

第一节 分子热运动

分子动理论内容：

1. 物质是由分子构成的，分子之间存在间隙。
2. 分子在永不停息地做无规则运动。温度越高，分子的无规则运动越剧烈。
3. 分子间同时存在相互作用的引力和斥力。

1. 物质是由大量分子构成的，分子之间存在间隙

常见的物质是由极其微小的粒子构成的，尽管在很久以前就有各个文明的哲学家提出这样的观点，但是直到最近几百年，才真正研究清楚这个问题，这得益于我们观察事物的精度提高了很多，从肉眼观察，到放大镜，到光学显微镜，再到电子显微镜。如果你要问这些微粒是什么，现代自然科学会给出很多种粒子的名称和性质，但是鉴于我们刚开始认识这个问题，我们就从最简单的开始。

我们把构成物质的微粒统称为分子，这有助于我们讨论这个章节的问题，因此在目前阶段，不管是固体、液体、气体，还是另类形态的物质，我们都说它们是由分子构成的。或者我们可以再往前一步，分子由原子构成，有些物质是单原子的分子，比如各种纯金属，纯铜由铜原子构成，纯铁由铁原子构成；有些物质是多原子的分子，比如水、塑料、食物、木材等是由各种分子构成的，它们的分子又是由不同的原子构成的，水分子就包含一个氧原子和两个氢原子，写作 H_2O ，还有许多有机物，基本是由碳原子、氢原子、氧原子构成。将来随着物理、化学、生物学科的学习，你会学到更多的物质，见到更多种类的微粒，但这不会影响这个章节的学习，因为这一节我们只是学习这些分子的共同特征，而不会学习具体的性质。另外不要把这些微粒单纯地想象成点或者球形，因为它们真实的形状千奇百怪。

一般分子的直径只有百亿分之几米，通常以 $10^{-10}m$ 为单位来度量分子，肉眼或光学显微镜不能看到分子。我们只有用电子显微镜才能看到一堆排列起来的分子，如图 1 所示：



(图 1：铂原子图像)

因为一个分子是如此只小，所以物质内含有无数个分子，如果我们取 64g 纯铜，大概是一块边长不足 2cm 的立方体，其内含有约 6.02×10^{23} 个铜原子，这个数字比宇宙中的天体数量还要大的多。

那么扫地时空中飞舞的尘埃、极小的水滴、极细的铜屑是不是分子？不是，因为分子是肉眼不可见的，一粒尘埃包含了上亿个分子，尽管你能看到无数个分子构成的宏观物质，但是你不能肉眼把一个个分子分辨清楚。

分子之间存在间隙，尽管肉眼不可见，但是可以有宏观的证据来说明，比如水和酒精混合后总体积变小，给气体加压后体积缩小，物体会热胀冷缩，冰化成水后体积减小，液态蜡凝固时体积缩小，油从封闭的容器或包装袋内渗出（想象“辣条”的包装袋）等；一般情况下，固体分子之间的间隙最小，基本无法直接压缩体积，液体分子之间的间隙居中，但是也不容易压缩体积，最明显的是气体，其分子间隙较大，可以很容易压缩体积。但是你捏海绵、面包、毛绒玩具时体积变小，是由于其宏观结构存在肉眼可见的空间，而不是改变了分子的间隙。

虽然说了这么多，但是你只需要理解：物质是由大量分子构成的，分子之间存在间隙。

2. 一切物质的分子在永不停息地做无规则运动。温度越高，运动越剧烈。

分子平时在做什么？静止还是运动，如何运动？我们肉眼看不到，但是我们可以通过一些常见的现象来推测一下。

如果你用鼻子嗅一下，可能会闻到各种的花香、食物的香味、香皂味，酒味、油漆味、汗味、脚臭、臭屁等，这取决于你在什么环境里，这是因为这些物质会挥发出某些芳香油分子，飘到了鼻子里。

在古诗词中，也有一些描写，如：

遥知不是雪，为有暗香来——王安石《梅花》

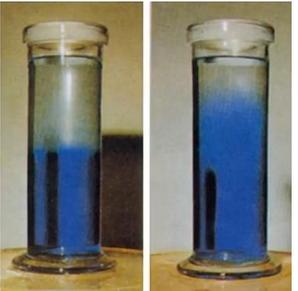
水晶帘动微风起，满架蔷薇一院香——高骈《山亭夏日》

花气袭人知骤暖，鹊声穿树喜新晴——陆游《村居山喜》

植物学家布朗在研究花粉时，发现无论是活的花粉还是烘干后的花粉，在水里永远都不会停下来，哪怕是经过了相当长的时间，对此现象合理的解释是**水分子在不停地无规则运动**，从而不停地撞击花粉颗粒，就像是你在热闹的集市上无法停下来，布朗是幸运的，因为花粉是一种大小合适的物质，既大到可以肉眼或者放大镜看到，又小到可以被水分子撞击而不会

沉入水底，我们把花粉的运动称之为布朗运动。但是雪花飞舞、树叶纷飞、炊烟袅袅、大雾弥漫、尘土飞扬、粉笔灰、PM2.5等，是大量空气分子从高压带向低压带定向流动形成的风吹动的，是有一定规则的运动，所以不能说明空气分子在不停地无规则运动。

