

文1・今日は気体の性質について勉強していきましよう。

文2・まずは気体の特性を見ていきましょう。

文3・物質の性質には、それを構成している分子や原子の性質に強く依存するものと、多数の分子が集まった集合体としての性質があります。

文4・物質が温度や圧力の変化につれて固体—液体—気体の三つの状態を示すのは分子集合体の一つの性質であります。

文5・気体は英語では gas と表現されますが、これはギリシャ語の chaos (カオス、混沌) に由来しています。

文6・どのような物質でも、十分に高温になれば、その物質が安定である限り、気体になります。

文7・気体、液体、固体のうちで、気体の特徴は次の三点になります。

文8・(1) 気体を構成している粒子(分子)は図1.1に示されるように、無秩序に運動します。

S1・Today, we will study the properties of gases.

S2・First, let's take a look at the characteristics of a gas.

S3・The properties of a gas include a strong dependence on the properties of the molecules and atoms that compose it, and those properties resulting from being an assembly of a large number of molecules.

S4・The transitions between the states of solid, liquid and gas by a substance in proportion to changes in temperature and/or pressure is a property of the bulk state of the substance

S5・The English word “gas” is derived from the Greek word for “chaos”.

S6・Any substance, so long as it is stable, becomes a gas if it reaches a sufficient temperature.

S7・In comparison to a liquid or a solid, a gas has the following three characteristics.

文9・すなわち、気体はたえず相互にあるいは壁と衝突を繰り返している粒子集団であります。

文10・(2) 分子と分子の間には大きな空間があります。

文11・このため、図1.2のように気体は容易に小さな圧力で圧縮されます。

文12・(3) 1、2とも関連しますが、気体が占める体積は、それが入れられている容器という外的な因子により規定されます。

S8・(1) The particles (molecules or atoms) that constitute the gas move chaotically as shown in Fig. 1.1.

S9・Accordingly, a gas is a cluster of particles that constantly and repeatedly collide with each other or with walls.

S10・(2) There is a large space in-between molecules.

S11・Hence, a gas can be easily compressed by a small pressure as shown in Fig. 1.2.

S12・(3) The volume that a gas occupies is regulated by the external factor of the container in which the gas is contained. This is also connected to (1) and (2).

キーワード(Key words)

・気体 ・分子 ・原子

かんれんようご 関連用語(Related terminologies)

・固体
・液体

にほんごかいせつ 日本語解説

文3 「～子」：ここでは「ちいさいもの」を表します(to indicate)。
分子、原子、粒子、因子

文4 「～体」：ある特徴をもったかたち。
集合体、固体、液体、気体

文4 「～につれて」：あるものが変わると、それといっしょに。

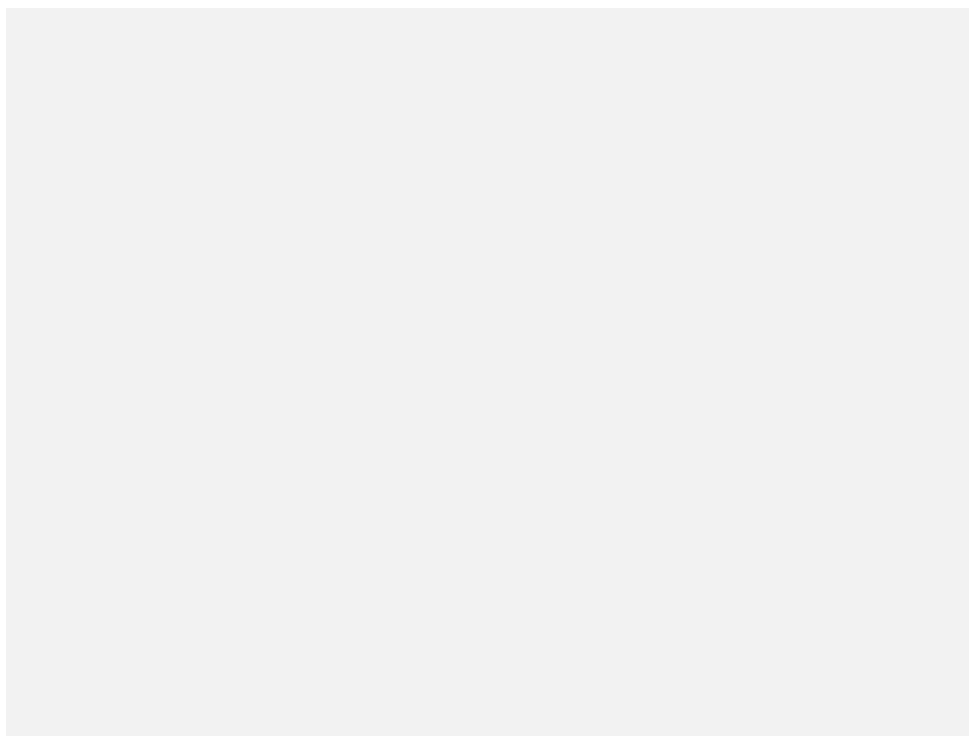
文4 「～質」：「質」(quality)と「量」(quantity)、ものの内容、もともとあるもの。
物質、性質

文5 「～に由来^{ゆらい}する」：もともとどこに origin があるのかを示^{しめ}す。

例：このお寺^{れい}の名前^{てら なまえ}は、インド^{ちめい}の地名^{ゆらい}に由来^{ゆらい}している。

文6 「～である限り^{かぎ} (as far as)」：条件^{じょうけん} (condition) を表^{あらわ}す言^いい方。

例：山^{やま}が嵐^{あらし} (storm) である限り^{かぎ}、出発^{しゅつぱつ} (departure) はできない。



文 1 ・ 本授業で取り上げられる化学者と 19
世紀以前に活躍した、聞き覚えのある化学者の
生存期間をまとめると図1.3 のようになります。

文 2 ・ この図から気体の性質の研究が近代科学
における原子論・分子論の確立過程にいか
に密接に結びついていたことが理解できると
おもいます。

文 3 ・ この後に勉強しますが、ボイルは 1654 年
にオックスフォード大学においてフックの
助けを得てポンプを組み立てて、気体の性質の
研究をスタートしました。

文 4 ・ そして 1662 年に彼はいわゆるボイルの
法則を提案しました。

文 5 ・ シャルルは気球に非常に興味を抱き、気体
に関する温度の影響を調べました。

文 6 ・ しかし、彼は自らの発見を公表せずに、
この法則を再発見して論文として公表したの
がゲイ・リュサックですので、シャルルの法則
はゲイ・リュサックの法則ともいわれます。

文 7 ・ 理想気体の法則からは現実の気体で生ず

S1 ・ The lifetimes of the chemists covered in this class
and other well-known chemists active prior to the
19th century are shown in Fig. 1.3.

S2 ・ From this diagram, it can be seen just how
intimately connected research into the properties of
gas was with the process of establishing
atomic/molecular theory in modern science.

