

## 62

## 絶対温度と比熱

◎ 解説動画

絶対温度  $T$  [K] とセ氏温度  $t$  [°C] の関係

$$T =$$

比熱  $c$  [J/g·K], 質量  $m$  [g] の物体の温度を  $\Delta T$  [K] 上昇させるのに必要な熱量  $Q$  [J] は

$$Q =$$

また, この物体の熱容量を  $C$  [J/K] とすると

$$Q =$$

\ 押さえよ /



## 📌 絶対温度とは何か？

物体を構成している原子や分子は, 目には見えない不規則な運動をしている。この運動を 熱運動 という。熱運動の激しさを表す物理量が, 温度 である。温度を低くしていくと, 原子や分子の熱運動は弱くなっていき, 約 絶対零度 で熱運動は停止してしまう。したがって,  $-273^{\circ}\text{C}$  よりも低い温度は 存在しない 。そこで,  $-273^{\circ}\text{C}$  ( 絶対零度 ) を基準とする温度目盛を考え, これを 絶対温度 とよぶ。絶対温度の単位には [ K ] が用いられ, 絶対温度の間隔はセ氏温度と同じである。絶対温度  $T$  [K] は, セ氏温度  $t$  [°C] を用いて, 次のように表される。

POINT

絶対温度  $T =$ 

## 📌 比熱とは何か？

単位質量 (1g, 1kg など) の物質の温度を 1K 上昇させるのに必要な熱量を, その物質の 比熱 という。比熱の単位には, [ J/g·K ] や [ J/kg·K ] などが用いられる。比熱  $c$  [J/g·K] の物質  $m$  [g] の温度を  $\Delta T$  [K] 上昇させるのに必要な熱量  $Q$  [J] は,  $Q = mc\Delta T$  と表される。

## 📌 熱容量とは何か？

ある物体の温度を 1K 上昇させるのに必要な熱量を, その物体の 熱容量 という。熱容量の単位には, [ J/K ] などが用いられる。熱容量  $C$  [J/K] の物体の温度を  $\Delta T$  [K] 上昇させるのに必要な熱量  $Q$  [J] は,  $Q = C\Delta T$  と表される。

POINT

熱量  $Q = mc\Delta T = C\Delta T$  (  $c$  : 比熱,  $C$  : 熱容量 )

## 63

## 熱量保存の法則

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



熱量保存の法則

高温物体が

熱量 = 低温物体が

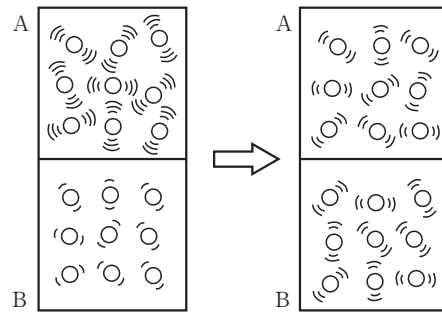
熱量

復習

熱量  $Q =$   $=$  (  $c$  : 比熱,  $C$  : 熱容量 )

高温物体 A と低温物体 B を接触させると、高温物体 A の温度は  $t_1$  [°C] で一定になった。その水の中に  $t_2$  [°C] に温めた  $m_2$  [g] の金属球を入れたところ、全体の温度が  $t_3$  [°C] で一定になった。水の比熱は  $c_1$  [J/g・K] とし、熱は容器の外へは逃げないものとして、次の各問いに答えよ。

高温物体 A と低温物体 B を接触させると、高温物体 A の温度は  $t_1$  [°C] で一定になった。低温物体 B の温度は  $t_2$  [°C] だった。やがて、両者の温度は  $t_3$  [°C] になり、平衡に達する。外部と熱の出入りがないようにすると、A の  $Q_A$  熱量と、B の  $Q_B$  熱量は等しくなる。これを  $Q$  という。



POINT



熱量保存の法則

高温物体の

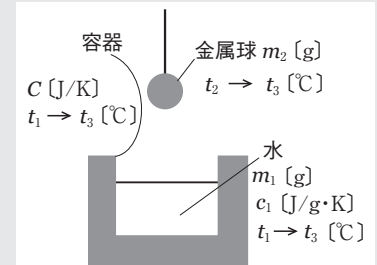
熱量 = 低温物体の

熱量

やって  
みよう /

Q

熱容量  $C$  [J/K] の容器に水を  $m_1$  [g] 入れたところ、全体の温度が  $t_1$  [°C] で一定になった。その水の中に  $t_2$  [°C] に温めた  $m_2$  [g] の金属球を入れたところ、全体の温度が  $t_3$  [°C] で一定になった。水の比熱は  $c_1$  [J/g・K] とし、熱は容器の外へは逃げないものとして、次の各問いに答えよ。



つづき /

Q

(1) 金属球の比熱を  $c_2$  [J/g・K] とする。金属球の失った熱量は何 J か。  $c_2$  を用いて表せ。

解答

..... 答

つづき /

Q

(2) 水の得た熱量は何 J か。

解答

..... 答

つづき /

Q

(3) 容器の得た熱量は何 J か。

解答

..... 答

つづき /

Q

(4) 金属球の比熱  $c_2$  を求めよ。

解答

..... 答

## 64

## ボイル・シャルルの法則

◎ 解説動画



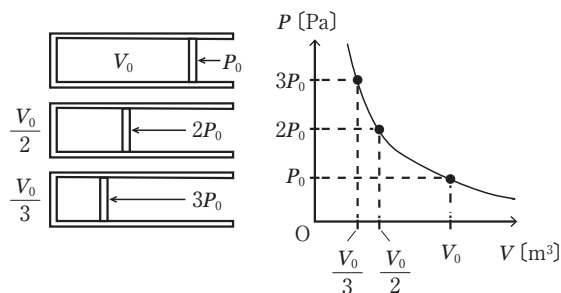
\ 押さえよ /



ボイル・シャルルの法則 = 一定

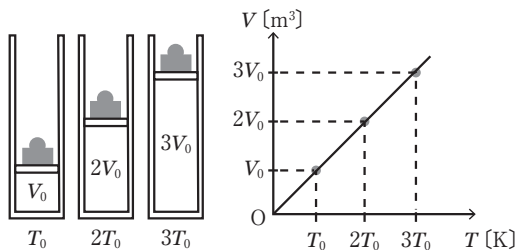
一定質量の気体について、その圧力  $P$  [Pa]、体積  $V$  [m<sup>3</sup>]、絶対温度  $T$  [K] の関係を考えよう。

