

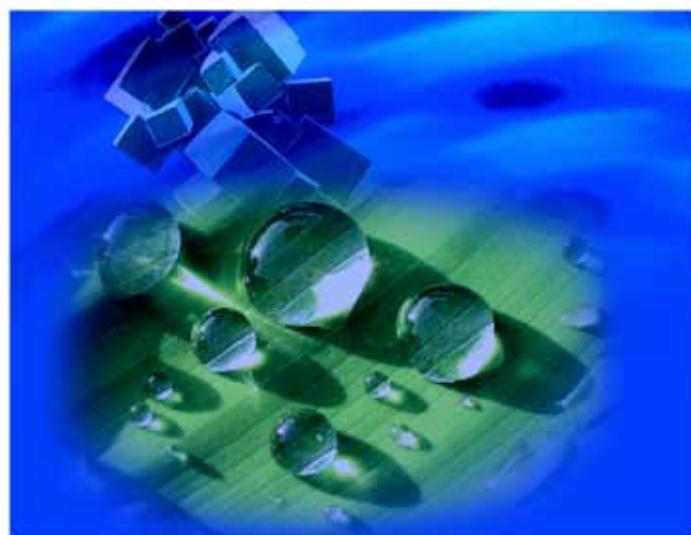
中学物理教材编写组

普通高中课程标准实验教科书

物理

PHYSICS

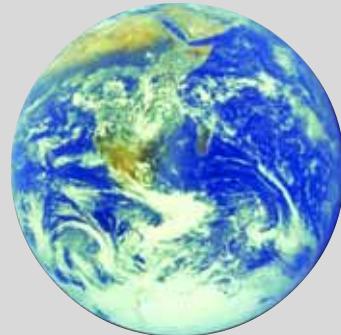
(选修 3—3)



山东科学技术出版社

目录

MULU

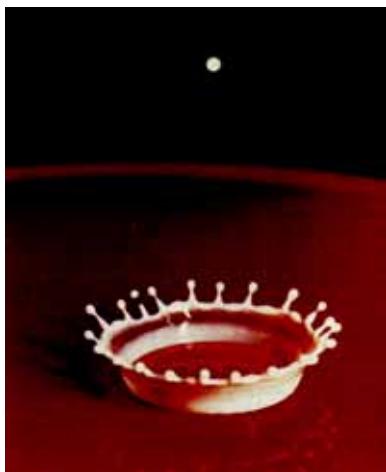


第1章 分子动理论

导 入 走进微观世界	2
第1节 分子动理论的基本观点 ...	3
第2节 气体分子运动与压强	10
第3节 温度与内能	16

第2章 固 体

导 入 从古陶器到纳米技术	21
第1节 晶体和非晶体	22
第2节 固体的微观结构	28
第3节 材料科技与人类文明	33



第3章 液 体

导 入 神奇的液体表面	41
第1节 液体的表面张力	42
第2节 毛细现象	46
第3节 液 晶	50

第4章 气 体

导 入 从天气预报谈起	54
第1节 气体实验定律	55
第2节 气体实验定律的微观解释	61
第3节 饱和汽	65
第4节 湿 度	69

专题探究 分子动理论及物质三态的实验与调研 … 72

第5章 热力学定律

导 入 水车和水泵	75
第1节 热力学第一定律	76
第2节 能量的转化与守恒	80
第3节 热力学第二定律	85
第4节 熵——无序程度的量度	90

第6章 能源与可持续发展

导 入 谢谢你，太阳	97
第1节 能源、环境与人类生存	98
第2节 能源的开发与环境保护	105

专题探究 能量与可持续发展的实验与调研 … 112

第1章

分子动理论

- 导入 走进微观世界
- 第1节 分子动理论的基本观点
- 第2节 气体分子运动与压强
- 第3节 温度与内能



导入

走进微观世界

我们用肉眼可以看到远在数百万光年以外的巨大星系，却不一定能够看清近在“眼前的细小物体”。

17世纪，当荷兰人列文虎克(A. Leeuwenhock, 1632—1723)把自己制造的显微镜对准一滴雨水的时候，他惊奇地发现有无数的微小生物游弋其中。他把这个发现报告给了英国皇家学会，引起了轰动，微观世界的瑰丽景象让人们眼界大开。

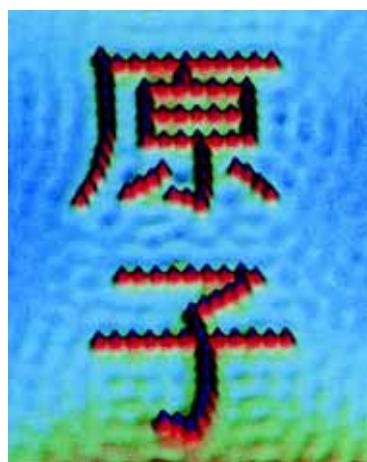


图 1-2 用扫描隧道显微镜拍摄的照片



图 1-1 邮票中的列文虎克和他的显微镜

随着科学技术的进步，如今人们的视野已经深入物质的内部。科学家甚至可以利用扫描隧道显微镜来操纵单个原子，随心所欲地移动这些微小颗粒，并且可排列成各种文字。按照这个尺寸，可以在一根大头针的针尖上写下一部《红楼梦》的全部内容。

神秘的微观粒子与宏观现象之间究竟有着怎样的联系呢？

在本章中，我们将应用分子动理论和统计的观点进一步探讨这些问题。

本章 要求

- 认识分子动理论的基本观点，知道其实验依据。知道阿伏伽德罗常数的意义。
- 了解分子运动速率的统计分布规律。认识温度是分子平均动能的标志。理解内能的概念。
- 用分子动理论和统计观点解释气体压强。
- 通过调查，了解日常生活中表现统计规律的事例。

第1节

分子动理论的基本观点

1. 物体由大量分子组成

物体是由大量分子组成的（在热学中由于原子、离子或分子做热运动时遵从相同的规律，所以统称为分子）。组成物体的分子很小，用光学显微镜无法看到。那么分子究竟有多小呢？下面我们用一种实验方法粗略地估测分子的大小。



用油膜法测量油酸分子的大小

用油膜法可以粗略测量分子的大小。油酸是一种脂肪酸，其分子对水分子有亲和力。把一滴油酸滴到平静的水面上，它将展成一片油膜。油膜面积最大时，可近似认为是单分子油膜。若把分子近似看成球体，则单分子油膜的厚度就等于分子的直径。只要测量出油滴的体积(V)和油膜的面积(S)，就可以估算分子的直径 $d=V/S$ [图1-3(a)]。

准备油酸($C_{17}H_{33}COOH$)、酒精、滴管、量筒、痱子粉、玻璃板、浅水盘、坐标纸。

- (1) 配制酒精油酸溶液。
- (2) 用注射器或滴管将酒精油酸溶液一滴一滴地滴入量筒中，记下量筒内增加一定体积(如1 mL)时的滴数，由此求出一滴酒精油酸溶液的平均体积 \bar{V} 。
- (3) 向浅水盘倒入清水，在水面上轻轻而均匀地撒一层痱子粉。在水面上用滴管滴一滴酒精油酸溶液，当油层不再扩散、形状稳定时，就近似形成了单分子油膜[图1-3(b)]。
- (4) 将玻璃片盖在浅水盘上，用彩笔将油膜的形状描绘在玻璃片上。
- (5) 将描有油膜轮廓的玻璃片放在坐标纸上，算出油膜的面积 S 。求面积时以坐标纸上边长为1 cm的正方形为单位，数出轮廓内正方形的个数，不足半个的舍去，多于半个的算一个。

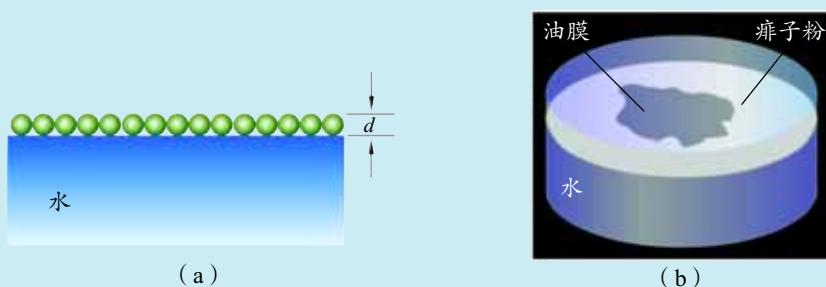


图1-3 估测油酸分子直径

(6) 根据酒精油酸溶液的浓度, 算出一滴溶液中纯油酸的体积 V 。根据油酸的体积 V 和油膜的面积 S 算出油酸分子的直径, 填入表1-1中。

表1-1

实验数据

油酸的体积 V / m^3	油膜的面积 S / m^2	油酸分子直径 d / m

请思考在实验中为什么要取非常小的一滴酒精油酸溶液做实验? 为什么实验时要使油膜尽可能地散开? 假如油酸分子不是紧密排列的, 对实验结果会产生什么样的影响?

