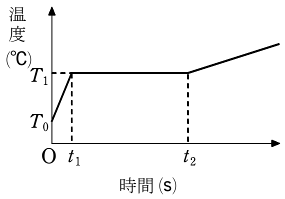
 

$\boxed{1}$［2014 岡山理科大］

質量 $m$〔kg〕，比熱 $c$〔J/(kg·K)〕のある固体に対して，時刻 0 s からゆっくりと一定の割合で熱を加え，温度変化を観察したところ，固体は液体に変化し，温度と時間の関係はグラフのようになった。次の問いに答えよ。




(1) 時刻 $t_1$〔s〕に達した後に，しばらく温度は変化しなくなった。このときの温度 $T_1$〔℃〕を何というか。

(2) 時刻 $t_1$〔s〕から時刻 $t_2$〔s〕の間に与えた熱はどのように使われているか。正しいものを次の ①～③ から選べ。
① 物質を構成する分子の熱運動を激しくするために使われている。
② 物質を構成する分子どうしの結びつきをゆるめたり，切り離したりするために使われている。
③ ① と ② 両方に使われている。

(3) この固体の熱容量を求めよ。

(4) 単位時間当たり加えた熱量を $q$〔J/s〕とするとき，
(a) 加熱前の固体の温度 $T_0$ を $T_1$，$m$，$c$，$q$，$t_1$ を用いて表せ。
(b) 温度 $T_1$ において，この物質 1 kg の固体を液体にするのに必要な熱量を求めよ。

$\boxed{2}$［2007 近畿大］

物質の長さや体積が熱によって膨張する割合を考えよう。固体の温度が 1 ℃ 上昇したときの長さの増加分を，膨張前の長さで割ったものを線膨張率 $\alpha$〔/K〕という。また固体や液体の温度が 1 ℃ 上昇したときの体積の増加分を，膨張前の体積で割ったものを体膨張率 $\beta$〔/K〕という。以下では線膨張率や体膨張率は温度によらない定数であるとする。

(1) 0 ℃ における棒の長さを $l_0$〔m〕とすると，温度 $t$〔℃〕での長さは，$\boxed{\text{ア}}$〔m〕で与えられる。

［$\boxed{\text{ア}}$ **の解答群**］

① $\alpha t$　② $l_0\alpha t$　③ $l_0+\alpha t$　④ $l_0-\alpha t$　⑤ $l_0(1+\alpha t)$
⑥ $l_0(1-\alpha t)$　⑦ $1+l_0\alpha t$　⑧ $1-l_0\alpha t$

(2) 0 ℃ における物体の体積を $v_0$〔m³〕とすると，温度 $t$〔℃〕での体積は，$\boxed{\text{イ}}$〔m³〕で与えられる。

［$\boxed{\text{イ}}$ **の解答群**］

① $\beta t$　② $v_0\beta t$　③ $v_0+\beta t$　④ $v_0-\beta t$　⑤ $v_0(1+\beta t)$
⑥ $v_0(1-\beta t)$　⑦ $v_0(1+3\beta t)$　⑧ $v_0(1-3\beta t)$

(3) 次に，浮力を利用して液体の体膨張率を測定する実験を行った。体膨張率が $\beta$〔/K〕の固体を，体膨張率が $\beta'$〔/K〕の液体の中に完全に沈めたときに受ける浮力を測定したところ，液体の温度が 0 ℃ のときは $F_0$〔N〕，温度が 0 ℃ より高い $t$〔℃〕のときは $F$〔N〕であった。

温度が 0 ℃ から $t$〔℃〕になったとき，この固体の体積が膨張する効果だけを考えると浮力は $\boxed{\text{ウ}}$ 倍になるが，液体の密度も $\boxed{\text{エ}}$ 倍に変化するので，この効果によっても浮力は変わる。この 2 つの効果を考慮すると液体の体膨張率は

$\beta'=\boxed{\text{オ}}\times\dfrac{1}{t}$〔/K〕と求められる。ただし，液体の沸騰や蒸発はないものとする。

［$\boxed{\text{ウ}}$，$\boxed{\text{エ}}$ **の解答群**］

① $1-\beta t$　② $1+\beta t$　③ $\dfrac{1}{1-3\beta t}$　④ $\dfrac{1}{1+\beta t}$　⑤ $1-3\beta' t$
⑥ $1+\beta' t$　⑦ $\dfrac{1}{1-\beta' t}$　⑧ $\dfrac{1}{1+\beta' t}$

