

1 物体是由大量分子组成的

学习目标

- 1.知道物体是由大量分子组成的.
- 2.知道分子的球形模型和分子直径的数量级.
- 3.知道阿伏伽德罗常量的物理意义、数值和单位.
- 4.知道分子之间存在空隙.

一、分子的大小与模型

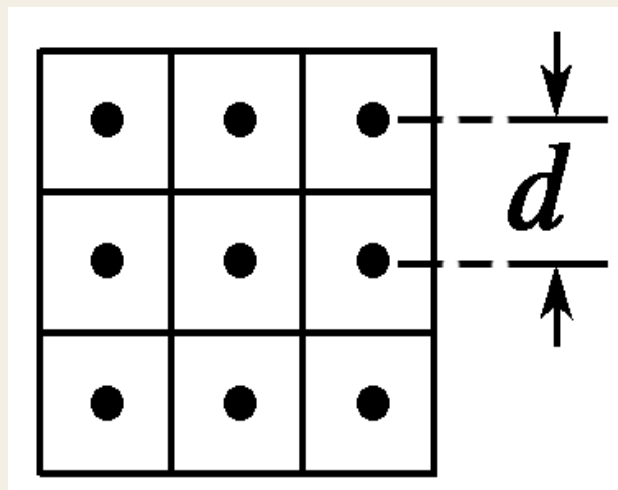
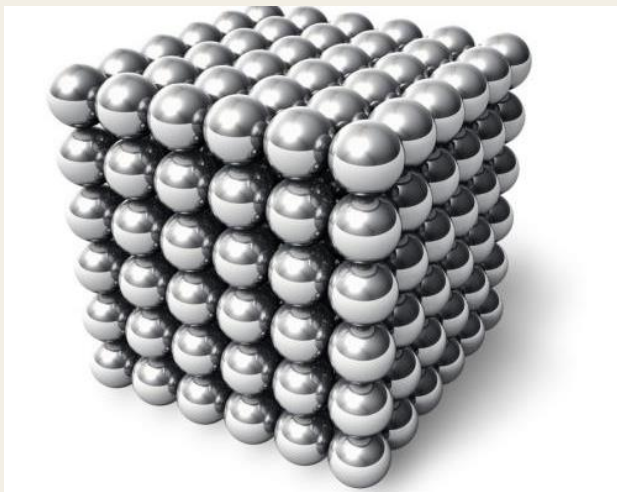
1. 热学中的分子与化学上讲的不同，它是构成物质的分子、原子、离子等微粒的统称，因为这些微粒在热运动时遵从相同的规律。

2. 一般分子直径的数量级是 10^{-10} m.

3. 分子的两种模型

(1) 球形模型：固体、液体中分子间距较小，可认为分子是一个挨着一个紧密排列的球体. 分子体积 V_0 和直径 d 的关系为 $V_0 = \frac{1}{6}\pi d^3$.

(2) 立方体模型：气体中分子间距很大，一般建立立方体模型(如图1所示). 将每个气体分子看成一个质点，气体分子位于立方体中心，分子占据的空间 V_0 和分子间距离 d 的关系为 $V_0 = d^3$.



【即学即用】 判断下列说法的正误.

(1)热力学范围内， 原子、 分子或离子遵循不同的热运动规律.(×)

(2)所有分子直径的数量级都是 10^{-9} m.(×)

(3)分子的形状为球形或立方体形状.(×)

二、阿伏伽德罗常量

(1)定义： 1 mol 的任何物质所含有的分子数.

(2)大小：在通常情况下取 $N_A = \underline{6.02 \times 10^{23}} \text{ mol}^{-1}$ ，在粗略计算中可以取 $N_A = \underline{6.0 \times 10^{23}} \text{ mol}^{-1}$.

