にかかる力のことである。単位は[N/m^2]=[Pa]である。これを基にして以下の問いに答えよ。

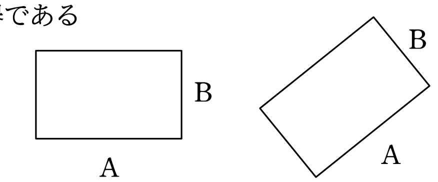
①　圧力20Paとは$1m^2$に何Nの力がかかっている状態をいうか

②　$4m^2$の断面に100Nの力がかかっている。この面の圧力はいくらか

③　圧力P[Pa]の圧力がS[m^2]の断面にかかっている。この面にかかっている力はいくらか

(2)　右図（左側）は気体を閉じ込めた容器である

底面Aの圧力がPのとき以下の問いに答えよ。



・　気体の質量がないものとする。

①　B面の圧力はいくらか

・　右側の図はこの箱を傾けたものである

②　A、B面の気体の圧力はいくらか

(3)　右図は底面積S、高さhの直方体の密閉容器である。この中に密度dの気体を閉じ込めた。重力加速度の大きさをgとして以下の問いに答えよ。

①　この気体の体積はいくらか

②　この気体の質量はいくらか

③　この気体に作用する重力の大きさはいくらか

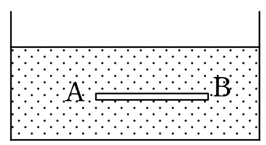
・　この直方体の下面内側の圧力がPであったとする。

④　この気体が直方体下面から受ける力の大きさはいくらか

⑤　この気体が直方体上面から受ける力の大きさはいくらか

⑥　この気体の上面の圧力はいくらか。

(4)　右図は水を満たした水槽の中に断面積がSの薄い板切れABを水平に深さhのところに沈めた。大気圧をP_0、水の密度をd、重力加速度の大きさをgとし、板切れの質量は無視できるものとして以下の問いに答えよ。



①　断面積Sの水面にかかる力（空気の重さ）はいくらか

②　板の上に乗っている水の体積はいくらか

③　板の上に乗っている水の質量はいくらか

④　板が上面が受ける力の大きさはいくらか

⑤　板は上下に動かないことを考慮して板の下面が受ける力の大きさを求めよ。

⑥　この面が受ける圧力の大きさを求めよ。

解説

(1)　①　20N　②　100÷4=25[Pa]　③　PS[N]

(2)　①　P　②　いずれもP　気体の圧力はどの方向も等しい

(3)　①　Sh　②　dSh　③　$dShg$　④　PS

⑤　この気体自体も力がつりあっている。下向きの力が上面から受ける力と重力、上向きの力が下面から受ける力である　上面から受ける力の大きさをfとすると、

$f+dShg=PS$　　これより、　$f=PS-dShg$

⑥　⑤を面積で割れば圧力である。　$P-dhg$

気体の上面は下面よりも圧力が小さくなる。

気体に質量があれば高さによって圧力が異なる。気体の質量が無視されていれば気体の圧力はどこでも等しい

(4)　①　P_0S　②　Sh　③　dSh

④　板の上面には空気の重さと水の重さがかかっている。　$P_0S+dShg$

⑤　質量が無視される板が動かないので上下に同じ力がかかっていることになる。

$P_0S+dShg$

⑥　力を面積で割ると　P_0+dhg

⑦　液体の圧力は分子衝突の衝撃力なので、すべての方向に等しい圧力がかかる。

P_0+dhg

⑧　⑤⑥⑦はすべて同じである。水の深さhが変化すれば圧力が変わるので、同じ高さの水の圧力はどこでも同じとなる。

(5)　①　mg　②　$P+\frac{mg}{2S}$　③　高さが同じなので、$P+\frac{mg}{2S}$

④　$dShg$

⑤　水の圧力は$P+\frac{dShg}{S}=P+dhg$　これがBの圧力と等しいので、

$P+dhg=P+\frac{mg}{2S}$　　これより、　$h=\frac{m}{2Sd}$

⑥　この物体の質量をxとすると、水面の圧力は$P+\frac{xg}{S}$

これがBの圧力と等しくなればよいので

$P+\frac{xg}{S}=P+\frac{mg}{2S}$　　これより、$x=\frac{1}{2}m$

(6)　①　$a+h$　②　空気の重さ+水の重さ=$PS+dS(a+h)g$

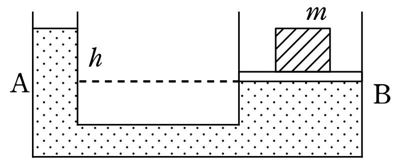
③　②と同じ深さなので圧力は同じ。断面積も等しいので力の大きさも等しくなる。

よって、　$PS+dS(a+h)g$

④　$PS+dSag$

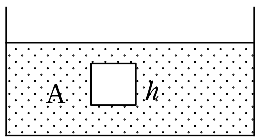
⑦　この板が左右に動かないことを考慮して、A、B端が横から受ける圧力の大きさを求めよ。
⑧　同じ高さの圧力はすべての方向に等しい大きさであることを確認せよ。

(5)　右図のような連結した水槽がある。
水面に軽い板をはり、一方に質量mの物体を載せたところ左右の水槽の水面に差が生じた。左側の水槽の断面積をS、右側の水槽の断面積を$2S$とし、重力加速度の大きさをg、大気圧をP、水の密度をdとして、以下の問いに答えよ。



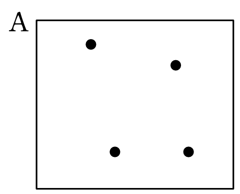
①　物体に作用する重力の大きさはいくらか
②　右側の板の下面にかかっている圧力の大きさはいくらか
③　右側の板の下面と同じ高さの左側の点Aにかかる圧力はいくらか
④　Aより上にある水の高さをhとするとAより上にある水の重力はいくらになるか
⑤　hを求めよ。
⑥　左右の水の高さを同じにするためには左側の水面上にどれだけの質量の物体を載せればよいか。

(6)　右図のように高さh、断面積Sの質量が無視できる空の箱を密度dの水中に沈めた。箱の上面は水面よりa下であった。大気圧をP、重力加速度の大きさをgとして以下の問いに答えよ。



①　箱の底面の水面からの深さはいくらか
②　箱の底面と同じ深さに沈めた断面積Sの水平な板の上面にかかる力の大きさはいくらか
③　箱の底面に下からかかる力の大きさはいくらか
④　この箱の上面に上からかかる力の大きさはいくらか
⑤　この箱にかかる上向きの力（浮力）の大きさはいくらか

(7)　気体分子が壁に衝突する瞬間分子の速度（方向）が変化する。即ち、分子が壁に力を及ぼすことになる。これが、気体の圧力である。
右図は、ある密閉容器Aの中に分子が4個入っている。このときの圧力をPとする。次の各問いに答えよ。



①　気体分子数が8個になった時の圧力をPを用いて表わせ。
②　分子の速さが2倍になった時、分子1個が壁にぶつかる瞬間に壁に与える力の大きさは何倍になるか
③　分子の速さが2倍になった時、分子が1秒間に壁にぶつかる回数は何倍になるか。
④　分子の速さが2倍になった時、圧力は何倍になるか
⑤　分子の速さが2倍になった時、分子1個あたりの運動エネルギーは何倍になるか
⑥　分子の運動エネルギーが2倍になった時、気体の温度は何倍になるか
⑦　分子の速さが2倍になった時、気体の温度は何倍になるか。

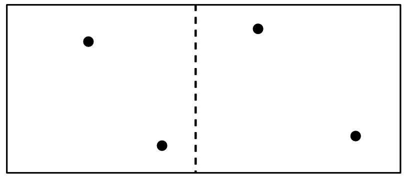
⑤　箱の下から上向きにかかる力の大きさ－上から下向きにかかる力の大きさ
$=PS+dS(a+h)g-(PS+dSag)=dShg$
これが浮力である。