［$\boxed{\text{オ}}$ **の解答群**］

① $\dfrac{F_0}{F}\beta t-1$　② $\dfrac{F_0}{F}\beta t+1$　③ $\dfrac{F}{F_0}\beta t-1$
④ $\dfrac{F}{F_0}\beta t+1$　⑤ $\dfrac{F_0}{F}\beta(t+273)-1$　⑥ $\dfrac{F_0}{F}\beta(t+273)+1$
⑦ $\dfrac{F_0}{F}(1+\beta t)-1$　⑧ $\dfrac{F_0}{F}(1+\beta t)+1$

$\boxed{3}$［2016 大阪工業大］

空所を埋め，問いに答えよ。ただし，$\boxed{\text{イ}}$ には語句を入れよ。

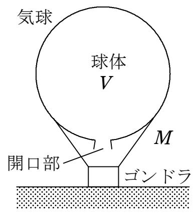
気球の中の空気を熱することにより浮上し，空中を飛行する乗り物として，熱気球が知られている。この熱気球の浮上原理について考えてみよう。

［A］ 空気を理想気体とみなして，空気の密度と温度の関係について確認しておく。物質量 $n$〔mol〕の空気の圧力が $p$〔Pa〕，体積が $V$〔m³〕，温度が $T$〔K〕であるとき，気体定数を $R$〔J/(mol·K)〕とすると，$pV=\boxed{\text{ア}}$ の関係が成りたつ。この式を理想気体の $\boxed{\text{イ}}$ という。また，空気 1 mol 当たりの質量を $m_0$〔kg/mol〕とすると，$n$〔mol〕の空気の質量は $\boxed{\text{ウ}}$ と表すことができる。一方，空気の密度（単位体積当たりの質量）を $\rho$〔kg/m³〕とすると，$\rho=\dfrac{(\text{ウ})}{V}$ となる。したがって，$p$，$T$，$R$，$m_0$ を用いて

$\rho=\boxed{\text{エ}}$ と表すことができる。

(1) $p$ が一定の場合，$T$ の増加とともに空気の $\rho$ はどのように変化するのかを説明せよ。

［B］ 図のように，地上に球体と小さく軽いゴンドラからなる気球が置かれ静止している。球体の体積は $V$ である。また，球体は断熱性が高い素材でつくられ，常に球形を保ち，変形しないものとする。初め球体内には空気が入っており，開口部は開放する。空気の質量を除いた気球の質量は $M$〔kg〕である。球体内には小さな温度調整器があり，球体内の空気の温度を調節できるようになっている。




初め球体内の空気の温度は $T_0$〔K〕で，密度は $\rho_0$〔kg/m³〕であった。球体の開口部の内外で空気の圧力は等しい。次に，球体内の空気をゆっくり加熱して，空気の温度を $T$ にする。このとき球体内の空気の密度は $\rho$ であった。

(2) $\rho$ を $T_0$，$\rho_0$，$T$ を用いて表せ。

空気を除いた気球にはたらく重力の大きさは，重力加速度の大きさを $g$〔m/s²〕とすると，$Mg$〔N〕である。また，球体内の空気の温度が $T$ のとき，空気の質量は $\rho V$〔kg〕である。球体内の空気にはたらく重力の大きさは，$V$，$T_0$，$\rho_0$，$T$，$g$ を用いて

$\boxed{\text{オ}}\times g$〔N〕と表すことができる。よって，空気を含む気球にはたらく重力の大きさ $F$〔N〕は，

$F=(M+(\text{オ}))\times g$

で与えられる。一方，空気中に置かれた球体は，球体外のまわりの空気から鉛直上向きに押し上げる力，すなわち，浮力を受ける。簡単のため，球体外のまわりの空気の密度を $\rho_0$ とすると，その浮力の大きさ $f$〔N〕は球体内の空気と同じ体積をもつ球体外の空気にはたらく重力と同じ大きさで，$f=\boxed{\text{カ}}\times g$ で与えられる。いま，$T$ が $F$ と $f$ の一致する温度 $T_f$〔K〕を超えると，気球が上昇し始めた。

(3) 横軸に球体内の空気の温度 $T$，縦軸に $F$ をとって，グラフの概形をかけ。

(4) 球体内の空気の温度に対する $F$ と $f$ の関係から，気球が浮上する理由を説明せよ。

(5) 気球が浮上を始める温度 $T_f$ を $V$，$M$，$T_0$，$\rho_0$ を用いて表せ。

(6) $V=1.20\times10^3$ m³，$M=240$ kg の気球を地上から浮上させるため，球体内の空気を加熱して，空気の温度を何 K より高くすればよいか。その温度 $T_f$ を求めよ。ただし，$T_0=300$ K，$\rho_0=1.20$ kg/m³ とする。