(3)应用

① N_A 的桥梁和纽带作用

阿伏伽德罗常量是联系宏观世界和微观世界的一座桥梁. 它把摩尔质量 M_{mol} 、摩尔体积 V_{mol} 、物体的质量 m 、物体的体积 V 、物体的密度 ρ 等宏观量，跟单个分子的质量 m_0 、单个分子的体积 V_0 等微观量联系起来.

$$\begin{array}{ccc}
 & \text{密度} & \\
 & \rho & \\
 \text{宏观量} \rightarrow M_{\text{mol}} & & V_{\text{mol}} \leftarrow \text{宏观量} \\
 \text{微观量} \rightarrow \frac{M_{\text{mol}}}{m_0} = N_A = \frac{V_{\text{mol}}}{V_0} & & \leftarrow \text{微观量}
 \end{array}$$

其中密度 $\rho = \frac{m}{V} = \frac{M_{\text{mol}}}{V_{\text{mol}}}$ ，但要切记对单个分子 $\rho = \frac{m_0}{V_0}$ 是没有物理意义的.

②常用的重要关系式

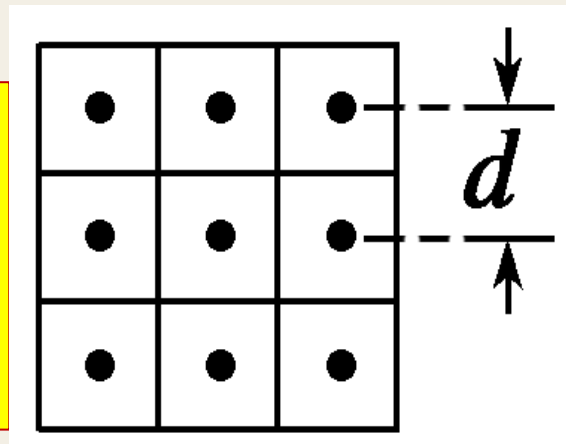
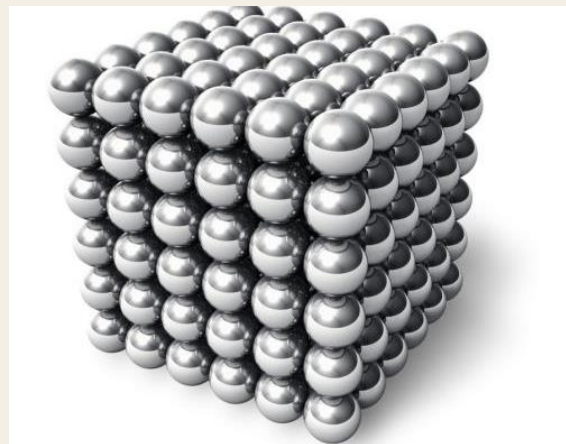
a. 分子的质量: $m_0 = \frac{M_{\text{mol}}}{N_A}$.

b. 分子的体积 (或分子所占的空间)

对固体和液体, 因为分子间距很小, 可认为分子紧密排列, 摩尔体积 $V_{\text{mol}} = N_A V_0$,

则单个分子的体积 $V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A} = \frac{M_{\text{mol}}}{\rho N_A}$.

对气体, 因分子间距比较大, 故 $V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A}$ 只表示每个分子所占有的空间.



③质量为 m 的物体中所含有的分子数: $n = \frac{m N_A}{M_{\text{mol}}}$.

④体积为 V 的物体中所含有的分子数: $n = \frac{V N_A}{V_{\text{mol}}}$.

【即学即用】 已知阿伏伽德罗常量为 N_A ，某气体的摩尔质量为 M ，密度为 ρ ，请判断下列说法的正误.

(1) 1 m^3 该气体中所含的分子数为 $\frac{\rho N_A}{M}$. (✓)

(2) 1 kg 该气体中所含的分子数是 $\frac{\rho N_A}{M}$. (✗) $\frac{1}{\rho} N_A$

(3) 一个气体分子的体积是 $\frac{M}{\rho N_A}$. (✗)

(4) 一个气体分子的质量是 $\frac{M}{N_A}$. (✓)