(7)　①　分子が2倍になると圧力は2倍になる　$2P$
②　2倍　③　2倍速くなるので衝突回数は2倍になる。　2倍
④　1回の衝突で壁に与える力が2倍になり、衝突回数が2倍になるので、4倍になる。
⑤　運動エネルギーは$\frac{1}{2}mv^2$なので、4倍
⑥　温度とは分子1個あたりの運動エネルギーなので、2倍
⑦　分子の速さが2倍になると、運動エネルギーが4倍になるので温度は4倍になる。
⑧　分子の速さが2倍になった時、温度は4倍になり、圧力も4倍になるので、温度と圧力は比例する。よって温度が2倍になれば圧力は2倍になる。
⑨　体積が2倍になると、Aと同じ体積内の分子数は半分になっているので、圧力は$\frac{1}{2}$になる。反比例することになる。
⑩　気体の圧力は　体積に反比例、温度に比例、分子数に比例
⑪　比例の場合は$y=ax$、反比例の場合は$y=\frac{a}{x}$となるので、比例は分子、反比例は分母に文字があることになる。よって、
$P=R\frac{nT}{V}$　または　$PV=nRT$

⑧　気体の温度が2倍になった時、気体の圧力は何倍になるか。

・　温度一定でAの容積を2倍にしたのがBである。

B



⑨　気体の体積が2倍になった時、気体の圧力は何倍になるか

⑩　気体の体積、温度、分子数はそれぞれ気体の圧力との間に比例関係があるか、反比例関係があるか答えよ。

⑪　気体の圧力をP、絶対温度をT、体積をV、モル数（分子数）をn、比例定数をRとするとき、これらの要素の間にどのような関係式が成り立つか

67.　温度一定の場合（ボイルの法則）

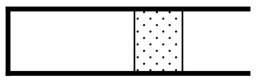
(1)　気体には$P=R\dfrac{nT}{V}$なる関係がある。同一気体が温度一定の元で状態変化する時、以下の問いに答えよ。

①　同一気体が変化する時気体のモル数nはどうなるか。

②　温度一定で同一気体が変化する時、気体の圧力Pと気体の体積Vとの間にどのような関係が成り立つか。

③　$2l$、6atm（気圧）の気体の体積を$3l$にした。この気体の圧力はいくらになったか。

(2)　右図は断面積0.01m^2のシリンダー内に質量20kgのピストンを入れたものである。シリンダーの左端とピストンの左端との長さは0.6mであった。ピストンはシリンダー内を滑らかに動き中の空気は漏れないものとし、大気圧を10^5Pa、重力加速度の大きさを10m/s^2として以下の問いに答えよ。



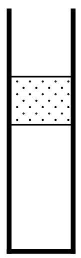
・　シリンダーを水平にした時

①　シリンダー内の気体の体積はいくらか

②　シリンダー内の気体の圧力はいくらか

③　シリンダー内の気体の圧力をP、体積をVとすると、PVはいくらか

・　シリンダーの口を上にしたとき



④　ピストンが上部の空気から受ける力の大きさは何Nか

⑤　ピストンに作用する重力の大きさは何Nか

⑥　ピストンがシリンダー内の気体から受ける力の大きさは何Nか

⑦　シリンダー内の気体の圧力はいくらか

⑧　シリンダー内の気体の体積はいくらか

⑨　ピストンの下部とシリンダーの底との距離はいくらか

解説

(1)　①　同一気体であるから気体の分子数は同じである。よってnは一定

②　反比例　　$PV=$一定　（ボイルの法則という）

③　最初の気体の状態において$PV=2\times6=12$　圧力をxとすると変化後は$3x$

よって、　$3x=12$　$x=4\text{atm}$

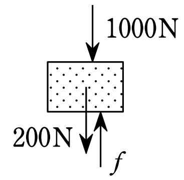
(2)　①　$0.6\times0.01=0.006\text{m}^3$　②　大気圧と同じで10^5Pa

③　$0.006\text{m}^3\times10^5\text{Pa}=600\text{Pam}^3$

④　力は圧力と面積の積なので、$10^5\text{Pa}\times0.01\text{m}^2=1000\text{N}$

⑤　$mg=20\times10=200\text{N}$

⑥　右図のピストンの力のつりあいより　$f=1200\text{N}$



⑦　断面積が0.01m^2なので、$1200\div0.01=1.2\times10^5$Pa

⑧　気体の体積をvとすると　$PV=600=1.2\times10^5v$

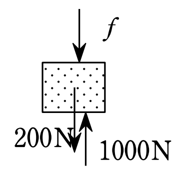
$v=0.005\text{m}^3$

⑨　距離をxとすると、$0.01x=0.005$　これより　0.5m

⑩　力は圧力と面積の積なので、$10^5\text{Pa}\times0.01\text{m}^2=1000\text{N}$

⑪　$mg=20\times10=200\text{N}$

⑫　図より　$f=800\text{N}$



⑬　断面積が0.01m^2なので、$800\div0.01=8\times10^4$Pa

⑭　気体の体積をvとすると　$PV=600=8\times10^4v$

$v=0.0075\text{m}^3$

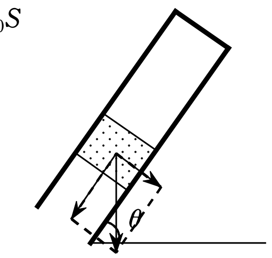
⑮　距離をxとすると、$0.01x=0.0075$　これより　0.75m

(3)　①　ピストンの下面には大気圧がかかっているので　P_0S

②　重力mgのピストンが動く方向成分は図より$mg\sin\theta$。この方向に力がつりあっているのでピストンが上面から受ける力の大きさをfとすると、

$f+mg\sin\theta=P_0S$

よって、$f=P_0S-mg\sin\theta$



③　シリンダー内の気体の圧力は

・　シリンダーの口を上にしたとき

⑩　ピストンが下部の空気から受ける力の大きさは何Nか

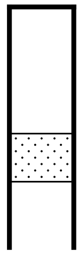
⑪　ピストンに作用する重力の大きさは何Nか

⑫　ピストンがシリンダー内の気体から受ける力の大きさは何Nか

⑬　シリンダー内の気体の圧力はいくらか

⑭　シリンダー内の気体の体積はいくらか

⑮　ピストンの上部とシリンダーの上端との距離はいくらか



(3)　(2)と同じ装置で断面積S、ピストンの質量をm、水平にした時のピストンの左端とピストンの左端の距離をd、大気圧をP_0、重力加速度の大きさをgとする。

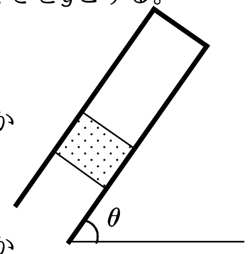
右図のようにこの装置を水平面からθの角度で傾けた。

以下の問いに答えよ。

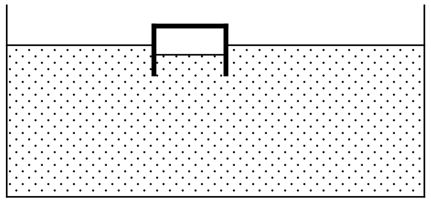
①　ピストンが下の空気から受ける力の大きさはいくらか

②　ピストンがシリンダー内の気体から受ける力の大きさはいくらか

③　シリンダー上面とピストンの上面との距離はいくらか



(4)　質量m、深さh、底面積Sの円筒形の器をさかさまにして静かに水面に浮かべた。大気圧をP_0、重力加速度の大きさをg、水の密度をdとして以下の問いに答えよ。



①　この器に作用する重力の大きさはいくらか

②　この器の容積はいくらか

③　容器内の気体が容器の底面を押し上げる力の大きさはいくらか

④　容器内の気体が容器内の水面を上から押す力の大きさはいくらか

⑤　容器内の水面の圧力の大きさはいくらか

⑥　容器外の水面下xの位置にある断面積Sの面にかかる力の大きさはいくらか。

⑦　容器外の水面下xの位置の圧力の大きさはいくらか

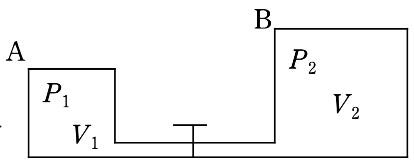
⑧　容器内と外部の水面の高さの差はいくらか（同じ高さの圧力は等しい）

⑨　容器内の気体の体積はいくらか（ボイルの法則）

⑩　容器内に入っている水の深さはいくらか

(5)　体積V_1の容器Aと体積V_2の容器Bがある。

Aに空気を圧力P_1になるまで入れ、Bに空気を圧力P_2になるまで入れた。両容器を右図のように細いパイプでつなぎ、栓をあけた。気体の温度は常に一定であるとして以下の問いに答えよ。