4 ［2017 岩手大］

次の文章を読み，次の問いに答えよ。

厚さが無視できる半径 $R$ の球形の空洞容器 (球殻) がなめらかに動くピストンのついたシリンダーと体積の無視できる細管でつながれている。初め，細管は閉じられていて球殻内のみに質量 $m$ の単原子分子 $N$ 個からなる理想気体が封入されていた。

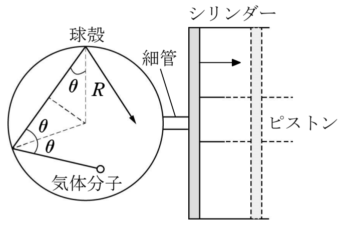


図 1

分子の 1 つが速さ $v$ で運動していて，図 1 のように角 $\theta$ で球殻に衝突している。衝突前後でこの分子の速さは変わらず，その速度は球面に垂直な成分の向きのみが逆になる。この衝突による分子の運動量の変化 $\boxed{\text{ア}}$ は力積として球殻に与えられる。分子どうしでは衝突しない場合，この分子は衝突から次の衝突までの移動距離 $\boxed{\text{イ}}$ を速さ $v$ で移動し，時間 $\boxed{\text{ウ}}$ ごとに衝突をくり返す。つまり，角 $\theta$ で球殻に衝突する分子は 1 回当たり力積 (ア) を球殻に与える衝突を単位時間当たり $\boxed{\text{エ}}$ 回起こすので，この分子が球殻に与える単位時間当たりの力積の大きさは $\boxed{\text{オ}}$ となる。このように，分子 1 個が球殻全体に与える力積の大きさ (オ) は衝突角 $\theta$ によらないことがわかる。

平均の速さが $v$ の分子 $N$ 個からなる気体は大きさ $\boxed{\text{カ}}$ の力を表面積 $4\pi R^2$ の球殻全体に及ぼしているので，気体の圧力は

$$p=\boxed{\text{キ}}\times\left(\frac{4\pi R^3}{3}\right)^{-1}$$

となる。球殻内部の体積 $\frac{4\pi}{3}R^3$ を $V$ とおくと，気体の圧力と体積の積 $pV$ は気体分子の運動エネルギーの総和に比例することがわかる。この $pV$ と温度 $T$ の理想気体の状態方程式 $pV=NkT$ ($k$ はボルツマン定数) との比較から，微視的な気体分子 1 個当たりの運動エネルギーの平均が巨視的な量の温度 $T$ で表せる。したがって，巨視的な量の気体の内部エネルギーも $\boxed{\text{ク}}\times T$ と表せる。

(1) $\boxed{\text{ア}}$～$\boxed{\text{ク}}$ に適切な式を入れよ。

この気体が体積を保って温度 $T$ から $\Delta T$ だけ変化するとき，気体の $\boxed{\text{い}}$ の変化は (ク)$\times\Delta T$ となる。一方，①<u>一定体積の気体は外部に仕事をしない</u>ので，$\boxed{\text{ろ}}$ より，②<u>気体に出入りした熱量と気体の内部エネルギーの変化は等しい</u>。このように，③<u>一定体積の気体が外部とやりとりするエネルギーの種類は熱のみで，その量は変化前後の温度差 $\Delta T$ のみによる</u>ことがわかる。

次に，気体の体積が変化できるように細管を開いた。

この気体が温度 $T$ を保って体積 $V$ からわずかに $\Delta V$ だけ変化するとき，気体がする仕事は $NkT\frac{\Delta V}{V}$ となる。これから，温度 $T$ を保って体積が $V_0$ からその $S$ 倍の $SV_0$ に変化するときの気体がする仕事は $NkT\log S$ となる。一方，一定温度の気体の (い) は変化しないので，(ろ) から，④<u>気体に加えた熱量は気体がする仕事に等しい</u>。したがって，⑤<u>等温変化する気体に出入りした熱量を温度でわった量は $Nk\log S$ のように変化前後の体積比 $S$ のみによる</u>。

(2) $\boxed{\text{い}}$，$\boxed{\text{ろ}}$ に適切な語句を入れよ。

この気体を体積 $V_{\mathrm{L}}$，温度 $T_{\mathrm{L}}$ の状態 A から図 2 に示すサイクル A → B → C → D → A の状態変化をさせて，もとの状態 A にもどした。気体は，定積過程 A → B で温度が $T_{\mathrm{H}}$ まで上昇し，等温過程 B → C で熱量 $Q_{\mathrm{H}}$ を吸収して体積 $SV_{\mathrm{L}}$ に膨張し，定積過程 C → D で温度が $T_{\mathrm{L}}$ まで下降し，D → A で熱量 $Q_{\mathrm{L}}$ を放出して体積 $V_{\mathrm{L}}$ に収縮した。

