物理 授業プリント⑤

＜熱力学　第１章 熱とエネルギー＞

＜熱力学　第２章 気体分子の運動＞

○熱と温度の違い

（例）40 ℃のお湯 100 L（A）と、80 ℃のお湯 1 L（B）

↓

温度が高いのは＿＿＿だが、熱量が多いのは＿＿＿

⇧

・熱量 ＝ ＿＿＿＿＿＿＿のエネルギー

・温度 ＝ ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿のエネルギーを表す量

○粒子の熱運動

物質を構成する粒子（原子・分子など）は、じっとしているのではなく

＿＿＿＿＿＿（＝ランダムな動き）をしている。

例：コップの中で静かに止まっているように見える水であっても、
水分子は激しく熱運動をしている
空気中の窒素、酸素などの分子も、目には見えないが激しく
熱運動をしている（秒速数百メートル！）

⇩

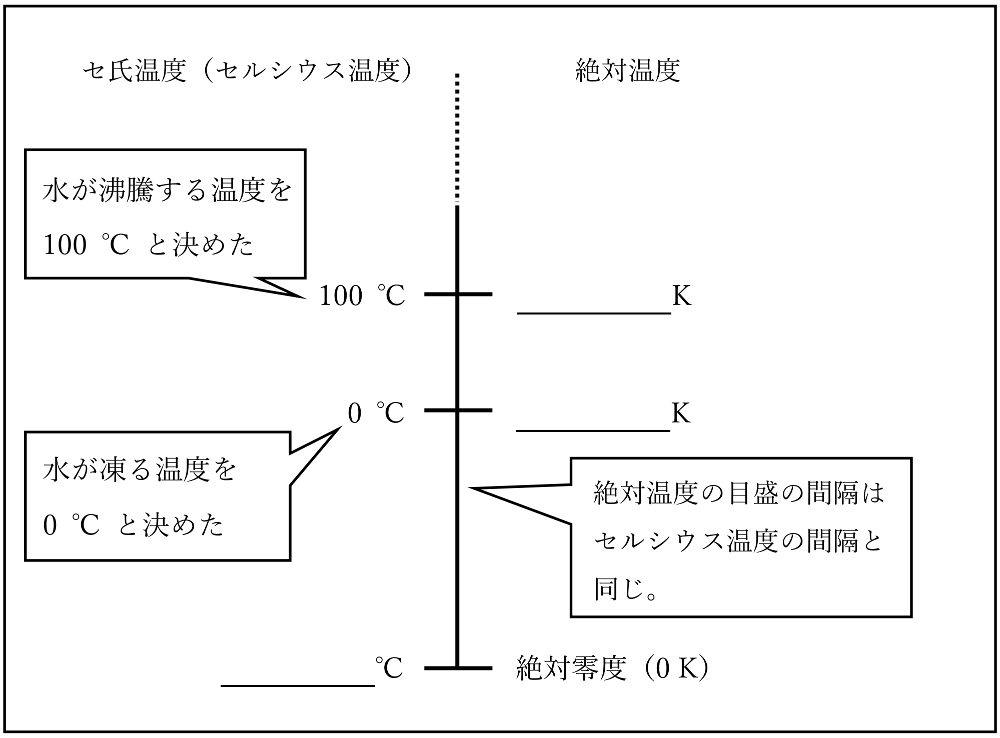
物体の温度が高くなる ＝ 物体を構成する粒子の熱運動が＿＿＿＿＿＿＿＿

○絶対温度

温度には、________はあるが________はない。

→ 温度の下限（＝熱運動が________した状態）を________________とし、

これを原点として表す温度を________________という



○状態変化

物質は、次のように３つの状態の間で変化する（教科書 p190 の図を参照）

気体：粒子が自由に飛び回り、__________になる

________ ↑ ↓ ________　　　　　　________

液体：粒子が自由に移動できるが、______________

________ ↑ ↓ ________

固体：粒子が___________位置にいて、そこで_________している

○熱膨張

物体の温度が上昇すると、構成粒子の熱運動が__________なるため

体積が__________なる。

↑

・固体の場合：構成粒子は一定の位置にあるままだが、

より激しく________するようになるので膨張する。

例：線路の継ぎ目

・液体や気体の場合：構成粒子の熱運動が激しくなり、粒子どうしの

間隔が__________なるので膨張する。

例：棒温度計

○熱量の求め方

・熱量 Q（＿＿＿）　＝ 物体全体が持つ＿＿＿＿＿＿＿＿＿

・熱容量 C（＿＿＿）＝ 物体＿＿＿＿の温度を 1 K 上昇させるのに必要な熱量

物体の種類や質量によって決まる。

・比熱 c（＿＿＿＿）＝ 物体＿＿＿＿の温度を 1 K 上昇させるのに必要な熱量

物体の種類だけで決まる。

⇩

・熱容量 C（J/K）は、物体の質量 m（g）と比熱 c（J/g･K）を使って

C ＝ ＿＿＿＿＿＿

と表すことができる。

