

自然常识教学参考丛书

23  
5

热

上海教育出版社

A large, white, stylized flame graphic with multiple tongues of fire, set against a dark, textured background. The flame is the central visual element, with the title and author's name placed within its upper portion.

# 热

陈德华 编著

自然常识教学参考丛书

热

陈德华 编著

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

新华书店上海发行所发行 上海崇明印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 2.625 字数 56,000

1980年2月第1版 1980年2月第1次印刷

印数 1—50,000本

统一书号: 7150·2262 定价: 0.22元

# 目 录

|                |    |
|----------------|----|
| 一 物质的结构——分子运动论 | 1  |
| (一)物质的组成       | 1  |
| (二)分子的大小和质量    | 2  |
| (三)分子间的空隙      | 4  |
| (四)分子的热运动      | 5  |
| (五)分子力         | 8  |
| (六)物体的内能       | 11 |
| 二 温度及测量        | 13 |
| (一)温度          | 13 |
| (二)温标          | 14 |
| (三)温度计         | 16 |
| 三 物体的热胀冷缩      | 23 |
| (一)物体的热胀冷缩现象   | 23 |
| (二)固体的热膨胀      | 25 |
| (三)液体的热膨胀      | 33 |
| (四)气体的热膨胀      | 36 |
| 四 热量 热功当量      | 38 |
| (一)热量          | 38 |
| (二)比热          | 39 |
| (三)燃料的燃烧值      | 41 |
| (四)热功当量        | 42 |
| 五 热传递          | 44 |
| (一)热传递         | 44 |
| (二)热传导         | 44 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| (三)热的对流·····      | 49 |
| (四)热的辐射·····      | 52 |
| (五)热传递的防止和利用····· | 54 |
| 六 物态变化·····       | 59 |
| (一)熔解和凝固·····     | 59 |
| (二)汽化和液化·····     | 64 |
| (三)升华和凝华·····     | 73 |
| (四)大气中水汽的变化·····  | 74 |

# 一 物质的结构——分子运动论

## (一) 物质的组成

为了认识物质的性质和揭示热现象本质，就需要研究物质的结构及其内部分子运动的情况。

早在二千五百年以前，已经有人认为我们周围所有的物体都是由极小的“微粒”所组成的。如古希腊哲学家德谟克利特等人认为物质是由许多不连续的微粒组成的。由于封建社会的反动统治和中世纪教会对科学的迫害，这种唯物思想长期没有得到发展。十八世纪后，由于生产和科学的发展，人们对物质结构的认识不断丰富，许多实验事实又为人们认识物质结构提供了科学的工具，特别是对化学反应律的研究，用实验事实做基础，才把从前有关物质的结构假说变成科学的理论——原子-分子论。

原子-分子论认为：①分子是物质独立存在的最小质点，分子不能再分为不消失原物质基本性质的更小质点。②物质可以由单种或几种元素组成（前者称为简单物质，后者称为复杂物质），原子是组成元素的最小质点，具有该元素的一切性质。③简单物质的分子是由几个相同的原子组成的，复杂物质的分子是由几个不同的原子组成的。④分子的运动是极无规则的，永不会停止，并且只与物质温度有关。⑤原子间及分子间有互相作用力，这个作用力随着物质的组合状态而变化，一般地说，在固体和液体中分子作用力较大，气体中的分子作

用力最小。

原子-分子论到十九世纪五十年代,逐渐发展为计量的分子运动论。

分子运动论的基本内容可概括为:物体是由大量的所谓分子的微粒构成的;分子永远不停地作无规则运动;分子之间有空隙,分子之间有互相作用的引力和斥力。

研究分子运动和用分子运动论解释热现象时,要注意,如果只有个别或大群分子的有规则运动,还不能决定物体热现象的性质。物体热现象是物体内部大量分子作无规则运动的集体表现。

## (二) 分子的大小和质量

人们常说:“拣了芝麻,丢了西瓜”。这里是用芝麻来形容其小。芝麻的确很小,然而芝麻与细胞、分子相比,却是非常之大。细胞有大有小,其直径平均在0.01~0.1毫米之间,肉眼看不清,要用显微镜观察。细胞又是由分子构成的,分子又比细胞小得多。如果将水分子与乒乓球相比,那么它们大小的比例就好像是乒乓球与地球之比。因此,我们用肉眼根本看不到分子的形状和大小。即使用近代最精密的光学显微镜,也不能用来直接观察分子的大小,可见分子是非常小的。