更精确的测量表明, 除了一些有机物质的大分子外, 以米为单位, 一般分子直径的数量级为 10^{-10} 。例如, 水分子的直径约 $4 \times 10^{-10} \text{ m}$, 氢分子的直径约 $2.3 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。分子直径的数量级 10^{-10} 是非常小的数, 如果把分子放大到小指甲那么大, 再按照这个比例放大你的手, 手就大到可以握住整个地球(图1-4)。

分子很小, 组成物质的分子数目非常大。 1 mol 任何物质含有分子的数目都相同, 为常数。这个常数叫做阿伏伽德罗常数, 用 N_A 表示。通常取



图1-4 如果把分子的大小放到小指甲那么大, 再按照这个比例放大你的手, 手就大到可以握住地球

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

由阿伏伽德罗常数可以看出, 物质含有的分子数大得惊人。例如, 1 mol 水的质量为 18 g , 则 1 g 水含有的水分子数为 $6.02 \times 10^{23} \div 18 = 3.34 \times 10^{22}$ 个。

利用阿伏伽德罗常数可以计算出分子的质量。例如, 1 mol 水的质量是 0.018 kg , 水分子的质量

$$m = \frac{0.018}{6.02 \times 10^{23}} \text{ kg} \approx 3.0 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

除了有机大分子外, 一般分子的质量都非常小。例如, 氧分子的质量约 $5.3 \times 10^{-26} \text{ kg}$, 氢分子的质量约 $3.35 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。通常分子质量的数量级在 $10^{-27} \sim 10^{-25}$ 。

阿伏伽德罗常数是一个重要的基本常量, 通过它可以将物质的体积、质量这些宏观量与分子的大小、质量这些微观量联系起来。



讨论与交流

结合用油膜估测分子大小的方法, 讨论在估测过程中对油膜及分子所做的近似, 谈谈这种估测方法有何意义。



信息窗

显微镜与物质结构

最早的显微镜是由荷兰眼镜商詹森 (Z. Jansen, 1588—1631) 在17世纪初制造的。它结构简单，可以放大10~30倍，用来观察一些小昆虫（如跳蚤等），因此有人称它为“跳蚤镜”。半个多世纪后，英国物理学家胡克 (R. Hooke, 1635—1703) 研制出能够放大140倍的光学显微镜，首先发现了死亡细胞的细胞壁。1674年，荷兰布商列文虎克 (A. Leeuwenhoek, 1632—1723) 自己磨制透镜，组装了高倍显微镜 (300倍)，首次观察到了完整的活细胞。

光学显微镜以可见光为光源，分辨本领受到波长的影响。1931年，德国物理学家鲁斯卡 (E. Ruska, 1906—1988) 等人研制出了电子显微镜。此后，电子显微镜成为科学家对微观物质结构和生命形式进行探索的强有力工具（图1-6）。通过电子显微镜还能直接观察到某些重金属的原子和晶体中排列整齐的原子点阵。

1982年，德国物理学家宾尼希 (G. Binnig) 和瑞士物理学家罗雷尔 (H. Rohrer) 发明了扫描隧道显微镜（简称STM），通过扫描隧道显微镜可以看见表面原子的形状，还可以操纵吸附在表面上的原子、分子等。



图1-5 胡克时代的显微镜

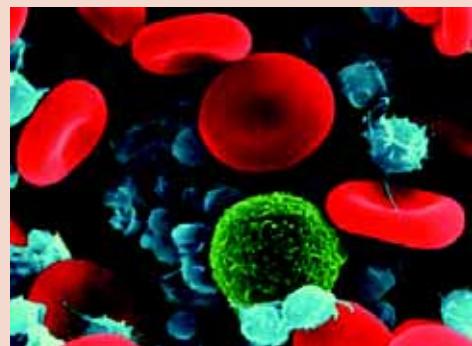


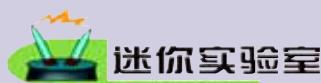
图1-6 血液细胞的扫描电子显微照片

1986年，鲁斯卡因研制电子显微镜，宾尼希和罗雷尔因发明扫描隧道显微镜，共同获得诺贝尔物理学奖。

2. 分子永不停息地做无规则运动

物质由分子组成，那么组成物质的分子处于什么状态呢？





观察碳粒在液体中的运动

实验1 在两个相同的玻璃杯中分别装入质量相等的冷水和热水，然后同时滴入一滴蓝黑墨水，仔细观察墨水的扩散现象。我们会发现，在温度高的水中蓝黑墨水扩散快（图 1-7）。

实验2 把碳素墨水用纯净水稀释，取一小滴放在载玻片上，盖上盖玻片，放在显微镜下观察悬浮在液体中的小碳粒的运动。小碳粒在不停地做无规则运动，碳粒越小，无规则运动越明显（图 1-8）。

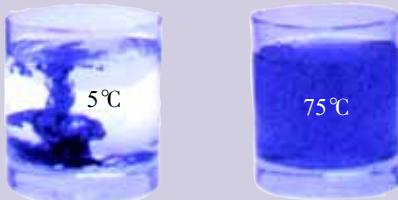


图 1-7 在温度高的水中蓝黑墨水扩散快

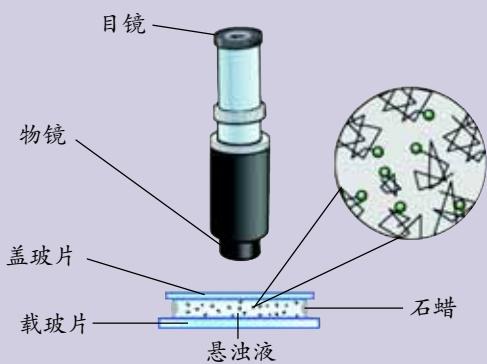


图 1-8 用显微镜观察小碳粒在液体中的运动

由实验 1 可见，墨水不断地扩散到清水中，这就是扩散现象。气体、液体和固体都能够发生扩散。实验中还看到，在温度高的水中，墨水扩散快。扩散现象表明，分子在永不停息地运动，温度越高，分子的运动越剧烈。

分子是怎样运动的呢？

在实验 2 中，我们观察到小碳粒在不停地跳来跳去，运动情况十分复杂。如果在显微镜下追踪一个小碳粒的运动，每隔 30 s 把观察到的小碳粒位置记录下来，然后用直线段把这些位置依次连接起来，就可以大致了解小碳粒运动的情况。图 1-9 是 3 个小微粒运动的情况记录。我们看到，同一时刻不同微粒的运动不同，同一微粒在不同时刻的运动也不同，即这些微粒在不停地做无规则运动。

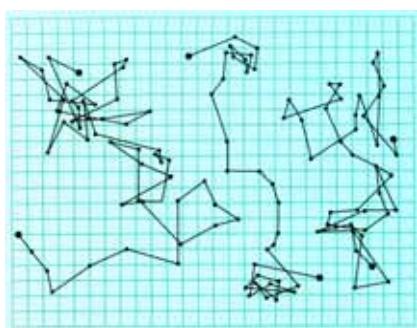


图 1-9 微粒位置记录图

悬浮微粒的无规则运动，是英国植物学家布朗在 1827 年发现的，人们把微粒的这种永不停息的无规则运动称为 **布朗运动** (Brown motion)。起初，人们认为布朗运动是生命特有的现象，或者是由外界因素（如静电力、振动或液体的对流等）引起的。进一步的实验发现，在尽可能排除外界因素干扰的情况下，布朗运动仍然存在。





布朗运动是怎样产生的呢？

实际上，布朗运动是由于微粒在液体中受到液体分子的撞击引起的。悬浮在液体中的微粒不断地受到液体分子的撞击，如果微粒较大，则在每一个时刻撞击微粒的分子数目较多，各个方向撞击的情况大致相同，这时微粒基本处于平衡状态，无规则运动不明显。如果悬浮微粒足够小，液体分子对微粒的撞击作用就不会完全抵消，在某一时刻，微粒在某一方向受到的撞击要强一些，致使微粒的运动状态发生变化；在另一时刻，微粒在另一个方向受到的撞击要强一些，微粒的运动状态又发生变化（图1-10）。布朗运动反映了分子在永不停息地做无规则运动。

进一步的实验表明，温度越高，布朗运动越剧烈，这反映了分子无规则运动的剧烈程度与温度有关。温度越高，分子运动越剧烈。因此，通常又把分子的无规则运动叫做热运动。

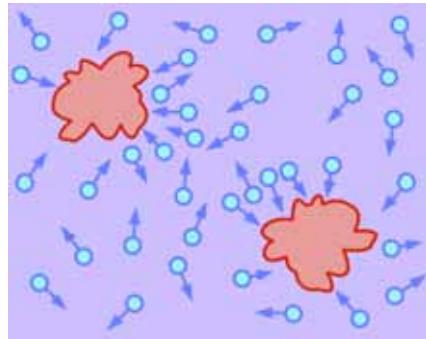


图1-10 液体分子撞击悬浮微粒的不平衡使微粒运动

方法点拨

布朗运动间接反映了液体分子的无规则运动。这种通过可以观察到的宏观运动来判断分子微观运动的方法，是物理学研究中的一种重要方法。

信息窗

布朗运动

1827年，英国著名植物学家布朗（R. Brown, 1773—1858）用显微镜观察采自南美的一种野花花粉时，发现花粉颗粒在水中不停息地做无规则运动。起初，布朗以为这是生命特有的现象。他又用已经保存了近百年的花粉和非常细小的无机物颗粒进行实验，结果都明显地看到了同样的运动。布朗把实验的经过和结果详细记录下来，写入了《植物花粉的显微观察》一书，书中写道：“在经过多次重复的观察以后，我确信这些运动既不是由于液体的流动也不是由于液体的逐渐蒸发引起的，而是属于粒子本身的运动。”布朗当时并不能解释这种运动的原因，但他精于观察和实验，从而发现了问题，为后人的进一步研究做出了开拓性的贡献。

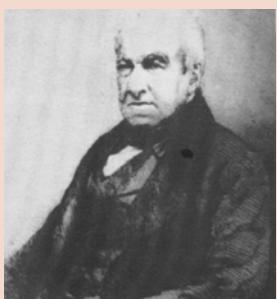


图1-11 英国植物学家布朗

1877年，法国物理学家德耳索（J. Delsaulx, 1828—1891）指出，这种现象是由于微粒受到周围分子碰撞的不平衡引起的，从而为分子无规则运动的假设提供了有力的实验证据。德国物理学家爱因斯坦和波兰物理学家斯莫卢霍夫斯基（M. Smoluchowski, 1872—1917）等对布朗运动也进行了认真研究，1905年，爱因斯坦发表了关于布朗运动的论文，从统计的角度解释了这种现象，为分子动理论和统计力学的发展做出了重要贡献。