⬇  $T = \text{一定}$  のとき、 $P$  と  $V$  の関係はどのようなになるか。



温度が一定の条件では、気体の体積  $V$  [m<sup>3</sup>] は、圧力  $P$  [Pa] に する。これを という。

⬇  $P = \text{一定}$  のとき、 $V$  と  $T$  の関係はどのようなになるか。



圧力が一定の条件では、気体の体積  $V$  [m<sup>3</sup>] は、絶対温度  $T$  [K] に する。これを という。

⬇ ボイルの法則とシャルルの法則をまとめるとどのようなになるか。

「一定質量の気体の体積  $V$  は、圧力  $P$  に し、絶対温度  $T$  に する」

これを式で表すと

$$V = \quad = k \quad (k: \text{比例定数})$$

となる。これを という。

POINT



ボイル・シャルルの法則 = 一定

\ やって  
みよう /

圧力  $1.2 \times 10^5$  Pa、体積  $0.80 \text{ m}^3$ 、温度  $27^\circ\text{C}$  の気体がある。この気体の体積を  $0.40 \text{ m}^3$ 、温度を  $127^\circ\text{C}$  にすると、圧力は何 Pa になるか。

解答

..... 答

## 65

## 理想気体の状態方程式

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



## 理想気体の状態方程式

復習

ボイル・シャルルの法則 = 一定

ボイル・シャルルの法則は、極端に低温や高圧のときには成り立たないが、室温付近ではよい近似で成り立つ。この法則が厳密に成り立つ気体を考えて、これを という。

## 📌 理想気体の状態方程式を導こう。

標準状態 ( $0^\circ\text{C} = \text{K}$ ,  $1\text{ 気圧} = 1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ ) の理想気体  $1\text{mol}$  の体積は,  $\text{L} (= \times 10^{-3} \text{m}^3)$  であることが知られている。これらの値を使って, ボイル・シャルルの法則の比例定数  $R$  を求めると

$$R =$$

となる。 $R$  は気体の種類によらない定数で, という。

$n [\text{mol}]$  の気体については, 同じ温度, 同じ圧力のもとでは, 体積が 倍になるから, 次の関係が成り立つ。

$$\frac{PV}{T} =$$

この式を という。

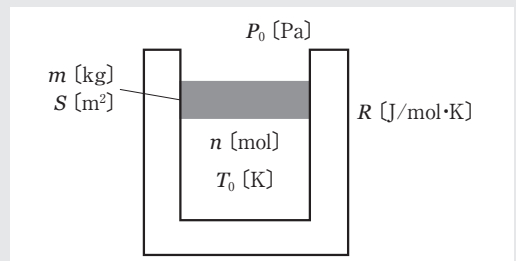
POINT



## 理想気体の状態方程式

\ やって  
みよう /

質量  $m [\text{kg}]$ , 断面積  $S [\text{m}^2]$  のなめらかに動くピストンで,  $n [\text{mol}]$  の理想気体を封入したところ, 気体の温度が  $T_0 [\text{K}]$



になった。大気圧を  $P_0 [\text{Pa}]$ , 気体定数を  $R [\text{J/mol}\cdot\text{K}]$ , 重力加速度の大きさを  $g [\text{m/s}^2]$  として, 次の問いに答えよ。

\ つづき /



(1) 気体の圧力は何 Pa か。

解答

..... 答

\ つづき /



(2) 容器の底からピストンまでの高さは何 m か。

解答

..... 答

## 66

## 気体分子運動論①

◎ 解説動画



\ 押さえよ /

気体の圧力  $P =$ 

質量  $m$  の分子  $N$  個からなる理想気体が、一辺の長さ  $L$ 、体積  $V (= L^3)$  の立方体容器に入っている。

🔴 分子が器壁に及ぼす気体の圧力を求めよう。

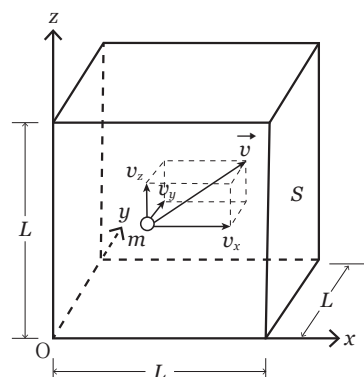
図のように、1つの分子の速度を  $\vec{v}$ 、その  $x, y, z$  成分をそれぞれ  $v_x, v_y, v_z$  とする。

1分子が1回の衝突で面  $S$  より受ける力積、すなわち1分子の

面  $S$  が1回の衝突で1分子より受ける力積は、  
の法則より

時間  $\Delta t$  の間に、1分子が面  $S$  と衝突する回数は

時間  $\Delta t$  の間に、面  $S$  が1分子より受ける力積の総和は



時間  $\Delta t$  の間に、面  $S$  が  $N$  個の分子より受ける力積の総和は

ここで、 $\overline{v_x^2} = \frac{1}{N} (v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + \cdots + v_{Nx}^2)$  とすると

面  $S$  が  $N$  個の分子より受ける力  $F$  は

$F =$

ここで、 $v^2 =$  であるから  
 $\overline{v^2} =$

である。分子数  $N$  はきわめて大きく、すべての分子は方向にかかわらず不規則に運動しているから、どの方向の速度成分の  
平均値も等しく、 $\overline{v_x^2} =$  となり、 $F$  は次のように  
表される。

