



JY1/26/13

数理化自学丛书

物

理

(第二册——分子物理学和热学)

数理化自学丛书编委会

物理编写小组编



上海人民出版社

## 内 容 提 要

本书详尽地介绍了分子物理学和热学的基础知识以及它们在各方面的应用。全书共分八章，先讲分子运动论、热和功、能的转变和能量守恒定律，然后依次讲物体的热膨胀，气体、液体和固体的性质，物态的变化和热机。此外，书中还包括了大量的例题、习题和总复习题，并且在每章末了都附有复习提要，作为巩固之用。

本书可供青年工人、知识青年、在职干部以及青年教师参考。

数理化自学丛书

物 理

(第二册——分子物理学和热学)

数理化自学丛书编委会  
物 理 编 写 小 组 编

(原上海科技版)

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本  $787 \times 1092$  1/32 印张 11.25 字数 249,000

1964年8月第1版 1977年11月新1版 1977年11月第1次印刷

统一书号: 13171·220 定价: 0.74元

## 重 印 说 明

《数理化自学丛书》是一九六六年前出版的。计有《代数》四册，《平面几何》二册，《三角》一册，《平面解析几何》一册，《物理》四册，《化学》四册。这套书的特点是：比较明白易懂，从讲清基本概念出发，循序渐进，使读者易于接受和理解，并附有不少习题供练习用。这套书可以作为青年工人、知识青年和在职干部自学之用，也可供中等学校青年教师教学参考。

党的第十一次全国代表大会号召全党、全军、全国各族人民高举毛主席的伟大旗帜，在英明领袖华主席和党中央领导下，为完成党的十一大提出的各项战斗任务，在本世纪内把我国建设成为伟大的社会主义的现代化强国，争取对人类作出较大的贡献，努力奋斗。许多工农群众和干部，在党的十一大精神鼓舞下，决心紧跟英明领袖华主席和党中央，大干快上，向科学技术现代化进军，为实现四个现代化作出贡献，来信要求重印《数理化自学丛书》。根据读者的要求，我们现在在原书基础上作一些必要的修改后，重印出版这套书，以应需要。

十多年来，科学技术的发展是很快的。本丛书介绍的虽仅是数理化方面的基础知识，但对于应予反映的科技新成就方面内容，是显得不够的。同时，由于本书是按读者自学的要求编写的，篇幅上就不免有些庞大。这些，要请读者在阅读时加以注意。