・物体の温度を ΔT（K）だけ上昇させるのに必要な熱量 Q（J）は

Q ＝ ＿＿＿＿＿＿ ＝ ＿＿＿＿＿＿

と表すことができる。

（練習）100 g の水の温度を 20 ℃から 90 ℃にするのに必要な熱量を測定すると、3.0×10^4 J であった。この結果から水の比熱を概算せよ。

（練習）質量 100 g の銅製の容器に水が 80 g 入っている。銅の比熱を 0.38 J/g･K、水の比熱を 4.2 J/g･K として、全体の熱容量を求めよ。

○状態変化における温度変化

物質が状態変化するとき、教科書 p196 図 7 のような温度変化をする。

・温度が上昇しているとき

加えた熱が、粒子の＿＿＿＿＿＿を＿＿＿＿＿＿するのに使われる

・温度が一定のとき

加えた熱が、粒子を＿＿＿＿＿＿にするのに使われる

… 粒子間には引力がはたらいているので、＿＿＿＿＿＿にするにはエネルギーが必要

⇧

・固体 ⇔ 液体 の変化時に出入りする熱 ＝ ＿＿＿＿＿＿ (＿＿＿＿)

・液体 ⇔ 気体 の変化時に出入りする熱 ＝ ＿＿＿＿＿＿ (＿＿＿＿)

例：水の蒸発熱は 2257 J/g

… 水 1 g を蒸発させるには 2257 J のエネルギーが必要だということ

※ 状態変化にともなって出入りする熱（融解熱や蒸発熱）を＿＿＿＿という。

（練習）ある量の水を 1 気圧、100 ℃で蒸発させるための熱量は、同量の水を 0 ℃から 100 ℃にするための熱量の何倍か。教科書 p196 図 7 中の値を用いて答えよ。

（練習）−5.0 ℃の氷 10 g がある。これを 20 ℃の水にするのに必要な熱量はいくらか。教科書 p196 図 7 中の値を用いて答えよ。

○熱の移動

温度差のある２つの物体が接触すると、

_________の物体 ⇒ _________の物体

の向きに熱が移動する。

↓

２つの物体の温度が__________なると、見かけ上熱の移動がストップする

この状態を「熱平衡」という。

※ 熱の移動が起こるときに重要なのは、

高温の物体が_________熱量 ＝ 低温の物体が_________熱量

という関係である（この関係を「熱量の保存」という）。

（練習）断熱材で囲まれた容器に 20 ℃の水が 100 g 入っている。この中へ 80 ℃の水 40 g を混ぜた。熱平衡に達したときの温度は何℃になるか。ただし、容器の熱容量は無視できるものとする。

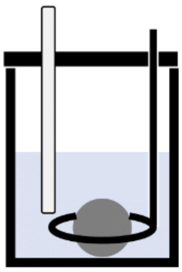
断熱材 ＝ 熱を通さない物質

（練習）断熱材で囲まれた容器に 20 ℃の水が 100 g 入っている。この中へ 80 ℃の水 40 g を混ぜた。熱平衡に達したときの温度は 34 ℃であった。容器の熱容量はいくらか。ただし、水の比熱を 4.2 J/g·K とする。