三、分子间存在间隙

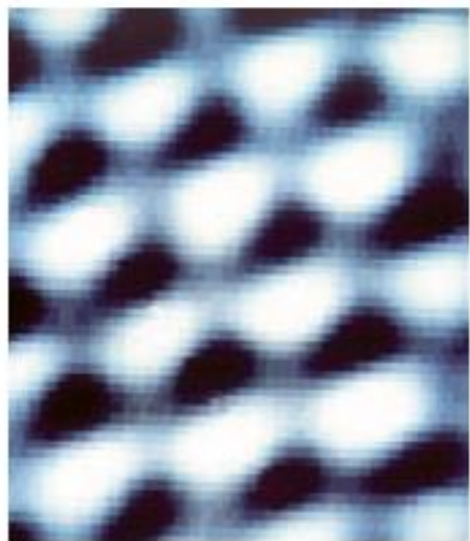


图 7.1-3 用扫描隧道显微镜拍摄的石墨表面原子照片

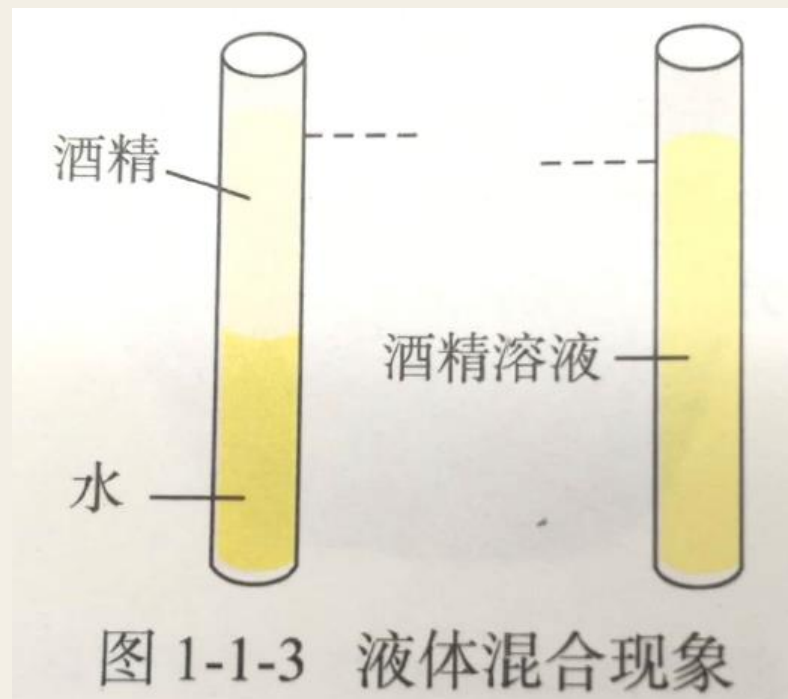


图 1-1-3 液体混合现象

气体很容易被压缩；
给装在钢桶中的油加压，会有油从钢桶壁上渗出。

一、分子的大小与模型

例1 关于分子，下列说法中正确的是（ **A** ）

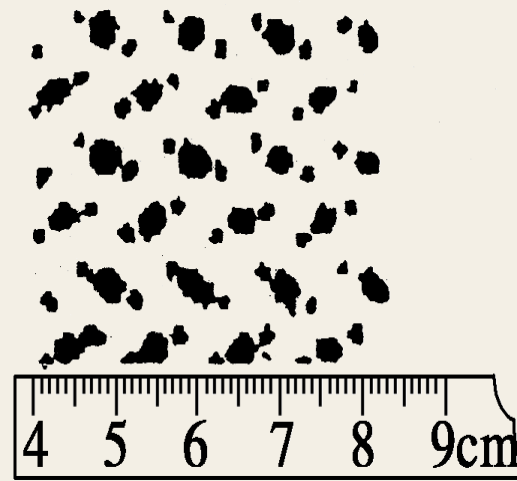
A.分子看做小球是分子的简化模型，实际上，分子的形状并不真的都是小球

B.所有分子大小的数量级都是 10^{-10} m

C.“物体是由大量分子组成的”，其中“分子”只包含分子，不包括原子和离子

D.分子的质量是很小的，其数量级一般为 10^{-10} kg

例2 现在已经有能放大数亿倍的非光学显微镜(如电子显微镜、场离子显微镜等),使得人们观察某些物质内的分子排列成为可能.如图所示是放大倍数为 3×10^7 倍的电子显微镜拍摄的二硫化铁晶体的照片.据图可以粗略地测出二硫化铁分子体积的数量级为 10^{-29} m^3 .(照片下方是用最小刻度为毫米的刻度尺测量的照片情况)