$F =$

したがって、面  $S$  が  $N$  個の分子より受ける圧力  $P$  は

$P =$

## 67

## 気体分子運動論②

◎ 解説動画



分子 1 個あたりの平均運動エネルギー

$$\overline{e} = \left( \text{ボルツマン定数 } k = \right)$$

単原子分子理想気体の内部エネルギー

$$U =$$

\ 押さえよ /



復習

質量  $m$  の分子  $N$  個からなる理想気体が、体積  $V$  の容器に入っている。  
分子の速さの 2 乗の平均値を  $\overline{v^2}$  とすると、気体の圧力  $P$  はどのような式で表されるか。

解答

$$P =$$

…①… 答

## ↓ 分子 1 個あたりの平均運動エネルギーを求めよう。

容器内の気体分子のモル数  $n$  は、アボガドロ数  $N_A$  を用いて  
 $n =$  と表される。容器内の気体を理想気体とみなすと、その状態方程式は

…②

となる。理想気体の分子 1 個あたりの平均運動エネルギー  $\overline{e}$  は

$$\overline{e} =$$

となるが、これを①を用いて変形すると

$$\overline{e} =$$

となり、さらに②を用いて変形すると

$$\overline{e} =$$

となる。ここで、 $k =$  とおくと

$$\overline{e} =$$

と表される。 $k$  は分子 1 個あたりの を表し、これを という。

POINT



分子 1 個あたりの平均運動エネルギー

$$\overline{e} = \left( \text{ボルツマン定数 } k = \right)$$

## ↓ 単原子分子理想気体の内部エネルギーを求めよう。

容器内の理想気体が単原子分子ならば、気体の内部エネルギー  $U$  は、分子の熱運動による の総和と考えてよい。 $U$  を  $n$  を用いて表すと

$$U =$$

POINT



単原子分子理想気体の内部エネルギー

$$U =$$

## 68

変化量 $\Delta$ の扱いかた

◎ 解説動画



状態方程式

$$P = \text{一定} \Rightarrow$$

$$V = \text{一定} \Rightarrow$$

単原子分子理想気体の内部エネルギーの増加  
(単原子分子限定)

$$\Delta U =$$

\ 押さえよ /



$n$  mol の単原子分子理想気体があり、気体定数を  $R$  とする。この気体の圧力、体積、絶対温度をそれぞれ、 $P$ 、 $V$ 、 $T$  の状態 A から、 $P + \Delta P$ 、 $V + \Delta V$ 、 $T + \Delta T$  の状態 B へ変化させる。

⬇ 状態変化 A  $\rightarrow$  B における内部エネルギーの増加  $\Delta U$  を求めよう。

$$U_A = \quad U_B =$$

$$\Delta U =$$

秘

テクニック

気体の内部エネルギー  $U$  は、 $\quad$  である。

POINT



単原子分子理想気体の内部エネルギーの増加  
(単原子分子限定)

$$\Delta U =$$

⬇ 状態変化 A  $\rightarrow$  B が圧力一定 ( $\Delta P = 0$ ) で行われた場合に成り立つ  
状態方程式を求めよう。

A :

B :

⬇ 状態変化 A  $\rightarrow$  B が体積一定 ( $\Delta V = 0$ ) で行われた場合に成り立つ  
状態方程式を求めよう。

A :

B :

POINT

状態方程式  $P = \text{一定} \Rightarrow$  $V = \text{一定} \Rightarrow$

## 69

## 気体の混合

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



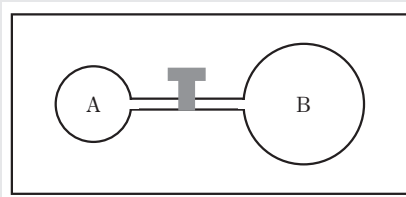
密封された状態での気体の混合 ⇒

が一定

\ やって  
みよう /

Q

図のように断熱された2つの容器 A, B がコックのついた細管でつながれている。はじめコックは閉じられ、A, B には単原子分子



理想気体が入っている。A は圧力  $1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、体積  $2.0 \text{ m}^3$ 、温度  $300 \text{ K}$  で、B は圧力  $3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、体積  $3.0 \text{ m}^3$ 、温度  $450 \text{ K}$  である。コックを開いて、全体が一様な状態になったときの圧力  $P$  [Pa] と温度  $T$  [K] を求めよ。

解答

コックを開く前後で、

が一定だから

$$U = \quad =$$

を用いて方程式を立てると

..... 答

コックを開く前後で、

が一定だから、 $PV = nRT$  を式変形した  $n =$  を用いて

..... 答

秘

テクニック

密封された状態での気体の混合 ⇒

が一定



## 70

## 気体ができる仕事

◎ 解説動画

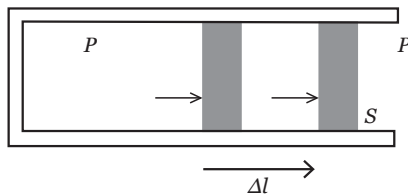


\ 押さえよ /

気体ができる仕事  $W =$ \ やって  
みよう /

Q

図のように、断面積  $S$  のピストンで、シリンダー内に気体を封入する。シリンダー内の気体に熱を加えると、気体は膨張して、ピストンを  $\Delta l$  だけ移動させる。シリンダー内外の圧力は、常に一定値  $P$  である。