对本书的缺点，希望广大读者批评指出。

一九七七年九月

# 目 录

## 重印说明

## 第一章 分子运动论..... 1

§1.1 物质的结构 ..... 1

§1.2 分子的大小和质量 ..... 3

§1.3 分子间的空隙 ..... 7

§1.4 分子间的相互作用力 ... 9

§1.5 气体、液体和固体中的  
扩散现象 .....14

§1.6 布朗运动 .....16

§1.7 热运动、温度 .....20

§1.8 气体、液体和固体中分  
子的热运动 .....21

本章提要 .....23

复习题一 .....24

## 第二章 热和功 .....25

§2.1 分子的动能和势能、物  
体的内能 .....25

§2.2 物体内能的改变 .....28

§2.3 热传递的三种方式 .....33

§2.4 热量、热量的单位 .....46

§2.5 物体的热容量、物质  
的比热 .....43

§2.6 量热器、比热的测定 ...53

§2.7 燃料的燃烧值 .....59

§2.8 热功当量 .....63

§2.9 能的转变和能量守恒  
定律 .....68

本章提要 .....70

复习题二 .....72

## 第三章 物体的热膨胀.....74

§3.1 物体的热胀冷缩 .....74

§3.2 温度和温度计 .....79

§3.3 固体的线膨胀 .....84

§3.4 固体的体膨胀 .....91

§3.5 固体的线胀系数和体  
胀系数之间的关系 .....92

§3.6 热膨胀在技术上的意  
义 .....94

§3.7 液体的热膨胀 .....99

§3.8 物体的密度和温度的  
关系 .....103

§3.9 水的膨胀特点 .....105

本章提要 .....107

复习题三 .....107

## 第四章 气体的性质 .....109

§4.1 气体的状态、压强.....109

§4.2 温度不变时气体的体  
积和压强的关系、玻  
意耳-马略特定律 .....112

§4.3 温度不变时气体的密  
度和压强的关系.....118

§4.4 压强不变时气体的体  
积和温度的关系、  
盖·吕萨克定律 .....121

|                                      |                           |
|--------------------------------------|---------------------------|
| §4.5 体积不变时气体的压强和温度的关系. 查理定律.....127  | §6.6 胡克定律.....198         |
| §4.6 理想气体.....133                    | §6.7 固体形变时能量的变化.....204   |
| §4.7 绝对温标.....135                    | §6.8 强度和安全系数.....205      |
| §4.8 压强不变时气体的密度和温度的关系.....138        | §6.9 硬度.....210           |
| §4.9 理想气体的状态方程(气态方程).....140         | §6.10 固体材料性能的应用.....211   |
| §4.10 气体在迅速膨胀和压缩时温度的变化——绝热变化.....146 | 本章提要.....214              |
| §4.11 气体在技术上的应用.....149              | 复习题六.....214              |
| 本章提要.....150                         | <b>第七章 物态的变化</b> .....216 |
| 复习题四.....152                         | §7.1 熔解和凝固.....216        |
| <b>第五章 液体的性质</b> .....154            | §7.2 熔解热.....221          |
| §5.1 液体的特征.....154                   | §7.3 熔解和凝固时体积的变化.....227  |
| §5.2 液体的表面层.....156                  | §7.4 影响熔点的几个因素.....228    |
| §5.3 表面能.....159                     | §7.5 金属的铸造.....231        |
| §5.4 表面张力.....160                    | §7.6 蒸发.....232           |
| §5.5 表面张力系数.....163                  | §7.7 饱和汽和饱和汽压.....235     |
| §5.6 表面张力系数跟温度的关系.....169            | §7.8 饱和汽的性质.....237       |
| §5.7 浸润现象.....171                    | §7.9 未饱和汽.....243         |
| §5.8 毛细现象.....174                    | §7.10 沸腾.....247          |
| 本章提要.....179                         | §7.11 汽化热.....254         |
| 复习题五.....180                         | §7.12 临界温度.....261        |
| <b>第六章 固体的性质</b> .....182            | §7.13 气体的液化.....265       |
| §6.1 晶体和非晶体.....182                  | §7.14 液态气体的应用.....268     |
| §6.2 晶体的空间点阵.....186                 | §7.15 空气的湿度.....270       |
| §6.3 固体的形变.....188                   | 本章提要.....280              |
| §6.4 弹性形变和范性形变.....191               | 复习题七.....282              |
| §6.5 弹性形变的基本类型.....193               | <b>第八章 热机</b> .....284    |
|                                      | §8.1 气体膨胀做功.....285       |
|                                      | §8.2 锅炉.....293           |
|                                      | §8.3 蒸汽机.....296          |
|                                      | §8.4 蒸汽在汽缸内膨胀做功.....303   |

|                          |     |                    |     |
|--------------------------|-----|--------------------|-----|
| §8.5 热机的组成部分. 热机的效率..... | 305 | §8.10 火箭喷气发动机..... | 337 |
| §8.6 内燃机.....            | 313 | 本章提要 .....         | 339 |
| §8.7 蒸汽轮机.....           | 327 | 复习题八 .....         | 340 |
| §8.8 燃气轮机.....           | 331 | 总复习题 .....         | 343 |
| §8.9 空气喷气发动机.....        | 333 | 习题答案 .....         | 350 |

# 第一章 分子运动论

## § 1.1 物质的结构

大约在 2300 年以前,就产生了一种学说,认为一切物体都是由极小的微粒组成的,这些微粒在不断地运动着和相互作用着.近代科学研究证实了这一学说,并且进一步把它发展成为物理学中的一个重要理论——分子运动论.利用这种理论能够说明很多物理现象和物质的性质.在这一章中,我们将初步介绍一下有关这一学说的基本知识.

许多观察和实验的结果告诉我们,任何物体都可以分割成为极小的微粒.例如,倒在桌子上的一滴乙醚或香水,可以使人们在容积达数百立方米的房间里到处都能闻到它们的气味.如果在屋子里放上几块樟脑,那么,在屋子里的人就能够长时间地嗅到它的气味.我们知道,只有物质作用到人的嗅觉器官时,我们才能够闻到它的气味.在屋子里的任何地方都能够嗅到某种物质的气味,这一点表明了,在屋子里到处都有这种物质存在.由于少量物质的气味能够传到很远的地方,因此证实了整个物体是可以分割成为极小的微粒的.