分子的大小,可以采用间接办法知道。在国际单位制中,用摩尔作为物质的量的单位。一摩尔物质中含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个微粒。例如1摩尔氧分子中含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个氧分子,它的质量(克数)等于氧的分子量,即32克。又如,18克的纯水含有 $6.023 \times 10^{23}$ 个水分子。这是个巨大的数字,设想把1摩尔水(18克)均匀地分布在整个地球表面,那么每平方厘米

就有十一万个水分子。

知道1摩尔物质的分子数，可以大略算出分子的大小。例如，4°C时1摩尔的纯水18克，它的体积是18厘米<sup>3</sup>，含有 $6.023 \times 10^{23}$ 个水分子。假定分子是一个挨一个无间隙的排列，则每个水分子的体积 $V$ 为：

$$V = \frac{18}{6.023 \times 10^{23}} \approx 30 \times 10^{-24} (\text{厘米}^3)$$

通常我们都用直径来表示分子的大小，如果把分子看成球体，它的直径 $D$ 为：

$$\begin{aligned} \therefore V &= \frac{4}{3} \pi \left( \frac{D}{2} \right)^3 \\ \therefore D &= \sqrt[3]{\frac{V \times 3 \times 8}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{30 \times 10^{-24} \times 3 \times 8}{4 \times 3.1416}} \\ &\approx 4.0 \times 10^{-8} (\text{厘米}) \end{aligned}$$

为了方便起见，在上面的运算过程中，我们已假定分子是一个挨一个无间隙排列的，实际上分子之间是有间隙的，故水分子直径要比上式算出的结果小，实际水分子的直径是 $2.6 \times 10^{-8}$ 厘米。

分子的直径一般只有几个埃(1埃= $10^{-8}$ 厘米)左右，比较大的分子如蛋白质的分子，它的直径也只有 $43 \times 10^{-8}$ 厘米。

知道了1摩尔物质的质量和1摩尔物质内所含的分子数，就很容易计算出每个分子的质量，例如1摩尔氢气的质量是2.016克，其中含有 $6.023 \times 10^{23}$ 个氢分子，所以1个氢分子的质量 $m$ 是：

$$m = \frac{2.016}{6.023 \times 10^{23}} \approx 3.4 \times 10^{-24} (\text{克})$$



用同样的方法，可以算出一个氧分子的质量是  $5.3 \times 10^{-23}$  克，一个食盐分子的质量是  $9.6 \times 10^{-23}$  克，可见分子的质量也是极微小的。

### (三) 分子间的空隙

不论物体处于什么状态(气、液和固态)，分子之间是存在空隙的，我们可以通过下面的实例或实验来说明。

气体很容易膨胀和压缩，足以说明气体分子间的空隙是相当大的。

对于液体，我们可以做这样的实验，装置如图 1.1 所示。

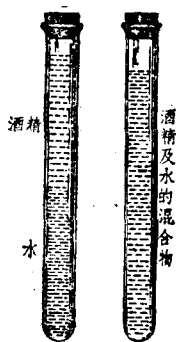


图 1.1

用一根一端开口的较长的玻璃管，在管内先装半管水，再沿管壁慢慢地注入有颜色的酒精，这时可以清楚地看出水和酒精的分界面。在玻璃管上做一记号，标出液面的位置。然后塞住管塞，摇动玻璃管，可以发现混合物的体积比混合前两种液体的总体积小。这说明酒精和水的分子之间都有空隙，混合时一部分分子占据了原来的部分空隙，所以混合物的体积变小了。

固体的分子之间也有空隙。例如，对于表面上看来是毫无空隙的钢筒，若用两万个大气压来压缩钢筒内的油，油就会从钢筒壁上渗出来。这表明看来没有缝的物质，分子间也有可以让油分子通过的空隙。又如，工业上钢的渗碳，也可证明固体分子间具有空隙。钢的固体渗碳法，就是把工件埋入木炭中，加热到  $900^{\circ}\text{C}$  左右，钢的表层吸收碳，含碳量增高，钢的硬度就会增加。人眼看不见钢铁分子