（練習）断熱材で囲まれた熱容量 90 J/K の銅製容器に 22.2 ℃の水が 150 g 入っている。この中へ 97.2 ℃にあたためた 78 g の金属球を入れて水をかき混ぜたところ、温度は 25.2 ℃になった。水の比熱を 4.2 J/g·K として、以下の各問いに答えよ。

(1) 水と容器に入った熱量はいくらか。

(2) 金属球の比熱を求めよ。



○仕事による熱の発生

熱は________________なので、仕事によって生み出される。

（例）・ものとものをこすり合わせる ⇒ 熱が発生

・空気を圧縮する ⇒ 空気の温度が________する

○気体の状態変化

気体の状態は、次の３つの値によって表される。

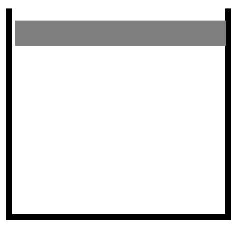
・圧力 p ：気体の圧力は、気体分子の__________が原因で発生する。

→ 気体の圧力があらゆる_______に等しくはたらく
ことが理解できる。

・体積 V

・絶対温度 T ：気体分子__________のエネルギーを表す値である。

（練習）図のように、底面積が 4.9×10^{-2} m^2 で質量が 50 kg のなめらかに動くピストンで、円筒容器に閉じ込めた空気がある。容器中の空気の圧力は何 Pa か。ただし、大気圧を 1.0×10^5 Pa、重力加速度の大きさを $9.8\ \mathrm{m/s^2}$ とする。



一定の量の気体は、次の法則に従って状態変化する。

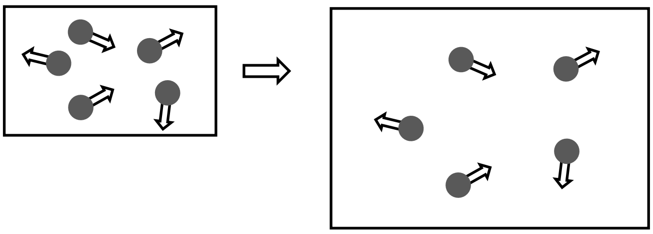
・ボイルの法則：気体の温度 T が一定のとき、

気体の圧力 p と体積 V は__________しながら変化する。

温度 T が一定：気体分子の熱運動の激しさは一定

→ 体積 V が大きくなると、容器の壁の一定面積の面に

気体分子が衝突する________が少なくなる。

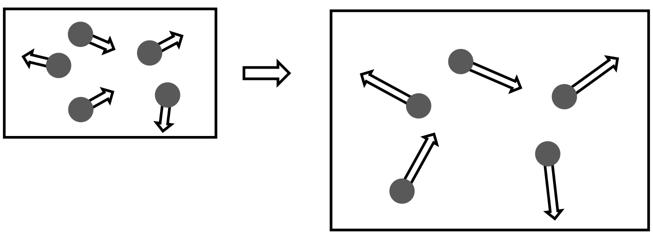


・シャルルの法則：気体の圧力 p が一定のとき、

気体の体積 V と温度 T は________しながら変化する。

温度 T が上昇すると、気体分子の熱運動が激しくなる

→ 体積 V を大きくしないと、圧力 p が変化してしまう。



（練習）圧力が 2.0×10^5 Pa、体積が 0.90 m^3 の気体を、温度を一定に保ったまま体積を 0.60 m^3 にすると、圧力は何 Pa になるか。

（練習）体積 0.60 m^3 、温度 280 K の気体を、圧力を一定に保ったまま温度を 420 K にすると、体積は何 m^3 になるか。

ボイルの法則とシャルルの法則は、次のように 1 つにまとめられる。

$\boxed{\qquad\qquad\qquad = \text{一定}}$

↑

この式を使えるようになれば、「ボイルの法則」「シャルルの法則」を別々に使う必要はない。

（練習）圧力 1.5×10^5 Pa、体積 0.60 m^3 、温度 27 ℃の気体の窒素がある。この気体の体積を 0.20 m^3 にし、温度を 127 ℃にした。気体の圧力は何 Pa になるか。