S3 ・ This will be studied later, however. Boyle
assembled a pump at Oxford University with the
assistance of Hooke in 1654 and began research
into the properties of gas.

S4 ・ Then in 1662, he proposed what is now called
Boyle's law.

S5 ・ Charles had a strong interest in flying balloons
and investigated the effects of temperature on gas.

S6 ・ However, he did not publish his discoveries and it
was Gay-Lussac who rediscovered this law and
published it as a thesis, so Charles' law is also
called Gay-Lussac's law.

る液体への相変化は起こらないことになっ
てしまうという問題がありました。

文 8・この問題に関する研究は、アンドルーズ
によって基礎が築かれました。

文 9・彼は二酸化炭素の液化実験により臨界温度
と臨界圧力の存在に気付きました。

文 10・実在気体の研究で大きな貢献をしたの
はファン・デル・ワールスであります。

文 11・彼は実在気体に対して温度—圧力—
体積の関係、すなわち状態方程式をたて
ることを最初に試みました。

文 12・ファン・デル・ワールスによって提唱さ
れた式は、実用上の制約はあるものの、今日で
も教育的価値を失っていません。

S7・However, the fact that a phase change into a
liquid did not occur as predicted by the ideal gas
law in actual gasses was a problem.

S8・Research on this problem was based on the
foundation created by Andrews.

S9・He noticed the existence of a critical temperature
and critical pressure through carbon dioxide
liquefaction experiments.

S10・van der Waals was one scientist who made a
large contribution through research into real
gases.

S11・He was the first to attempt to construct a relation
for temperature-pressure-volume that also
accounted for the size of individual gas
molecules as well as the interaction between
them; namely, an equation of state for a real
gas.

S12・The formula proposed by Van der Waals is
limited in its practical use but has not lost its
educational value even today.

キーワード(Key words)

・ボイル ・シャルル ・ファン・デル・ワールス ・ゲイ・リュサック ・状態方程式

かんれんようご 関連用語(Related terminologies)

- ・原子論。
- ・分子論
- ・臨界温度
- ・臨界圧力

にほんごかいせつ 日本語解説

文 1「本~」:「この」という意味です。

例：本授業^{れい ほんじゆぎょう}、本大学^{ほんだいがく}など

文2 「～論」：「～」についての^{かんが}考え。接尾辞^{せつびじ}(suffix)として使^{つか}います。

例：原子論^{げんしろん}、分子論^{ぶんしろん}

文3 「～において」：「～で」と同じ。☞ 「講義^{こうぎ}に役立つ^{やくだ}日本語^{にほんご}」

文4 「いわゆる」：「一般的^{いつぱんてき}に言^いわれている」という意味^{い み}。

文5 「～に^{かん}関する」：「～について^いの」という意味^{い み}。

「～に^{かん}関する」のうしろには、名詞^{めいし}(noun)が続^{つづ}きます。

例：気体^{れい}に関する^{きたい}温度^{かん}、日本^{おんど}に関する^{にほん}本^{かん}☞ 講義^{こうぎ}に役立つ^{やくだ}日本語^{にほんご}

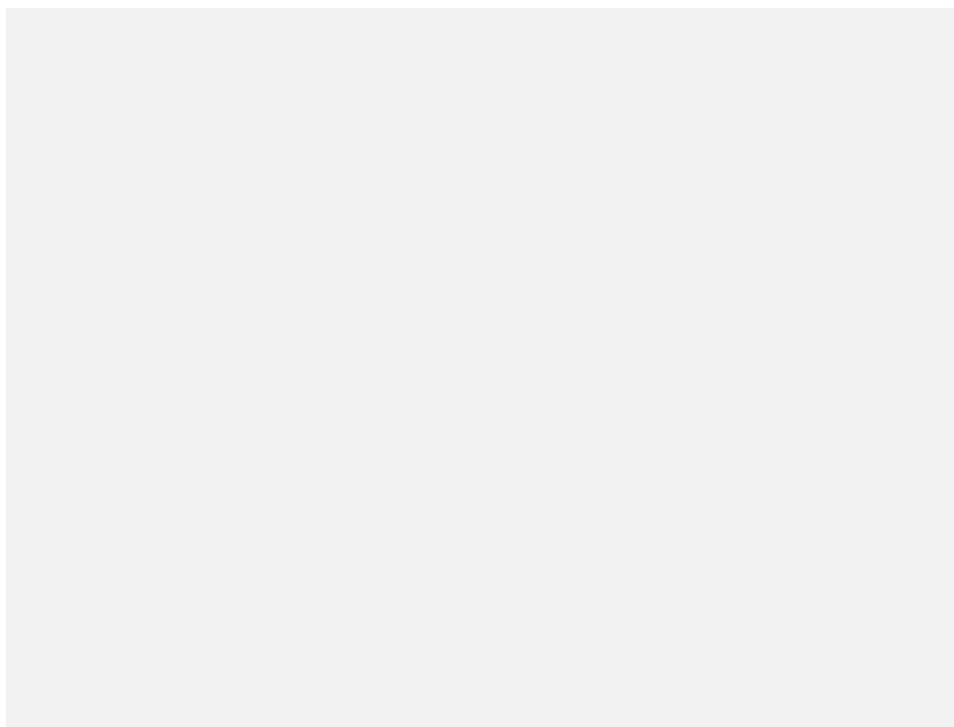
文6 「～せずに」：「～しないで(without doing ~)」と同じ。

例：公表^{こうひよう}せずに、買^かわずに

文1 1 「～式^{しき}」：ここでは、記号^{きごう}である関係^{かんけい}をあらわしたもの。

例：方程式^{ほうていしき}(equation)、公式^{こうしき}(formula)

文1 2 「～ものの」：「けれども」^{おな}と同じ意味^{い み}。



文1・では、気体の諸性質について見ていきましょう。

文2・まずは圧力依存性ですが、図1.4から分かるように、ボイルは温度一定、気体の質量一定のもとでは体積は圧力に反比例することを発見しました。

文3・ $pV = \text{const.}$

で表されるボイルの法則は近似的にしか成立しません。

文4・しかし、どんな気体でもその密度が低くなればなるほど、つまり体積が無限度に近づくと、あるいは圧力がゼロに近づくと、ボイルの法則に近づいていきます。

文5・次は温度依存性です。シャルルやゲイ・リュサックの実験から、気体の温度の変化に対して、次のシャルルの法則が導き出されました。

文6・「気体の体積は、圧力および質量が一定であれば、温度に対して直線的に変化する。」

S1・ Let's take a look at the various properties of a gas.

S2・ Firstly, with regards to pressure dependence, Boyle discovered that the volume of a gas is inversely proportional to the pressure at a fixed temperature and fixed mass of gas, as can be seen in Fig. 1.4.

S3・ Boyle's Law as expressed by

$$pV = \text{const.}$$

can only ever approximately hold true.

S4・ However, any gas approaches Boyle's Law as the density decreases, which is to say as volume approaches infinity or as pressure approaches zero.