任何物体都能够分割成为极小微粒的这种性质,叫做物质的可分割性.在日常生活中,我们还能够举出许多例子来证实物质的可分割性.

例如,一块糖可以分割成为许多碎粒,碎粒还可以捣成粉末,这些粉末仍然是甜的,这说明粉末里面仍具有糖的特性.

坚硬的钢铁也可以铰成细微的碎屑，碎屑里面的每一个微粒都具有钢铁的特性。

许多固体能够溶解于水或其他液体中，这时它们就分成了很小的微粒。例如，把 0.1 毫克的红色颜料溶解在 1 升的水里后，虽然在每一厘米<sup>3</sup>的水中只含有万分之一毫克的颜料，但这一点点颜料就能够使水呈现出红色。不仅固体可以分割成为很小的微粒，液体也是一样，例如，把一小滴墨水滴入一杯水中，水就会全部被染上墨水的颜色。

因此，我们可以得出结论：任何物质，不论处于什么状态（固态、液态或气态），都可以分割成为极小的微粒。

但是，进一步研究上面这些现象后，就会很自然地产生这样的问题：既然物质可以分割成为极小的微粒，那么，这样的分割是否可以无限制地进行下去呢？

为了回答这个问题，我们来做下面的实验。把一小滴油滴到表面积很大的清洁水面上，这时油就在水面上逐渐地向四处扩展开来，同时油层不断地变薄。但是，在油还没有布满整个水面之前，就不再扩展了；也就是说，虽然油还有扩展的余地，但油层已不能进一步变薄了。这个现象说明，油层在厚薄方向上已经达到了分割的极限。这种分割的极限就叫做分子。

分子是构成物质的、而且具有这种物质特性的最小微粒。

现代科学的研究结果告诉我们，一切物体——固体、液体和气体都是由分子组成的。

虽然采用一般机械方法不能把分子继续进行分割，但是，通过化学过程，却可以把分子再行分割成为更小的微粒，这种微粒叫做原子。例如，食盐的分子是由一个钠原子和一个氯原子组成的；盐酸的分子是由一个氢原子和一个氯原子组成

的，水的分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的。原子是用通常的化学方法不能再行分割的最小的微粒。

近代物理学揭露了原子内部的复杂结构，并且进一步发现原子原来是由更微小的基本粒子所组成的。关于这方面的问题，我们将在第四册中进行讨论。

从上面所讲的内容中，我们已经初步看到物质的结构是非常复杂的。那么我们究竟怎样来进行研究呢？显然，如果我们企图在一开始就同时研究所有的问题，那么物质结构的复杂性就会难倒我们，使我们无从着手。但是，我们可以循序渐进，由简单到复杂，逐步地来了解物质的结构。我们先不考虑分子的结构而来研究分子的运动和相互作用，以及由此而产生的热现象；其次研究分子的结构；最后再研究原子的结构。在分子物理学和热学的研究中，我们可以把分子当做弹性小球来看待。

## 习 题 1.1

1. 什么叫做物质的可分割性？举些例子来说明固体和液体的可分割性。
2. 什么叫做分子？分子是不是构成物质的最小微粒？

## § 1.2 分子的大小和质量

我们已经知道，要保持物质的特性，就不能无限制地分割下去。一定有人会问：要把物体分割到什么程度才能看见分子呢？这个问题的回答也许不能令人满意，因为无论把物体怎么样分割下去，我们用肉眼永远也不可能直接看到分子。非但如此，即使用最好的光学显微镜也不能看到分子，而在

用显微镜所能看到的极为微小的颗粒中，也包含着大量的分子。

为了对分子的大小有一个初步的认识，我们先来看看下面的数据。

钢块可以做成 0.003 毫米薄的钢片。金块可以做成 0.0001 毫米薄的金箔，这种金箔能够透过光线。一滴油在水面上可以散开成 0.000001 毫米的薄层。这些物质的分子的大小当然比上面的数据还要小。