将每个二硫化铁分子看做一个立方体,四个小立方体并排边长之和为 $4d' = 4.00 \text{ cm}$,
所以平均每个小立方体的边长 $d' = 1.00 \text{ cm}$.又因为题图是将实际大小放大了 3×10^7 倍,

所以二硫化铁分子的小立方体边长为: $d = \frac{d'}{3 \times 10^7} = \frac{1.00 \times 10^{-2}}{3 \times 10^7} \text{ m} \approx 3.33 \times 10^{-10} \text{ m}$

所以测出的二硫化铁分子的体积为: $V = d^3 = (3.33 \times 10^{-10} \text{ m})^3 \approx 3.7 \times 10^{-29} \text{ m}^3$.

二、阿伏伽德罗常量的应用

例3 水的分子量是 18 g mol^{-1} ，水的密度 $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，阿伏伽德罗常量 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ，则：

(1)水的摩尔质量 $M = \underline{18} \text{ g mol}^{-1}$ 或 $M = \underline{1.8 \times 10^{-2}} \text{ kg mol}^{-1}$ ，

水的摩尔体积 $V_m = \underline{1.8 \times 10^{-5}} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ 。

(2)水分子的质量 $m_0 = \underline{3 \times 10^{-26}} \text{ kg}$ ，水分子的体积 $V' = \underline{3 \times 10^{-29}} \text{ m}^3$ 。

(3)将水分子看做球体，其直径 $d = \underline{4 \times 10^{-10}} \text{ m}$ (保留一位有效数字)，一般分子直径的数量级是 $\underline{10^{-10}} \text{ m}$ 。

(4)36 g水中所含水分子个数 $n = \underline{1.2 \times 10^{24}}$ 个。

(5) 1 cm^3 的水中所含水分子个数 $n' = \underline{3.3 \times 10^{22}}$ 个。

【方法总结】

(1)分子的大小:

一般分子大小的数量级是 10^{-10} m,
质量的数量级是 10^{-26} kg.

(2)分子的两种模型

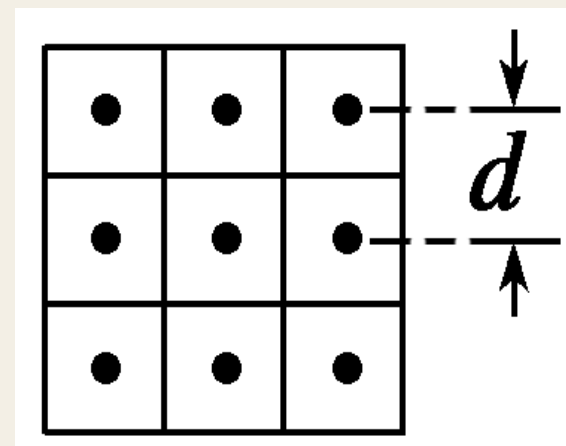
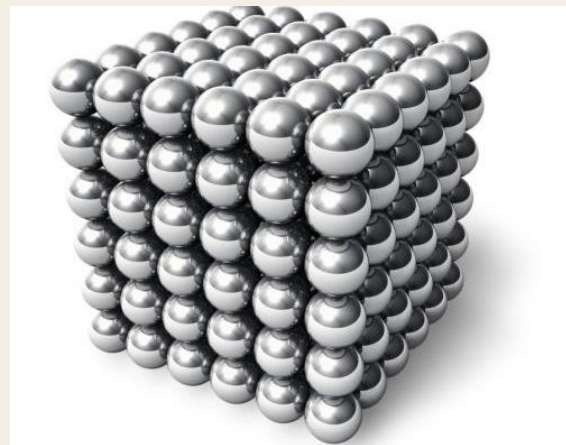
①球体模型: 固体、液体分子可认为是一个挨着一个紧密排列的球体,

由 $V_0 = \frac{V}{N_A}$ 及 $V_0 = \frac{1}{6}\pi d^3$ 可得: $d = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi N_A}}$.

②立方体模型: 气体中分子间距很大,
一般建立立方体模型.

.则立方体的边长即为分子间距.

由 $V_0 = \frac{V}{N_A}$ 及 $V_0 = d^3$ 可得: $d = \sqrt[3]{\frac{V}{N_A}}$.