间的空隙，整块の木炭也不可能钻进钢里去的。只有木炭变成人眼看不见的小微粒时，才能钻到钢的空隙里去。

## (四) 分子的热运动

### 1. 扩散现象

物质的分子都在运动，所以两种物质在紧密接触时，即使不受到外力的影响，分子也会因为运动而渗混到对方物质里去，这种现象叫做扩散。

打开装汽油或氨水的瓶塞，很快就会闻到汽油或氨水的气味，这是分子扩散的缘故。在瓶口附近分子的浓度大，分子要向浓度小的地方运动，结果分散到周围更大的空间。我们也可以做这样的实验，在一个大的天平的盘内，放一只大杯子，使天平平衡，然后注入二氧化碳气体，天平就会失去平衡。不久，天平又恢复到平衡状态，这表示比空气重的二氧化碳分子扩散到空间去的结果。

液体也有相同的情况，在如图 1·2 所示的实验里，量筒的下半部盛硫酸铜溶液，然后沿上半部筒壁缓慢地注入清水，在两种液体的分界处，可以看出有明显的界限(上半部无色，下半部呈蓝色)。约放置数十分钟，溶液的上下颜色逐渐趋于一致。这是硫酸铜溶液分子和清水分子相互扩散的结果。

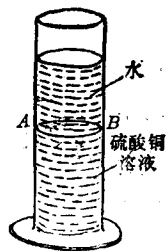


图 1·2

固体也有扩散现象。把一块铅片和一片金片，磨光后紧叠在一起，在室温下放置几年以后，可以发现金片表面层内夹杂着铅，铅片的表面层内夹杂着金。

## 2. 布朗运动

扩散现象只说明组成物质的分子都在不断地运动。分子很小,看不到分子的运动,只能用间接的方法推知分子运动的情况。

把一种物质的小颗粒放在不能溶解这种物质的液体里,

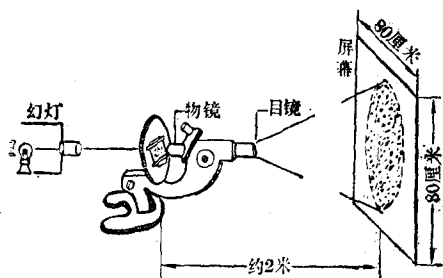


图 1·3

观察颗粒的运动,可以证实这种液体分子的运动和它的运动状态。例如,把少量的藤黄或烟墨放入水中,取一滴这样的悬浊液放在显微镜上,用幻

灯投影到屏幕上观察,装置如图 1·3 所示。当我们盯住一个颗粒观察时,可以发现这个颗粒运动的方向和速度大小改变很快,好象是在作短促的跳跃和颤动。如果我们每隔半分钟记录一次颗粒的位置,并用短线连起来,如图 1·4 所示。图中的三条折线分别表示三个颗粒在不同时刻所在位置的连线。

这种颗粒运动的现象,最早是由英国科学家布朗于一八二七年用显微镜观察悬浮在水中的植物花粉颗粒的时候发现的,因而又叫做布朗运动。

布朗运动只有把足够小(每个颗粒的直径

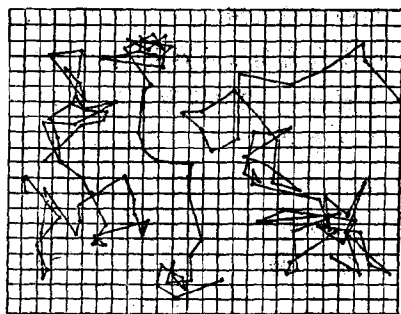


图 1·4

约为  $10^{-4}$  厘米或者更小些)的固体颗粒放入液体或气体中才能看到,较大或较重的颗粒不能产生布朗运动。布朗运动发生的原因可以从分子运动论的观点得到解释:液体(或气体)分子撞击悬浮的固体颗粒,如果颗粒较大,则从各方向来的撞击分子数目非常多,在某一瞬间,这些撞击在各方向的机会相等,它们的作用互相抵消,所以大的颗粒可以保持不动。但是,在小的颗粒上受到撞击的分子数目较少,可能受到从某一方向比其他方向较多的分子撞击,于是作用就不能完全抵消,结果这个小颗粒发生运动。这好象几个儿童同时从不同的方向踢击一只皮球,踢击的力在各方向是不均匀的,结果这个球就会沿着冲击力大一些的方向运动。