\ つづき /

Q

(1) シリンダー内の気体が、ピストンを押す力の大きさ  $F$  はいくらか。

\ 解答 /

 $F =$  ..... 答

\ つづき /

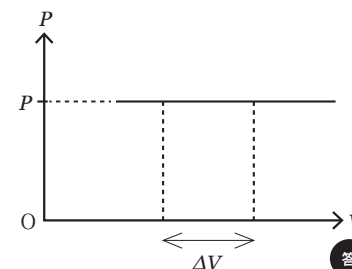
Q

(2) シリンダー内の気体が、ピストンにした仕事  $W$  はいくらか。気体の体積の増加  $\Delta V$  を用いて表せ。

\ 解答 /

 $W =$  ..... 答\ つづき /  
Q

(3) 気体の圧力  $P$  と体積  $V$  の関係が右図の実線で表されるとき、 $W$  を表す部分を斜線で示せ。

\ つづき /  
Q

(4) 下の文中の空欄を埋めよ。

気体が膨張するときは、 $W$   0 となり、気体は外部に 。逆に、気体が収縮するときは、 $W$   0 となり、気体は外部から 。

POINT

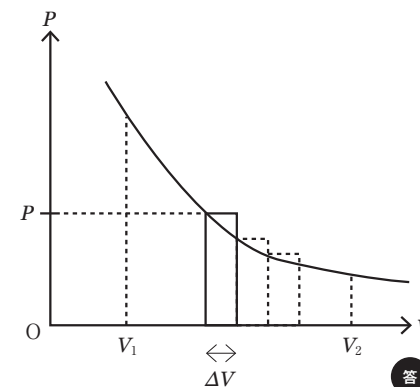


気体ができる仕事  $W =$  (  $\Delta V$  : 体積の )

④ 圧力が一定でない場合、気体ができる仕事はどのように表されるか。

気体の圧力が右図の曲線のグラフのように変化し、体積が  $V_1$  から  $V_2$  まで増加するとき、気体が外部にする仕事  $W$  は次のように表される。

途中、気体の圧力が  $P$  に保たれ、微小体積  $\Delta V$  だけ増加したとすると、その間に気体が外部にする仕事は、図中の  で表される。したがって、気体の体積が  $V_1$  から  $V_2$  まで増加するとき、気体が外部にする仕事  $W$  は、図中の斜線部分の面積で表される。 $W$  を表す斜線部分を図中に記入せよ。



## 71

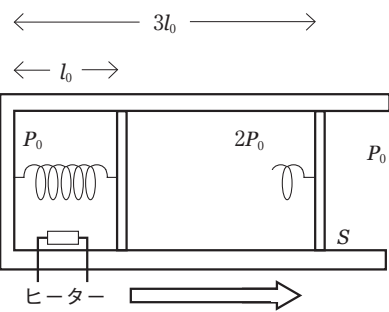
## ばねつきピストン

◎ 解説動画

\\ やって  
みよう /

Q

図のように、断面積  $S$  のピストンで、シリンダー内に理想気体 A を封入する。気体 A はヒーターで加熱することができる。はじめ、気体 A の圧力は大気圧  $P_0$  と等しく、ばねの長さは自然長  $l_0$  であった。ヒーターのスイッチを入れて気体 A を加熱し、気体 A の圧力が  $2P_0$ 、ばねの長さが  $3l_0$  になるまで加熱を続けた。この過程を過程 I とよぶ。



\\ つづき /

Q

(1) ばね定数を求めよ。

解答



..... 答

\\ つづき /

Q

(2) 過程 I における気体 A の圧力  $P$  は、そのときのばねの長さ  $l$  を用いてどのように表されるか。

解答

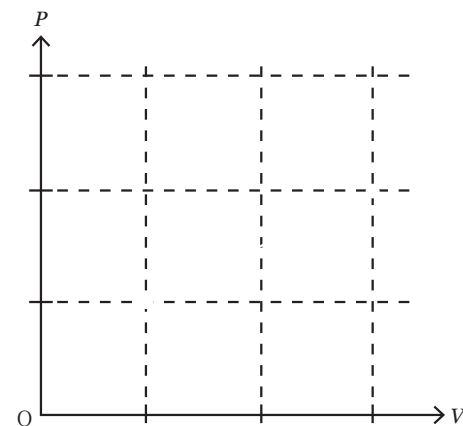


..... 答

\\ つづき /

Q

(3) 気体 A の圧力  $P$  を縦軸、体積  $V$  を横軸にとったグラフを  $P$ - $V$  グラフという。過程 I を表す  $P$ - $V$  グラフをかけ。



..... 答

\\ つづき /

Q

(4) 過程 I において、気体 A が外部にした仕事を求めよ。

解答

..... 答

ばねつきピストンの外側が真空、または、一定圧力の場合、 $P$ - $V$  グラフは直線になる。

秘

テクニック

ばねつきピストンの  $P$ - $V$  グラフは になる。

## 72

## P-VグラフとV-Tグラフ

◎ 解説動画

\\ つづき /  
やってみよう

Q

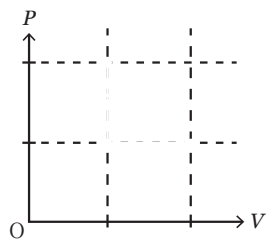
圧力  $P_0$ 、体積  $V_0$  の  $n$  モルの単原子分子理想気体があり、この状態を A とする。はじめ、体積を一定に保ち、圧力が  $2P_0$  の状態 B に変化させる。次に、状態 B から温度を一定に保ち、体積が  $2V_0$  の状態 C に変化させる。最後に、状態 C から圧力を一定に保ち、状態 A に戻す。気体定数を  $R$  として、次の各問いに答えよ。

\\ つづき /

Q

(1) 圧力  $P$  を縦軸にとり、体積  $V$  を横軸にとって、状態変化 ( $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ) を表すグラフ ( $P$ - $V$  グラフ) をかけ。

解答



答

\\ つづき /

Q

(2) 状態 A での絶対温度  $T_A$  はいくらか。

解答

..... 答

\\ つづき /

Q

(3) 状態 B での絶対温度  $T_B$  はいくらか。

解答

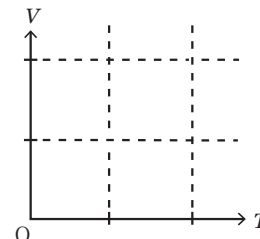
..... 答

\\ つづき /

Q

(4) 体積  $V$  を縦軸にとり、絶対温度  $T$  を横軸にとって、状態変化 ( $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ) を表すグラフ ( $V$ - $T$  グラフ) をかけ。