S5・ Next is the temperature dependence. Charles' law was derived from the experiments of Charles and Gay-Lussac with concerning the change of temperature of a gas.

S6・ "The volume of gas varies linearly with

文 7 ・ 実験的には図1.5に示されるように、どんな気体でも十分に圧力を低くした条件下で、一定質量の気体の体積と温度の関係を低温側に挿入すれば、体積は-273.15 でゼロになります。

文 8 ・ この気体の体積がゼロになる温度をゼロとする温度目盛りを絶対温度、あるいはケルビン目盛りという。

文 9 ・ ケルビン目盛りの温度Tを用いると、シャルルの法則は次のような簡単な形となります。

$$V \propto T \quad (\text{圧力、質量一定})$$

文 10 ・ 気体の物理的性質に関する三つの法則は、アドガドロによって与えられました。

文 11 ・ アボガドロの法則によれば、単位物質質量が占める体積、すなわちモル体積は気体の温度、圧力がともに等しい場合には、気体の種類にかかわらず等しくなります。

文 12 ・ 気体の物質質量を n 、モル体積を V_m とすれば、体積 V は

$$V = n V_m$$

となります。

文 13 ・ 0°C 、 1013hPa (1atm)の標準状態では $V_m = 22.4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ となります。

文 14 ・ 以上の気体の三つの実験結果をまとめると式、 $pV \propto nRT$ で表すことができます

文 15 ・ ここで比例定数を R とすれば、

$$pV = nRT$$

となります。

文 16 ・ これを理想気体の式あるいは完全気体の式といいます。

文 17 ・ ここで係数 R はモル気体定数、あるいは単に気体定数と呼ばれ、どのような気体に対しても、 $R = 8.314 \text{ Pa m}^3 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ となります。

temperature if pressure and mass are constant.”

S7 ・ As shown by the experimental results in Fig. 1.5, if the volume and temperature relation for a gas of constant mass is inserted into the low temperature side, the volume of any gas under condition of sufficiently low pressure becomes zero at -273.15.

S8 ・ The temperature scale that takes the temperature at which the volume of a gas becomes zero as zero is called the absolute temperature or Kelvin scale.

S9 ・ Using temperature T on the Kelvin scale , Charles' law takes the following simple form.

$$V \propto T \quad (\text{constant pressure and mass})$$

S10 ・ The third law relating to the physical properties of a gas was given by Avogadro.

S11 ・ According to Avogadro's law, the volume occupied by one mole of a given substance, that is, the a molar volume, if the temperature and pressure of the gas are equivalent is equal irrespective of the identity of the gas.

S12 ・ Taking the amount of gaseous substance as n and the molar volume as V_m , then the volume V becomes $V = nV_m$

S13 ・ Under normal conditions of 0°C and 1013 hPa (1atm) $V_m = 22.4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$.

S14 ・ Bringing together the experimental results of the above three gases, expression through the formula $pV \propto nRT$ is possible.

S15 ・ Taking the constant of proportionality as R , this becomes $pV = nRT$

S16 ・ This is called the ideal gas law or perfect gas formula.

S17 ・ Here, the constant R is called the molar gas constant, the universal gas constant or simply the gas constant, and takes the value $R = 8.314 \text{ Pa m}^3 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ for any gas.

キーワード(Key words)

- ・ボイルの法則^{ほうそく} ・シャルルの法則^{ほうそく} ・絶対温度^{ぜったいおんど} ・ケルビン目盛り^{めも} ・アボガドロ
・アボガドロの法則^{ほうそく} ・理想気体^{りそうきたい} ・モル定数^{ていすう}

日本語解説

文1 「諸~」:「いろいろな」という意味。

例: 諸性質^{しよせいしつ}、諸説^{しよせつ} (いろいろな考え方^{かんがえかた})

文2 「~性」:「もののもっている特徴^{とくちょう}(characteristics)」

例: 圧力依存性^{あつりよくいぞんせい}、温度依存性^{おんどいぞんせい}

文2 「比例する」と「反比例する」:「比例する」は、ある量^{りょう}が増えたり減ったりすると、ほかの量^{りょう}も同じように増えたり減ったりする関係^{かんけい}(relation)のことです。「反」は、anti-ということです。

文4 「~度」:「ものの「程度^{ていど}(degree)」を表す。

例: 温度^{おんど}、密度^{みつど}(density)、角度^{かくど}(angle)、速度^{そくど}(speed)

文6 「~線」:「数学^{すうがく}(mathematics)で用いる長さ^{なが}だけあるもの。

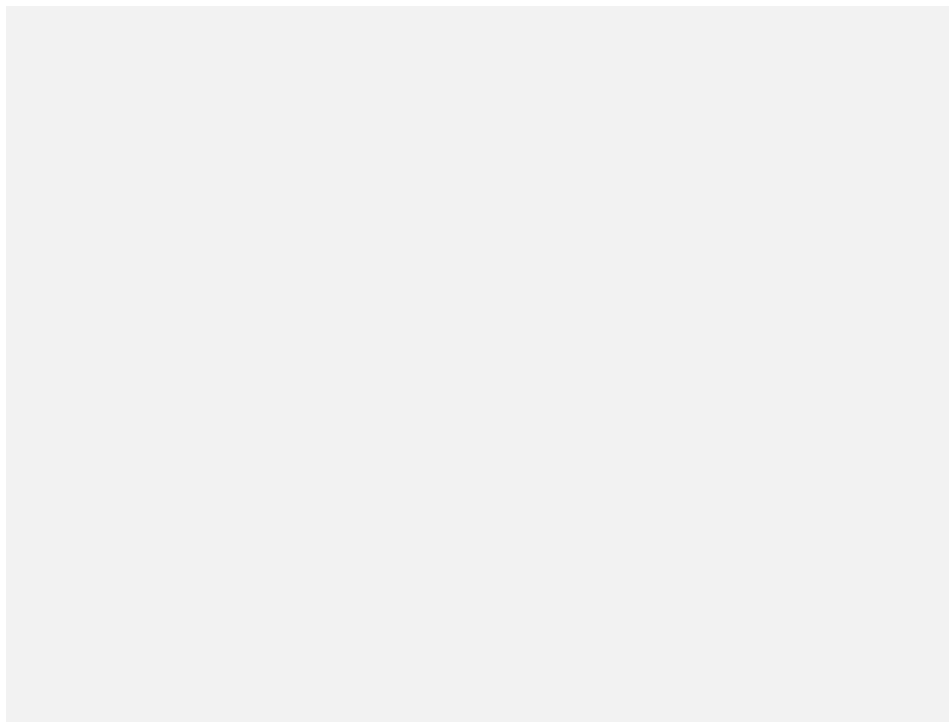
例: 直線^{ちよくせん} (まっすぐな線)、曲線^{きよくせん} (まがった線)