・　AからBに体積Vの空気が流れ込み、双方の

$$\frac{f}{S}=P_0+\frac{mg\sin\theta}{S}$$

この装置を水平にしている時

$PV=P_0Sd$

であるので、ピストンとシリンダーの間隔をxとすると

$$\left(P_0+\frac{mg\sin\theta}{S}\right)Sx=P_0Sd$$

$$x=\frac{P_0Sd}{P_0S+mg\sin\theta}$$

(4)　①　mg　②　Sh

③　容器を押し上げる力なので、重力と空気の重さの和　　$mg+P_0S$

④　容器内の空気のつりあいより容器を押し上げる力と、水面を押し下げる力は大きさが等しい。　$mg+P_0S$

⑤　圧力は力を面積で割ればよい　$P=P_0+\dfrac{mg}{S}$

⑥　空気の重さ＋水の重さ＝$P_0S+dxSg$

⑦　面積で割ると　P_0+dxg

⑧　容器内の水位と同じ高さの容器外の水圧は等しい。

容器内の水面の圧力は　$P=P_0+\dfrac{mg}{S}$

深さxの水の圧力は　P_0+dxg

これが等しいので、$P_0+\dfrac{mg}{S}=P_0+dxg$

よって、$x=\dfrac{m}{dS}$

＜別解＞

浮力を使って求めることもできる。押しのけられた水の体積はxS。よって、この水の重力が$dxSg$となる。これが器の重力と等しくなるので、$dxSg=mg$

これを解くと$x=\dfrac{m}{dS}$

⑨　温度が一定なので、ボイルの法則が成立している。

水に浮かべる前のPVは　$PV=P_0Sh$

水に浮かべた後は　$P=P_0+\dfrac{mg}{S}$なので、　体積をVとすると、

$$\left(P_0+\frac{mg}{S}\right)V=P_0Sh \qquad V=\frac{P_0S^2h}{P_0S+mg}$$

⑩　容器内の空気の高さは気体の体積を断面積で割って

$$\frac{P_0Sh}{P_0S+mg}$$

圧力がPとなった。

① Aの中の気体の体積はいくらになったと考えられるか。

② 気体Aについてボイルの法則により成り立つ式を立てよ。

③ Bの中の気体の体積はいくらになったと考えられるか。

④ 気体Bについてボイルの法則により成り立つ式を立てよ。

⑤ 線を開いた後の気体の圧力Pを求めよ。

・ Bを真空にして最初の状態のAをつないで栓を開いた。

⑥ 栓を開いた後の気体の圧力を求めよ

・ Aを真空にして最初の状態のBをつないで栓を開いた。

⑦ 栓を開いた後の気体の圧力を求めよ。

⑧ ⑤の圧力と⑥⑦の圧力の間にどのような関係が成り立つか。

68. 圧力一定の場合（シャルルの法則）

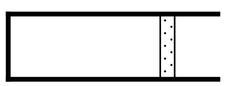
(1) 気体には$P=R\dfrac{nT}{V}$の関係が成立している。ここで、同一気体が圧力一定の元で変化している時、以下の問いに答えよ。

① VとTとの間にはどのような関係が成り立つか

② 200Kの時$3l$だった気体が300Kになった時、体積はいくらになるか

③ 27℃、$3l$の気体が$4l$になった時この気体の温度は何℃になっているか

(2) シリンダー内に滑らかに動く軽いピストンを使い体積V_0の気体を閉じ込めた。この気体の最初の状態の温度はT_0であり、気体の密度がd_0であった。この状態でシリンダー内の気体に熱を



これを容器の深さhから引くと　$h-\dfrac{P_0Sh}{P_0S+mg}=\dfrac{mgh}{P_0S+mg}$

(5) ① V_1+V

② 最初の圧力と体積の積は　P_1V_1

線を開いた後の積は　$P(V_1+V)$

よって、　$P_1V_1=P(V_1+V)$

③ V_2-V

④ 最初の圧力と体積の積は　P_2V_2

線を開いた後の積は　$P(V_2-V)$

よって、　$P_2V_2=P(V_2-V)$

⑤ ②+④より　$P_1V_1+P_2V_2=P(V_1+V_2)$

よって、$P=\dfrac{P_1V_1+P_2V_2}{V_1+V_2}$

⑥ 最初の圧力と体積の積は　P_1V_1

線を開いた後の積は　$P(V_1+V_2)$

よって、　$P_1V_1=P(V_1+V_2)$

$P=\dfrac{P_1V_1}{V_1+V_2}$

⑦ 最初の圧力と体積の積は　P_2V_2

線を開いた後の積は　$P(V_1+V_2)$

よって、　$P_2V_2=P(V_1+V_2)$

$P=\dfrac{P_2V_2}{V_1+V_2}$

⑧ ⑥の圧力と⑦の圧力の和が⑤の圧力になっている。

「気体が混合した場合、それぞれの圧力の和が全体の圧力になる」

化学でいうところのドルトンの分圧の法則である。

解説

(1) ① $P=R\dfrac{nT}{V}$を変形すると、$V=\dfrac{nR}{P}T$。ここで、n,P,Rはすべて一定なので、$\dfrac{nR}{P}$は一定となる。これをaとおくと、$V=aT$となり、VとTは比例関係となる。

（これがシャルルの法則である）

② $a=\dfrac{V}{T}=\dfrac{3}{200}$、変化後は$\dfrac{V}{T}=\dfrac{V}{300}$　よって、$\dfrac{3}{200}=\dfrac{V}{300}$　$V=\dfrac{900}{200}=4.5l$

③ 27℃は273を加えて300Kである。

$\dfrac{3}{300}=\dfrac{4}{T}$　これより、$T=400$K　273を引いて　127℃

(2) ① 密度は1m^{3}あたりの質量であるから、質量は密度と体積の積となる。

$m=d_0V_0$

加え、気体の温度を上昇させた。

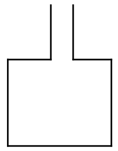
① この気体の質量はいくらか

② 気体の温度がTになった時、気体の体積はいくらになるか。

③ 気体の体積がTになった時の気体の密度はいくらか

④ 気体の密度と温度との間にどのような関係が成立しているか

(3) 右図のような口の狭い体積V_0の容器に質量m_0、温度T_0の気体が入っている。この容器内の気体の温度を上昇させると内部の気体が膨張し気体の一部が容器の外部に放出され、容器内の期待の質量は小さくなる。気体の温度をTとしたとき、以下の問いに答えよ。

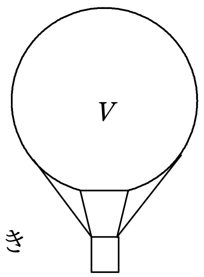


① 温度がTになったとき、容器内の気体の体積はいくらになっているか。

② 容器から出て行った気体の体積はいくらか

③ 放出された気体の質量はいくらか

(4) 右図のように体積V、気体部分を除いた質量mの気球がある。外気の温度をTとし、気球内部に外気よりΔT温度の高い空気を入れた。外気の密度をd、重力加速度の大きさをg、気体部分を除いた気球の体積は無視できるものとして以下の問いに答えよ。



① 外気と等しい温度の気体が気球の中にあるときこの気体の質量及びこの気体に作用する重力の大きさはいくらか。

② この気球の浮力はいくらか。

③ 気体の温度をΔT上昇させた時、気体の密度はいくらになるか。

④ ③のとき、気球内の気体の質量はいくらになるか

⑤ ③のとき、気球内の気体の重力を含めた気球全体に作用する重力の大きさはいくらか

⑥ この気球が浮上するためには気球内の気体の温度をいくら以上上昇させなければならないか。

② シャルルの法則より $\dfrac{V_0}{T_0}=\dfrac{V}{T}$ これより、 $V=\dfrac{V_0}{T_0}T$

③ 密度は質量を体積で割ればよいので $d=\dfrac{m}{V}=\dfrac{d_0V_0}{\dfrac{V_0}{T_0}T}=\dfrac{T_0d_0}{T}$

④ ③より$dT=d_0T_0$

これは積が一定であることを意味しているので、気体の密度と絶対温度は反比例していることになる。

(3) ① シャルルの法則より$\dfrac{V_0}{T_0}=\dfrac{V}{T}$ より、$V=\dfrac{T}{T_0}V_0$

② 容器の体積はV_0なので、$V-V_0=\dfrac{T-T_0}{T_0}V_0$

③ 膨張した気体の体積（$\dfrac{T}{T_0}V_0$）と放出された気体の体積（$\dfrac{T-T_0}{T_0}V_0$）の比は元の気体の質量（m_0）と放出された気体の質量（x）の比と等しい。