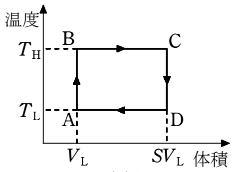


図 2

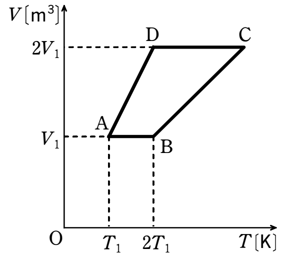
(a)<u>気体は A → B で外部から受け取ったエネルギーと同量のエネルギーを C → D で外部に放出する</u>。したがって，サイクルを通して気体が外部とやりとりしたエネルギーの収支は B → C と D → A のみを考えればよい。(b)<u>B → C と D → A で気体が外部にする仕事はそれぞれ $W_{\mathrm{BC}}=Q_{\mathrm{H}}$ と $W_{\mathrm{DA}}=-Q_{\mathrm{L}}$ となる</u>。したがって，サイクルを通して気体が外部にした正味の仕事 $W=W_{\mathrm{BC}}+W_{\mathrm{DA}}$ は $Q_{\mathrm{H}}-Q_{\mathrm{L}}$ となる。一方，(c)<u>$\frac{Q_{\mathrm{H}}}{T_{\mathrm{H}}}=\frac{Q_{\mathrm{L}}}{T_{\mathrm{L}}}$</u> が成りたつので，このサイクルで与えた熱量 $Q_{\mathrm{H}}$ を正味の仕事 $W$ に変換する割合である熱効率は $e=\frac{W}{Q_{\mathrm{H}}}=\boxed{\text{ケ}}$ のように温度 $T_{\mathrm{H}}$ と $T_{\mathrm{L}}$ のみで表せる。このように，有限の温度の環境では与えた熱 $Q_{\mathrm{H}}$ のすべてを仕事 $W$ に $\boxed{\text{は}}$ ことがわかる。

(3) 下線部 (a)～(c) の各々について，それが成りたつ理由として最も適切なものを下線部 ①～⑤ から 1 つ選んで答えよ。

(4) $\boxed{\text{ケ}}$ に適切な式を入れよ。

(5) $\boxed{\text{は}}$ に適切な語句を入れよ。

5 ［物理重要問題集2017 佐賀大］




なめらかに動くピストンをもつシリンダーに，1 mol の単原子分子理想気体が入っている。この気体を，図のように，温度 $T_1$〔K〕，体積 $V_1$〔m$^3$〕の状態 A から，状態 B，状態 C，状態 D を経て，再び状態 A にもどす過程を考える。A→B および C→D の過程では，気体の体積は一定であり，B→C および D→A の過程では，気体の体積は温度に比例して変化した。状態 B における気体の温度を $2T_1$〔K〕，状態 C における気体の体積を $2V_1$〔m$^3$〕，気体定数を $R$〔J/(mol・K)〕として，次の問いに答えよ。

(1) A→B の過程で気体が吸収した熱量を求めよ。

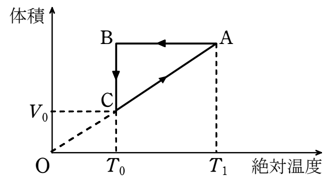
(2) A→B→C→D→A の過程の $p$-$V$ 図をかけ。

(3) B→C の過程で気体が吸収した熱量は，A→B の過程で気体が吸収した熱量の何倍か。

(4) A→B→C→D→A の 1 サイクル (循環過程) で，気体がした仕事を求めよ。

(5) A→B→C→D→A の 1 サイクルにおける熱効率を求めよ。

6 ［2017 千葉大］




次の文章を読み，問題文中に定義された記号を用いて次の問いに答えよ。

容器に閉じこめた $n$〔mol〕の単原子分子理想気体の状態変化を図の A → B → C → A の順に行った。A → B では体積を一定に保ち，B → C では絶対温度を一定値 $T_0$ に保った。また，C → A では体積と絶対温度が比例するように状態を変化させた。状態 A での絶対温度は $T_1$，状態 C での体積は $V_0$ であった。気体定数を $R$ とする。

(1) 状態 A での体積を求めよ。

(2) 状態 A での圧力を求めよ。

(3) このサイクルにおいて，圧力と体積の関係を表すグラフの概形をかけ。ただし，グラフには状態 A，B，C での圧力と体積を記入し，変化の向きを示す矢印も記すこと。