3. 分子间存在着相互作用力

既然分子在永不停息地做无规则运动，为什么固体和液体的分子不散开，且能保持一定的体积，而固体还能保持一定的形状呢？


迷你实验室

分子间的引力

实验1 把两个铅块的表面锉平，再用力把它们压在一起。看看铅块下面挂上多少钩码才能把它们拉开（图1-12）。

实验2 将洗净的玻璃板用弹簧秤吊起来，使玻璃板水平接触水面，然后竖直上拉。这时，向上拉动玻璃板的力大于玻璃板所受的重力（图1-13）。请解释原因。



图1-12 固体间的分子引力



图1-13 固体与液体间的分子引力

由实验可知，组成物质的分子之间存在着相互作用的引力。固体和液体能保持一定的体积，就是因为分子间存在引力。

固体和液体都很难被压缩，又说明物质内部的分子之间还存在着斥力。

研究表明，分子之间同时存在着引力和斥力，它们的大小与分子间的距离有关。当分子间的距离为 r_0 时，引力和斥力相互平衡，分子受力为零；当分子间的距离小于 r_0 时，引力和斥力虽然都随着距离的减小而增大，但斥力增大得更快，因而分子间的作用力表现为斥力；当分子间的距离大于 r_0 时，引力和斥力虽然都随着距离的增大而减小，但是斥力减小得更快，因而分子间的作用力表现为引力（图1-14）。当分子间的距离超过 $10r_0$ 时，分子之间的相互作用力可以忽略不计。

r_0 的数值因分子的不同而不同，一般来说，以m为单位，它的数量级是 10^{-10} 。固体、液体分子间的距离与

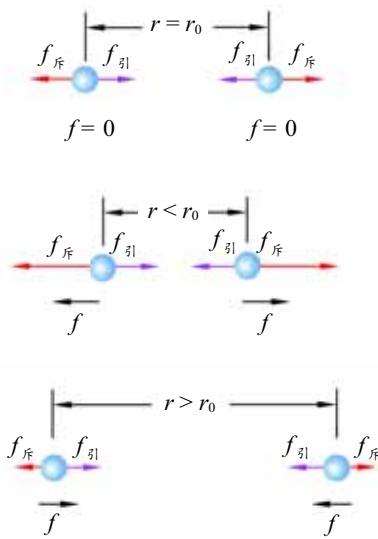


图1-14 分子力与分子间距离的关系



r_0 接近，液体分子间的距离比固体分子间的距离略大；气体分子间的距离更大，所以气体分子间的作用力很小，一般可以忽略不计。

固体、液体分子间和气体分子间的作用力不同，它们的分子运动情况也不同。固体分子密集在一起，在分子间作用力的作用下，分子在平衡位置自由振动；液体分子的密集程度较固体小，每个分子一边振动，一边在其他分子之间穿梭往来；气体分子间的相互作用很小，分子快速运动，而且毫无秩序，这种混乱无序导致分子间的频繁碰撞(图 1-15)。

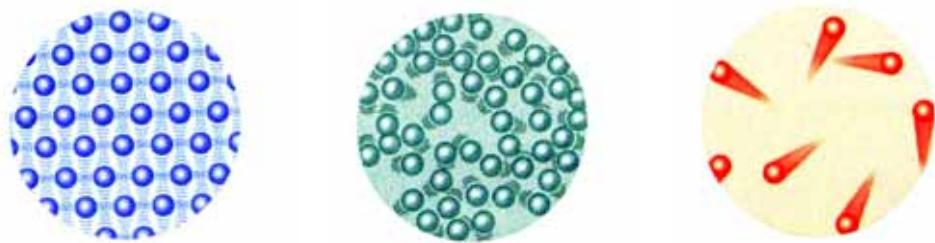


图 1-15 固体、液体、气体分子的运动

作业



第2节

气体分子运动与压强

1. 偶然中的必然——统计规律

气体分子都在不停息地做无规则运动，每个分子的运动状态瞬息万变，每一时刻的运动情况完全是偶然的、不确定的。那么，大量分子的无规则运动是否有规律可循呢？

研究发现，大量的偶然事件整体遵循着一定的统计规律。什么是统计规律呢？让我们先来分析生活中的一个事例。

在体育比赛中常常用抛硬币的办法来决定发球权，以示公平。为什么这样做能体现公平？如果多次抛掷会出现什么情况？

 迷你实验室

抛硬币的统计规律

抛掷硬币（图1-16），分别计算抛掷5次、100次、500次时，硬币出现正、反面的次数和比例。抛掷硬币次数的多少对实验结果有什么影响？

也可以试着用很多硬币同时做实验，看看有什么规律，比较抛掷硬币量的多少对实验结果的影响。



图1-16 抛硬币

每一次抛出硬币时，无法确定出现正面还是反面，抛掷次数较少时，出现正面、反面的比例也是不确定的。但抛掷次数很多时，出现正面和反面的次数大约各占抛掷总次数的50%。抛掷次数越多，出现正面（或反面）的百分率就越接近50%。

历史上不少统计学家（如皮尔逊等）做过成千上万次抛掷硬币的试验，有关试验记录数据见表1-2。





表1-2 抛掷硬币试验

试验者	抛掷次数 m	出现正面次数 n	出现正面的频率 n/m
棣莫佛	2 048	1 061	0.518 1
布 丰	4 040	2 048	0.506 9
皮尔逊	12 000	6 019	0.501 6
皮尔逊	24 000	12 012	0.500 5

这些数据说明,某一事件的出现纯粹是偶然的,但大量的偶然事件却会表现出一定的规律。这种大量偶然事件表现出来的整体规律,叫做统计规律。



讨论与交流

由于受基因、年龄等因素的影响,人群中每个人的身高不相同。图1-17是某小学三年级学生的身高统计分布直方图。

学生身高的分布有什么规律?出现人数最多的身高是多少?请你与同学讨论交流。

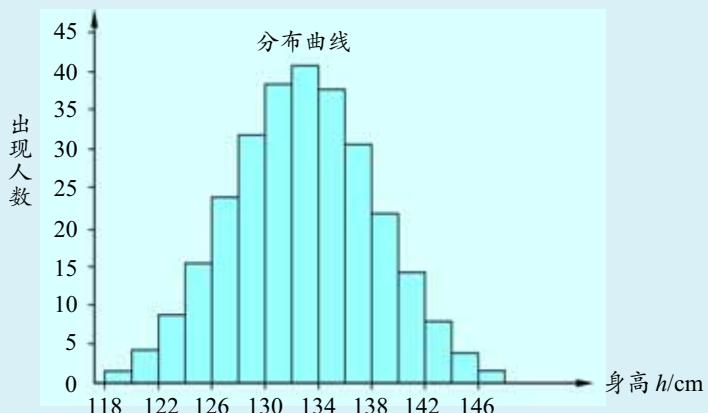


图1-17 某小学三年级学生身高分布直方图

2. 气体分子速率分布规律

每个气体分子运动的速率是不确定的。组成物质的分子数目是非常巨大的,大量气体分子的速率是否遵循着一定的统计规律呢?





迷你实验室

从伽尔顿板实验看统计规律

伽尔顿板是一种演示某种统计规律的装置。如图1-18所示，在一块竖直木板的上部均匀钉上许多铁钉，木板下部用竖直隔板隔成等宽的狭槽，装置前有玻璃覆盖。

从入口处投入一个小钢珠，小钢珠在下落过程中先后与许多铁钉相碰，经曲折的路径，落入某一槽中。重复几次，我们会观察到小钢珠落入哪个槽完全是不确定的。

如果保持手姿不变，把大量小钢珠从入口处缓缓倒入，观察落入槽中小钢珠的分布情况。我们发现，落入中央狭槽的小钢珠较多，落入两边狭槽的小钢珠较少。重复实验，得到的结果相似。

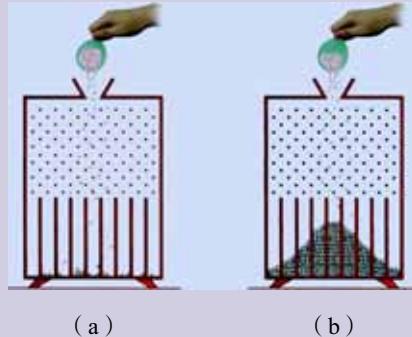


图1-18 伽尔顿板

实验结果表明，尽管单个小钢珠落入哪个狭槽是偶然的，少量小钢珠在狭槽内的分布情况也是不确定的，但大量小钢珠在狭槽内的分布情况却表现出一定的统计规律，即“中间多、两侧少”。

气体分子速率的分布也有着类似的规律。1859年，麦克斯韦从理论上推导出了气体分子速率的分布规律。20世纪20年代以后，陆续有许多实验证明了麦克斯韦速率分布规律。表1-3是不同温度下氧分子的速率分布情况。

表1-3

不同温度下氧分子的速率分布

按速率大小划分的速率区间 $\Delta v/m \cdot s^{-1}$	不同温度下各速率区间的分子数占总分子数的百分率 $\Delta N/N (\%)$	
	0℃	100℃
100 以下	1.4	0.7
100 ~ 200	8.1	5.4
200 ~ 300	17.0	11.9
300 ~ 400	21.4	17.4
400 ~ 500	20.4	18.6
500 ~ 600	15.1	16.7
600 ~ 700	9.2	12.9
700 ~ 800	4.5	7.9
800 ~ 900	2.0	4.6
900 以上	0.9	3.9



从表1-3中可以看出，在一定温度下，中等速率的分子占的比例最大。理论和大量实验表明，在一定温度下，不管个别分子怎样运动，气体的多数分子的速率都在某个数值附近，表现出“中间多、两头少”的分布规律。当温度升高时，“中间多、两头少”的分布规律不变，气体分子的速率增大，分布曲线的峰值向速率大的一方移动（图1-19）。

大量分子热运动所表现出来的统计规律对我们研究热现象具有重要的作用。

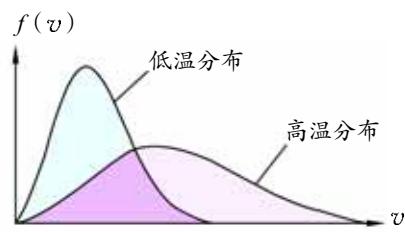


图 1-19 麦克斯韦速率分布规律

信息窗

麦克斯韦与气体分子速率分布规律

麦克斯韦（J. C. Maxwell, 1831—1879, 图1-20），英国理论物理学家，在宏观热力学和气体分子动理论方面都做出过很大贡献。1859年，他发表了《气体分子动理论的说明》论文，借助概率，第一次提出分子速率分布的概念，推导出速率分布函数，由此找到了由微观量求统计平均值的途径，为气体分子动理论奠定了基础。

麦克斯韦更重要的工作是在电磁理论方面，他建立了一个完整的、优美的方程组，把经典的电磁理论全都包含其中。

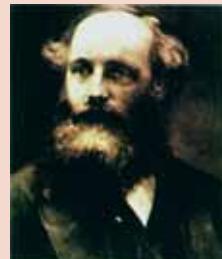


图 1-20 麦克斯韦

3. 气体的压强

气体压强是怎样产生的呢？我们先做一个类比实验模拟压强的产生。

迷你实验室

模拟气压的产生

如图1-21所示，在玻璃筒内装入一些塑料小球，这些小球代表气体分子。在小球上面放一轻质活塞，用电动机带动一振动器使小球运动。当电动机启动后，活塞受小球的撞击，悬浮在一定的高度。改变电动机的转速，观察活塞高度的变化。