文1 1 「単位~」:「単位」はものをはかるときの基準^{きじゆん}となる量^{りょう}(unit)です。「単位~」は、基準^{きじゆん}となる「~」です。

例: 「単位物質^{たんいぶつしつりょう}量」、「単位面積^{たんいめんせき}(unit area)」

文1 5 「~定数」:「いつも一定^{いってい}(constant)の値^{あたい}(value)をとる数^{かず}。

例: モル気体定数^{きたいていすう}、比例定数^{ひれいていすう}



文1・ここからは、^{きたい}気体の^{ぶんしゅうどうろん}分子運動論について見
ていきます。

文2・^{さき}先ほど述べたように、^{きたい}気体は^{たすう}多数の^{びしょう}微小
^{りゅうし}粒子の^{しゅうだん}集団であるが、^{びしょうりゅうし}微小粒子の^{ちからがくてき}力学的
^{せいしつ}性質から、^{きたい}気体の^{きょしてき}巨視的な^{せいしつ}性質を^{かんが}考える
^{こころ}試みが^{おお}多くの^{けんきゅうしや}研究者によってなされま
した。

文3・そのような^{りろん}理論を^{きたい}気体分子運動論といいま
す。

文4・^{きたい}気体の^{ぶんしゅうどうろん}分子運動論は、^{りそう}理想気体に対する^{たい}次の
^{かてい}仮定に^{もと}基づいています。

文5・①^{きたい}気体を^{むちつじょ}無秩序に^{うんどう}運動する^{しつりよう}質量^{りゅうし}mの^{しゅうだん}粒子
の^{かんが}集団と^{かんが}考えること

文6・②^{きたい}気体を^{こうせい}構成する^{りゅうし}粒子は^{たいせき}体積をもたず、ニ
ュートン^{りきがく}力学における^{しつてん}質点とみなせる。

文7・③^{りゅうし}粒子は、^{しやうとついがい}衝突以外には^{たが}互いに^{そうごきやう}相互作用せ
ず、^{むちつじょ}無秩序な^{うんどう}運動をしている。

文8・④^{りゅうし}粒子どうし、および^{りゅうし}粒子と^{かべ}壁との^{しやうとつ}衝突は
すべて^{だんせい}弾性的ある。

文9・すなわち、^{しやうとつご}衝突後の^{ぜんへいしん}全並進エネルギーは
^{しやうとつまえ}衝突前と^{ひと}等しい。

S1・From here we take a look at the kinetic
theory of gases.

S2・As stated before, a gas is a group of a large
number of small particles. Many researchers
have tried to consider the macroscopic
properties of a gas from the mechanical
properties of these small particles.

S3・This kind of theory is called the kinetic
theory of gases.

S4・The kinetic theory of gases is based on the
following assumptions concerning an ideal
gas.

S5・1) The gas is a group of moving particles of
mass m.

S6・2) the particles that constitute the gas to have
no volume and are material points in
Newtonian mechanics.

S7・3) The particles have no mutual interaction
other than through collision and move
randomly.

S8・4) Collisions between particles and

- 文 1 0 ・ 気体分子運動論の立場から先に述べた、理想気体の法則がどのように解釈できるか調べてみましょう。
- 文 1 1 ・ まずは気体の圧力に着目していきます。
- 文 1 2 ・ 容積 V の容器に含まれた N 個の粒子が容器の内側から及ぼす圧力を計算するために、単位面積あたりに、壁に対して及ぼす平均の力を計算しましょう。
- 文 1 3 ・ 容器は一边が一つの立方体であり、一つの壁面に働く力の合計が F であれば、その壁に作用する圧力は F/l^2 となります。
- 文 1 4 ・ ニュートンの第二法則によれば、「粒子の運動量の単位時間あたりの変化量＝粒子に働いた力」であります。
- 文 1 5 ・ ただし、単位時間としては粒子と壁との衝突が起こる平均時間間隔よりは十分に長い時間をとるものとする。
- 文 1 6 ・ そこで、図 1.6 に示したように分子の運動方向を x 方向にとり、 x 軸に垂直な壁に衝突する質量 m の粒子 1 個について考えてみます。
- 文 1 7 ・ x 軸方向の速度を v_x とすれば、運動量 mv_x をもつこの方向の粒子が壁と弾性的に衝突した結果、 $2mv_x$ だけの運動量の変化を生じます。
- 文 1 8 ・ 運動量の単位時間当たりの変化量を計算するには、衝突がどの程度の頻度で起こっているかを求める必要があります。
- 文 1 9 ・ 粒子は反対側の壁で跳ね返った後、もう一度もとの壁に向かってきますが、一往復にかかる時間は $2l/v_x$ です。
- 文 2 0 ・ したがって、注目している壁に単位時間あたりに衝突する頻度は「 $1/\text{衝突してから次の衝突までの時間} = v_x/2l$ 」となります。

between particles and walls are all elastic.

- S9 ・ That is to say, the total translational energy after collision is equal to that before the collision.
- S10 ・ Let's examine in what way the previously stated ideal gas laws can be interpreted from the standpoint of the kinetic theory of gases.
- S11 ・ First, we focus on the pressure of the gas.
- S12 ・ In order to calculate the pressure that N particles in a container of volume V exert on the container, let's calculate the average force exerted on the walls per unit area.
- S13 ・ If the container is a cube of side length l , and the total force acting on a wall surface is F , then the pressure operating on that wall becomes F/l^2 .
- S14 ・ According to Newton's second law, "the change in particle momentum per unit time = the force operating on the particle"
- S15 ・ However, the unit time is taken to be sufficiently longer than the average time interval in which the collision between the particle and the wall occurs.
- S16 ・ Accordingly, the direction of motion of a molecule takes the x direction as shown in Fig. 1.6, and we consider a single particle of mass m that collides with a wall perpendicular to the x -axis.
- S17 ・ If the velocity in the x -axis direction is taken to be v_x , the result of a particle possessing momentum mv_x in this direction colliding elastically with a wall produces a change in momentum of $2mv_x$.
- S18 ・ In calculating the amount of change of momentum per unit time it is necessary to find the frequency with which collisions occur.