(4) A → B の過程で気体が外部へ放出した熱量を求めよ。

(5) C → A の過程で気体が外部にした仕事を求めよ。

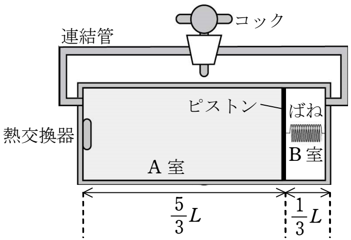
(6) C → A の過程で気体が吸収した熱量を求めよ。

(7) B → C の過程で気体が放出した熱量を $Q$ とする。A → B → C → A の 1 サイクルで気体がした正味の仕事 (［外部にした仕事］－［外部からされた仕事］) を求めよ。

(8) このサイクルの熱効率を求めよ。

7［2017 東京理科大］




次の問題の［　　］の中に入れるべき正しい答えを解答群の中から選べ。必要なら，同一番号をくり返し用いてよい。

体積 $2SL$〔m$^3$〕の密閉円筒シリンダー内を，断面積 $S$〔m$^2$〕のピストンがなめらかに移動できる装置があり，ピストンにより仕切られた円筒シリンダーの左側を A 室，右側を B 室とよぶことにする。自然の長さが $L$〔m〕でばね定数が $k$〔N/m〕のばねの両端がピストンと B 室の右壁に取りつけられ，A 室と B 室はコックが取りつけられた連結管で結ばれている。また，A 室には熱交換器が取りつけられていて自由に熱量を出し入れすることができる。ピストン，円筒シリンダー，連結管は断熱材で作られていて外界と熱の出入りはないものとする。図の状態ではコックは閉じられて，B 室は真空であり，A 室に 1 mol の単原子分子理想気体が封じこめられている。このとき，B 室の体積は $\frac{SL}{3}$〔m$^3$〕であり，ばねは自然の長さから縮んだ状態で弾性エネルギーを蓄えていた。熱交換器と連結管とばねの体積，およびピストンの厚さはないものとし，気体定数を $R$〔J/(K・mol)〕とする。

⑴　図の状態において，A 室の気体の圧力 $p_0$ は［ア］$\times\frac{kL}{S}$〔N/m$^2$〕であり温度 $T_0$ は［イ］$\times\frac{kL^2}{R}$〔K〕である。

⑵　引き続いて，図の状態から始めて，熱交換器により A 室の気体からゆっくりと熱量［ウ］$\times RT_0$〔J〕を取りさると，ピストンが移動し B 室の体積が $\frac{2SL}{3}$〔m$^3$〕になった。A 室の気体がした仕事は［エ］$\times RT_0$〔J〕であり，A 室の気体の内部エネルギーの増加量は［オ］$\times RT_0$〔J〕である。

⑶　引き続いて，コックをゆっくり開き，平衡に達するまで十分に待ったところ，ピストンがさらに移動し，B 室には［カ］mol の気体が移り，A 室の圧力は［キ］$\times p_0$〔N/m$^2$〕になり，B 室の温度は［ク］$\times T_0$〔K〕になった。

解答群

〔1〕 $\frac{3}{20}$　〔2〕 $\frac{1}{6}$　〔3〕 $\frac{1}{5}$　〔4〕 $\frac{1}{3}$　〔5〕 $\frac{13}{36}$

〔6〕 $\frac{2}{5}$　〔7〕 $\frac{13}{30}$　〔8〕 $\frac{1}{2}$　〔9〕 $\frac{3}{5}$　〔10〕 $\frac{2}{3}$

〔11〕 $\frac{7}{9}$　〔12〕 $\frac{4}{5}$　〔13〕 $\frac{8}{9}$　〔14〕 $\frac{9}{10}$　〔15〕 1

〔16〕 $\frac{21}{20}$　〔17〕 $\frac{10}{9}$　〔18〕 $\frac{7}{5}$　〔19〕 $\frac{9}{5}$　〔20〕 2

〔21〕 $\frac{19}{9}$　〔22〕 3　〔23〕 $\frac{32}{9}$　〔24〕 4　〔25〕 $\frac{27}{4}$

〔26〕 $-\frac{3}{20}$　〔27〕 $-\frac{1}{6}$　〔28〕 $-\frac{1}{5}$　〔29〕 $-\frac{1}{3}$　〔30〕 $-\frac{13}{36}$

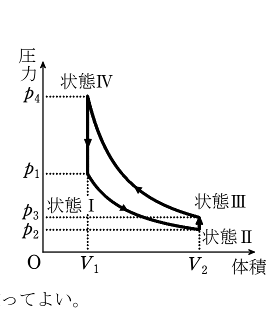
〔31〕 $-\frac{2}{5}$　〔32〕 $-\frac{13}{30}$　〔33〕 $-\frac{1}{2}$　〔34〕 $-\frac{3}{5}$　〔35〕 $-\frac{2}{3}$

〔36〕 $-\frac{7}{9}$　〔37〕 $-\frac{4}{5}$　〔38〕 $-\frac{8}{9}$　〔39〕 $-\frac{9}{10}$　〔40〕 $-1$