保持电动机的转速不变，增加塑料小球的数目，再观察活塞高度的变化。

实验中观察到，增大电动机的转速或增加塑料小球的数目，活塞的悬浮高度都会增加。



图 1-21 实验装置图

塑料小球不断地撞击活塞，使得活塞稳定地悬浮。虽然活塞受到塑料小球撞击的作用力是短暂的、不连续的，但频繁地撞击，在整体上就能够表现出活塞受到一个稳定的作用力而稳定悬浮。

容器中的气体分子在做高速无规则运动时，容器壁受到分子的撞击更加剧烈（图1-22）。每个分子撞击容器壁产生的力是短暂的、不连续的，但容器壁受到大量分子频繁撞击，就会受到一个稳定的压力，从而产生压强。气体分子的运动是无规则的，气体分子向各个方向运动的概率相同，对每个器壁的撞击效果也相同，因此气体内部压强处处相等。

实验中我们观察到，电动机转速增大，会使塑料小球撞击活塞的速率增大，致使活塞受到的向上的作用力变大而上升；在电动机转速不变、小球撞击活塞的速率不变的情况下，增加塑料小球的数目，会使活塞受到的撞击更加频繁，也会使活塞受到的向上的作用力变大而上升。

与此类似，当气体温度升高时，高速率的气体分子数增多，整体上分子运动更加剧烈，分子使容器壁受到的撞击更加频繁，导致气体的压强增大〔图1-23（a）〕。若单位体积内的分子数目增加，气体分子撞击器壁也会更加频繁，使气体的压强更大〔图1-23（b）〕。由此可见，气体的压强与气体温度和单位体积的分子数有关，温度越高，单位体积的分子数越多，气体的压强越大。

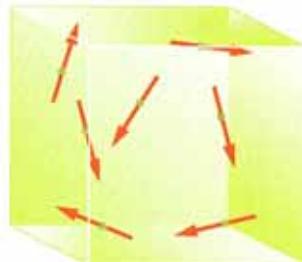
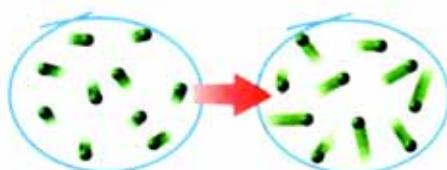
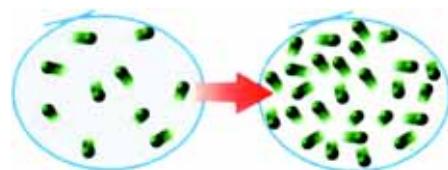


图1-22 分子频繁撞击容器壁产生压强



(a) 温度升高，压强增大



(b) 分子密度增加，压强增大

图1-23 压强与气体温度和密度的关系



讨论与交流

如图1-24所示，将一个没有充满气的篮球夹在两块木板之间压紧，用手摸篮球会觉得它很硬。如果将两块木板拿开再用手摸会觉得它很软。请你与同学讨论交流，从微观角度解释这一现象。

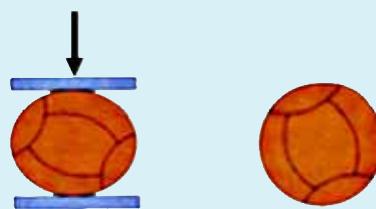


图1-24 没有充满气的篮球



作业

1. 下表是某防疫站统计的某年各月细菌性痢疾发病人数。

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
发病人数	4	4	6	5	7	8	28	75	97	49	27	14	324

试画出发病人数的统计图示，并讨论细菌性痢疾发病率最高的是哪个季节。

2. 下表是某市“五一”长假每天售出的火车票和汽车票的统计数据。

日期	1	2	3	4	5	6	7
火车票	10 500	9 800	8 600	7 200	7 900	9 700	9 500
汽车票	24 000	17 500	15 400	13 200	14 600	16 500	25 600

试画出7天中由该市分别乘火车和汽车出行的人数分布直方图。从中你能得到哪些信息？

3. 举几个自然现象或社会现象的实例，说明大量的偶然事件从整体上遵从一定的统计规律。
4. 炎热的夏天，打足了气的自行车胎在日光暴晒下有时会胀破。为什么？
5. 在失重的情况下，气体对于器壁是否还有压强？为什么？请举例说明。



第3节 温度与内能

1. 温度与分子平均动能

一端被加热的铁棒，各部分温度不相同（图1-25）。从微观角度看，这一现象的本质是什么？

组成物质的分子都在不停地做无规则运动——热运动，做热运动的分子具有动能。物体中分子热运动的速率大小不一，各个分子的动能也有大有小，每个分子在不同时刻的动能也不相等。宏观的热现象是大量分子热运动的整体表现，我们研究热现象，关心的不是单个分子的动能，而是大量分子动能的平均值，这个平均值叫做分子热运动的平均动能。



图1-25 一端被加热的铁棒，各部分温度不同

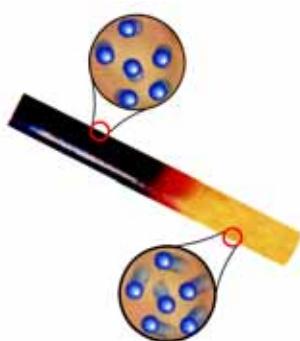


图1-26 铁棒加热时的分子热运动

温度升高时，物体内速率大的分子数增加而速率较小的分子数减少，从整体上看分子的热运动加剧，分子平均动能增加；温度降低时，物体内速率大的分子数减少而速率较小的分子数增加，物体内分子的热运动趋缓，分子平均动能减小。进一步研究表明，分子热运动的平均动能与物体的热力学温度成正比，或者说，温度是物体内分子热运动平均动能的标志。这就是温度的微观本质。

当铁棒加热时，铁棒的一端温度高，标志着其分子热运动的平均动能大；而另一端温度低，则标志着其分子热运动的平均动能小（图1-26）。

2. 分子势能

由于分子间存在着分子力，分子也具有由它们的相对位置决定的势能，这种势能叫做分子势能。





分子势能的变化可以根据分子间作用力做功来确定,分子间作用力做正功,分子势能减小;克服分子间作用力做功,分子势能增加。当分子间距离等于 r_0 时,分子间作用力为零,分子势能最小。当分子间距离大于 r_0 时,分子间作用力表现为引力,此时,再增大分子间距离,必须克服分子间作用力做功,分子势能随分子间距离增大而增大。当分子间距离小于 r_0 时,分子间作用力表现为斥力,此时,要减小分子间距离,必须克服分子间作用力做功,分子势能随分子间距离减小而增大(图1-27)。

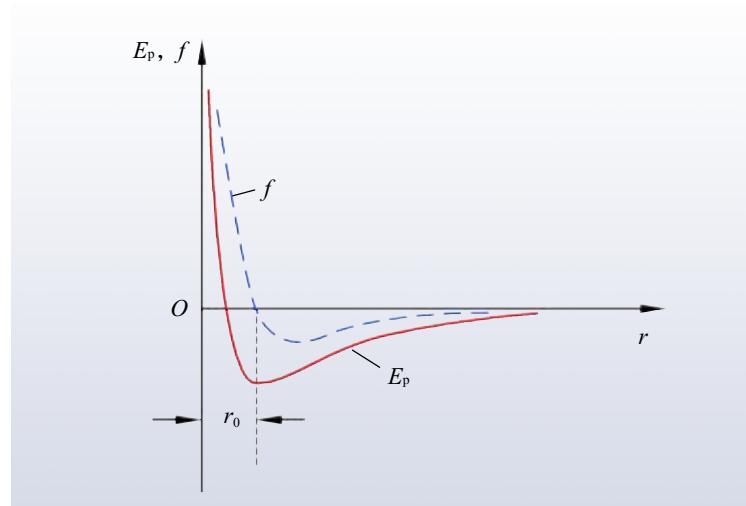


图1-27 分子力和分子势能随分子间的距离变化而变化

物体的体积变化时,分子之间的距离会随之变化,分子势能也会发生改变。因此,分子势能与物体的体积有关。

晶体熔化过程中,温度不变,只有在熔化完成后,温度才会升高,这是为什么呢?因为在晶体熔化成液体的过程中,规则排列的分子之间的距离要增加(图1-28),分子间作用力表现为引力,外界提供的热量用来克服分子的引力做功,使其分子势能增大,所以熔化过程中温度不变,分子平均动能不变,而分子势能增大,吸收的热量转化成分子势能。



图1-28 晶体熔化成液体的过程中,分子之间的距离增大

3. 物体的内能

所有分子热运动的动能和分子势能的总和,叫做物体的内能(internal energy)。分子永不停息地做无规则运动,分子间有相互作用力,所以任何物体都具有内能。

物体的内能与分子热运动的平均动能和分子势能有关。因为物体含有的分子数目与物体的质量有关，分子热运动的平均动能与温度有关，分子势能与体积有关，所以物体的内能与物体的质量、温度和体积有关。一定质量的物体，当体积不变、温度变化时，分子的平均动能变化，物体的内能变化；当温度不变、体积变化时，分子的势能变化，物体的内能也要变化。

对于机械能，我们关心的是它的改变。同样，对于物体的内能，我们关心的也是它的改变。

做功和热传递是改变物体内能的两种途径。

做功可以使其他形式的能转化为内能，使物体的内能增加；做功也可以使内能转化为其他形式的能，使物体的内能减小。所以，**通过做功改变物体的内能时，内能的变化量可以用做功的多少来量度。**

切割钢铁等金属时出现的火星（图 1-29），是物体克服摩擦力做功使内能增加的实例。

不仅做功可以改变内能，热传递也可以改变内能。热传递过程中的吸、放热导致了物体温度的变化，从而引起物体内能的变化。因此，热量是与不同物体或同一物体的不同部分之间内能的转移过程相联系的。热量是内能转移的量度。

通过热传递而改变物体内能时，内能的变化量由热量来量度。通常说物体吸收或放出了多少热量，就意味着在热传递过程中物体增加或减少了多少内能。热量和内能变化的过程相联系，热量是过程量，说物体含有多少热量是毫无意义的。