解答



答

\\ つづき /

Q

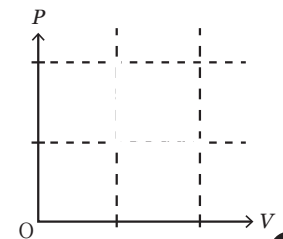
(5) 状態変化 ( $A \rightarrow B$ ) における内部エネルギーの増加はいくらか。

解答

\\ つづき /

Q

(6) 状態変化 ( $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ) で、気体が外部にした正味の仕事を、(1) でかいた  $P$ - $V$  グラフ中に斜線をつけて示せ。



答

1 サイクルにおいて、気体が外部にした正味の仕事

⇒  $P$ - $V$  グラフの

状態変化の問題 ⇒

をかきながら解いていく

秘

テクニック

## 73

## 熱力学の第1法則

◎ 解説動画



\ 押さえよ /

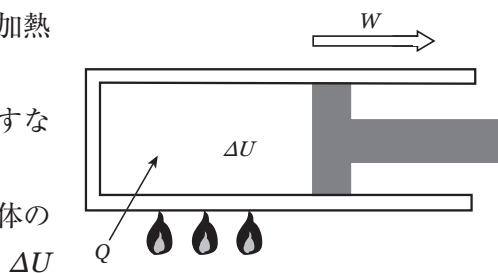


熱力学の第1法則

$Q$ : 気体が	した熱量
$\Delta U$ : 内部エネルギーの	
$W$ : 気体が	仕事

## 📌 熱力学の第1法則とは何か？

図のように、気体を加熱すると、気体の温度はし、体積はする。すなわち、気体は熱量  $Q$  をすると、その一部は気体の



に費やされ、残りは  $W$  に使われる。  
この関係を という。

POINT



熱力学の第1法則

$Q$ : 気体が	した熱量
$\Delta U$ : 内部エネルギーの	
$W$ : 気体が	仕事

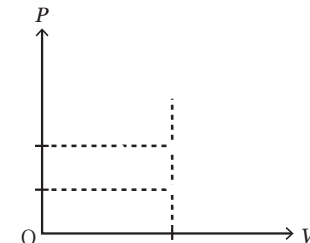
📌 温度変化と  $P$ - $V$  グラフの関係を調べよう。

復習

温度  $T = \text{一定}$  を表す  $P$ - $V$  グラフをかけ。ボイル・シャルルの法則  $PV = k(\text{一定})$  より

$$P = \frac{k}{V} \quad (kT \text{ は定数}) \quad \cdots \textcircled{1}$$

となるので、温度  $T = \text{一定}$  の  
グラフは右図のようになる。

\ やって  
みよう /

Q

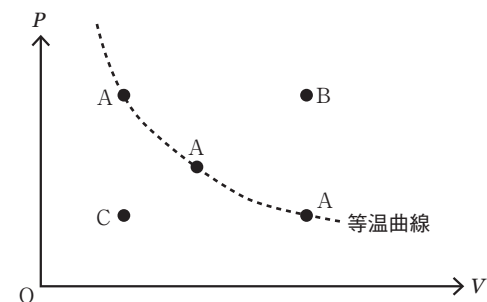
 $T' > T$  となる温度  $T' = \text{一定}$  を表す  $P$ - $V$  グラフをかけ。

解答

📌 の①式より、同じ体積  $V$  において、 $T' > T$  となる温度  $T'$  に  
対応する圧力  $P'$  は、 $P$  よりも なる。したがって、 $T' = \text{一定}$   
を表す  $P$ - $V$  グラフは、 $T = \text{一定}$  を表す  $P$ - $V$  グラフよりも の領  
域に存在し、 となる。

秘

テクニック

 $A \rightarrow B$  : 温度は $A \rightarrow C$  : 温度は

## 74

## 熱学解法の3本柱

◎ 解説動画



## 熱学解法の3本柱

## ① ボイル・シャルルの法則

(気体の状態方程式 )

## ② 気体の内部エネルギー

(単原子分子限定)

## ③ 熱力学第1法則

$$\left( \begin{array}{l} Q: \text{気体が した熱量} \\ \Delta U: \text{内部エネルギーの} \\ W: \text{気体が 仕事} \end{array} \right)$$

\ 押さえよ /



## ① ボイル・シャルルの法則

(気体の状態方程式 )

## ② 気体の内部エネルギー

(単原子分子限定)

## ③ 熱力学第1法則

秘

テクニック

熱学の問題は である。

## 📌 熱学の問題の解法をまとめてみよう。

熱学分野の重要な考えかたがほぼ出そろったので、まとめをしておこう。ここであえて極端ないいかたをすれば

- ・熱学の問題は である。
- ・熱学の問題で解法が思い浮かばなければ、次の①、②、③を順にあてはめてみればよい。

## 75

## 気体の状態変化①

◎ 解説動画

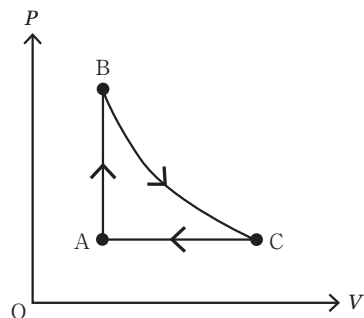


復習

熱力学の第1法則

$$\left( \begin{array}{l} Q: \text{気体が した熱量} \\ \Delta U: \text{内部エネルギーの} \\ W: \text{気体が 仕事} \end{array} \right)$$

一定質量の理想気体が、右の  $P$ - $V$  グラフで表されるような状態変化  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  を起こした。 $B \rightarrow C$  は温度一定の変化である。各状態変化において、気体が吸収した熱量を  $Q$ 、内部エネルギーの増加を  $\Delta U$ 、気体が外部にした仕事を  $W$  とする。



### 📌 各状態変化における $Q$ , $\Delta U$ , $W$ について考えよう。

$A \rightarrow B$  は 一定を保って起こした状態変化で、これを という。この変化では、温度は したので、 $\Delta U$  である。体積は なので、 $W$  である。したがって、熱力学第1法則より  $Q$  となり、気体は熱を したことがわかる。