気体 1 mol の $\dfrac{pV}{T}$ の値は、次のように求められる。

標準状態（_________K、_____________Pa）では、1 mol の気体の体積は_____________m^3 である。

気体の種類に無関係

⇩

気体 1 mol の $\dfrac{pV}{T}$ ＝ $\dfrac{\qquad\qquad}{\qquad\qquad\qquad\qquad}$ ≒ _________

⇩

気体が 2 mol なら： $\dfrac{pV}{T}$ ＝ ____×8.31

気体が 3 mol なら： $\dfrac{pV}{T}$ ＝ ____×8.31

⋮

⇩

気体が n（mol）のとき、

$\boxed{\qquad\qquad\qquad\qquad}$

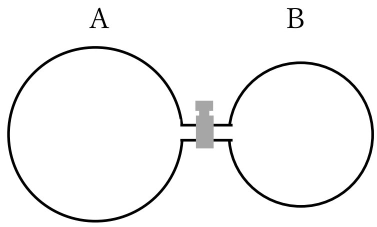
と表される。これを「理想気体の状態方程式」という。

（練習）圧力 1.2×10^5 Pa、温度 100 ℃の理想気体 2.0 mol の体積はいくらか。気体定数を 8.31 J/mol･K とする。

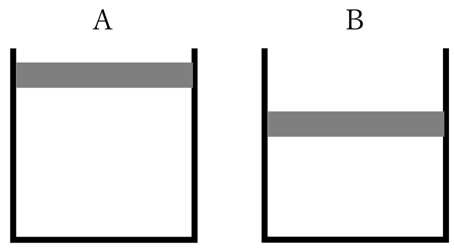
（練習）図のように、体積 2.0×10^{-2} m^3 の容器Ａと体積 1.0×10^{-2} m^3 の容器Ｂがコックのついた細い管でつながれている。初め、コックは閉じられていて、容器Ａには圧力 1.5×10^{5} Pa、温度 27 ℃の理想気体が閉じ込められている。容器Ｂは真空である。気体定数を 8.31 J/mol･K として、以下の各問いに答えよ。

(1) 容器Ａ内の気体の物質量はいくらか。

(2) コックを開き、容器Ａ、Ｂ内の気体の温度をそれぞれ 127 ℃、27 ℃に保つ。このときの気体の圧力はいくらか。

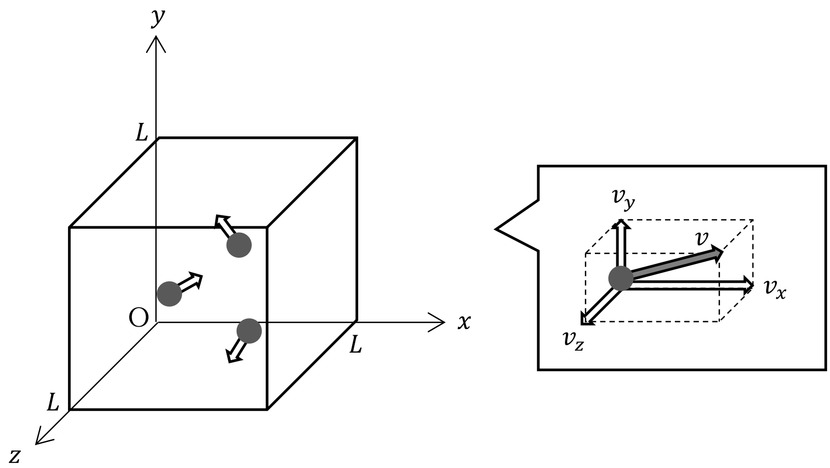


（練習）図のように、同じ断面積の円筒容器Ａ、Ｂに、なめらかに動き、質量の異なるピストンで理想気体を閉じ込める。ＢはＡに対して、気体がピストンを押す力の大きさは２倍、容器の内部の高さは $\frac{2}{3}$ 倍、絶対温度は $\frac{5}{6}$ 倍である。Ｂ内の気体の物質量はＡ内のそれの何倍か。