通过热传递改变物体内能的例子在我们身边比比皆是：将冷水和热水混合在一起，冷水吸热，温度升高，内能增加；热水放热，温度降低，内能减少。如图 1-30 所示，金属勺子放在热汤中，勺子吸热，温度升高，内能增加；热汤放热，温度降低，内能减少。炼钢炉通过热传递的方式使金属内能增加以致熔化（图 1-31）。



图 1-29 切割机做功使内能增加



图 1-30 在热汤中的金属勺子因热传递内能增加



图 1-31 热传递使金属内能增加以致熔化



迷你实验室

改变金属丝的内能

准备一根长约 50 cm 的金属丝，其他材料自选。

分别用做功和热传递的方式改变金属丝的内能。想出尽可能多的方法使金属丝内能增加。

要使一根金属丝变热，既可用火烤，也可反复弯折或不断摩擦。在火炉上烧水（热传递）能使水温升高，搅拌（做功）也能使水温升高。如果不知道具体过程，就无法根据结果判断内能改变的方式。也就是说，热传递和做功在改变物体内能上是等效的，但这两种方式有本质的不同：做功是其他形式的能与内能的转化；热传递是内能在物体之间或同一物体的不同部分之间的转移。

作业

- 尽可能多地举出其他形式的能与内能之间相互转化的例子。
- 一个铜球与一杯水的温度相同，而且质量相等，它们分子的平均动能相同吗？为什么？
- 请比较下图 3 杯水中分子平均动能的大小。



(第3题)

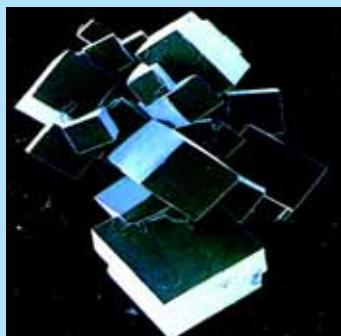
- 请动手完成下列步骤：
 - 将一把干燥的沙子放在一个带盖的金属容器中。
 - 用温度计测量沙子的温度。
 - 盖上盖子，然后用力摇动容器 1~2 min。
 - 猜想沙子的温度是否变化，然后再用温度计测量，验证你的猜想。
- 请解释你观察到的现象。



第2章

固 体

- 导入 从古陶器到纳米技术
- 第1节 晶体和非晶体
- 第2节 固体的微观结构
- 第3节 材料科技与人类文明



导入

从古陶器到纳米技术

古陶器是远古人类利用黏土烧制成的器物，因而陶也就成为人类利用自然界提供的原料制成的最早的一种人工材料。从土到陶是人类聪明才智的展现，是一次重大的技术进步。

纵观历史，材料科学技术的每一次重大突破，都会引发生产技术的革命，大大加速社会发展的进程，给社会生产和人们生活带来巨大的变化。

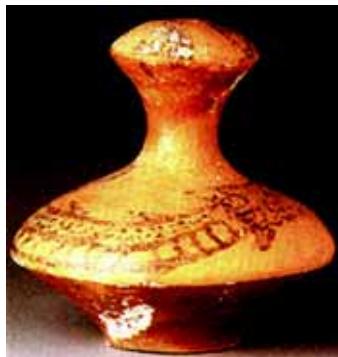


图 2-1 我国陕西宝鸡出土的新石器时代的陶器——鱼鸟纹细颈壶

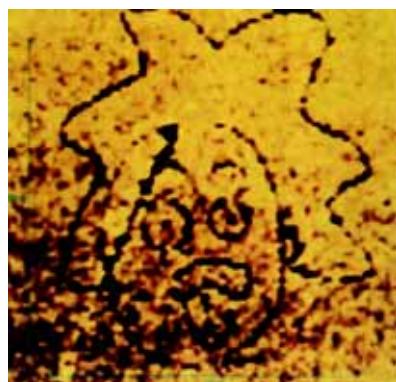


图 2-2 用纳米技术绘制的爱因斯坦头像
(面积 $100 \text{ nm} \times 100 \text{ nm}$)

近年来，随着纳米技术的不断发展，人们可以在接近原子的尺度上对各种材料进行加工和处理，从而诞生了各种纳米材料。其中，纳米陶瓷将使古老的陶瓷材料焕发出新的活力。

学习本章内容之后，你将会对固体及各种材料有一个新的认识。

本章要求

- 了解固体的微观结构。会区别晶体和非晶体，列举生活中常见的晶体和非晶体。
- 了解材料科学技术的有关知识及应用，体会它们的发展对人类生活和社会发展的影响。

第1节

晶体和非晶体

1. 固体及其分类

在通常情况下，自然界中的物质以固体、液体和气体这3种状态存在。固体不像多数气体那样看不见、摸不着，人们很容易察觉它的存在；也不像液体那样四处流动，它有固定的外形，可以根据需要进行加工处理。

人类对天然固体的加工和应用可以追溯到远古的穴居时代，当时的原始人类就已经能够将石块磨制成为多种简单的器具（图2-3），用于狩猎和农耕等活动。

随着社会的发展和科学技术的进步，固体在生产和生活中的应用也越来越广泛。我们用的笔、纸、家具，穿戴的衣帽，居住的房屋，行走的道路、桥梁等，都是用固体材料制成的。



图2-3 我国浙江吴兴出土的新石器时代的耘田器

讨论与交流

列举出10种固体物品，说明它们分别是用什么材料制成的，在哪些地方还用到这些材料，请你由这些事例归纳出固体具有哪些特点。

谈谈你的想法，并与同学讨论交流。

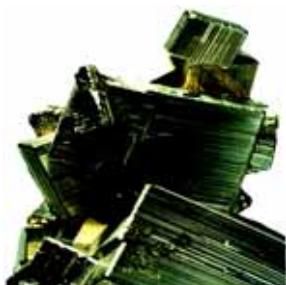


图2-4 黄铁矿晶体

固体通常可分为晶体和非晶体两大类。晶体具有固定的熔点和沸点，其分子的空间排列有规律。我们日常食用的糖、盐、味精等都是晶体；金、银、铜、铁、锡、铝等固态金属，以及一些金属矿石（图2-4），也都是晶体。非晶体没有固定的熔点和沸点，其分子的空间排列没有规律。玻璃、蜂蜡、松香、沥青、橡胶等则属于非晶体。



迷你实验室

观察晶体和非晶体

请准备一些食盐、冰糖或碎玻璃小颗粒，一只放大镜，一张深色的纸。

将食盐、冰糖或玻璃小颗粒放在深色的纸上，用放大镜仔细观察这些小颗粒，看看它们有什么不同（图2-5）。



图2-5 观察冰糖外形

2. 单晶体与多晶体

通过大量的观察和研究，人们发现晶体可分为单晶体和多晶体两类。单晶体（monocrystal）具有规则的几何形状，外形都是由若干个平面围成的多面体。例如，食盐的晶体是立方体（图2-6）；明矾的晶体是八面体；水晶（透明石英晶体）的中间是一个六棱柱，两端是六棱锥，而棱锥面都是底角为 71° 的等腰三角形（图2-7）。寒冬里纷飞的雪花，是由空气中水蒸气凝结而成的晶体，虽然它们形状各异，但都呈六角形。

另外一类晶体虽然没有规则的几何形状，但是通过显微镜观察其表面就会发现，它们都是由大量细微的小晶粒杂乱无章地排列在一起构成的（图2-8）。由于小晶粒杂乱无章地排列，使得这些金属和岩石不再具有规则的几何形状，我们把这样的晶体称为多晶体（polycrystal）。

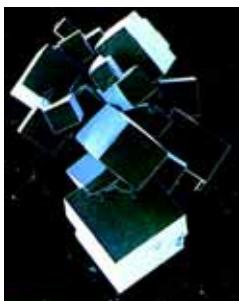


图2-6 食盐晶体（加有蓝色）



图2-7 天然水晶有规则的外形



图2-8 某种金属表面的显微图像
显示出不同形状的小晶粒

单晶体和多晶体不仅在外形上有区别，在物理性质上也不相同。



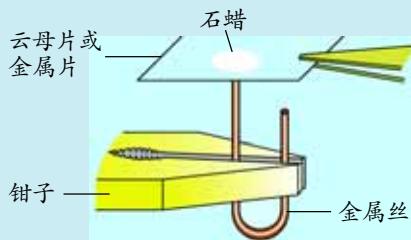


实验1 单晶体和多晶体导热性能比较

取一薄云母片（单晶体）[图2-9(a)]和一薄金属片，分别在它们的表面均匀涂上一薄层石蜡。把一根金属丝的一端放在酒精灯的火焰上烧红，然后分别与云母片和金属片未涂石蜡的一面接触[图2-9(b)]。注意观察石蜡在两种薄片上熔化时呈现的形状有什么不同，想一想产生这种差异的原因是什么。



(a) 云母片



(b) 石蜡在薄片上熔化

图2-9 导热性能比较实验

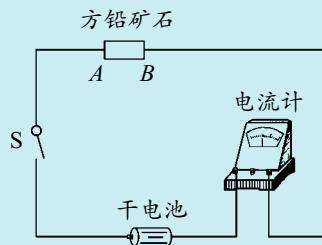
实验2 单晶体和多晶体导电性能比较

取一小块方铅矿石（单晶体）[图2-10(a)]和一小段金属条，将干电池、灵敏电流计和开关连接成图2-10(b)所示的电路。先让方铅矿石的A端和电池的正极相连，观察通电时电流计的读数。再分别把矿石旋转 30° 、 60° 、 90° 和 180° 接入电路，观察此时电流计的读数是否有变化。想一想这说明了什么。

用金属条代替方铅矿石接入电路中的A、B端，重复上述步骤，观察电流计的读数是否有变化。想一想这说明了什么。



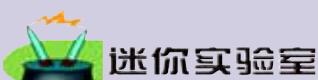
(a) 方铅矿石



(b) 实验电路图

图2-10 导电性能比较实验

由以上实验可以看出，单晶体云母在各个方向上的导热性能不相同，单晶体方铅矿石在各个方向上的导电性能不相同，而多晶体金属在各个方向上的导热性能和导电性能都相同。更多的实验和研究表明，单晶体在各个方向上的力学、热学、电学、光学等物理性质通常会出现不同的情况，我们把这种特性叫做**各向异性**。对于多晶体来说，因为小晶粒的排列是杂乱的，每个小晶粒各向异性的特征相互抵消，所以在各个方向上的物理性质几乎相同，整体表现为**各向同性**。