よって、 $\dfrac{T}{T_0}V_0:\dfrac{T-T_0}{T_0}V_0=m_0:x$

これは、$\dfrac{T}{T_0}V_0x=\dfrac{T-T_0}{T_0}V_0m_0$

これを解くと $x=\dfrac{T-T_0}{T}m_0$

(4) ① 気体の密度がdで体積がVなので、気体の質量はdVとなる。

重力の大きさは dVg

② 外気と等しい気体は動かない。即ち、この気体の重力が浮力と等しい。

よって、dVg

③ 気体の密度と絶対温度は反比例する。温度を上昇させた後の気体の密度をxとすると、外気の密度と絶対温度の積はdT。温度を上げた気体の密度と絶対温度の積は$x(T+\Delta T)$。密度と絶対温度は反比例するのでその積は一定である。よって、

$dT=x(T+\Delta T)$ $x=\dfrac{T}{T+\Delta T}d$

④ 体積がVなので、気体の質量は $Vx=\dfrac{T}{T+\Delta T}dV$

⑤ 気球自体の質量がmなので、気球全体の質量は $m+\dfrac{T}{T+\Delta T}dV$

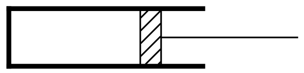
重力の大きさは（$m+\dfrac{T}{T+\Delta T}dV$）$g$

⑥ ⑤より浮力②が大きくなると気球は浮上する。

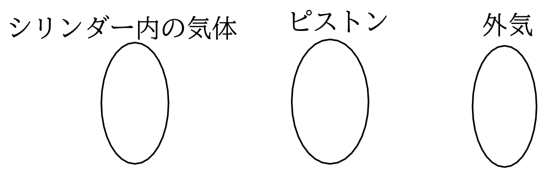
（$m+\dfrac{T}{T+\Delta T}dV$）$g<dVg$

69. 熱力学第一法則

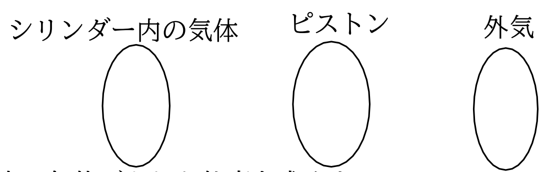
(1) 右図のようなシリンダーにピストンを差込み、気体を閉じ込めた。ピストンの断面積をS、大気圧をPとし、ピストンは自由に動ける状態に置かれており、現在静止していた。これについて以下の問いに答えよ。



① シリンダー内の気体の圧力はいくらか
② シリンダー内の気体がピストンを押す力の方向と大きさを求めよ。
③ 外気がピストンを押す力の方向と大きさを求めよ。
・ ピストンがゆっくりと右側にx移動した
④ シリンダー内の気体がした仕事はいくらか
⑤ シリンダー内の気体はこの仕事によりいくらエネルギーを失ったか。
⑥ 外気がした仕事はいくらか
⑦ 外気がこの仕事により得たエネルギーはいくらか
⑧ エネルギーの流れ図を完成せよ

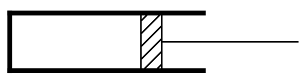


⑨ シリンダー内の気体がされた仕事はいくらか
・ ピストンがゆっくりと左側にx移動した。
⑨ シリンダー内の気体がした仕事はいくらか
⑩ シリンダー内の気体はこの仕事によりいくらエネルギーが増加したか。
⑪ 外気がした仕事はいくらか
⑫ 外気はこの仕事によりいくらエネルギーを失ったか
⑬ エネルギーの流れ図を完成せよ。



⑭ シリンダー内の気体がされた仕事を求めよ。

(2) 右図のようなシリンダーにピストンを差込み、気体を閉じ込めた。この気体の内部エネルギーが400Jであったとして、以下の問いに答えよ。



内部エネルギーとは、気体分子の運動エネルギー及び分子間の位置エネルギーの和であ

$mg<\dfrac{\Delta T}{T+\Delta T}dVg$　これを解くと　$\Delta T>\dfrac{mT}{dV-m}$

解説

(1) ① ピストンがつりあっており、ピストンの内側と外側は同じ断面積なので同じ圧力となる。よって、P

② 気体は膨張する側にしか力が作用しないので、右向き。大きさはPS

③ 気体は分子衝突による衝撃力なので広がる方向（押す方向）にしか力は作用しない。よって、左向き。大きさはPS

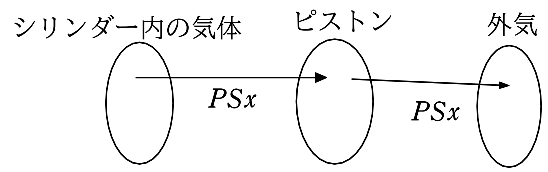
④ 力の方向と動かす方向が同じなので、PSx

⑤ 正の仕事はエネルギーを失う。PSx

⑥ 力の方向と動かす方向が逆なので、$-PSx$

⑦ 負の仕事はエネルギーを得る。PSx

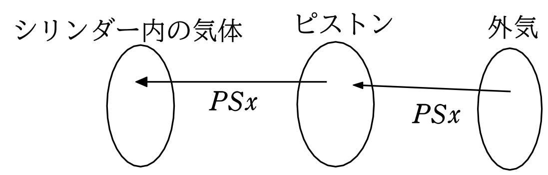
⑧



⑨ 「された仕事」とは「もらうエネルギー」のことである。この場合シリンダー内の気体はPSxのエネルギーを失っているから、$-PSx$

⑩ $-PSx$　⑪ PSx　⑫ PSx

⑬



⑭ PSx

(2) ① 加えた熱はすべて気体の内部エネルギーになる。　100J増加　よって、内部エネルギーは500Jになる。

② 気体が熱を放出すると、内部エネルギーを失う。50J減少。よって、内部エネルギーは350Jになる。

③ 仕事をするとエネルギーを失う。60J失ったので、−60J増加したことになる。よって、内部エネルギーは340Jになる。

④ 物体が仕事をされるとエネルギーをもらう。20J増加。内部エネルギーは420J

⑤ この気体は100Jを熱として受け取り、仕事によって40J失ったので、差し引き60Jのエネルギーを得たことになる。60J増加。内部エネルギーは460J

⑥ 気体は熱の形で100Jのエネルギーを奪われ、外部からの仕事の形で80Jもらっているので、差し引き20J失ったことになる。よって−20J増加。内部エネルギーは380J

(3) ① 「した仕事W」はWエネルギーを失うことなので、気体はQもらって、W失っている。よって、$\Delta U=Q-W$

る。（分子レベルの力学的エネルギー）

- ピストンを固定した。

① この気体に外部から100Jの熱を加えたとき、内部エネルギーはいくら増加したか。また、内部エネルギーはいくらになったか。

② 気体の温度が下がり、最初の状態に戻った。この時、気体が50Jの熱を放出したとすると、内部エネルギーはいくら減少したか。また、内部エネルギーはいくらになったか。

- ピストンを自由にした。

③ 最初の状態から、気体が膨張し外部に60Jの仕事をした。気体の内部エネルギーはいくら増加したか。また、内部エネルギーはいくらになったか

④ 最初の状態から、気体が収縮し外部から20Jの仕事をされた。気体の内部エネルギーはいくら増加したか。また、内部エネルギーはいくらになったか

- ピストンを自由にして熱を加えた。

⑤ 最初の状態から、気体に100Jの熱を加えると、気体が膨張し外部に40Jの仕事をした。この気体の内部エネルギーはいくら増加したか。また、内部エネルギーはいくらになったか

⑥ 最初の状態から、気体の熱を100J奪うと、気体が収縮し外部から80Jの仕事をされた。この気体の内部エネルギーはいくら増加したか。また、内部エネルギーはいくらになったか