【针对训练】 已知氧气分子的质量 $m = 5.3 \times 10^{-26} \text{ kg}$, 标准状况下氧气的密度 $\rho = 1.43 \text{ kg/m}^3$, 阿伏伽德罗常量 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, 求: (结果均保留两位有效数字)

(1) 氧气的摩尔质量;

(2) 标准状况下氧气分子间的平均距离;

(3) 标准状况下 1 cm^3 的氧气中含有的氧气分子的个数.

解析 (1) 氧气的摩尔质量为

$$M = N_A m = 6.02 \times 10^{23} \times 5.3 \times 10^{-26} \text{ kg/mol} \approx 3.2 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}.$$

(2) 标准状况每个氧气分子所占空间 $V_0 = \frac{V}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}.$

$$V_0 = a^3, \text{ 则 } a^3 = \frac{M}{\rho N_A},$$

$$a \approx 10d$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}} = \sqrt[3]{\frac{3.2 \times 10^{-2}}{1.43 \times 6.02 \times 10^{23}}} \text{ m} \approx 3.3 \times 10^{-9} \text{ m}.$$

(3) 1 cm^3 氧气的质量为

$$m' = \rho V' = 1.43 \times 1 \times 10^{-6} \text{ kg} = 1.43 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

则 1 cm^3 氧气中含有的氧气分子的个数

$$N = \frac{m'}{m} = \frac{1.43 \times 10^{-6}}{5.3 \times 10^{-26}} \text{ 个} \approx 2.7 \times 10^{19} \text{ 个}.$$

【达标检测1】 关于分子，下列说法中正确的是（ **C** ）

- A.分子的形状要么是球形，要么是立方体
- B.所有分子的直径都相同
- C.不同分子的直径一般不同，但数量级基本一致
- D.密度大的物质，分子质量一定大

【达标检测2】 纳米材料具有很多优越性，有着广阔的应用前景.边长为1 nm的立方体，可容纳液态氢分子(其直径约为 10^{-10} m)的个数最接近于 (**B**)

A. 10^2 个

B. 10^3 个

C. 10^6 个

D. 10^9 个

边长为 1 nm 的立方体的体积 $V=(10^{-9})^3 \text{ m}^3=10^{-27} \text{ m}^3$

每个氢分子的体积 $V_0=(10^{-10})^3 \text{ m}^3=10^{-30} \text{ m}^3$

可容纳的液态氢分子的个数 $N=\frac{V}{V_0}=10^3$ 个

【达标检测3】 已知某气体的摩尔体积为 22.4 L/mol ，摩尔质量为 18 g/mol ，阿伏伽德罗常量为 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ，由以上数据不可以估算出这种气体 (**B**)

A. 每个分子的质量

B. 每个分子的体积

C. 每个分子占据的空间

D. 分子之间的平均距离

【达标检测4】 已知金刚石的密度为 $\rho = 3.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，现有体积为 $4.0 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ 的一小块金刚石，它有多少个碳原子？假如金刚石中的碳原子是紧密地挨在一起的，试估算碳原子的直径。(结果保留两位有效数字)

$$N = nN_A = \frac{m}{M} N_A$$

解析 金刚石的质量：

$$m = \rho V = 3.5 \times 10^3 \times 4.0 \times 10^{-8} \text{ kg} = 1.4 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

这块金刚石所含碳原子的摩尔数：

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1.4 \times 10^{-4} \text{ kg}}{12 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}} \approx 1.17 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

这块金刚石所含的碳原子数：

$$N = nN_A = 1.17 \times 10^{-2} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 个} \approx 7.0 \times 10^{21} \text{ 个}$$

碳原子的体积：

$$V_0 = \frac{V}{N} = \frac{4.0 \times 10^{-8}}{7.0 \times 10^{21}} \text{ m}^3 \approx 5.7 \times 10^{-30} \text{ m}^3$$

把金刚石中的碳原子看成球体，

则由公式 $V_0 = \frac{\pi}{6} d^3$ 可得碳原子直径：

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \times 5.7 \times 10^{-30}}{3.14}} \text{ m} \approx 2.2 \times 10^{-10} \text{ m}.$$

$$\frac{V}{N} = V_0 = \frac{1}{6} \pi d^3$$