〔41〕 $-\frac{21}{20}$　〔42〕 $-\frac{10}{9}$　〔43〕 $-\frac{7}{5}$　〔44〕 $-\frac{9}{5}$　〔45〕 $-2$

〔46〕 $-\frac{19}{9}$　〔47〕 $-3$　〔48〕 $-\frac{32}{9}$　〔49〕 $-4$　〔50〕 $-\frac{27}{4}$

8［2015 横浜国立大］




エアコンなどに用いられるヒートポンプ機構では，冷媒とよばれる熱を運ぶ物質を循環させることで，熱を低温の物体から高温の物体に移動させている。ヒートポンプ機構のモデルを次のように考えよう。冷媒は，容器の中に密閉された，単原子分子の理想気体であり，この冷媒の状態を図のようにゆっくりと変化させたものとする。

単原子分子の理想気体の断熱変化では，圧力 $p$ と体積 $V$ の間に $pV^{\frac{5}{3}}=$一定 の関係が成立することを使ってよい。

［A］　初期状態（状態Ⅰ）における冷媒の圧力を $p_1$，体積を $V_1$，温度を $T_1$ とする。この冷媒が断熱膨張により圧力 $p_2$，体積 $V_2$ の状態Ⅱになったとする。

⑴　状態Ⅱの冷媒の温度 $T_2$ を $V_1$，$V_2$，$T_1$ を用いて表せ。

⑵　$T_1$ と $T_2$ の大小関係を考え，等号または不等号を記せ。

⑶　この過程での冷媒の内部エネルギーの増加 $\Delta U$ を $V_1$，$V_2$，$p_1$ を用いて表せ。

［B］　次に，冷媒が体積一定のまま外部から熱を吸収した結果，圧力は $p_3$ となった（状態Ⅲ）。

⑷　状態Ⅲの冷媒の温度 $T_3$ を $p_2$，$p_3$，$T_2$ を用いて表せ。

⑸　この過程で冷媒が外部から吸収した熱量 $Q_1$ を $p_2$，$p_3$，$V_2$ を用いて表せ。

［C］　さらに，冷媒は体積 $V_1$ まで断熱圧縮され圧力は $p_4$ となり（状態Ⅳ），その後蓄えていた熱を外部に放出して状態Ⅰにもどった。

⑹　状態Ⅳの冷媒の温度 $T_4$ を $p_1$，$p_4$，$T_1$ を用いて表せ。

⑺　$T_2$ と $T_3$ と $T_4$ の大小関係を考え，正しい不等式になるように $T_2$，$T_3$，$T_4$ を適切な順序に並べて記せ。

⑻　状態Ⅲ→状態Ⅳの過程で冷媒が外部からされた仕事 $W_1$ を $p_4$，$V_1$，$V_2$ を用いて表せ。

⑼　状態Ⅳ→状態Ⅰの過程で冷媒が放出した熱量を $Q_2$ とする。ヒートポンプの効率を，この 1 サイクルの過程において冷媒が放出した熱量 $Q_2$ と冷媒が外部からされた仕事 $W_1$ の比 $\frac{Q_2}{W_1}$ として定義する。$\frac{Q_2}{W_1}$ を $p_1$，$p_4$，$V_1$，$V_2$ を用いて表せ。

⑽　特に $p_3=p_1$ の場合を考える。$Q_2$ と $W_1$ の大小関係を調べて，等号または不等号を記せ。

9［2010 関西学院大］

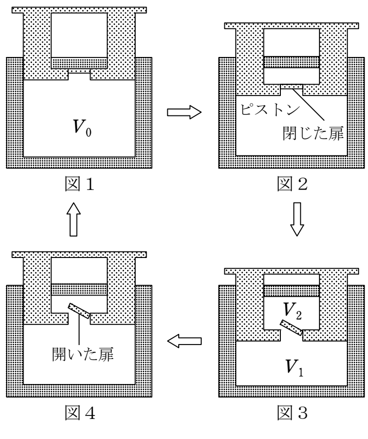
周囲と断熱された密封容器の中に 1 mol の単原子分子理想気体が入っている。容器には，図のような開閉可能な扉付きの，容器との接触部分の気密性を保ちながらなめらかに動く断熱性ピストンが取り付けられており，それを図 1 → 図 2 → 図 3 → 図 4 → 図 1 のように周期的に動作させることによって，容器内の気体の温度を各周期運動ごとに徐々に上昇させる。気体定数を $R$，温度は絶対温度として，次の問いに答えよ。