(3) (1)(2)と同じ装置について、シリンダー内の気体に外部から加える熱をQ、内部エネルギーの増加をΔUとして以下の問いに答えよ。

① シリンダー内の気体がした仕事をWとするとき、ΔUをQ、Wであらわせ。

② シリンダー内の気体がされた仕事をWとするとき、ΔUをQ、Wであらわせ。

③ シリンダー内の気体がした仕事をWとするとき、気体が膨張する場合と収縮する場合のWの符号を答えよ。

④ シリンダー内の気体がされた仕事をWとするとき、気体が膨張する場合と収縮する場合のWの符号を答えよ。

(4) (1)の装置において、自動車のエンジンの場合、Qはガソリン燃焼により発生する熱、Wは自動車を動かす仕事、ΔUは排気ガスとして捨てられるものとなる。加えた熱Qのうち使われるのは仕事Wとなる。Qに対するWの割合を熱効率と呼んでいる。次の場合、熱効率はいくらになるか。

① シリンダー内の気体に100Jの熱を加えたとき、この気体は膨張により外部へ40J仕事した。

② シリンダー内の気体に100Jの熱を加えると、その気体の内部エネルギーが70J増加した。

70. 定積変化

(1) 気体の体積を一定の状態にしておいて、その気体

② 「された仕事W」はWエネルギーをもらうことなので、気体はQもらって、さらにWもらったことになる。よって、$\Delta U=Q+W$

③ 気体がピストンに及ぼす力の方向は常に外向きである。膨張のときは力と同じ方向に動き、収縮のときは力と逆に動くので、膨張のときが正、収縮のときが負

④ 「された仕事」は「した仕事」と逆符号になる。よって、膨張のときが負、収縮のときが正

(4) ① $Q=100\text{J}$、$W=40\text{J}$　なので、$e=\dfrac{W}{Q}=0.4$　40%

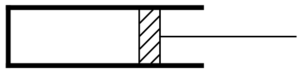
② $Q=100\text{J}$、$\Delta U=70\text{J}$なので、外部へした仕事$W=Q-\Delta U=30\text{J}$　よって、

$e=\dfrac{W}{Q}=0.3$　30%

解説

(1)

に熱を加えたときの状態変化を定積変化という。
右のような装置において、ピストンを固定して
熱を加えた場合が定積変化となる。



　気体の圧力をP、体積をV、絶対温度をT、モル数をnとすると、Rを比例定数として、
気体には$P=R\dfrac{nT}{V}$の関係が成立している。これを基にして以下の問いに答えよ。

①　同一気体の定積変化の場合、PとTはどのような関係になるか

・シリンダー内の気体に熱Qを加えた。

②　この気体が外部にした仕事はいくらか

③　内部エネルギーの増加ΔUはいくらか

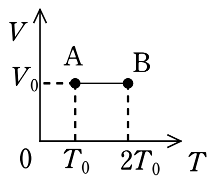
④　この変化における熱効率はいくらか

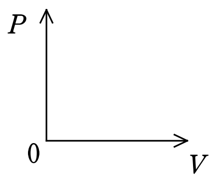
(2)　(1)の装置においてピストンを固定した状態でシリンダー内に絶対温度T_0、圧力P_0の気体を入れた。シリンダー内の気体の体積はV_0であった。この状態をAとする。この状態で熱を外部から加えたとき、気体の温度が$2T_0$になった。この状態をBとする。これについて以下の問いに答えよ。

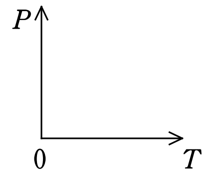
①　Bの状態の気体の体積はいくらか

②　Bの状態の気体の圧力はいくらか

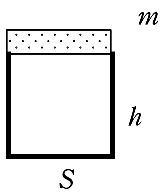
③　下のグラフはAからBの状態をVTグラフに描いたものである。この例にならってPVグラフ、PTグラフを完成せよ。







(3)　右図のような円筒形の容器（底面積S、深さh）を机上の設置し質量mの円盤でふたをした。
この状態での温度をT_0、大気圧をP_0とする。
手を使ってこの容器を暖めると、ふたが浮き上がった。
この現象について以下の問いに答えよ。
重力加速度の大きさをgとする。



①　この円盤に作用する重力の大きさはいくらか

②　円盤の上にある空気が円盤を上から押す力の大きさはいくらか

③　容器内の気体の圧力をPとするとき、容器内の気体が円盤を持ち上げる力の大きさはいくらか

④　円盤が浮き上がるためには容器内の気体の圧力Pはいくら以上でなければならないか。

⑤　円盤が浮き上がった瞬間の温度をP_0、m、g、T_0、Sであらわせ。

　（PとTは比例するので、$\dfrac{P}{T}$の値は一定である。）

①　$P=R\dfrac{nT}{V}$は$P=\dfrac{nR}{V}T$となるが、　$\dfrac{nR}{V}$はいずれも一定なので、PとTは比例関係になる。

②　ピストンが動いていないので、仕事はしていない。　0

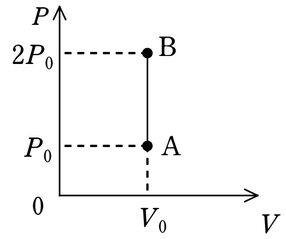
③　外部へ仕事していないので、加えた熱はすべて内部エネルギーの上昇に使われる。
$\Delta U=Q$

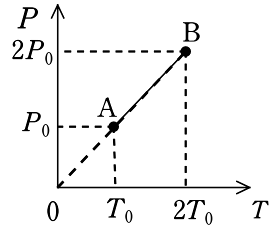
④　熱効率は加えた熱に対する仕事の割合なので、仕事が0だから熱効率も0

(2)　①　ピストンを固定しているので体積は変わらない。V_0

②　定圧変化は圧力と絶対温度は比例するので、温度が2倍になっているから圧力は2倍になっている。　$2P_0$

③





(3)　①　mg　②　P_0S　③　PS

④　上向きの力と下向きの力がつりあえばよい。よって、$mg+P_0S=PS$　が成り立つ。よって、　$P=P_0+\dfrac{mg}{S}$

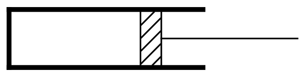
⑤　定積変化の場合気体の圧力と絶対温度は比例関係にある。よって、$\dfrac{P}{T}=$一定

熱を加える前は$\dfrac{P}{T}=\dfrac{P_0}{T_0}$、熱を加えた後は$P=P_0+\dfrac{mg}{S}$なので、

$\dfrac{P_0+\dfrac{mg}{S}}{T}=\dfrac{P_0}{T_0}$　よって、$T=\dfrac{P_0+\dfrac{mg}{S}}{P_0}T_0=T_0+\dfrac{mg}{P_0S}T_0$

71．定圧変化

(1)　右図のようなシリンダー内に気体を閉じ込め、気体をゆっくりと加熱したところ、ピストンはゆっくりと右方向に移動した。最初の気体の温度をT_0、大気圧をP_0、シリンダー内の気体の体積は最初V_0であった。この状態をAとし、ピストンは自由に動けるものとする。以下の問いに答えよ。

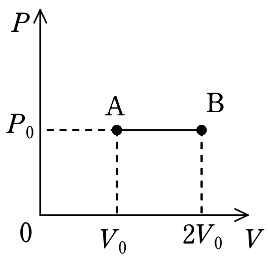


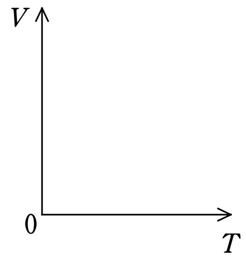
①　シリンダー内部の気体の圧力はいくらか。この圧力はピストンが移動する間に変化するかどうか答えよ。

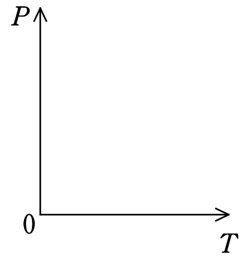
②　気体には$P=R\dfrac{nT}{V}$の関係があるが、この変化においてはVとTの間にはどのような関係があるといえるか。また、このとき成立する法則を答えよ。

③　ピストンが動いた後、気体の体積が$2V_0$になった。この状態をBとする。この気体の温度はいくらになったといえるか。

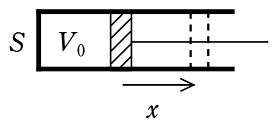
④　気体がAの状態からBの状態に変化する様子を下のようにPVグラフにあらわした。これを見習って、VTラフ、PTグラフを描け







(2)　右図のように断面積Sのシリンダー内に気体を閉じ込めた。この気体の体積はV_0であったとする。シリンダー内の気体に熱Qをゆっくりと加えると、ピストンはゆっくりとx移動し気体の体積が$V_0+\varDelta V$となった。大気圧をPとして、以下の問いに答えよ。