$B \rightarrow C$  は温度一定を保って起こした状態変化で、これを という。この変化では、温度は一定だったので、 $\Delta U$  である。体積は したので、 $W$  である。したがって、熱力学第1法則より  $Q$  となり、気体は熱を したことがわかる。

$C \rightarrow A$  は 一定を保って起こした状態変化で、これを という。この変化では、温度は したので、 $\Delta U$  である。体積は したので、 $W$  である。したがって、熱力学第1法則より、 $Q$  となり、気体は熱を したことがわかる。

## 76

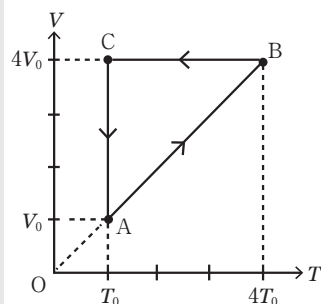
## 気体の状態変化②

◎ 解説動画

\\ つづき /  
やってみよう /

Q

なめらかに動くピストンをもった円筒容器があり、その中に  $1\text{mol}$  の理想気体が閉じこめられている。この理想気体の内部エネルギーは、絶対温度  $T$  のとき、気体定数  $R$  を用いて  $\frac{3}{2}RT$  と表される。図のように、温度  $T_0$ 、体積  $V_0$  の状態 A からゆっくりと状態を変化させ、 $A \rightarrow B$ 、 $B \rightarrow C$ 、 $C \rightarrow A$  の過程を経て状態 A に戻した。ここで状態 B の温度は  $4T_0$ 、体積は  $4V_0$ 、状態 C の温度は  $T_0$ 、体積は  $4V_0$  である。この過程に関して次の問いに答えよ。



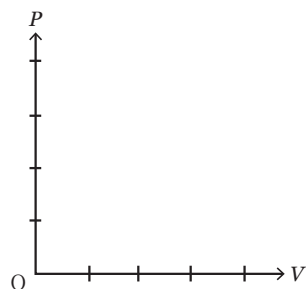
(電気通信大)

\\ つづき /

Q

(1) 縦軸に圧力  $P$ 、横軸に体積  $V$  をとって、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  の状態変化を表す曲線をかけ。

解答



答

\\ つづき /  
Q

(2)  $A \rightarrow B$  の過程では気体は外に対して仕事をするのか、あるいは外から仕事をされるのか答えよ。次にその大きさ  $W$  を求めよ。

解答

..... 答

\\ つづき /  
Q

(3)  $A \rightarrow B$  の過程では気体は熱を吸収するのか放出するのか答えよ。次にその大きさ  $Q_1$  を求めよ。

解答

..... 答

\\ つづき /  
Q

(4)  $B \rightarrow C$  の過程では気体は熱を吸収するのか放出するのか答えよ。次にその大きさ  $Q_2$  を求めよ。

解答

..... 答

\\ つづき /  
Q

(5) (1) で  $P$ - $V$  グラフで囲まれている図形の面積は何を表すか。

解答

..... 答

## 77

## 断熱自由膨張

◎ 解説動画

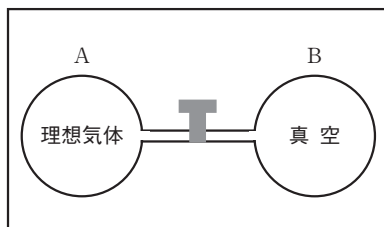


\ 押さえよ /



断熱自由膨張 ⇒ 温度は

断熱された2つの容器 A, B が、コックの付いた細管でつながれている。A には理想気体を入れ、B は真空にしておく。コックを開くと A 内の気体は B 内へ広がっていく。これを



という。この過程において、A, B 全体が吸収した熱量  $Q =$  , 外部にした仕事  $W =$  だから、熱力学の第1法則  $Q = \Delta U + W$  より、内部エネルギーの増加  $\Delta U =$  となる。したがって、断熱自由膨張では、気体の温度は ことがわかる。

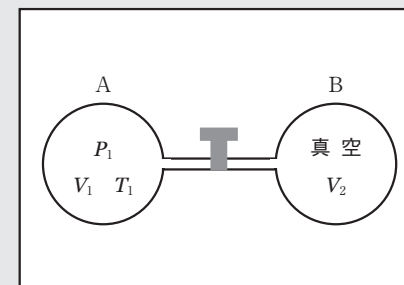
POINT



断熱自由膨張 ⇒ 温度は

 やって  
みよう /  
Q

体積  $V_1$  の容器 A と体積  $V_2$  の容器 B が、コックのついた細管でつながれ、全体が断熱されている。A には圧力  $P_1$ 、絶対温度  $T_1$  の理想気体を入れ、B は真空にしておく。コックを開いてしばらく時間が経過した。


 つづき /  
Q

(1) 気体の絶対温度はいくらになるか。

解答

..... 答

 つづき /  
Q

(2) 気体の圧力はいくらになるか。

解答

..... 答



## 78

## 断熱変化①

◎ 解説動画



\ 押さえよ /

断熱圧縮  $\Rightarrow$  温度断熱膨張  $\Rightarrow$  温度

$P$ - $V$  グラフにおいて、断熱曲線は等温曲線よりも  
になる。

## ↓ 断熱変化とは何か？

気体が外部と熱の出入りなしに起こす状態変化を                      と  
いう。

気体が断熱的に圧縮(                      )されるとき、気体が吸収する  
熱量  $Q =$  , 気体が外部にした仕事  $W$     0 だから、熱力学第1  
法則  $Q = \Delta U + W$  より、 $\Delta U$     0 となり温度は                      する。

逆に、気体が断熱的に膨張(                      )するとき、 $Q =$  ,  
 $W$     0 だから、 $Q = \Delta U + W$  より  $\Delta U$     0 となり温度は                      する。