分子不停地无规则运动会造成一些有趣的现象，如表 1 所示：

红棕色 NO ₂ （有毒）和空气 （几小时后）	硫酸铜溶液和水自动混合 （十天后）	金和铅（五年后）
		

（表 1：气体、液体和固体的扩散现象）

我们称为扩散：不同的物质在互相接触时彼此进入对方的现象。气体、液体、固体都可以发生扩散现象。由于分子在不同的无规则运动，同时分子间存在间隙，分子会自发地充满它们能够到达的空间，且与这个空间有没有其他物质无关，也就是说，某种物质的分子会自发地从该物质的高密度空间扩散到该物质的低密度空间，只不过不同形态的物质，完成扩散的过程需要的时间不同，这从表 1 中的时间可以看出，固体之间的扩散需要几年时间，而气体只需要几个小时。咸鸭蛋就是利用扩散，使盐分子穿过蛋壳进入鸭蛋内部变咸的；墙角的煤在一个冬天会使墙染上黑色，需要刮掉一层才能露出墙本来的颜色；橡皮放在尺子上静止放置几天，发现粘在一起了；一滴红墨水可以把整杯水染红，这些都是分子的扩散现象。

分子的运动是无规则的，它们会同时进行着平动、转动和振动。在高等物理中，会进行统计学分析，即统计大量分子的状态和参数，从而可以连接宏观和微观，在本节中，我们也会尝试把宏观现象和分子的微观表现结合起来分析问题，比如我们可以研究一下分子运动的剧烈程度。

分子无规则运动的剧烈程度受温度影响，温度越高，运动越剧烈。我们也可以从一些现象得出上述结论，比如热菜比凉菜会更容易闻到香味，墨水在热水中扩散更快，夏天各种气味比冬天更充足，湿衣服在阳光下比阴天更容易干。科学家们定义了绝对零度，是-273.15℃，此时所有物质的分子都停止了运动，但是该温度只存在于理论，目前还没有达到该温度的实例。

3. 分子间同时存在相互作用的引力和斥力



(图 2：固体、液体、气体的分子)

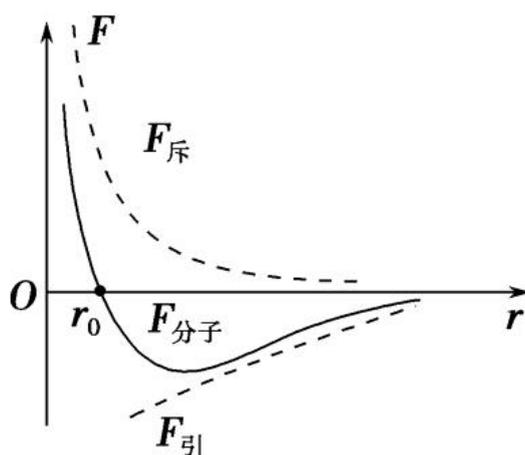
我们已经知道分子间存在间隙,但是为什么固体和液体很难被压缩呢?气体虽然容易被压缩,但是到一定程度也会变得很难。另外,我们可以轻易撕开一张纸,把橡皮筋拉长,但是用手拉长一根铁棒无异于痴人说梦。我们依然是从宏观的现象来推断微观的原理,那么原因就是:分子间既存在分子引力,也存在分子斥力。虽然看起来有点矛盾,但是这确实是事实。

分子之间的引力使得固体和液体的分子不致散开,因而固体和液体能保持一定的体积。壁虎的脚趾上有几亿条纤毛,可以在分子层级和玻璃分子靠近而产生引力;同样是固体,有些物体更难拉断,比如面条、钢丝和石墨烯,是因为不同物质分子间的引力也不一样大,当然也和粗细有关。胶水通过填充物质间的空隙,从而和两侧的分子都产生引力。两块玻璃沾水后合在一起,很难直接分开,就是依靠分子引力把两个物体粘在一起。两滴水珠或水银可以自动结合成一滴,它们的分子间的引力起到了很大的作用。所以你可以想象在撕开一张纸的时候,断面上的分子纷纷在向对面刚刚分开的分子大声地挽留“你不要离开我”,但是随着距离越来越远,它们之间的引力也越来越小,其实在撕开的一瞬间,引力就已经可以忽略不计了。我们知道一根筷子容易折,十根筷子难折断,其实是因为你要克服十倍的分子引力,已经超出了你能施加的力。破镜难重圆,是因为玻璃碎片之间即便接上也是只有少数分子能达到分子引力的级别,这些力加起来并不能把两块玻璃牢牢地吸在一起。

分子间的斥力使得固体和液体很难被压缩。因为它们的分子间距太小,以至于分子斥力太大,常规的力量很难让这么多分子距离进一步减小。气体分子间距较大,常温常压下,空气分子间距是分子直径的几倍到几十倍,所以很容易被压缩,但是压缩到一定距离,分子斥力会迅速增大,从而变得像固体和液体一样难以压缩,甚至直接变成液体,比如液化气。

所以，总结起来就是：分子间**同时存在**引力和斥力，其合力和分子间的距离有关，分子靠近的时候，斥力会迅速增大，合力表现为斥力；分子远离时，斥力又迅速减小，合力表现为引力；太远的时候，引力和斥力都变的十分微弱，可以忽略不计。

在高中阶段的热学部分，我们会具体学习分子间作用力随距离的变化规律，如果你有兴趣，可以看一下超纲的内容：用图像表示分子间的引力和斥力随距离的变化，如图 3 所示：



(图 3：分子间作用力随距离的变化图像)

r 表示分子间的距离， F 是分子间作用力，第一象限的虚线表示斥力随距离的变化，第四象限的虚线表示引力随距离的变化，实线表示引力和斥力的合力随距离的变化。

- (1) 分子间的引力和斥力都随距离的增大而减小。
- (2) r_0 位置，引力等于斥力，合力为零，称为平衡位置。(固体、液体的一般情况)
- (3) $r < r_0$ 时，斥力大于引力，合力表现为斥力。
- (4) $r > r_0$ 时，斥力小于引力，合力表现为引力。
- (5) $r \gg r_0$ 时，斥力、引力、合力都因为太小而忽略不计。(气体的一般情况)