⑴　図 1 のように断熱容器内の気体を最大の体積 $V_0$ の平衡状態にした。このときの気体の温度が $T_0$ であったとする。

(a)　この気体の圧力はいくらか。

(b)　この気体の内部エネルギーはいくらか。

(c)　この気体の定積モル比熱はいくらか。




⑵　図 1 の状態から，図 2 のように扉を閉じたまま，ピストンをゆっくりと押し込んで気体の体積が $V_1$ になるまで気体を断熱圧縮する。ただし，単原子分子理想気体の断熱過程では，温度 $T$ と体積 $V$ に対して $TV^{\frac{2}{3}}$ の値は変化せず一定値をとる。

(a)　気体の体積が $V_1$ になったときの気体の温度はいくらか。

(b)　この断熱圧縮の過程において気体になされた仕事を求めよ。

⑶　⑵で述べられた過程により容器上部の空洞部分が真空となり，その体積は $V_2$（$<V_0-V_1$）であった。その後，ピストンを固定した状態で，図 3 のように扉が開き，気体がこの真空領域へ膨張して，体積 $V_1+V_2$ の平衡状態になった。真空中への気体の膨張において気体は仕事をしないことを用いて，この膨張の前後で生じる気体の温度の変化量を求めよ。

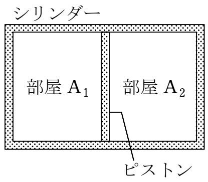
⑷　その後，ピストンの固定を解除し，図 4 のように扉を開けたまま断熱的にピストンをゆっくりと図 1 と同じ位置に戻して扉を閉じる。気体の体積が再び $V_0$ になったときの気体の温度を求めよ。

⑸　⑴から⑷で述べた図 1 → 図 2 → 図 3 → 図 4 → 図 1 のような扉付きピストンの周期運動を $N$ 回くり返した後の気体の温度は，最初の温度の何倍になるか。

10［2013 学習院大］

図のように，ピストンによって2つの部屋 $A_1$，$A_2$ に仕切られた総容積 $2V$ のシリンダーを考える。ピストンとシリンダーによって2つの部屋の気密性は常に保たれており，部屋 $A_1$ には $n_1$[mol] の単原子理想気体，部屋 $A_2$ には $n_2$[mol] の単原子理想気体がそれぞれ封入されている。シリンダー内部は断熱壁で外界から隔てられている。ピストンは熱伝導性を制御できて，必要に応じて，断熱壁にすることも透熱壁にすることもできる。また，ピストンの熱容量，ピストンとシリンダーの間の摩擦はどちらも無視できるとする。気体定数を $R$ として次の問いに答えよ。ただし，温度 $T$ における 1 mol の単原子理想気体の内部エネルギーが $\frac{3}{2}RT$ となることを用いてよい。




(1) 最初，ピストンを断熱壁にしておき，部屋 $A_1$ と部屋 $A_2$ の容積がともに $V$ であるような位置に固定しておく。また，このときの部屋 $A_1$，$A_2$ 内の気体の温度をそれぞれ $T_1$，$T_2$ とおく。部屋 $A_1$，$A_2$ 内の圧力 $p_1$，$p_2$ をそれぞれ求めよ。

(2) この状態における部屋 $A_1$ 内の気体の内部エネルギーと部屋 $A_2$ 内の気体の内部エネルギーの和 $U$ はいくらか，$n_1$，$n_2$，$R$，$T_1$，$T_2$ を用いて表せ。

(3) 次に，ピストンを固定したまま断熱性を弱め，ピストンを介して熱が部屋 $A_1$ と $A_2$ の間を伝わることができるようにしたところ，しばらくたった後に部屋 $A_1$，$A_2$ の全体は平衡状態におちついた。このときの部屋 $A_1$，$A_2$ の共通の温度 $T'$，部屋 $A_1$ 内の圧力 $p_1'$，および $A_2$ 内の圧力 $p_2'$ はそれぞれいくらか，$V$，$n_1$，$n_2$，$R$，$T_1$，$T_2$ を用いて表せ。

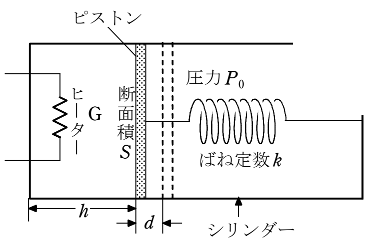
(4) 次に，ピストンを固定していたストッパーを外し，ピストンが自由に動けるようにした。このとき，ストッパーの操作を介してピストンが外部に仕事をするようなことはなかったとする。しばらくたった後，ピストンは平衡の位置におちついた。このときの部屋 $A_1$，$A_2$ 内の共通の温度 $T''$，部屋 $A_1$ の容積 $V_1''$，および部屋 $A_1$，$A_2$ 内の共通の圧力 $p''$ はいくらか，$V$，$n_1$，$n_2$，$R$，$T'$ を用いて表せ。