文 2 1・粒子の運動量の変化量は、一回の衝突で生じる運動量変化と衝突頻度を掛けて求められます。

文 2 2・すなわち運動量の変化量 $= (2mv_x) \times v_x / 2l = mv_x^2 / l$ となります。

文 2 3・N個の粒子のx軸方向の成分を考え、それぞれの粒子のもつx軸方向の速度を $v_x(1), v_x(2), \dots$ のように表せば運動量の全変化量は $m / l \{v_x^2(1) + v_x^2(2) + \dots + v_x^2(N)\}$ となります。

文 2 4・同様にして平均二乗速度は次のように表されます。

$$v_{x^2 \text{ avg}} = 1/N \{v_x^2(1) + v_x^2(2) + \dots + v_x^2(N)\}$$

文 2 5・したがって運動量の全変化量 $= Nm v_{x^2 \text{ avg}} / l$ となります。

文 2 6・運動量の単位時間あたりの全変化量は、粒子に対して働く力の合計に等しく、この力は衝突によって壁に働く力の合計に等しく、この力は衝突によって壁に対して及ぼされた力の大きさに等しくなります。

文 2 7・したがって、

$$\text{壁に働く平均の力} = Nm v_{x^2 \text{ avg}} / l$$

$$\text{壁に働く平均の圧力} = \text{力} / \text{面積}$$

$$= (Nm v_{x^2 \text{ avg}} / l) / l^2$$

$$= Nm v_{x^2 \text{ avg}} / l^3$$

となります。

文 2 8・これはx軸に垂直に働く力であるが、気体分子は特定の方向に偏ることなく、空間全体にわたって無秩序に運動しています。

文 2 9・それゆえに、同じ力がy軸やz軸に垂直な壁にも働きます。

$$p = \frac{N_m v_{x^2 \text{ avg}}}{l^3} = \frac{N_m v_{y^2 \text{ avg}}}{l^3} = \frac{N_m v_{z^2 \text{ avg}}}{l^3}$$

S19・After rebounding off the opposite wall, the particle once more travels towards the original wall and the time required for the journey is $2l / v_x$.

S20・Consequently, the collision frequency per unit time for the wall considered is one over the time from one collision until the next, that is, $v_x / 2l$.

S21・The magnitude of change in particle momentum is found by the change in momentum produced by a single collision multiplied by the collision frequency.

S22・Accordingly the change of momentum is given as follows.

$$(2mv_x) \times v_x / 2l = mv_x^2 / l$$

S23・If the x-axis component of N particles is considered and the velocity in the x-direction possessed by each particle expressed as $v_x(1), v_x(2), \dots$, then the total amount of change in momentum becomes $m / l \{v_x^2(1) + v_x^2(2) + \dots + v_x^2(N)\}$.

S24・Similarly, the mean square velocity is expressed in the following way.

$$v_{x^2 \text{ avg}} = 1/N \{v_x^2(1) + v_x^2(2) + \dots + v_x^2(N)\}$$

S25・Thus, the total change of momentum is $Nm v_{x^2 \text{ avg}} / l$.

S26・The total change in momentum per unit time is equivalent to the sum of the force acting on the particles. This force is equivalent to the sum of the force acting on the wall due to the collisions, and is equivalent to the size of the force exerted on the wall due to the collisions.

S27・Consequently, the average force acting on the wall is Nm

v_x^2 / l , and average pressure operating on
the wall = Force/Area

$$= (Nm v_x^2 / l) / l^2 \\ = Nm v_x^2 / l^3$$

S28 • This is the force operating perpendicularly
to the x-axis; however, gas molecules move
chaotically throughout the whole space
without any bias for a specific direction.

S29 • For this reason, an identical force also
operates on the walls along
the y-axis and the z-axis.

キーワード(Key words)

・ 気体分子運動論

関連用語(Related terminologies)

- ・ ニュートンの第二法則
- ・ 運動量
- ・ 弾性衝突

日本語解説

文 6 「A を B とみなす」: A を B と仮定する。

文 8 「~どうし」: おたがいに

例: 粒子どうし

文 1 1 「に着目する」: 注意して見ること

文 1 2 「~あたり」: ~につき

例: 単位面積あたり

単位時間あたり

一人あたり 10 ページ書いてください。

文 1 3 「~体」: かたちを表します。

例：立方体（すべての面が正方形である六面体）
直方体（すべての面が長方形である六面体）

文 1 6 方向を表すことば

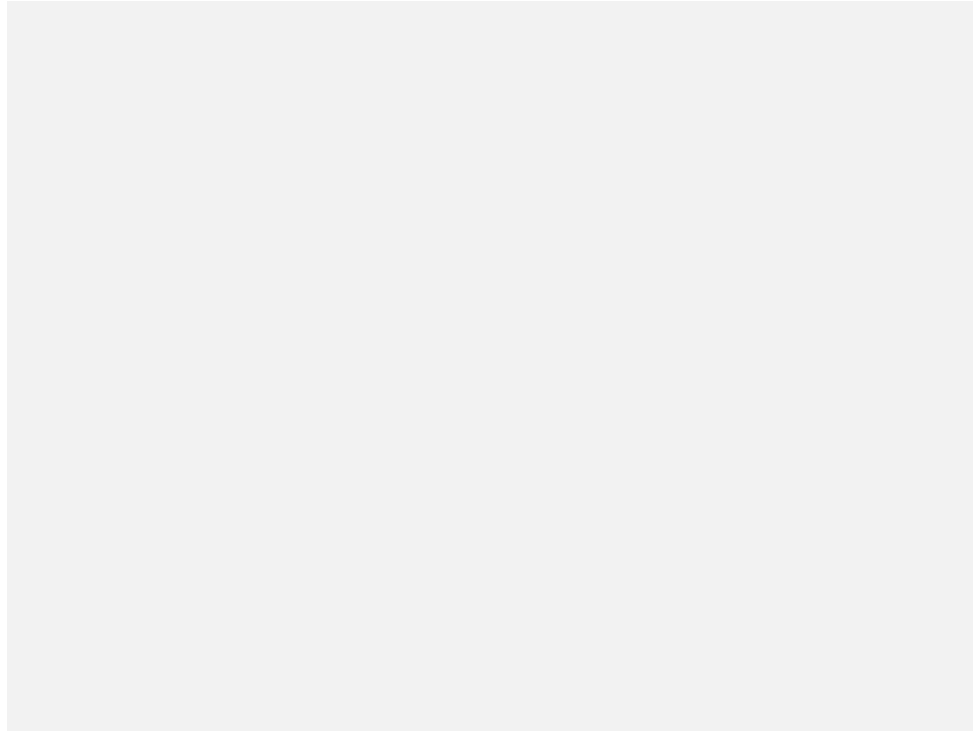
例：垂直（な）(vertical) ~に垂直な線
平行（な）(horizontal) ~に平行な線

文 1 6 「~軸」：もともとは、回転(rotate)するものの中心(center)。
ここでは、座標(coordinate)のもとになる線のこと。
例：X軸、Y軸

文 2 1 計算することば

例：かける(multiply) かけ算
わる(divide) わり算
たす(add) たし算
ひく(subtract) ひき算

文 2 4 「平均二乗速度」の「二乗」について
「~乗」というのは、「かける」ことを表します。
例：2を二乗する（2を2回かけること）



文1・先に求められた圧力の式に、次のように定義される分子の平均二乗速度を導入します。

$$c_{\text{avg}}^2 \equiv v_x^2_{\text{avg}} + v_y^2_{\text{avg}} + v_z^2_{\text{avg}}$$