通过这几个实例，我们已经可以看到：物质不同，分子的大小也不同；可是一切物质的分子都是非常小的。

但是这些例子还只能告诉我们：金的分子比一万分之一毫米还要小，油的分子比一百万分之一毫米还要小……。而分子究竟有多大呢？

科学研究的结果，肯定地回答了这个问题。现在已经能够精确地测出各种物质分子的大小。前面已经讲过，在本书中，都将分子看成是弹性小球来讨论；因此，我们就可以用直径来表示它的大小。例如，氢分子的直径是  $2.5 \times 10^{-8}$ （即是  $2.5 \times 1/10^8 = 0.000000025$ ）厘米，水分子的直径是  $4.0 \times 10^{-8}$  厘米。一般分子的直径都在  $10^{-8}$  厘米左右。因此，如果把一千万个分子一个挨一个地排列起来，也不过是几毫米长。

科学家用种种方法（这些方法我们现在还不能介绍）确定了：一个克分子的任何物质所含的分子数都是  $6.023 \times 10^{23}$  个<sup>①</sup>；在标准状况下（即在  $0^\circ \text{C}$  和 760 毫米高水银柱的压强下），每立方厘米的任何气体所含的分子数也是相同的，大约有  $2.7 \times 10^{19}$  个。

---

① 这个数字叫做阿伏伽德罗常数，是物理和化学中最重要的常数之一，应该牢记。

为了设想这些数字有多么大,我们来看几个例子.

有一只容器的容积为 1 立方厘米,假设它原来是绝对真空,也就是连一个分子也没有.如果在器壁上钻一个小孔,使得在 1 秒钟里可以有 1 亿个空气分子进入容器,试问要经过多少时间,容器中的空气才能够达到它在标准状况时的密度呢?答案是:要经过九千年,就是九十个世纪!

如果把  $0^{\circ}\text{C}$  和标准大气压下 1 立方厘米中的气体分子一个挨一个地排列起来,那么可以排成 8,100,000 公里长,也就是沿着赤道围绕地球 203 圈.

如果把同样数目的砖头紧密地砌筑在一起,它们就会盖满地球上所有的陆地,而高度可以达到 120 米,这个高度大约相当于三层楼房高度的十二倍.

物质的分子虽然这样小,可是它们都具有一定的质量.分子的质量可以用两种方法来计算,下面就来介绍一下.

(1) 知道了一个克分子物质的质量和它所含的分子数,我们就可以很方便地计算出一个分子的质量.

在化学课本中我们已经知道,所谓一个克分子的物质就是指质量的克数等于它的分子量的那部分物质.例如氧的分子量为 32,则 32 克氧就是一个克分子氧,又如 18 克的水, 98 克的硫酸等都是一个克分子物质.

用氢气作例子来说明.一个克分子氢气的质量是 2.016 克,里面含有  $6.023 \times 10^{23}$  个氢分子,所以,一个氢分子的质量

$$\begin{aligned} m_{\text{H}_2} &= \frac{2.016}{6.023 \times 10^{23}} = \frac{20.16}{6.023 \times 10^{24}} = \frac{20.16}{6.023} \times 10^{-24} \\ &= 3.3 \times 10^{-24} \text{ 克.} \end{aligned}$$

由于 1 个氢分子是由 2 个氢原子所构成,因此,一个氢原子的质量只有  $1.65 \times 10^{-24}$  克.

(2) 知道了气体在标准状况下的密度和1厘米<sup>3</sup>体积中所含的分子数,同样也可以计算出一个分子的质量.

还是以氢气作为例子. 氢气在标准状况下的密度是0.00009克/厘米<sup>3</sup>,1厘米<sup>3</sup>里的分子数是 $2.7 \times 10^{19}$ 个.因此,氢分子的质量

$$\begin{aligned} m_{\text{H}_2} &= \frac{0.00009}{2.7 \times 10^{19}} = \frac{9 \times 10^{-5}}{2.7 \times 10^{19}} = 3.3 \times 10^{-5} \times 10^{-19} \\ &= 3.3 \times 10^{-24} \text{克}, \end{aligned}$$

答案和上面一样.

## 习 题 1.2

1. 月球和地球的平均距离是384,400公里,太阳和地球的平均距离是14,950万公里,如果用铁分子一个紧挨一个地排列起来,从地球筑成通往月球和太阳的“分子大道”,试问这两条大道各需要多少个分子?质量各是多少?设铁分子的直径为 $3 \times 10^{-8}$ 厘米,分子量为55.85.

[提示:55.85克的铁含有 $6.023 \times 10^{23}$ 个分子.地球通向月球的“分子大道”大约需要 $1.281 \times 10^{18}$ 个铁分子,这些分子的质量是 $1.18 \times 10^{-6}$ 克,也就是0.118毫克.通往太阳的“分子大道”大约需要 $5 \times 10^{20}$ 铁分子,它们的总质量约为0.046克,还不到50毫克.]