(5) 上の(4)の最後の平衡状態における，部屋 $A_1$，$A_2$ 内の気体の内部エネルギーの和 $U''$ を $n_1$，$n_2$，$R$，$T''$ を用いて表せ。

(6) 上の(4)では，ピストンのストッパーを単に外しただけであったが，仮にストッパーを外した後，ゆっくりとピストンを動かして平衡の位置まで持ってきた場合，終状態における部屋 $A_1$，$A_2$ 内の気体の内部エネルギーの和 $U^*$ は $U''$ とは異なっている。$U^*$ と $U''$ の大小関係がどのようになっているか答え，そのようになる理由を説明せよ。

11［2008 千葉大］

図のように，なめらかに動くピストンを備えた断面積 $S$ のシリンダー内に，1 mol の単原子分子の理想気体Gを入れる。シリンダー内部にはヒーターがあり，閉じこめられた気体を加熱できる。ピストンとシリンダーは熱容量の無視できる断熱材でできており，外部との熱のやりとりはない。ピストンにはばね定数 $k$ のばねが付いており，ばねの他端はシリンダーに固定されている。また，ピストンの右面は一定の圧力 $P_0$ の外気に接している。最初，ピストンの左面はシリンダーの左端から距離 $h$ の位置にあり，ばねは自然の長さになっていた。




理想気体Gをヒーターでゆっくり加熱すると，図の破線のように，ピストンが距離 $h$ の位置から右へ距離 $d$ 移動した。気体定数を $R$ として，次の問いに答えよ。解答は，$P_0$，$h$，$S$，$R$，$d$ および $k$ のうち必要な記号を用いて表すこと。

(1) 最初，ピストンが距離 $h$ の位置にあるとき，理想気体Gの圧力は外気と同じ圧力 $P_0$ である。このときの気体Gの絶対温度 $T$ を求めよ。

(2) 加熱後の理想気体Gの圧力 $P$ を求めよ。

(3) 加熱による理想気体Gの温度上昇 $\Delta T$ を求めよ。

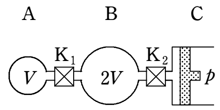
(4) 加熱による理想気体Gの内部エネルギーの増加 $\Delta U$ を求めよ。

(5) ピストンが距離 $d$ 移動する過程で，理想気体Gが外部に対して行う仕事 $W$ を求めよ。

(6) 加熱により理想気体Gがヒーターから受け取った熱量 $Q$ を求めよ。

12［2012 東京慈恵会医科大］

図のように，容器A，BとシリンダーCをコック $K_1$，$K_2$ のついた細管で接続する。Cには気密性を保ったままなめらかに動くピストンがはめこまれ，ピストンの右側の気圧は大気圧 $p$[Pa＝N/m$^2$] になっている。




A，Bの容積はそれぞれ $V$，$2V$[m$^3$] で，初め，$K_1$，$K_2$ が閉じ，ピストンがCの底まで押しこまれている状態で，Aには圧力 $3p$[Pa]，温度 $3T$[K] で定積モル比熱が $\frac{5}{2}R$[J/(mol・K)] の理想気体 $G_1$ が入っている。Bには圧力 $2p$[Pa]，温度 $2T$[K] で定積モル比熱が $\frac{3}{2}R$[J/(mol・K)] の理想気体 $G_2$ が入っている。ここで，$R$ は気体定数である。

装置はすべて断熱材でできており，外部との熱のやりとりはなく，その熱容量は無視できる。また，細管の容積も無視できるものとする。

(1) 初めの状態について次の問いに答えよ。
(a) 気体 $G_1$ の物質量は気体 $G_2$ の物質量の何倍か。
(b) 気体 $G_1$ の内部エネルギーは気体 $G_2$ の内部エネルギーの何倍か。

(2) 次に，コック $K_2$ を閉じたまま，$K_1$ をゆっくり開いて，$G_1$ と $G_2$ を混合する。このとき，$G_1$ と $G_2$ は化学反応を起こさないものとする。十分に時間がたち熱平衡状態に達したときについて次の問いに答えよ。
(a) 混合気体の温度は $T$ の何倍か。
(b) 混合気体の圧力は $p$ の何倍か。

(3) さらに，コック $K_2$ をゆっくり開いて，混合気体をCの中に膨張させる。このとき，C内の圧力は常に $p$[Pa] に保たれたままピストンが移動するものとする。全体が熱平衡状態に達したときについて次の問いに答えよ。
(a) C内にある混合気体の体積は $V$ の何倍か。
(b) 混合気体の温度は $T$ の何倍か。