POINT

断熱圧縮  $\Rightarrow$  温度断熱膨張  $\Rightarrow$  温度

## ↓ 断熱曲線と等温曲線の傾きを比べよう。

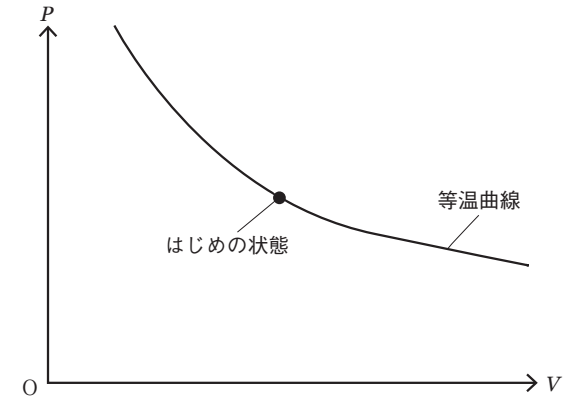
はじめの状態から、気体を断熱的に圧縮すると温度は                      し、  
断熱的に膨張させると温度は                      する。

やっ  
て  
み  
よう

Q

上で考えた断熱変化(断熱曲線)を、次の  $P$ - $V$  グラフにかけ。

解答



答

(参考) 等温曲線：

断熱曲線：                      (単原子分子)

POINT



$P$ - $V$  グラフにおいて、断熱曲線は等温曲線よりも  
になる。

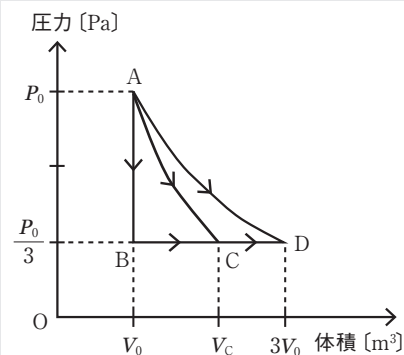
## 79

## 断熱変化②

◎ 解説動画


 やって  
みよう /  
Q

なめらかに動くピストンをもつ容器内に、1mol の単原子分子の理想気体が入っている。図は、その気体の圧力と体積の関係を表すグラフである。圧力  $P_0$  [Pa]、体積  $V_0$  [m<sup>3</sup>] の状態 A を初期状態とし、定圧変化、定積変化、等温変化、断熱変化のいずれかの方法で、図に示すような状態 B、状態 C、状態 D に変化させた。ただし、 $V_0 < V_C < 3V_0$  である。以下の問いに答えよ。



(京都府立大)

 つづき /  
Q

(1)  $A \rightarrow B$ ,  $A \rightarrow C$ ,  $A \rightarrow D$  の状態変化は、定圧変化、定積変化、等温変化、断熱変化のうち、どの変化に対応するか答えよ。

解答

..... 答

..... 答

..... 答

 つづき /  
Q

(2)  $A \rightarrow B$  において気体の内部エネルギーは、増加するか減少するか答えよ。また、その変化量の大きさ [J] を求めよ。

解答

..... 答

..... 答

 つづき /  
Q

(3)  $B \rightarrow C \rightarrow D$  において、気体が外部にした仕事 [J] を求めよ。

解答

..... 答

 つづき /  
Q

(4)  $A \rightarrow C$  において、気体が外部にした仕事 [J] を求めよ。

解答

..... 答

 つづき /  
Q

(5)  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ ,  $A \rightarrow C \rightarrow D$ ,  $A \rightarrow D$  の3通りの変化において、気体が外部にした仕事を  $W_{A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D}$  [J],  $W_{A \rightarrow C \rightarrow D}$  [J],  $W_{A \rightarrow D}$  [J] とする。それらの大小を不等号で示せ。

解答

..... 答

## 80

## 定積モル比熱と内部エネルギー

◎ 解説動画



定積変化において成り立つ関係式

$$Q = \left( \text{単原子分子の場合 } C_v = \right)$$

気体の内部エネルギー（常に成り立つ関係式）

$$\Delta U =$$

\ 押さえよ /



復習

比熱  $c$  (J/g・K), 質量  $m$  (g) の物質の温度を,  $\Delta T$  (K) 上昇させるのに必要な熱量  $Q$  (J) はいくらか。

解答

$$Q = \dots \text{ 答}$$

## ↓ モル比熱とは何か？

物質 1 モルの温度を 1K 上昇させるのに必要な熱量をという。モル比熱  $C$  (J/mol・K) の物質  $n$  モルの温度を  $\Delta T$  (K) 上昇させるのに必要な熱量  $Q$  (J) は

$$Q =$$

と表される。気体の場合は, 体積を一定に保つか, 圧力を一定に保つかにより, 比熱が異なる。

## ↓ 定積モル比熱とは何か？

$n$  モルの気体を体積一定に保ちながら加熱して,  $Q$  (J) の熱量を与えたとき, 温度が  $\Delta T$  (K) だけ上昇したとする。このときの気体の比熱 ( )  $C_v$  (J/mol・K) は

$$C_v =$$

と表される。ここで, 体積一定であるから, 熱力学第 1 法則  $Q = \Delta U + W$  において,  $W =$  となり,  $Q =$  と表される。

したがって

$$C_v = \Delta U =$$

となる。特に, 単原子分子理想気体では,  $\Delta U =$  となるので, 定積モル比熱  $C_v$  は, 次のように表される。

$$C_v =$$

POINT



定積変化において成り立つ関係式

$$Q = \left( \text{単原子分子の場合 } C_v = \right)$$

POINT



気体の内部エネルギー（常に成り立つ関係式）

$$\Delta U =$$

## 81

定圧モル比熱と  
マイヤーの関係式

◎ 解説動画



定圧変化において成り立つ関係式

$$Q = \left( \text{単原子分子の場合 } C_P = \right)$$

マイヤーの関係式

\ 押さえよ /



復習

定積変化において成り立つ関係式

$$Q = \left( \text{単原子分子の場合 } C_V = \right)$$

気体の内部エネルギー(常に成り立つ関係式)

$$\Delta U =$$

## 📌 定圧モル比熱とは何か？

$n$  mol の気体を圧力一定に保ちながら加熱して、 $Q$  [J] の熱量を与えたとき、温度が  $\Delta T$  [K] だけ上昇したとする。このときの気体の比熱( )  $C_P$  [J/mol・K] は

$$C_P =$$

と表される。ここで、圧力一定であるから、熱力学第1法則  $Q = \Delta U + W$  において、 $W =$  = の関係があり、また、 $\Delta U =$  であるから、定圧モル比熱  $C_P$  と定積モル比熱  $C_V$  の間には次の関係式( ) が成り立つ。

$$C_P =$$

特に、単原子分子気体では

$$C_P =$$

と表される。

POINT



定圧変化において成り立つ関係式

$$Q = \left( \text{単原子分子の場合 } C_P = \right)$$

POINT



マイヤーの関係式

## 📌 熱学解法の3本柱をマイナーチェンジしておこう。

## 熱学解法の3本柱

## ① ボイル・シャルルの法則

(気体の状態方程式 )