文2・先にも述べましたように、三つの方向の平均二乗速度は互いに等しいので、

$$c_{\text{avg}}^2 \equiv 3v_x^2_{\text{avg}}$$

となります。

文3・その結果、どの壁に対しても、働く圧力は等しく次のように表されます。

$$p = \frac{1}{3} \frac{Nmc_{\text{avg}}^2}{l^3}$$

文4・ところが、 l^3 は体積 V であるので、

$$pV = \frac{1}{3} Nmc_{\text{avg}}^2$$

のように導かれます。

文5・さらに $N = nN_A$, $mN_A = M_m$ (M_m は分子のモル質量) に注目しますと、次の式が得られます。

S1・The mean square velocity for a molecule defined in the following way is introduced into the equation for pressure found previously.

$$c_{\text{avg}}^2 \equiv v_x^2_{\text{avg}} + v_y^2_{\text{avg}} + v_z^2_{\text{avg}}$$

S2・As stated before, the mean square velocity for each of the three directions is mutually equivalent and so

$$c_{\text{avg}}^2 \equiv 3v_x^2_{\text{avg}}$$

S3・As a result, the operating pressure is equivalent with regards to any wall and is expressed as follows.

$$p = \frac{1}{3} \frac{Nmc_{\text{avg}}^2}{l^3}$$

S4・However, l^3 is volume V and so the equation is expressed as follows.

$$pV = \frac{1}{3} Nmc_{\text{avg}}^2$$

S5・Moreover, considering $N = nN_A$, $mN_A = M_m$ (M_m is the molar mass of a molecule), then

$$pV = \frac{1}{3} nM_m c^2_{avg}$$

文 6 ・ この式の右辺の $M_m c^2_{avg}$ は粒子のもつ運動エネルギーの 2 倍であり、これは運動エネルギーが保存される衝突（弾性衝突）では不変であるので、 pV = 一定となり、ボイルの法則に等しいです。

文 7 ・ また $pV = 1/3 \cdot nM_m c^2_{avg}$ と $pV = nRT$ の両式から次の関係が得られます。

$$\frac{1}{3} nM_m c^2_{avg} = nRT \quad c^2_{avg} = \frac{3RT}{M_m}$$

文 8 ・ この c^2_{avg} の平方根を根平均二乗速度と呼びます。すなわち

$$C_{rms} = \sqrt{C^2_{avg}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_m}}$$

であります。

文 9 ・ この式に基づいて C_{rms} と分子の大きさおよび温度との関係を模式的に示したものが図 1.7 になります。

文 10 ・ 気体の拡散速度が分子の速さから予想される値に比べて、きわめて遅いことより、分子運動論に疑問が投げかけられた時期もありましたが、分子が衝突を繰り返して屈曲して進むことを考慮すればこの疑問は解かれます。

the following equation can be obtained.

$$pV = \frac{1}{3} nM_m c^2_{avg}$$

S6 ・ The $M_m c^2_{avg}$ on the right side of this equation is twice the kinetic energy of a molecule. Insofar as this remains unchanged in a collision where kinetic energy is conserved (an elastic collision), pV is constant, similar to Boyle's Law.

S7 ・ Also, the following relation can be acquired from the equations $pV = 1/3 \cdot nM_m c^2_{avg}$ and $pV = nRT$.

$$\frac{1}{3} nM_m c^2_{avg} = nRT \quad c^2_{avg} = \frac{3RT}{M_m}$$

S8 ・ The square root of this c^2_{avg} is called the root mean square velocity. Accordingly,

$$C_{rms} = \sqrt{C^2_{avg}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_m}}$$

S9 ・ Figure 1.7 schematically displays the relationship between C_{rms} based on this equation, the size of the molecule and the temperature.

S10 ・ Doubts concerning kinetic theory were once raised due to the diffusion speed of a gas being considerably slower than values predicted from the speed of molecules; however, this problem can be resolved if the molecules' progression through repeated collision and deflection is considered.

キーワード(Key words)

- ・根平均二乗速度^{こんへいきんにじょうそくど}

日本語解説

文1 「式」について

例：式をえる (obtain)

式をもとめる (obtain)

式を導入する (introduce)

文2 ・「等しい」というのは、同じということです。

文4 ・「積」：地面の広さや量をいいます。

例：「体積」単位は、 m^3 などです。

「面積」単位は、 m^2 などです。

文6 ・「辺」について

① 多角形をしめす線のこと

② 等号、不等号の左右にある数字 (number) や記号 (symbol)

例： $y=ax+b$ y は左の辺で「左辺」

$ax+b$ は右の辺で「右辺」

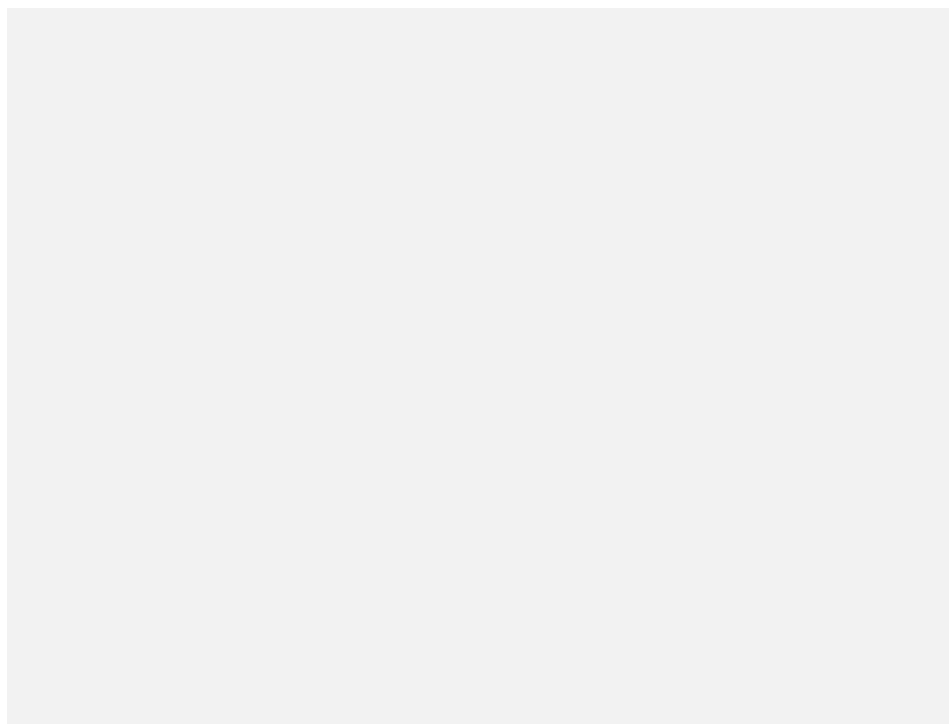
「＝」は、等しいことをしめす等号記号

文8 ・「平方根」 (square root) について

「平方」は、二乗のことで、面積の単位になります。

「根」は、木の根のことで、英語では root です。

数学では、例えば、二乗したもとの数です。9 の平方根は 3 です。



文1・ここからは、気体の拡散と流出について勉強していきましょう。

文2・拡散は図1.8(a)に示すように、気体あるいは液体中で濃度の高い場所から低い場所へと粒子が広がる現象です。

文3・これに対して流出は、1.8(b)に示すように、分子が衝突する間に移動する平均移動距離と比べて小さな孔から気体が分子運動の結果として外へ逃げ出すものであります。

文4・なおこの分子が衝突する間に移動する平均移動距離というのは、平均自由行程といいます。

文5・グレアムは1831年、今日グレアムの法則と呼ばれる法則を導きました。

文6・そのグレアムの法則というのは、「気体の流出および拡散の速さは、温度と圧力が一定ならば、モル質量の平方根に反比例する。」というものです。

文7・いま気体Aがある体積だけ流出するのに要する時間を t_A とし、同じ体積の気体B

S1・From here on, let's study the diffusion and effusion of gas.