迷你实验室

晶体的生长

准备一个玻璃罐，小心地倒入热水。将盐（或糖、明矾、氯化铁等）加入水中，充分搅拌，直至晶体不再溶解，然后将溶液倒入另一个干净的玻璃罐，放置一段时间，会看到晶体的产生。

在另外一个干净的玻璃罐内放入同样的溶液，挑选一块最好的晶体，用绳子吊在铅笔上，使其没入溶液中，并用滤纸盖好罐口，避免尘埃进入（图 2-11）。

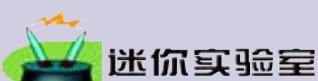
几天后你有什么新的发现？晶体真的会长大吗？想想这是什么原因。



图 2-11 晶体会长大吗

3. 晶体与非晶体

下面，我们先做一个实验。



迷你实验室

玻璃的各向同性

取一片薄玻璃片，在它的表面均匀涂上一薄层石蜡。把一根金属丝的一端放在酒精灯的火焰上烧红，然后与玻璃片未涂石蜡的一面接触。注意观察石蜡在薄玻璃片上熔化时呈现的形状。想一想，这种现象是否表明玻璃在各个方向上的导热性能相同。

大量研究表明，非晶体的物理性质是各向同性的。非晶体没有固定的熔点，晶体有固定的熔点。我们可以用温度—时间图象表示晶体和非晶体的熔化过程，图 2-12 中，纵轴表示温度 T ，横轴表示时间 t ，曲线 A 表示某种晶体的熔化过程，曲线 B 表示某种非晶体的熔化过程。在一定的压强下对晶体加热，晶体未熔化时，它的温度逐渐升高（曲线 A 的 bc 段）；到达温度 T_0 时，晶体开始熔化，直到晶体全部熔为液体，在这段时间里，固态与液态共存，虽然继续加热，

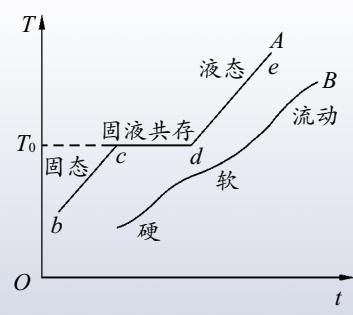


图 2-12 晶体和非晶体的熔化过程

但温度保持为 T_0 不变 (曲线 A 的 cd 段), 温度 T_0 就是晶体的熔点; 待晶体全部熔化后, 再继续加热, 温度才会再度升高 (曲线 A 的 de 段)。非晶体在熔化过程中随着温度的升高, 它先是变软, 然后逐渐由稠变稀, 最终完全变为液体。曲线 B 表示非晶体在熔化过程中温度逐渐升高, 整个过程不存在固定的熔点。

晶体和非晶体的不同特征, 使得它们具有不同的用途。

单晶体是一种十分重要的材料, 各种集成电路就是在纯度很高的单晶硅片上制造的(图 2-13)。多晶体的用途也很广泛, 在生产和生活中, 大部分强度要求较高的用品都是由金属制成的。在许多领域里, 非晶体也同样发挥着不可替代的作用, 各种车辆的轮胎就是用橡胶制成的 (图 2-14)。

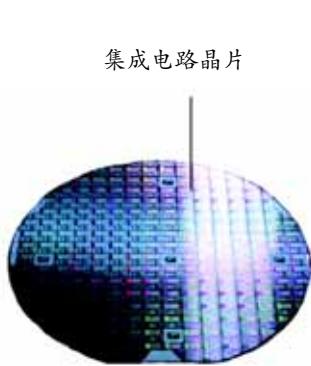


图 2-13 在单晶硅上制集成电路



图 2-14 橡胶轮胎

单晶体、多晶体或非晶体不是绝对的。有的材料在某种条件下是晶体, 在另一种条件下则是非晶体。例如, 制作晶体管的硅是单晶体, 自然界中的硅则是多晶体, 而非晶硅则是制作太阳电池的材料。有的晶体与非晶体在一定的条件下还可以相互转化, 如非晶态的玻璃经过加热冷却反复处理, 可使其结构有序化, 变为多晶体; 传统的金属晶体经过急冷处理, 可制得非晶态金属——金属玻璃。金属玻璃具有金属材料通常不具备的特性: 较高的强度, 很好的韧性、耐蚀性和磁性等 (图 2-15)。



图 2-15 金属玻璃薄带



信息窗

几种特殊的晶体

光折变晶体 在一定强度激光的照射下，折射率会发生变化的晶体，叫光致折射率变化晶体，简称光折变晶体。

压电晶体 某些晶体在被挤压或拉伸时，晶体的两端会产生不同的电荷，这种晶体叫做压电晶体。石英表中稳定频率的谐振子就是用这种压电晶体制成的（图2-16）。

热释电晶体 在温度变化时，某些晶体的两端会产生数量相等、符号相反的束缚电荷，具有这种性质的晶体称为热释电晶体。用热释电晶体可以制造测量火车轮轴的温度传感器，它可将火车轮轴产生的热量转化为电信号，用以检测火车行驶时轮轴的温度。



图2-16 人造水晶（一种常用的压电晶体）

作业

1. 收集雪花的各种图案，比较分析它们的异同。雪花是晶体还是非晶体？
2. 用冰制成的冰雕作品是晶体还是非晶体？为什么？
3. 玻璃可以磨制出规则的外形，可以说玻璃是晶体吗？为什么？



第2节 固体的微观结构

1. 晶体的结构

晶体规则的外形很容易让人产生这样的猜想：在晶体内部，组成晶体的物质微粒也应该是规则排列的。17世纪就有许多研究者提出了这一观点，但限于当时的条件，一直没能用实验来证实这一猜想。1912年（X射线被发现17年之后），德国物理学家劳厄用X射线来探测固体内部的原子排列，才证实了晶体内部的物质微粒的确是按一定的规律整齐地排列起来的。现在应用更先进的扫描隧道显微镜，我们已经可以直接对晶体的结构进行观察（图2-17）。

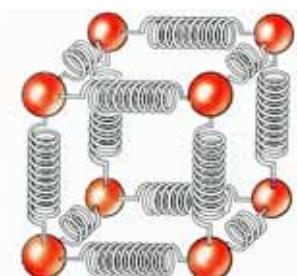


图2-18 一种晶体结构模型

研究表明，组成晶体的物质微粒（原子、分子或离子）有规则地在空间排成阵列，呈现周而复始的有序结构，说明晶体的微观结构具有周期性特点。另外，晶体内部各微粒之间还存在着很强的相互作用力，这些作用力就像可以伸缩的弹簧一样，将微粒约束在一定的平衡位置上；热运动时，这些微粒只能在各自的平衡位置附近做微小振动（图2-18）。

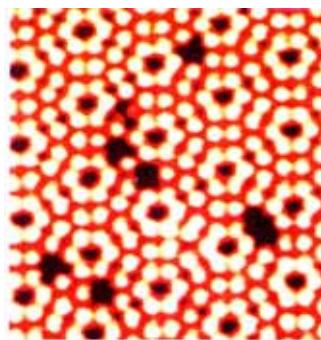


图2-17 扫描隧道显微镜下的硅晶体表面图像

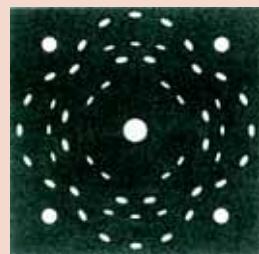
信息窗

劳厄与晶体X射线衍射实验

劳厄（M.V.Laue，1879—1960），德国物理学家。1912年，他提出用X射线探测固体内部原子排列的设想。劳厄推想：如果晶体内部的物质微粒是规则排列的，当X射线射入晶体内部时，就可能会被这些微粒有规律地分成若干束，并在底片上形成独特的规则图案。在他的指导下，两位助手在CuSO₄晶体的后面隔开一定距离放置一张照相底片，让一束X射线对



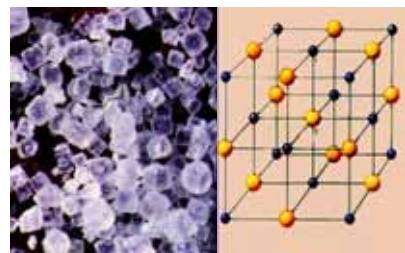
CuSO_4 晶体进行数小时照射。结果冲洗出的底片上呈现出由点组成的对称图案。这些点的排列就是由晶体的内部结构决定的。这一成果使劳厄荣获1914年诺贝尔物理学奖。图2-19是 NaCl 晶体的X射线衍射图，中间白色大亮点是未被散射的X射线，其他斑点则是射线与晶体结构中的氯、钠原子相互作用后在照相底片上形成的亮点。

图2-19 NaCl 的X射线衍射图

2. 晶体的结合类型

不同晶体的内部，物质微粒间结合的方式不相同。我们可以据此把晶体分成不同的结合类型。常见的晶体结合类型有离子晶体、原子晶体和金属晶体3种。

由正、负离子通过离子键结合而成的晶体叫做**离子晶体**。 NaCl 晶体就是由钠离子和氯离子结合成的一种离子晶体，其结构如图2-20所示。组成 NaCl 晶体的钠离子和氯离子在空间互相垂直的方向上等距离交错排列，每一个钠离子都被6个氯离子包围，同样每一个氯离子周围也排列着6个钠离子，钠离子和氯离子的总数是相等的。常见的离子晶体还有 AgBr 、 PbS 、 MgO 等。

图2-20 NaCl 晶体及其结构模型

相邻原子之间通过共价键结合而成的晶体叫做**原子晶体**。 SiO_2 晶体就是由硅原子和氧原子结合而成的一种原子晶体，其结构如图2-21所示。 SiO_2 晶体结构中的每一个硅原子都被相邻的4个氧原子包围，处于4个氧原子的中心，并与这4个氧原子结合成正四面体结构。这些正四面体向空间发展，构成晶体。常见的原子晶体还有碳（金刚石）、锗、锡等。

物质微粒通过金属键结合而成的晶体叫做**金属晶体**。铜晶体就是一种典型的金属晶体，结构如图2-22所示。铜原子除了占据立方体的每一个角以外，还占据立方体每个面的中心。无论是面心还是方格角上的铜原子，都与其他12个铜原子相结合。常见的金属晶体还有银、铝、镍和金等。