①　シリンダー内の気体の圧力はいくらか。また、気体が膨張した後のシリンダー内の気体の圧力はいくらか

②　シリンダー内の気体がピストンを押す力の大きさ及び方向を答えよ。

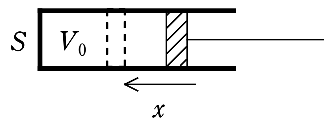
③　シリンダー内の気体がした仕事をP,S,xであらわせ。

④　気体の体積の増加分$\varDelta V$をS,xであらわせ。

⑤　このとき、気体がした仕事を$P,\varDelta V$であらわせ。

⑥　この変化においてこの気体の内部エネルギー$\varDelta U$はいくら増加したか。$Q,P,\varDelta V$であらわせ。

(3)　右図のように断面積Sのシリンダー内に気体を閉じ込めた。この気体の体積はV_0であったとする。シリンダー内の気体を冷やし熱Qをゆっくりと奪うと、



解説

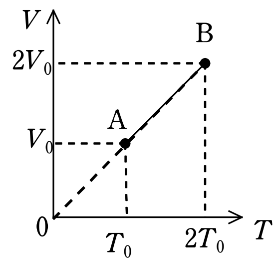
(1)　①　ピストンは自由に移動できる状態になっているのに静止している。これは、ピストンが力のつりあい状態になっていることを意味している。ピストンの左右では断面積が等しいため、ピストン内外の気体の圧力が等しいと解釈される。P_0

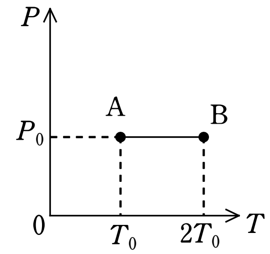
ピストンはゆっくりと動いているので等速で動いていると解釈できる。これも力がつりあっている。よって、シリンダー内の気体の圧力は常に大気圧と等しく一定である。　圧力は変化しない

②　$P=R\dfrac{nT}{V}$において、P,R,nが一定である。変形して、$V=\dfrac{nR}{P}T$となるので、VとTは比例関係となる。これは、シャルルの法則そのものである。

③　VとTは比例関係にあるので、体積Vが2倍になったとき、気体の温度も2倍となる。よって、$2T_0$

④





(2)　①　大気圧と等しくP、膨張後も大気圧とつりあっているので、P

②　気体は膨張する方向にしか力が加わらない。右向きPS

③　$W=Fs$で、圧力が一定であるから力も一定である。よって、PSx

④　Sx　⑤　$PSx=P\varDelta V$

⑥　熱力学第一法則より　$\varDelta U=Q-W=Q-P\varDelta V$

(3)　①　大気圧と等しくP、膨張後も大気圧とつりあっているので、P

②　気体は膨張する方向にしか力が加わらない。右向きPS

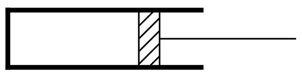
③　$W=Fs$で、圧力が一定であるから力も一定である。ピストンが左向きに動くので、$-PSx$

④　Sx　⑤　$-PSx=-P\varDelta V$

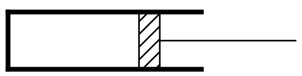
⑥　熱力学第一法則より　$\varDelta U=-Q-W=-Q+P\varDelta V$

ピストンはゆっくりとx移動し気体の体積が$V_0-\Delta V$
となった。大気圧をPとして、以下の問いに答えよ。
① シリンダー内の気体の圧力はいくらか。また、気体が膨張した後のシリンダー内の気体の圧力はいくらか
② シリンダー内の気体がピストンを押す力の大きさ及び方向を答えよ。
③ シリンダー内の気体がした仕事をP,S,xであらわせ。
④ 気体の体積の減少分ΔVをS,xであらわせ。
⑤ このとき、気体がした仕事を$P,\Delta V$であらわせ。
⑥ この変化においてこの気体の内部エネルギーΔUはいくら減少したか。$Q,P,\Delta V$であらわせ。

72．等温変化
(1) 断面積Sのシリンダー内に絶対温度T_0の気体をいれて、ピストンを自由にすると体積V_0となった。このシリンダーは外部との熱の出入りが自由な状態にある。このピストンに外力を加えてゆっくりと右側に距離x動かした。この時の体積が$2V_0$であった。大気圧をP_0として、以下の問いに答えよ。



① この気体の温度はピストンを動かす間にどのように変化するか。
② シリンダー内の気体の圧力と体積の間にどのような関係があるか。また、その法則名を答えよ。
③ この気体の内部エネルギーは増えたのか減ったのか。
④ シリンダー内の気体の体積が$2V_0$になったとき、この気体の圧力はいくらになっているか
⑤ ピストンに加わる外気による力の方向と大きさを答えよ。
⑥ シリンダー内の気体の体積が$2V_0$になったとき、シリンダー内の気体がピストンを押す力の大きさと方向を答えよ。
⑦ シリンダー内の気体の体積が$2V_0$になったとき、ピストンに加えている外力の方向と大きさを答えよ。
⑧ 外力がこの気体にした仕事の符号を答えよ。
⑨ ピストンを動かす間にシリンダー内の気体に熱が加わったのか、放出されたのか。
(2) 右図のような断面積Sのシリンダー内に絶対温度T_0の気体を入れ自由に動かせるピストンで仕切った。このときの気体の体積はV_0であった。



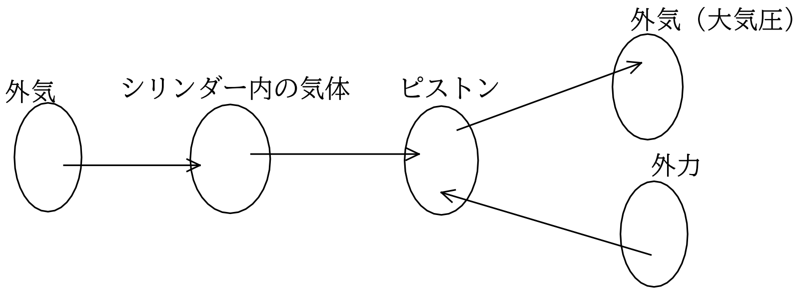
大気圧はP_0である。この状態からピストンに力を加えてピストンをゆっくりと動かしxだけ右へ動かした。このとき外力のした仕事はWであった。このシリンダーは熱の出入りが自由であるとして以下の問いに答えよ。
① 外気がピストンに加えた力の大きさと方向を答えよ。
② 外気がピストンにした仕事はいくらか

解説
(1) ① シリンダーは外部との熱の出入りは自由であり、しかもゆっくりと変化させている。熱は温度の高いほうから低いほうへ流れる。自由に熱が移動できると両者の温度は等しくなる。よって、シリンダー内の気体の温度は常に外気と同じで一定である。
② 気体の温度が一定であるからボイルの法則が成立する。気体の圧力と体積は反比例の関係になる。
③ 気体分子の内部エネルギーは分子間力がほとんどないので、気体分子の運動エネルギーのみとなる。気体分子の1個あたりの運動エネルギーが温度であり、気体の分子数は変わらないので、温度が変わらないということは内部エネルギーが変わらないことを意味している。よって、内部エネルギーは一定。
④ 圧力と体積は反比例の関係にあるので圧力は$\frac{1}{2}P_0$
⑤ 外気は大気圧なので、P_0Sで左向き
⑥ 気体の圧力が$\frac{1}{2}P_0$なので、力は$\frac{1}{2}P_0S$で方向は右向き
⑦ ピストンはつりあっているので、⑤と⑥の力の差が外力である。よって、
$P_0S-\frac{1}{2}P_0S=\frac{1}{2}P_0S$　右向き
⑧ ⑦より外力は右向きに力を加えて右向きに動かしているので正の仕事をしている。
⑨ ⑧の仕事が正なのでエネルギーは外力から気体のほうへ流れていることになる。気体自身は外力からエネルギーを得ても内部エネルギーは変化していないので、熱の形として放出されていることになる。
(2) ① P_0S　左向き　② 力の向きと動かす方向が逆である。　$-P_0Sx$
③ 外力がした仕事がWなので、ピストンは外力からWエネルギーをもらい。大気圧がした仕事が$-P_0Sx$なので、外気にP_0Sxのエネルギーを渡している。シリンダー内の気体がピストンにした仕事をwとすると、圧力の方向と動かす方向が同じなのでこの仕事は正である。つまり、ピストンはシリンダー内の気体からエネルギーを