S2・Diffusion is the phenomenon whereby molecules spread out from a location of high density to a location of low density in a gas or a liquid as shown in Fig. 1.8(a).

S3・In contrast, effusion is where gas escapes as a result of molecular motion from a hole small in comparison to the average migration length that molecules travel in between collisions.

S4・The average migration length that molecules travel in-between collisions is called the mean free path.

S5・In 1831, Graham derived a law, contemporarily known as Graham's law.

S6・Graham's law states that "the speed of effusion or diffusion of a gas is inversely proportional to the square root of the molar mass if temperature and pressure are constant."

S7・The time required for a volume containing just gas A to effuse is taken as t_A and the time

が流出するのに必要な時間を t_B とします。

文 8・流出があっても、圧力がほとんど変化しないとしますと、流出の速さはこれに要する時間に反比例しますから、次式で表されます。

$$t_A / t_B = (\text{流出速度})_B / (\text{流出速度})_A \\ = \sqrt{\frac{M_m(A)}{M_m(B)}}$$

文 9・多孔質の壁を通して起こる分子の拡散はウランを濃縮する方法として実際に使われています。

required for the same volume of gas B to effuse is taken as t_B .

S8・If the pressure is considered to not change despite the effusion, then the speed of effusion is inversely proportional to the time required and is expressed by the following equation.

$$t_A / t_B = (\text{effusion speed})_B / (\text{effusion speed})_A$$

$$= \sqrt{\frac{M_m(A)}{M_m(B)}}$$

S9・The diffusion of molecules through a series of porous walls is used in practice as a method to enrich uranium.

キーワード(Key words)

・流出 ・拡散 ・平均自由行程 ・グレアム ・グレアムの法則

関連用語(Related terminologies)

・ウラン

日本語解説

文 1 「拡散」: 「拡」は広がること、「散」はばらばらになることを表します。

文 1 「流出」: 流れて出ていくことを表します。

文 3 「平均移動距離」について

「平均」は、average のことです。「~を平均する」というように使うこともできます。

「移動」の「移」は、「移る」で、位置が変わるということです。「動」は、「動く(to move)」です。

「距離」は、“distance”です。

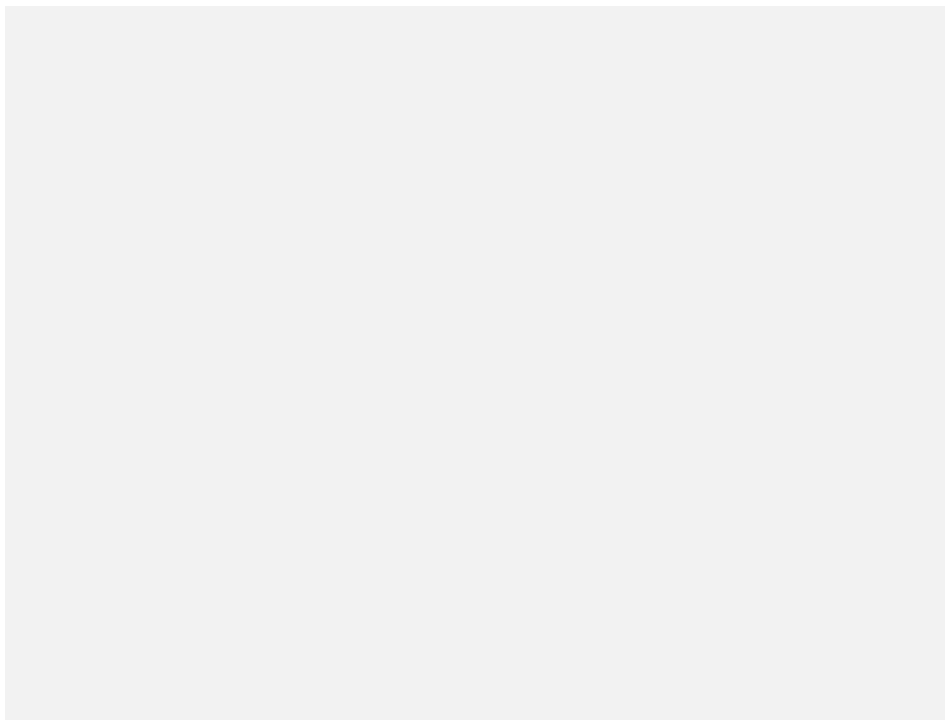
文4 「行程」は、「道のり」ともいい、距離と同じ意味です。

文9 「多孔質」:「孔」は穴(hole)のことです。

文9 「濃縮する」:「濃度」を濃くすることです。

「濃い」は、「このコーヒーは濃い」というようにも使います。

反対のことは、「うすい」です。



文 1 ・ 次^{つぎ}に実^{じつ}在^{ざい}気^き体^{たい}を見^みていきましょ^う。い
くつかの実^{じつ}在^{ざい}気^き体^{たい}の実^{じつ}測^{そく}の pV_m / RT
の値^{あたい}をプロットすると図^ず1.9 のように
なります。

文 2 ・ 実^{じつ}在^{ざい}気^き体^{たい}の挙^{きょ}動^{どう}が理^り想^{そう}気^き体^{たい}の法^{ほう}則^{そく} $pV_m /$
 $RT = 1$ よりはずれます。

文 3 ・ その1つの理^り由^{ゆう}は、気^き体^{たい}分^{ぶん}子^しどうしが
相^{そう}互^ご作^さ用^{よう}を^して^いる^こと^であ^り、も^う
1つの理^り由^{ゆう}は、気^き体^{たい}分^{ぶん}子^しが質^{しつ}点^{てん}ではな
くあ^り一^{いつ}定^{てい}の体^{たい}積^{せき}を^しめ^てい^るこ^とで
あ^りま^す。

文 4 ・ 分^{ぶん}子^し間^{かん}に引^{いん}力^{りょく}が働^{はたら}くと、気^き体^{たい}の圧^{あつ}力^{りょく}
は理^り想^{そう}気^き体^{たい}の場^ば合^{あい}より小^{ちい}さく^なり^ます。

文 5 ・ な^ぜな^らば、壁^{かべ}に近^{ちか}い分^{ぶん}子^しは壁^{かべ}側^{がわ}にあ
る分^{ぶん}子^しより内^{ない}部^ぶ側^{がわ}にあ^る分^{ぶん}子^しの^{かず}数^{かず}が
多^{おほ}い^{ぜん}ので、全^{ぜん}体^{たい}と^して引^ひき込^こま^れる^ち力^{から}
を^う受^うけ^るか^らで^す。

S1 ・ Next, let's take a look at a real gas. Plots of
actual pV_m / RT measurement values for
real gases are shown in Fig. 1.9.