## ② 気体の内部エネルギー

$$\left( \text{単原子分子の場合 } C_V = \right)$$

## ③ 熱力学第1法則

秘

テクニック

## 82

## ポアソンの関係式

◎ 解説動画



\ 押さえよ /

断熱変化  $\gamma = \text{一定}$ , 比熱比  $\gamma =$ 

## 📌 ポアソンの関係式を導こう。

$n$  mol の理想気体があり、はじめ圧力  $P$ , 体積  $V$ , 絶対温度  $T$  の状態  $S$  であった。この気体を圧力  $P + \Delta P$ , 体積  $V + \Delta V$ , 絶対温度  $T + \Delta T$  の状態  $S'$  に断熱変化させる。

ただし、 $\Delta P$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta T$  は微小量で、それらの 2 次以上の量は無視できる。定積モル比熱を  $C_v$ , 定圧モル比熱を  $C_p$ , 気体定数を  $R$  とする。

$S$ ,  $S'$  それぞれの状態方程式は

$S$  :

$S'$  :

となり、上の 2 式より次の関係が示される。

...①

ところで、断熱変化では気体が吸収する熱量  $Q =$  であるから、熱力学第 1 法則は次のように書ける。

...②

ここで、気体の内部エネルギーの増加  $\Delta U =$  , 気体が外部にした仕事  $W =$  だから②式は次のようになる。

...③

①, ③より  $\Delta T$  を消去し、マイヤーの関係式  $R =$  を用いて  $R$  も消去すると

$$\frac{\Delta P}{P} =$$

(参考)

このあと、不定積分を実行すると

$$\log P = -\frac{C_p}{C_v} \log V + C$$

$$\log PV^{\frac{C_p}{C_v}} = C$$

$$PV^{\frac{C_p}{C_v}} = \text{一定}$$

ここで、 $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$  (比熱比) とおくと

$$PV^\gamma = \text{一定} \quad (\text{ポアソンの関係式})$$

## 83

## 熱機関の熱効率

◎ 解説動画



\ 押さえよ /

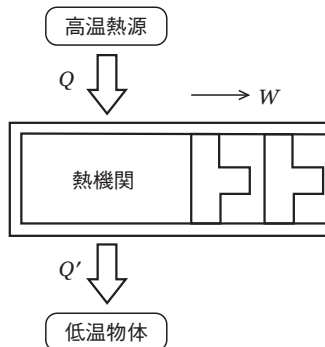


$$\text{熱効率 } e = \frac{\text{外部にした}}{\text{から}} \frac{\text{の}}{\text{熱量}}$$

## 📌 熱機関とは何か？

エンジンや蒸気機関のように、繰り返し運動して を に変える装置を という。

熱機関では、高温の熱源から得た熱量  $Q$  の一部を仕事  $W$  に変え、残りの熱量  $Q'$  を低温物体に捨てている。よって、 $W =$  が成り立っている。



## 📌 熱効率とは何か？

熱機関では、1 サイクルで元の状態に戻すために、必ず低温物体に熱量  $Q'$  を捨てている。そのため、 $W = Q$  となり、熱機関が外部にする正味の仕事  $W$  は、高温の熱源から得た熱量  $Q$  よりも なる。そこで、 $Q$  に対する  $W$  の割合を考え、これを熱機関の という。熱効率  $e$  は次の式で表される。

$$\text{熱効率 } e = \frac{\text{外部にした}}{\text{から}} \frac{\text{の}}{\text{熱量}}$$

POINT

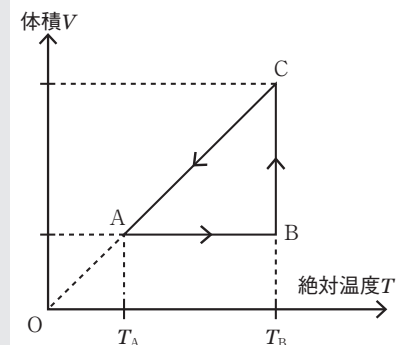


$$\text{熱効率 } e = \frac{\text{外部にした}}{\text{から}} \frac{\text{の}}{\text{熱量}}$$

\ やって /  
みよう /

Q

右の  $V$ - $T$  グラフに示すような状態変化を起こす熱機関について考える。状態変化  $B \rightarrow C$  において気体が吸収する熱量を  $Q_{BC}$  とする。この気体は理想気体と見なすことができ、そのモル数は  $n$ 、定積モル比熱は  $C_V$ 、気体定数は  $R$  である。



\ つづき /

Q

(1) 各状態変化  $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow C$ ,  $C \rightarrow A$  において、気体が吸収する熱量  $Q$ , 内部エネルギーの増加  $\Delta U$ , 気体が外部にする仕事  $W$  を求め、下の表を完成せよ。

解答

	$A \rightarrow B$	$B \rightarrow C$	$C \rightarrow A$
$Q$		$Q_{BC}$	$nC_P(T_A - T_B)$
$\Delta U$			$=$
$W$			$nC_V(T_A - T_B) =$

\ つづき /

Q

(2) この熱機関の熱効率  $e$  を求めよ。

解答

..... 答