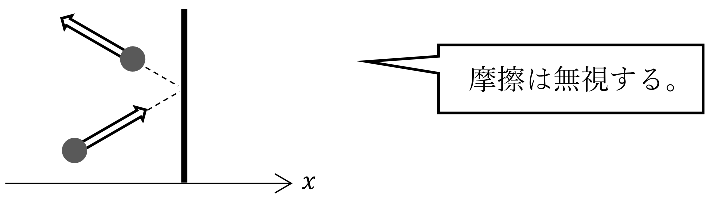


○気体分子の熱運動（気体分子運動論）

目的：気体分子の熱運動を考え、気体全体が持つエネルギーを式で表す



壁への気体分子の衝突を考える



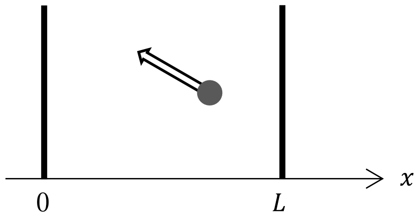
　１回の衝突で気体分子が受ける力積の大きさ

＝　１回の衝突で壁が受ける力積の大きさ

＝　____________

⇩

気体分子が x 軸に沿って距離______だけ運動すると、
再び同じ壁に衝突する。



往復する間に他の壁に衝突しても、v_x は変わらない。

このことから、単位時間（1 s 間）の衝突回数は ______ 回だと分かる。

⇩

力積 ＝ ______ × ______

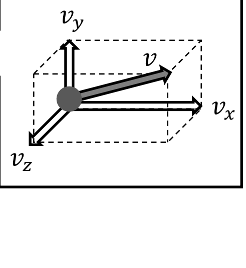
　1 つの気体分子が単位時間に壁に与える力積の大きさ

＝　1 つの気体分子が壁に与える______の大きさ

＝ ______________ ＝ __________

⇩

$\overline{v_x{}^2}$ ＝ ______ $\overline{v^2}$ 　であることを用いると、



壁が気体分子 N 個から受ける力の大きさ F は

F ＝ __________

と表すことができる。

⇩

壁の面積は＿＿＿＿であり、壁の体積は＿＿＿＿なので、
壁が受ける圧力（＝気体の圧力 p ）は

$$p = \frac{\qquad}{\qquad} = \frac{\qquad}{\qquad} = \frac{\qquad}{\qquad}$$

と求められる。

⇩

気体分子が持つ運動エネルギーの和

＝ 1個の気体分子の運動エネルギーの＿＿＿＿＿ × 気体分子の数

$$= \frac{\qquad}{\qquad} \times N$$

上で求めた式を使って変形

$$= \frac{\qquad}{\qquad} \times N$$

状態方程式 $pV = nRT$
を使って変形

$$= \frac{\qquad}{\qquad}$$

⇩

1個の気体分子が持つ運動エネルギー

$$= \frac{\qquad}{\qquad}$$

上で求めた式から

$$= \frac{\qquad}{\qquad}$$

アボガドロ定数 N_A
を使って表すと

⇩

気体分子の速さ v について考える。

$\overline{v^2}$ ＝ ＿＿＿＿＿＿ ＝ ＿＿＿＿＿＿

気体の分子量 M を使って表すと

なので、

$\sqrt{\overline{v^2}}$ ＝ ＿＿＿＿＿＿

$\sqrt{\overline{v^2}}$ ＝ 2乗平均速度

と求められる。

※ 気体分子の運動エネルギーは＿＿＿＿＿＿＿だけで決まる（気体の種類に無関係）。

※ 気体分子の速さの平均値は＿＿＿＿＿＿＿と＿＿＿＿＿＿＿＿で決まる。

（練習）分子1個の運動エネルギーの平均値が 6.21×10^{-21} J である気体の酸素の絶対温度はいくらか。また、分子1個の運動エネルギーの平均値がそれと同じである気体の水素の場合は何Kか。ただし、酸素と水素はいずれも理想気体であるとし、ボルツマン定数を 1.38×10^{-23} J/K とする。

（練習）温度 27 ℃の気体の酸素、水素、窒素がある。気体定数を 8.31 J/mol･K として、以下の各問いに有効数字 2 桁で答えよ。原子量は H＝1.0、N＝14、O＝16 とする。

(1) それぞれの気体分子のモル質量（分子量）は何 kg/mol か。

(2) それぞれの気体分子が理想気体であるとして、２乗平均速度を求めよ。