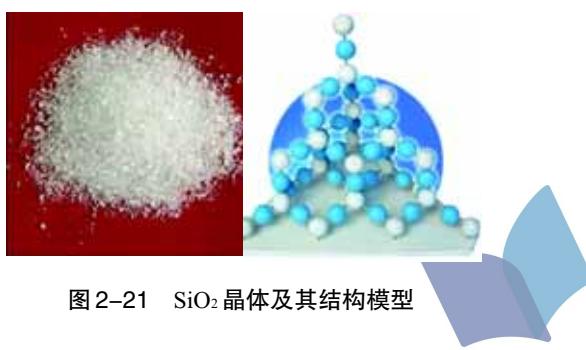
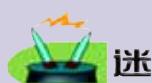
图2-21 SiO_2 晶体及其结构模型

图2-22 铜晶体及其结构模型



迷你实验室

制作晶体结构模型

准备大小两种小球若干个，牙签若干根，橡皮泥若干。

用以上材料分别制作3种晶体的结构模型，仔细比较各种晶体结构的异同。

你还知道哪些晶体的结构？请你把这些晶体结构的模型制作出来。

3. 固体特征的微观解释

晶体和非晶体的许多宏观特征，都可以根据它们的微观结构解释。

晶体内部物质微粒的排列有一定规律，在宏观上具有规则的几何外形；非晶体内部物质微粒的排列没有一定规律，在宏观上没有规则的几何外形。

用点表示固体内部的物质微粒，把它们的排列方式画出来，可以发现：在单晶体内部，沿不同方向的等长直线（图2-23中的AD、BE、CF）上，微粒的个数通常是不相等的，这说明单晶体在不同方向上的微粒排列及物质结构情况是不一样的，所以单晶体在物理性质上表现为各向异性；在非晶体内，物质微粒的排列是杂乱无章的（图2-24），从统计的观点来看，在微粒非常多的情况下，沿不同方向的等长直线上，微粒的个数大致相等，也就是说，非晶体在不同方向上的微粒排列及物质结构情况基本相同，所以非晶体在物理性质上表现为各向同性。

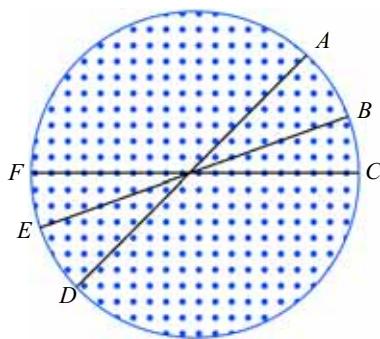


图2-23 单晶体内微粒的排列

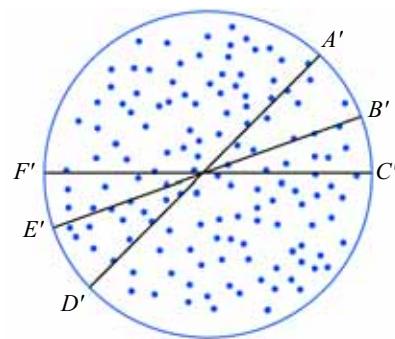


图2-24 非晶体内微粒的排列



讨论与交流

多晶体的微观结构具有什么特点？为什么多晶体没有规则的几何外形？为什么多晶体的物理性质是各向同性的？谈谈你的想法，并与同学讨论交流。



同一种物质微粒在不同的条件下有可能生成不同的晶体。虽然构成这些晶体的物质微粒都相同，但是由于它们的排列形式不同，因而物理性质也不同。金刚石、石墨和碳粉实际上都是由碳原子构成的晶体（图2-25），但是它们的物理性质有很大差异。

金刚石（diamond）形成于地球深处，在极高的温度和压力下，碳原子结合成金刚石晶体，其结构如图2-26所示。金刚石晶体中的每一个碳原子周围都有4个碳原子，它们彼此之间的距离相等，且有很强的相互作用力。金刚石是自然界中硬度最大的物质，可以用来切割玻璃，把它装在钻探机的钻头上，能够钻透坚硬的岩层。金刚石几乎不导电。

石墨（graphite）是松软的、不透明的灰黑色鳞片状晶体，其结构如图2-27所示。石墨晶体中的每一个碳原子同相邻的4个碳原子之间的距离不相等，呈明显的层状结构，每层中的碳原子都排成六边形。由于层与层之间的距离较大，碳原子之间的作用力较弱，沿着这个方向很容易把石墨一层层地剥离。石墨较软，常用来制造供机械使用的优质润滑剂，我们经常使用的铅笔芯也是由石墨制成的。石墨有良好的导电性。



图2-25 金刚石和石墨都由碳原子构成



图2-26 金刚石及其晶体结构

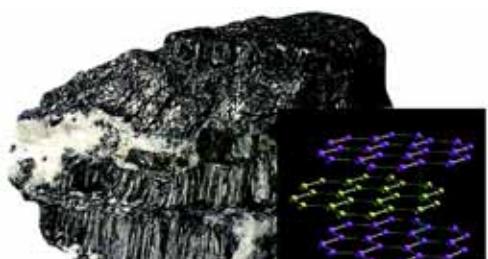


图2-27 石墨及其晶体结构

迷你实验室

石墨润滑剂

请准备1支铅笔和2张约 5 cm^2 的小纸片。

先将两张小纸片来回摩擦，感觉一下用力的大小。

用铅笔在每张纸片上涂抹，使尽可能多的石墨留在纸面上（图2-28）；再将这两张纸片涂有石墨的一面相互接触并来回摩擦。

你感觉后一次摩擦所用的力是大些还是小些？想想看，石墨还有哪些用途？

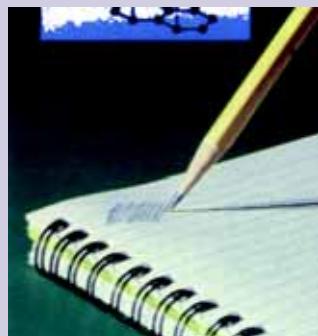


图2-28 给纸涂上石墨

信息窗**富勒烯**

人们曾经认为，碳只存在金刚石和石墨这两种同素异形体。1985年，英国化学家克罗托（H.W.Kroto）、美国化学家斯莫利（R.E.Smalley）和科尔（R.F.Curl）用大功率激光照射石墨时，得到了碳的第三种稳定的同素异形体C₆₀。在每个C₆₀分子中，60个碳原子排列成12个五边形和20个六边形，组成像足球一样的32面体，共有60个顶角，每个顶角上各有1个碳原子（图2-29）。C₆₀有许多特性：它能承受 2×10^{10} Pa的静态压力；它的球形分子结构特别适合做润滑剂；C₆₀晶体不导电，可用于制作新型的半导体材料；掺杂金属原子的C₆₀能成为超导体。

在研究C₆₀的分子结构时，三位科学家受到建筑大师富勒设计的穹顶建筑（图2-30）的启发，因此他们将C₆₀命名为富勒烯。三位科学家也因为这一重大发现而获得1996年诺贝尔化学奖。

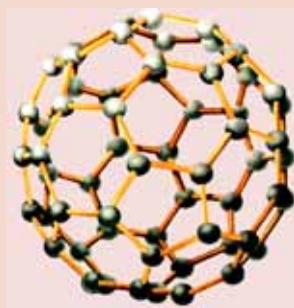
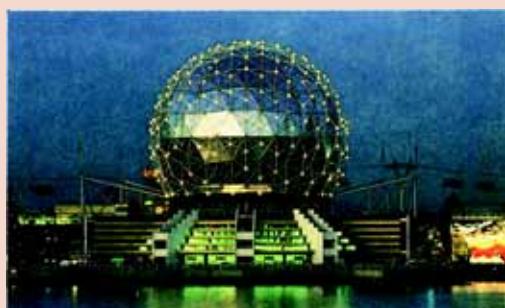
图2-29 C₆₀分子结构

图2-30 富勒设计的球状穹顶建筑

作业

1. 晶体具有哪些宏观特征？试从微观结构上对这些特征进行解释。
2. 单晶体、多晶体和非晶体有哪些主要区别？试从微观结构上加以解释。

请
提
问

第3节

材料科技与人类文明

1. 材料种类及用途

材料通常是指人们制造各种物品所用的物质，一般指固体。环顾四周，我们可以看到许许多多由金属、塑料、木材、玻璃、布、纸等材料制造的物品。制造不同的物品，对所用材料的性能必然会提出不同的要求。例如，桥梁要坚固，才能承载各种物重；衣服要柔软，才不会妨碍身体各部位的活动；窗户要透明，才能使室内有充分的阳光……

 迷你实验室

笔的不同材料

打开笔盒，看看你所用的笔都是由哪些材料制成的（图 2-31）。

请举例说明一支笔的不同部位用不同的材料制作是出于什么考虑。

请设计一种你自己理想中的笔，并指出笔的各个组成部分分别用什么材料制作。



图 2-31 几种常用的笔

每一种材料都有自己的特性，有的强度高、有的耐热性能好、有的导电性能好……按照材料的特性，可以把材料分为结构材料和功能材料两类。结构材料主要利用材料的力学特性，功能材料主要利用材料的声、光、热、电、磁等特性。按照材料的应用领域，又可以把材料分为信息材料、能源材料、建筑材料、生物材料、航空航天材料等。习惯上，人们把材料分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料。

金属材料一般包括金属与合金。常见的金属有铁、铜、铝、锡、镍、金、银、铅等。通

常使用的金属材料大多是合金。合金是用两种或两种以上的金属或用金属与非金属结合而成，且具有金属特性的材料。例如，钢是铁和碳的合金，再加上铬就成了不锈钢。不锈钢具有很强的耐腐蚀性，广泛用于制造餐具、外科手术器械及化工设备（图 2-32），是最常见的合金之一。



图 2-32 用不锈钢制成的化工设备

迷你实验室

双金属片的结构和特性

从废旧日光灯启动器中拆出用双金属片制成的 U 形触片。仔细观察双金属片的结构，看看它由哪几部分组成。用尖嘴钳夹着双金属片，靠近酒精灯的火焰加热，注意观察双金属片受热后形状会发生什么变化，想想看，为什么会发生这样的变化？