③　シリンダー内の気体はピストンに対していくら仕事をしているか

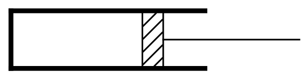
④　気体の内部エネルギーはどれだけ変化しているか

⑤　エネルギーの流れ図を完成せよ。エネルギーの移動量を書き込め



⑥　この気体が外部から吸収した熱量はいくらか

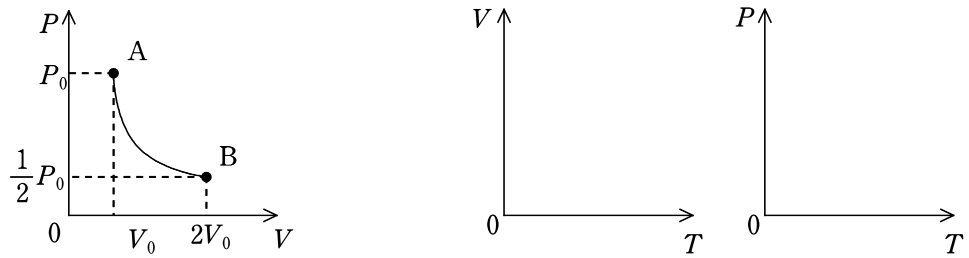
(3)　(1)と同じ装置において、最初の気体の体積がV_0であった。外力を加えてゆっくりとピストンを右に動かしたところ、気体の体積が$2V_0$となった。気体の絶対温度はT_0である。このときの気体の圧力P、絶対温度T、体積Vの間の関係について以下の問いに答えよ。



①　PとVの間にどのような関係が成り立つか

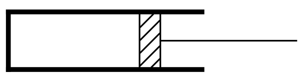
②　気体の体積が$2V_0$となったとき、気体の圧力はいくらになったか。

③　この気体の状態変化をPVグラフにあらわしたのが下の図である。この図を参考にしてVTグラフ及びPTグラフを描け。



73.　断熱変化

(1)　断熱材で囲まれたシリンダーの中に気体を入れ、断熱材でできたピストンで仕切った。ピストンは滑らかに動くものとする。この状態で、ピストンに外力を加えてピストンを動かした。



・　ピストンを右向きに動かした場合。

①　この状態変化の間に外部から入った熱はいくらか

②　シリンダー内の気体がピストンにした仕事の符号を答えよ。

③　シリンダー内の気体の内部エネルギーは増加したか、減少したか

④　シリンダー内の気体の温度は上がったか、下がったか。

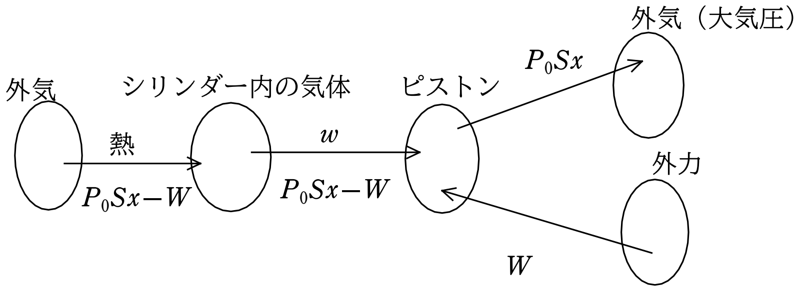
・　ピストンを左向きに動かした場合。

w受け取ったことになる。ピストンはゆっくりと動いているので、受け取ったエネルギーと放出したエネルギーは等しい。よって、$w+W=P_0Sx$　よって、

$w=P_0Sx-W$

④　温度一定なので、内部エネルギーは変化していない。

⑤



⑥　シリンダー内の気体の内部エネルギーは変わらないので、シリンダー内の気体がピストンに渡したエネルギーと外気からもらった熱エネルギーは等しい。

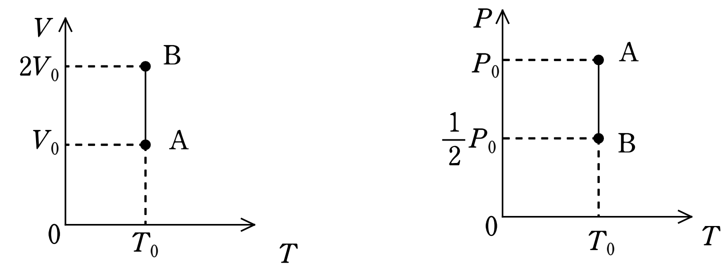
よって、　　P_0Sx-W

(3)　①　温度が一定であるのでボイルの法則が成り立つ。PV＝一定（反比例）

②　PとVは反比例するので、体積が2倍になったときは圧力は半分になる。

$\frac{1}{2}P_0$

③



解説

(1)　①　断熱材で囲まれているので熱の出入りはない　0J

②　シリンダー内の気体は右向きの力で動かす方向も右なので、正の仕事

③　シリンダー内の仕事が正なので、気体はエネルギーを失っている。熱が入らないので、内部エネルギーは減少している。

$Q=\varDelta U+W$、$Q=0$より、$\varDelta U=-W<0$

これは内部エネルギーの減少を意味している。

④　内部エネルギーが減少しているので、気体の温度は下がっている。

⑤　断熱材で囲まれているので熱の出入りはない　0J

⑥　シリンダー内の気体は右向きの力で動かす方向が左なので、負の仕事

⑦　シリンダー内の気体のした仕事が負なので、気体はエネルギーを受け取っている。

⑤　この状態変化の間に外部から入った熱はいくらか

⑥　シリンダー内の気体がピストンにした仕事の符号を答えよ。

⑦　シリンダー内の気体の内部エネルギーは増加したか、減少したか

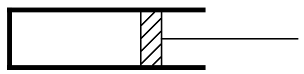
⑧　シリンダー内の気体の温度は上がったか、下がったか。

(2)　(1)と同じ装置でシリンダーの断面積をSとし、

体積V_0の気体を閉じ込めた。大気圧をP_0とする。

ピストンに右向きの力を加えて距離x動かした。

このとき外力のした仕事をWとする。以下の問いに答えよ。



①　外気がピストンに加える力の大きさと方向を答えよ。

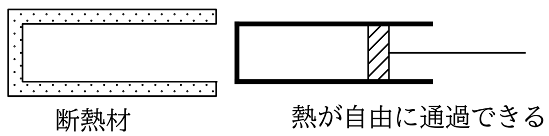
②　外気がピストンにした仕事はいくらか

③　シリンダー内部の気体がピストンにした仕事はいくらか。

④　シリンダー内の気体の内部エネルギーはいくら減少したか。

(3)

右図は、熱が自由に出入りできる材質でできたシリンダーとそれを完全に覆うことのできる断熱材でできた容器である。



ピストンは断熱材でできている。

この中に体積V_0、圧力P_0、温度T_0の気体を閉じ込めた。最初シリンダーを断熱材から出した状態で外力を加え体積が$2V_0$になるまでピストンを右に動かした。このときの外力がした仕事をWとする。次に気体を元の状態にもどし、シリンダーを断熱材に入れた状態で体積が$2V_0$になるまでピストンをゆっくりと右に動かした。このときの仕事をW'とする。この操作について以下の各問いに答えよ。大気圧はP_0である。

