

○ ボイル・シャルルの法則と状態方程式

・ボイルの法則

気体を閉じ込めて、温度Tを一定に保った状態で気体の体積Vを外から力を加えて小さくすると、圧力Pは（ **大きく** ）なります。このとき圧力Pと体積Vは（ **反比例** ）の関係があります。

$$P = \text{定数} \times \frac{1}{V}$$

$$(PV) = \text{一定}$$



イメージ 部屋がせまくなったので、単位時間あたりに多くの分子が容器に衝突することにより、圧力が大きくなります。

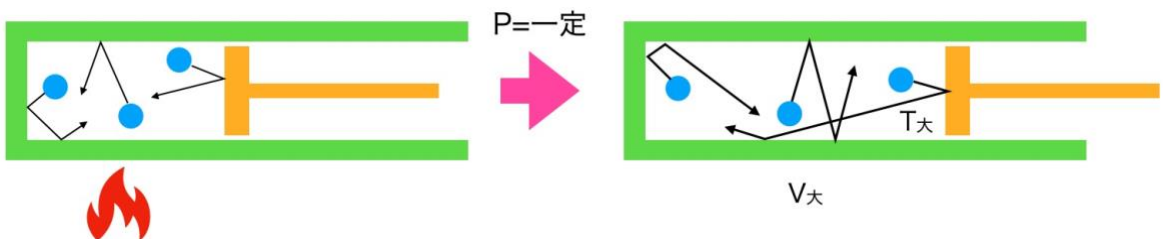
・シャルルの法則

気体を閉じ込めてピストンを自由に動けるようにして、圧力Pを一定に保ちながら、気体をあたためて温度Tを上昇させると、体積Vは（ **大きく** ）なります。このとき温度Tと体積Vは（ **比例** ）します。

$$V = \text{定数} \times T$$

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

イメージ 気体に熱を加えると熱運動が激しくなって、単位時間あたりにピストンにたくさんの分子が衝突して、ピストンを押して、体積が大きくなります（空気が膨張する）。



・ボイル・シャルルの法則

2つの法則を合わせて1つにまとめると、気体に対して次の法則が成り立ちます。

$$\left(\frac{PV}{T} \right) = \text{一定} \quad \boxed{\text{覚える}}$$

参考 ボイルの法則とシャルルの法則は、ロバート・ボイル(1627-1691)とジャック・シャルル

(1746-1817)の生きた時代からもわかるように、それぞれ別々に発見されたものです。

問題 図のようにストッパーのついた円筒形の容器を横にして置く。容器の底からピストンまでの長さは18cm、このときの気体の温度は300K、大気圧は $1.0 \times 10^5 \text{Pa}$ でした。この容器を温めて、内部の温度を400Kにすると、気体が膨張してピストンを押し、ピストンはストッパーで止められた。容器の底からピストンまでの長さは20cmであった。容器内の圧力 p [Pa] を求めよ。



ボイル・シャルルの法則より、

$$\frac{1.0 \times 10^5 \times 0.18 \times S}{300} = \frac{P' \times 0.20 \times S}{400}$$
$$P' = \frac{400 \times 0.18}{300 \times 0.20} \times 10^5$$
$$= 1.2 \times 10^5 [\text{Pa}]$$

○ 理想気体の状態方程式

気体の分子や原子は、現実的に扱うときには1粒1粒数えるには数が多すぎるので、(6.0×10^{23}) 個の原子または分子を、1 [mol]として1まとめにして扱います。 6.0×10^{23} 個を(**アボガドロ数**) といひ、文字では N_A を用いて表します (なおこの値 (1mol) は、炭素 12 (6個の陽子と6個の中性子) の質量が 12g に近くなるように選ばれました。そのため原子量や分子量に g をつけた質量はほぼ 1 mol です)。

またどんな気体でも、標準状態 (273[K]、 $1.013 \times 10^5 [\text{Pa}]$) にして 1[mol]の体積を量ると、(**2.4**) [L] = $2.24 \times (10^{-2})$ [m³]になります (化学では L、物理では m³ をよく使用します)。ある標準状態 (273K、 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$) の気体 1 mol ($2.24 \times 10^{-2} \text{m}^3$) について、 $\frac{PV}{T}$ を求めてみると…、

$$\frac{PV}{T} = \frac{1.013 \times 10^5 \times 2.24 \times 10^{-2}}{273} = (\mathbf{8.31})$$

となります。この 8.31 は気体の種類によらない数字で、(**気体定数 R**) といひます。また気体 2mol の右辺を調べると、体積 V が2倍になるので $2R$ となり、3mol で右辺を調べると $3R$ になります。このことから物質 n [mol] の場合は、次の式で表され、理想気体の (**状態方程式**) といひます。

$$\frac{PV}{T} = (n) R$$

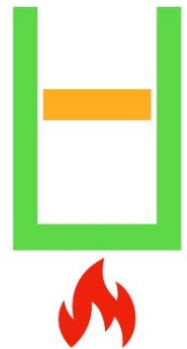
$$PV = (nRT) \quad \boxed{\text{状態方程式 覚える}}$$

なお気体の原子・分子の間にはたらく力や、体積が無視できるものとして、上の式が成り立つ仮想的な気体を（理想気体）といいます。実際の気体でも室温付近では、気体の種類によらず理想気体の状態方程式がよい近似で成り立ちます。

参考 ボイル・シャルルの法則を拡張したものが、理想気体の状態方程式なので、状態方程式はボイル・シャルルの法則を含んでいます。ただし計算を解く上では、ボイル・シャルルのほうが速く計算できて便利なこともあります。どちらも覚えましょう。



問題 なめらかに動く質量 M [kg] のピストンをそなえた底面積 S [m²] の円筒形の容器に、1mol の理想気体が入っている。重力加速度の大きさを g [m/s²]、大気圧を p_0 [Pa]、気体定数を R [J/(mol·K)] とする。



(1) 気体の温度が T_0 [K] のとき、容器の底からピストンまでの高さ L_0 は何 m ですか。

(2) 加熱して気体の温度を T_0 [K] から T [K] にした。気体の体積の増加 ΔV は何 m³ ですか。

(1) 容器内の気体の圧力を P とすると、

$$P \times SL_0 = 1 \times R \times T_0 \quad \textcircled{1}$$

またピストンの間での力のつり合いから、

$$PS = P_0S + Mg \rightarrow P = P_0 + \frac{Mg}{S} \quad \textcircled{2}$$

これらのことから、

$$\left(P_0 + \frac{Mg}{S}\right)SL_0 = RT_0 \rightarrow L_0 = \frac{RT_0}{P_0S + Mg} [m]$$

(2)

$$\frac{PSL_0}{T_0} = \frac{PSL'}{T} \rightarrow L' = \frac{T}{T_0}L_0$$

$$\Delta V = L'S - L_0S = \frac{T}{T_0}L_0S - L_0S = \left(\frac{T - T_0}{T_0}\right)L_0S = \left(\frac{T - T_0}{T_0}\right)\frac{RT_0}{P_0S + Mg}S = \frac{RS(T - T_0)}{P_0S + Mg} [m^3]$$