2. 计算下列各元素一个分子的质量:

氢(分子量为4),氮(分子量为28),氧(分子量为32),金(分子量为197).

3. 计算水( $\text{H}_2\text{O}$ )、氯化钠( $\text{NaCl}$ )和氧化铁( $\text{FeO}$ )的分子质量.

[提示:分子的质量等于组成分子的各原子质量之和.以水为例,一个水分子由两个氢原子和一个氧原子组成,而氧分子的质量为氢分子质量的16倍.一个氧分子又由两个氧原子组成,故得水分子的质量为 $m_{\text{H}_2\text{O}} = 3.3 \times 10^{-24} + 8 \times 3.3 \times 10^{-24} = (1 + 8) \times 3.3 \times 10^{-24} = 2.97 \times 10^{-23}$ 克,同理算得 $m_{\text{NaCl}} = 9.57 \times 10^{-23}$ 克, $m_{\text{FeO}} = 1.19 \times 10^{-22}$ 克.]

4. 一滴露水中含有  $19.71 \times 10^{15}$  个水分子. 如果每秒钟能数出 1,000,000 个分子, 那么, 要多少年才能数完这滴露水中的所有分子?

5. 1 克分子的任何气体在标准状况下的体积约为 22.4 升. 计算在标准状况下每 1 厘米<sup>3</sup> 气体所含的分子数.

6. 1 厘米<sup>3</sup> 铁中含有多少个铁分子?

7. 已知某种物质的密度  $D$  和分子量  $\mu$ , 试分别计算单位质量中所含该物质分子数的公式以及单位体积中所含该物质分子数的公式(阿伏伽德罗常数用  $N$  来表示).

### § 1.3 分子间的空隙

既然一切物体都是由分子组成的, 那么我们要问: 分子在物体中是怎样排列的呢? 分子是紧密地靠在一起中间毫无空隙, 还是它们之间有空隙存在呢? 通过观察和实验, 就能够回答这个问题.

气体很容易被压缩; 用较大的压强能够使气体的体积缩小到原来的百分之一或更小一些.

液体和固体虽然不象气体那样容易地被压缩, 但是它们也是可以压缩的. 例如, 水在 40,000 大气压的压缩下, 体积减为原来的  $1/3$ .

气体、液体和固体能够被压缩的事实说明了分子间是有空隙的. 当物体被压缩时, 分子间的空隙缩小, 因而物体的体积变小.

我们可以用下面的实验来证明液体的分子之间存在着空隙. 在长约 1 米, 直径约为 2 厘米一端开口的玻璃管里, 装上一半水, 再沿管壁慢慢地注入带有颜色的酒精(图 1.1), 这时可以清楚地看到水和酒精的分界面. 在玻璃管上做一记号, 标出酒精顶面的位置. 然后把管塞盖紧, 上下颠倒几次, 使水

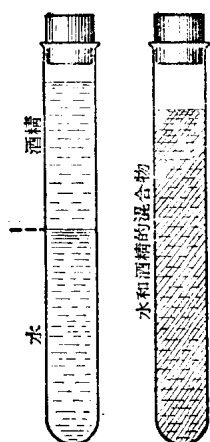


图 1·1 水和酒精混合时总的体积减小

跟酒精混合在一起,这时就可以看到,混合后液体的顶面比混合前要低一些.也就是说,混合后液体的体积比混合前两种液体的总体积要小一些.这个现象的解释是:经过混合后,分子开始重新分布,而且排列得比以前更为紧密,其中一部分分子间的空隙被另一些分子所占据,于是总的体积减小.

科学家曾经用 20,000 大气压的压强压缩厚壁钢筒中的油,虽然钢筒壁没有任何裂缝或其他损坏,但是结果发现油能够透过筒壁而渗透出来,这说明象钢这样坚固的物质的分子间也存在着可以让油分子通过的空隙.

以上事实有力地证明:在任何物质中,分子间都有空隙存在.物质不同,分子间空隙的大小也不同.对于同一种物质来说,分子间的空隙在气态时最大,液态时次之,固态时最小.

分子间虽然有空隙存在,但是即使用很好的显微镜也不能看到.平常我们眼睛所能看到的物体上的小孔或缝隙跟分子间的空隙比较起来,不知要大多少倍.