悬浮于液体中的颗粒虽然很小,但决不是分子,所以颗粒的本身运动不属分子运动,不过颗粒的运动情况能反映液体分子的运动状况。因为液体分子作无规则的运动的的结果,才使悬浮于液体中的颗粒在每一瞬间都要受到这些运动着的分子对它碰撞,在各个方向上常不一样,受到的冲击力不平衡,这时颗粒就沿着冲击力较大的方向运动。在下一瞬间,对于颗粒的冲击可能是另一方向较大,于是颗粒的运动方向又会改变。因此,颗粒运动的无规则性,反映了液体分子的运动是无规则的。悬浮于气体中的灰尘、烟雾等颗粒也有类似的运动,这说明气体分子的运动也是无规则的。

扩散现象和布朗运动都说明组成物质的分子在不停息地作无规则运动。实验还证明,温度越高,分子运动越剧烈,扩散越迅速,布朗运动越频繁。分子运动的速度与温度有关。我们把大量分子的无规则而不停息的运动叫做分子热运动,温度就是表示物质分子热运动的剧烈程度。

在热运动中,物体各个分子运动速度的方向和大小各

不相同,而且在不断地变化。某一瞬间,有些分子运动的速度很大,有些很小,但从大量分子的总体来看,它有“两头小,中间大”的规律,即速度接近平均速度的是大多数,速度远离平均速度(速度很大或很小)的分子是少数。我们可以用一个平均速度来表示大量分子热运动的情况。物体温度愈高,分子热运动愈剧烈,分子热运动的平均速度就愈大。

## (五) 分 子 力

既然物体是由许多不连续的分子组成,而且分子又在永远不停息的运动,那么为什么物体不会自动地分成一个一个的分子,而且液体和固体还保持着一定的体积?又为什么要改变物体的形状和大小时,必须要有外力作用,当外力撤去后,它们又会在一定程度上恢复原状?原来,这是由于分子间有相互的作用力的缘故。关于分子间的作用力,我们可以用下面的实例来说明。

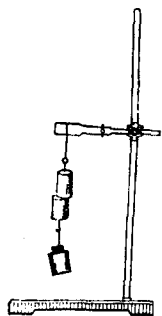


图 1·5

取两个小铅圆柱体,把用刀削干净的两个端面相接触,加以压力,这两个小铅圆柱体就接合起来。甚至在它下面挂一个适当重量的砝码,也不会把合上的两个小铅圆柱体拉开(图 1·5)。这说明两块小铅圆柱体压紧后,铅原子之间产生了吸引力。

把一块干净的玻璃片吊在弹簧的下面,使玻璃片水平地与水面接触,然后把弹

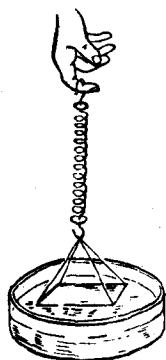


图 1·6

簧慢慢提起，当玻璃片快与水面分离时，弹簧就被拉长了(图 1·6)。这表明，当玻璃片与水面接触后，由于玻璃分子与水分子之间的吸引力，使玻璃片下面吸附着一层水。当把弹簧向上提时，附在玻璃片下面的那层水的分子与更下面的一层水分子互相吸引，为了克服这两部分分子的相互吸引力，弹簧就被拉长了。

上面的例子说明，不论液体或固体，分子间都有相互吸引力。但是，液体和固体难以压缩的现象，说明分子之间除了吸引力，还有排斥力。分子间的吸引力和排斥力构成一对矛盾，统一存在于物质之中。但是这两种矛盾并不是始终均衡的。矛盾的两个方面，通常必有一方面为主，而另一方面居于次要地位，主次转化的条件是分子间的距离。

分子力的作用与分子间的距离有关，这种关系可用图 1·7 来说明。图中纵坐标的正值表示引力，负值表示斥力。横坐标表示分子间的距离。由图可知，当分子间的距离等于  $r_0$  时 ( $r_0$  大约为  $10^{-8}$  厘米，也就是 1 埃)，分子间的引力和斥力平衡，这个位置叫做平衡位置。当分子间的距离小于  $r_0$  时，分子间的相互作用表现为