S2 ・ The behavior of a real gas deviates from
the ideal gas law $pV_m / RT = 1$.

S3 ・ One reason for this is the mutual interaction
between kinetic gas molecules. Another is
that gas molecules are not material points
and instead occupy a certain volume.

S4 ・ If molecules experience mutual attraction,
the pressure of the gas will be smaller
than the case of an ideal gas.

S5 ・ The reason for this is as follows. Molecules
at the center of the space have an equal
number of molecules on all sides, and
thus experience no net attractive force. On
the other hand, molecules near the wall
experience a net attractive force from the
other molecules in the container.

キーワード(Key words)

・実在気体^{じつざいきたい}

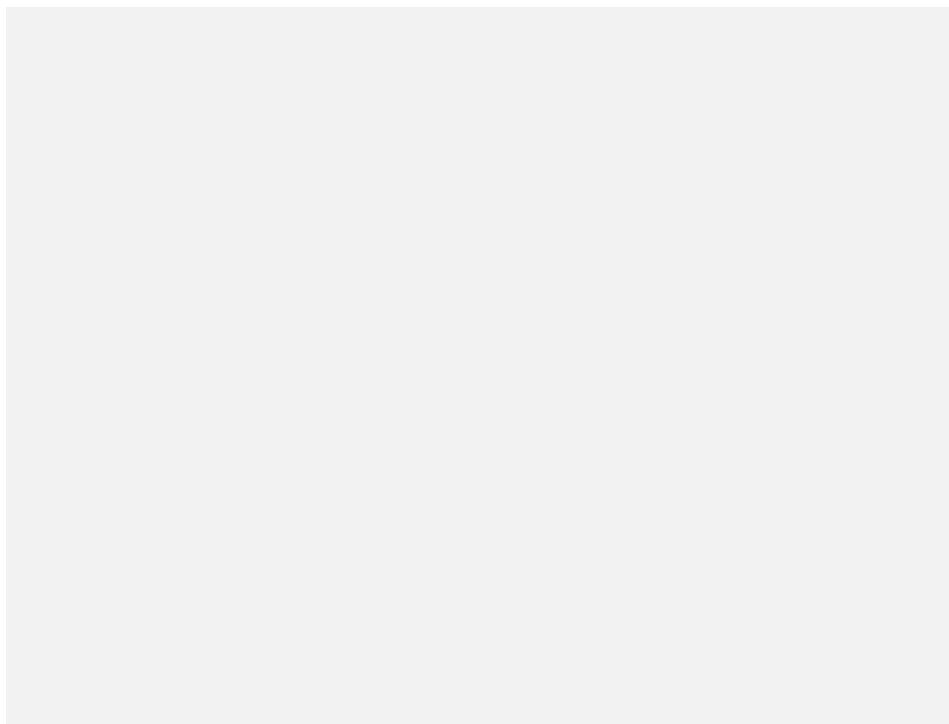
日本語解説

文1 「実測値」：ほんとうに測った値^{はか} (value)^{あた}

文3 理由^{りゆう}の言い方^{い かた}
例：一つの理由^{りゆう}は、…、もう一つの理由^{りゆう}は、…。

文4 「引力」：「引」は「引く(pull)」こと。お互^{たが}いにひっぱりあう力^{ちから}のこと。

文5 「全体として」：「全体」^{ぜんたい}と「部分(part)」^{ぶぶん}



文1・実在気体の挙動を記述するために、ファン・デル・ワールスは理想気体の式を変形し、今日のファン・デル・ワールスの式と呼ばれる式を提案しました。

$$(p + a/V_m^2)(V_m - b) = RT$$

文2・ここで定数aは、分子間力の引力を反映しています。

文3・先にも述べましたように、壁に衝突する分子は内側へ引っ張られています。

文4・内側へ引っ張る力は分子の濃度に比例します。

文5・さらに、単位時間に壁に衝突する分子の数も、分子の濃度に比例します。

文6・ここで、nmol からなる体積Vの気体ではその濃度はn / Vで表されます。

文7・結果的に、圧力の減少分は物質濃度n / V(=1 / V_m)の二乗に比例します。

文8・この影響は比例定数をaとしますとa / V_m²となります。

文9・これに対して定数bは分子間の斥力(分子の大きさ)を反映しています。

S1・In order to describe the behavior of a real gas, Van der Waals transformed the equation for an ideal gas and proposed the equation now known as the Van der Waals equation.

$$(p + a/V_m^2)(V_m - b) = RT$$

S2・Here, the constant a reflects the attraction of the intermolecular forces.

S3・As described previously, molecules that collide with a wall are attracted towards the inside of the container.

S4・The attractive force towards the inside of the container is proportional to the density of the molecules.

S5・Furthermore the number of molecules that collide with a wall in a unit of time is proportional to the density of the molecules.

S6・Here, the density of the gas of volume V containing n moles of molecules is expressed by n / V.

S7・As a result the degree of pressure reduction is proportional to the square of molar concentration n / V (=1 / V_m)

文 10・分子は大きさをもち、互いに排除し合う
ので分子 1 個当たりの体積に比例した分
だけ小さな体積にしか存在できません。

文 11・それゆえに、気体分子が実際に運動でき
る体積は

$V - nb$, 1 mol 当たりでは、 $V / n - b = V_m - b$
となります。

文 12・以上ここまで、気体の性質について勉強
してきました。

S8・If this effect is taken as a constant of
proportionality a , then a / V_m^2 .

S9・With respect to this, the constant b reflects the
repulsive force between molecules (the size of
a molecule).

S10・Molecules have size and mutually repel each
other and thus only occupy a small volume in
comparison to the total volume per molecule.

S11・Therefore, the volume in which a dynamic
molecule can actually move is

$V - nb$, and $V / n - b = V_m - b$ per 1 mol.

S12・And here, this concludes our study of the nature
of gases.

キーワード(Key words)

・ファン・デル・ワールスの式 ・分子間引力 ・分子間斥力

日本語解説

文 1「式を変形する」:「変形する」というのは、式の「形」を「変える(to change)」ということです。

文 2「反映する」:あるものの影響が、他のものに現れることをいいます。

文 7「結果的に」:結果として(as a result)

文 7「~分」:それに相当する量

例:「減少分」→減った量、「増加分」→増えた量

文 9「斥力」:「引力」の反対のことば。おたがいに斥けあう力のこと。

参考文献

野村浩康(編) 川泉文男、松井恒雄、卜部和夫(著) (2007)『理工系学生のための化学基礎 第4版』
学術図書出版社