### 习 题 1·3

1. 为什么压缩气体比压缩液体和固体容易?
2. 一般物体受热后体积开始膨胀,试问这时物体分子间的空隙发生了什么样的变化?
3. 1 厘米<sup>3</sup>水中含有  $3.4 \times 10^{22}$  个分子, 1 厘米<sup>3</sup> 空气中含有  $2.7 \times 10^{19}$  个分子. 试问 1 厘米<sup>3</sup> 水的分子数比 1 厘米<sup>3</sup> 空气的分子数大几倍?

## § 1.4 分子间的相互作用力

既然任何物体都是由彼此之间有空隙的分子组成的，那么，为什么液体和固体的体积都很难改变，而且固体还能保持自己原来的形状呢？如果分子之间没有相互联系，那么，为什么物体不会自动地分成为一个一个的分子呢？大家知道，切割金属，拉断绳子，劈开木柴，都要用很大的力。这些现象说明，组成物体的分子间有引力的作用。每一个分子都吸引它邻近的分子，同时每一个分子也受到它邻近分子的吸引。

少数分子间的相互吸引力是觉察不到的。但是，当大量的分子相互作用时，它们总的吸引力就十分显著。分割固体或液体，就是要让这些物体的分子彼此离开，因此我们必须克服分子间的引力。

但是，分子间的引力只有当它们很接近的时候，才能显示出来。把破碎的玻璃片拼在一起，并不能使它们成为完整的玻璃，这是因为我们只是使少数的分子相互接近，而其余的分子彼此间还保持着相当的距离，因此，总的吸引力是非常小的。如果把玻璃片加热，使它变软，这时就有大量分子彼此接近到分子间的吸引力发生作用的距离，因而显示出很大的相互吸引力，这样就能够把破碎的玻璃片接合起来。

取一个分子作为球心，以分子引力能够作用到的最大距离作为半径，画一个球，那么，凡是在这个球里面的分子，都能和处于球心的分子相互吸引，而在这个球外面的分子，实际上和处于球心的分子没有相互作用。按照这样规定画出的球叫做分子作用球。根据实验结果，可以计算出分子作用球的半

径,这个半径的数量级<sup>①</sup>是 $10^{-7}$ 厘米。

在一定的范围内,分子间的距离越小,它们之间的相互吸引力就越大;因此,同一种物质由于所处的物态不同,分子间的吸引力也不同。

在固态时,分子间的距离最小,所以分子间的吸引力最大。

这就是固体能够保持自己的体积和形状的原因。下面的实验可以证实固体分子间存在着巨大的吸引力。

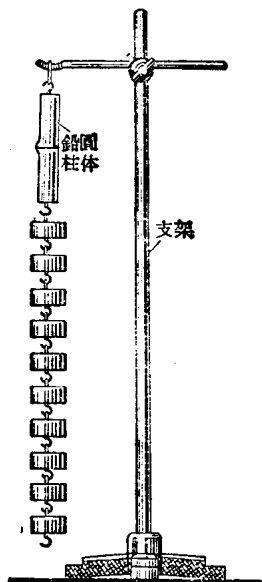


图 1·2 两块铅圆柱体由于分子引力的作用而结合在一起

在实心铅制圆柱体的两端,装上两个环,把圆柱体切断,然后使切开的这两部分相接触,并且用力压紧它们,以便使这两部分尽可能地紧密靠拢。于是,由于分子吸引力的作用,这两部分就连接成一整块。把铅柱的一个环挂在架上(图1·2),再在下面的环上挂上相当重的砝码,这时,圆柱体的两部分也不会被拉开。

在液态时,分子间的距离比固态时大,所以分子间的引力比固态时小。因而液体没有一定的形状,具有流动性,并且在分割时所需要用的力也较小。但是,液体分子间的吸引力已经足以

① 数量级是量度或估计物理量的大小常用的一种概念。例如地球的赤道半径是 6378 公里,可以写成  $6.378 \times 10^3$  公里,于是,我们说它的数量级是  $10^3$  公里;真空中的光速约为  $3 \times 10^{10}$  厘米/秒,它的数量级就是  $10^{10}$  厘米/秒;又如氢分子的质量约为  $3.3 \times 10^{-24}$  克,它的数量级就是  $10^{-24}$  克。