・　シリンダーを断熱材の容器に入れていないとき

①　体積V_0、圧力P_0、絶対温度T_0のうち何が一定の変化になるか

②　体積V_0、圧力P_0、絶対温度T_0のうち何と何の間に比例あるいは反比例の関係があるか

③　シリンダー内の気体の体積が$2V_0$になったとき、気体の圧力及び絶対温度はいくらになっているか

④　外気がした仕事はいくらか、P_0、V_0であらわせ。

⑤　シリンダー内の気体がした仕事はいくらか　P_0、V_0、Wであらわせ。

⑥　外部からシリンダー内に入った熱はいくらか。P_0、V_0、Wであらわせ。

・　シリンダーを断熱材の容器に入れたとき

⑦　外気がした仕事はいくらか、P_0、V_0であらわせ。

⑧　シリンダー内の気体がした仕事はいくらか　P_0、V_0、W'であらわせ。

⑨　シリンダー内に外部から入った熱はいくらか

⑩　内部エネルギーは断熱材にシリンダーを入れない場合に比べて多いか少ないか

外部に熱が出ないので、内部エネルギーは増加している。

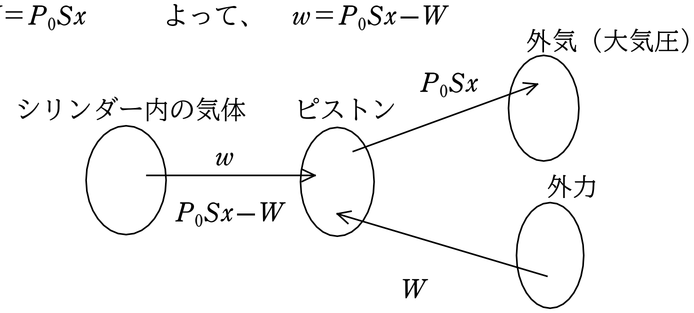
$\Delta U=-W>0$

⑧　内部エネルギーが増加しているので温度が上昇している。

(2)　①　P_0S　左向き　②　動かす方向と逆なので、$-P_0Sx$

③　内部の気体がした仕事をwとすると、ピストンは内部の気体からwのエネルギーを受け取り、外力がした仕事がWなので、外力からWのエネルギーを受け取り、外気のした仕事が$-P_0Sx$なので、外気にP_0Sxのエネルギーを奪われたことになる。ピストン自体のエネルギー量はピストンがゆっくりと動いているので一定である。よって、ピストンが得たエネルギーと失ったエネルギーは等しくなる。

$w+W=P_0Sx$　　よって、　$w=P_0Sx-W$



④　気体がした仕事の分だけ気体はエネルギーを失っている。よって、内部エネルギーは　P_0Sx-W　だけエネルギーを失っている。

(3)　①　外部と熱の出入りが自由なので温度一定　T_0が一定である。

②　T_0が一定なのでボイルの法則が成立。P_0とV_0が反比例の関係にある。

③　P_0とV_0が反比例なので、体積が2倍になると、圧力は半分になる。$\frac{1}{2}P_0$

温度は一定でT_0

④　断面積をS、動いた距離をxとすると、大気圧と動かす方向が逆なので、$-P_0Sx$が外気がした仕事になる。ここで、Sxは体積の増加分に当たる。この場合体積がV_0増加しているので、$Sx=V_0$である。よって、$-P_0V_0$

⑤　シリンダー内の気体のした仕事をwとして、ピストンを中心とするエネルギーの流れを考えてみると、ピストンはシリンダー内の気体からwもらい、外力からWもらい、外気にP_0V_0放出しているので、$w+W=P_0V_0$が成立する。よって、

$w=P_0V_0-W$

⑥　シリンダー内の温度が一定なので、気体の内部エネルギーに変化がない。よって、気体が仕事によって失った分、熱として流入している。

$w=P_0V_0-W$

⑦　④と同じく　$-P_0V_0$

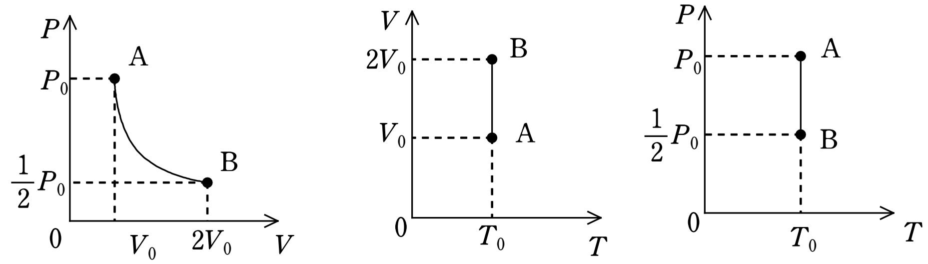
⑧　⑤と同じようにして　　$w=P_0V_0-W'$

⑨　断熱されているので、0

⑩　外部から熱が得られないので、⑧のエネルギーはシリンダー内の気体の内部エネ

⑪　シリンダー内の気体の体積が$2V_0$になったとき、気体の圧力及び絶対温度は断熱材を入れない場合より大きいか小さいか

⑫　下のグラフは断熱材に入れない場合のP、V、Tのグラフである。断熱材に入れた場合のグラフの概略を同じグラフに描け。

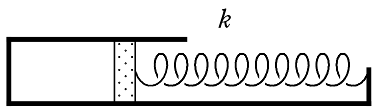


74.　その他の気体の状態変化

断熱材で囲まれた断面積Sのシリンダー内に体積V_0、絶対温度T_0の気体を閉じ込め断熱材でできた滑らかに動くピストンで仕切った。

ピストンには一方がシリンダーに固定された

ばね定数kのばねが取り付けてある。最初の段階で



ばねは自然長であった。シリンダー内の気体に熱Qを加えるとこの気体は膨張し、気体の体積が$2V_0$になった。大気圧をP_0として以下の問いに答えよ。

①　最初の状態でシリンダー内の気体の圧力はいくらか

②　このピストンの移動した距離をV_0、Sであらわせ。

③　外気がこのピストンに加える力の方向と大きさを求めよ。

④　外気がこのピストンにした仕事はいくらか

⑤　ばねがこのピストンにした仕事はいくらか

⑥　シリンダー内の気体がピストンにした仕事はいくらか

⑦　シリンダー内の気体の内部エネルギーはいくら増加したか。

⑧　体積が$2V_0$になったときの気体の圧力はいくらか

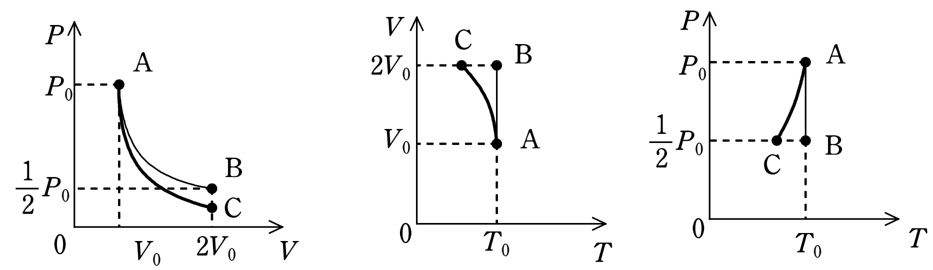
ルギーを使うことになる。よって、内部エネルギーが減少する。

内部エネルギーは少なくなる。

⑪　内部エネルギーが減少しているので温度は断熱材で囲んだほうが下がる。温度が下がる分気体の圧力も下がる。

⑫

⑪を参考にすると、ACのグラフである。



解説

①　ばねが自然長なので大気圧とつりあっている。よって、P_0

②　増加した体積がV_0なので、$\dfrac{V_0}{S}$

③　左向き　P_0S　④　$-P_0Sx$であるが、$Sx=V_0$なので、　$-P_0V_0$

⑤　ばねは、$\dfrac{V_0}{S}$縮んでいるので、$\dfrac{1}{2}k\left(\dfrac{V_0}{S}\right)^2$のエネルギーをピストンから受け取っている。よって、$-\dfrac{1}{2}k\left(\dfrac{V_0}{S}\right)^2$

⑥　ピストンはシリンダー内の気体からエネルギーを受け取り、ばねと外気に$\dfrac{1}{2}k\left(\dfrac{V_0}{S}\right)^2$と$P_0V_0$のエネルギーを渡している。よって、シリンダー内の気体から受け取ったエネルギーは$\dfrac{1}{2}k\left(\dfrac{V_0}{S}\right)^2+P_0V_0$となる。シリンダー内の気体がピストンにした仕事は　$\dfrac{1}{2}k\left(\dfrac{V_0}{S}\right)^2+P_0V_0$

⑦　シリンダー内の気体は熱としてQエネルギーを受け取り、仕事として、$\dfrac{1}{2}k\left(\dfrac{V_0}{S}\right)^2+P_0V_0$　放出しているので、$Q-\dfrac{1}{2}k\left(\dfrac{V_0}{S}\right)^2-P_0V_0$だけ内部エネルギーが増加していることになる。

⑧　シリンダー内の気体の圧力をPとすると、ピストンの力のつりあいより

$PS=P_0S+k\dfrac{V_0}{S}$　　これより、　$P=P_0+\dfrac{kV_0}{S^2}$