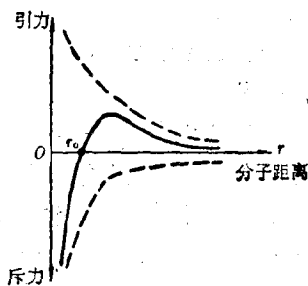


图 1·7

斥力。斥力随距离的缩小而急剧增大，这就是液体和固体很难压缩的原因。当分子间的距离大于  $r_0$  时，分子间的相互作用表现为引力。引力随分子间距离的增加，先是增加，后来就较快地减小，引力的作用范围大约在  $10^{-8}$  厘米到  $10^{-6}$  厘米之间。

在工程技术上应用分子力的作用是很多的。例如，用胶粘剂粘接钢材、木材、塑料；用电焊和气焊连接各种钢铁的构件等。六十年代又出现了摩擦焊接等新技术。摩擦焊接是使焊件的两个接触面高速地向相反方向旋转，同时加上每平方厘米达几百公斤到几千公斤的压力，经过几秒钟就能焊接成为一个整体。这是由于金属在摩擦时能去掉焊接表面的氧化膜，使表面变得十分纯净，而且产生大量的热量，使接触的金属表面熔化，相互扩散渗透，在强大压力作用下两个表面密切靠拢，使更多的金属原子相互吸引，把金属焊接得紧密无缝。

用物体内部分子热运动和分子力的作用关系，可以分析固体、液体和气体这三种聚集态的性质。

在固体中，分子间距离很小，分子间的作用力很大，使分子束缚在平衡位置附近，分子只能作微小的振动，而不能作相对移动。正象学生在做团体操时，各人虽然在一定位置上运动，但是整个队形却始终保持不变。这就决定了固体有一定的形状和体积，并有一定的机械强度。但是，固体分子不是绝对不能向外扩散，只是扩散得很慢。

在液体中，分子间距离比固体分子间距离大，分子间的作用力较小，液体分子的运动比固体分子活跃得多，它们不仅可以在某平衡位置附近作无规则的振动，而且可以向各个方向移动。因此，液体能流动，没有固定的形状，但有一定的体积。

在气体中，分子间距离很大，分子间的作用力很小，往往可以忽略不计（分子相互碰撞时除外），气体的分子运动非常活跃，分子有相互离开到处乱窜的趋势，所以把少量的气体放在较大的容器中，仍能充满整个容器。因此，气体没有一定的

**形状和体积。**

气体、液体和固体是可以转变的，当分子热运动和分子力这一对矛盾的两个方面发生转化时，物体的聚集态就要发生转化。

## (六) 物体的内能

自然界有各种不同的运动形式，每一种运动形式都对应有一定形式的能量。例如，与机械运动相对应的机械能等。与分子热运动相对应的就是物体的热能。热能通常叫做物体的内能。物体分子的动能和势能的总和叫做物体的内能。

组成物体的分子，既然是在不停地作无规则运动，那么，象一切运动着的物体一样，运动着的分子也就具有动能。

分子热运动是无规则的，各个分子的速度不一定相等，因而各个分子的动能也不一定相等。物体分子动能的平均值，叫做分子平均动能。分子平均动能随着分子的速度的增大而增大。物体分子的平均动能越大，物体的温度越高；物体分子的平均动能越小，物体的温度越低。物体的温度反映了物体内部分子运动状态的特征，温度是物体分子的平均动能的标志。热现象就是大量分子做无规则运动所表现出来的物理现象。如果只有一个分子或大量分子作有规则运动（如一起移动），都不能引起温度的变化。

任何相互作用的物体都具有由它们的相对位置所决定的势能。组成物体的分子间既然存在着相互作用的力，那么，分子也具有它们的相对位置所决定的势能。

任何物体都具有内能。具有内能的物体，同时还可以具有别种形式的能。例如正在空中飞行的炮弹，除具有内能外，



还具有机械能。内能是物体固有的属性，人们可以改变外界条件，使物体内能变化。改变物体内能的物理过程有两种，即做功和热传递。