图 2-33 航天飞机表面安装
氮化硅防热瓦

无机非金属材料主要有陶瓷和玻璃等。陶瓷是黏土经高温加热制成的。传统的陶瓷材料主要用于制造碗、碟、卫生洁具等日常生活用品。如今，陶瓷新材料在尖端技术方面也发挥了很大的作用。例如，用氮化硅制成的高温陶瓷在 1 200℃的高温下仍能保持强度不变，是世界上最硬的物质之一；它还有惊人的耐腐蚀性能，能耐受 NaOH、几乎所有的无机酸及有机酸的腐蚀；同时它又是一种高性能的电绝缘材料。因此，这种材料在现代工业和航空航天领域得到了广泛的应用（图 2-33）。

信息窗

精密陶瓷发动机

精密陶瓷是用极纯的硅、铝、碳、氮等元素的化合物的超细粉末，经烧结形成的一种陶瓷新材料。用精密陶瓷制成的陶瓷发动机（图 2-34），能把气缸的工作温度提高几百摄氏度，因而能提高热效率、节约燃料、延长使用寿命。同时，由于取消了冷却水系统，更适合在高寒地带、沙漠地带及缺少水源等恶劣环境下使用。精密陶瓷发动机的研制成功被认为是热机工业的一场革命。1990 年，我国制成无冷却水式精密陶瓷发动机，现在已经应用在汽车上。



图 2-34 精密陶瓷发动机



有机高分子材料是由碳、氢、氧、氮、硅、硫等元素的有机化合物构成的材料，它们的相对分子质量较大。常见高分子材料的相对分子质量的数量级在 $10^2\sim 10^6$ 之间。天然高分子材料有木材、棉花、羊毛、甲壳等。人工高分子材料包括塑料、合成橡胶、合成纤维、胶黏剂和涂料等。其中，被称为现代高分子三大材料的塑料、合成纤维和合成橡胶，已经成为生产和生活中必不可少的重要材料。例如，人工合成的有机玻璃不但具有玻璃的各种优点，而且非常坚韧，即使受到猛烈撞击也不易破碎，十分安全，所以可用于制造飞机的座舱盖以及汽车的挡风玻璃，还用于制造文具和工艺品等（图2-35），成为我们十分熟悉的人工合成材料。

复合材料是由以上几类不同材料通过复合工艺组合而成的新型材料，它既能保留原组成材料的主要优点，又能通过复合效应获得原组合成分所不具备的性能，还可以通过材料设计

使各组分的性能互相补充并彼此关联，从而获得新的优越性能。例如，塑料比金属轻但不如金属坚固，把塑料和碳纤维混合在一起就可以制成既轻又硬的复合材料（图2-36）。玻璃钢、碳纤维和陶瓷复合材料等新型复合材料具有强度高、耐腐蚀、刚性好、质轻等优良特性，在许多方面都得到了应用。



图2-36 用碳纤维制成的自行车

2. 新材料及其应用

近年来，随着材料科学与技术的飞速发展，各种具有独特性能的新材料层出不穷，使人类生活和社会发展对材料的新需求不断得到满足。

科学家发现，将一种含镍55%、含钛45%的“镍钛诺”合金丝加热并弯成各种复杂的形状，然后冷却并拉直，当再次加热时，拉直的合金丝又恢复到原来的形状。因此这种合金被称为形状记忆合金（图2-37）。研究表明，这种合金的“回忆”——“变形”本领可以反复使用500万次而不产生疲劳断裂，而且几乎100%恢复原状。由于具备这种特性，形状记忆合金在工程机械、航空航天、医疗卫生等领域都得到了广泛应用。形状记忆合金的发明与应用，开阔了人们关于金属材料的特性及功能的视野。



图2-35 用有机玻璃制成的提琴

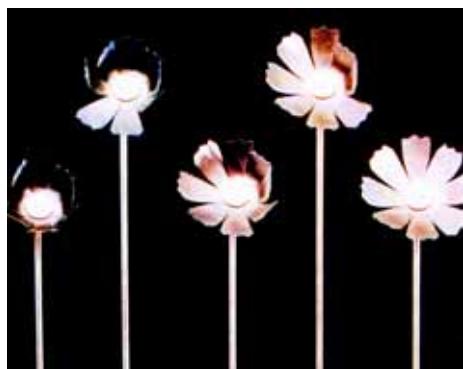


图2-37 用镍钛合金制作的“记忆合金花朵”能在设定的温度下“开放”

信息窗**用形状记忆合金制造的铆钉**

用形状记忆合金制造的铆钉，是在常温（或工作温度）下把铆钉做成铆接后的形状；然后降温并将其两脚拉直，使之能顺利插入铆钉孔；插入后让温度回升，铆钉恢复原状，完成铆接。

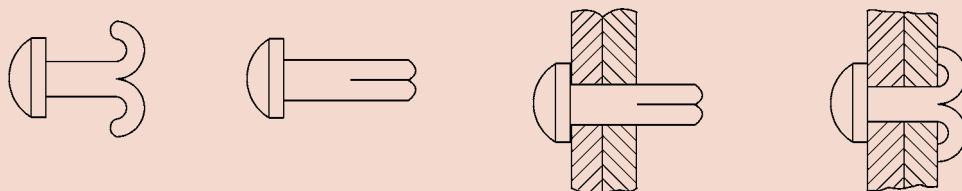


图 2-38 记忆合金铆钉的铆接原理

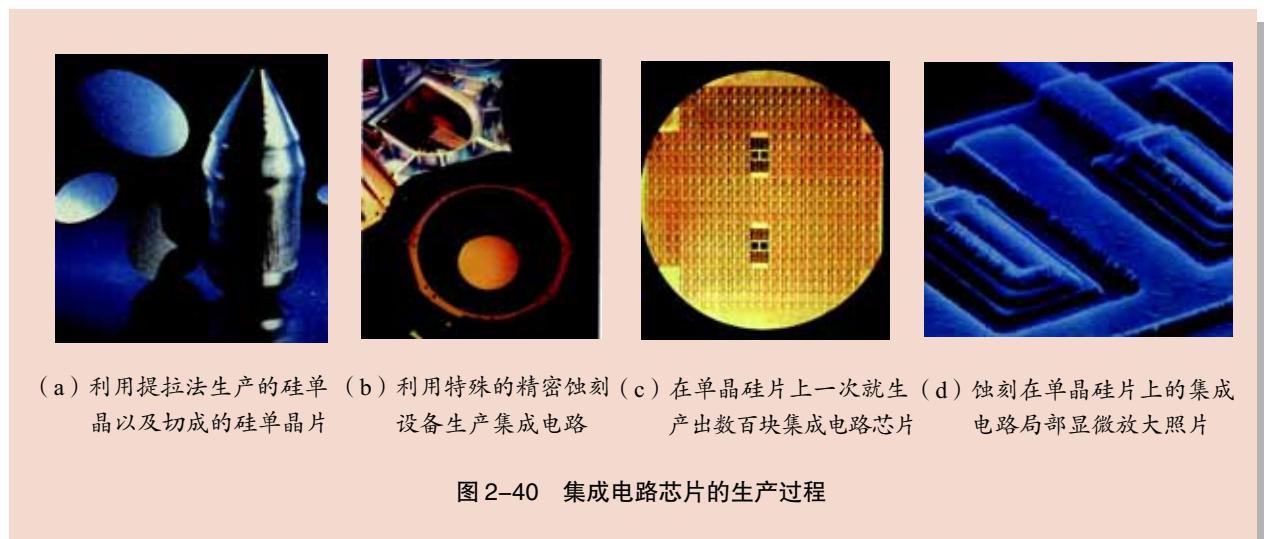
半导体是具有优异特性的微电子材料。从导电性能上看，半导体的电阻率介于金属导体（电阻率 $<10^{-3} \Omega \cdot m$ ）和绝缘体（电阻率 $>10^{12} \Omega \cdot m$ ）之间。微电子工业中使用的半导体材料主要是硅和砷化镓。硅的机械强度高，结晶性好，在自然界中储量丰富，成本低，是制造晶体管和集成电路的主要材料。在微电子工业中，集成块是利用集成工艺将晶体管、电阻、电容及它们之间的连线集成在一块半导体芯片上制成的。图2-39是硅芯片大小与草莓的比较。随着集成度的不断提高，砷化镓材料显示出了更大的优势，特别是电子在砷化镓中的运动速度比在硅中快，用砷化镓制造出来的晶体管开关速度比硅晶体管快1~4倍，用它制作集成电路可以大幅度提高运算速度。目前，砷化镓集成电路主要应用于通信卫星、电视卫星接收机、移动通信、高清晰度电视以及军用电子装备等。



图 2-39 草莓上的芯片

信息窗**单晶硅及集成电路芯片的生产过程**

目前，在微电子工业中使用的半导体材料主要是硅。硅的机械强度高，结晶性好，在自然界中储量丰富，开采、加工成本低，可以生产尺寸比较大的完整的单晶，是制造大规模集成电路的主要材料。单晶硅的生产普遍采用提拉法。科学家还考虑在太空无重力或微重力条件下生产优质单晶硅。图2-40简单说明了集成电路芯片的生产过程。



纳米是长度单位, $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$ 。粒度在 $1\sim 100\text{ nm}$ 的材料称为纳米材料。人们发现, 当材料小到纳米尺度时, 其力、热、声、光、磁等方面的某些性能会突变。在纳米材料中, 碳纳米管是目前材料科技领域研究的热点之一(图 2-41)。碳纳米管是由碳原子层卷曲而成的碳管, 管直径一般为几纳米到几十纳米, 管壁厚度仅为几纳米, 5万根碳纳米管排列起来也只有人的一根头发丝粗。它的成分和石墨一样, 但韧性很高, 导电性极强, 兼具金属和半导体的特性, 强度比钢高 100 倍, 密度只有钢的 $1/6$ 。纳米材料在短短的十几年中发展十分迅速, 填补了一个曾被忽略了的小尺度材料科学的研究的空白, 使人们对物质世界的认识又向前迈进了一大步; 同时, 它也为新型材料的发明开辟了一个崭新的天地, 显示了强大的生命力(图 2-42)。

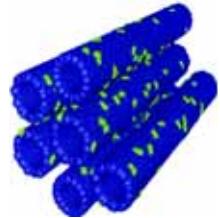


图 2-41 碳纳米管外貌



图 2-42 纳米材料的应用领域

信息窗**纳米材料与文物保护**

利用溶胶与凝胶相结合的方法，把新研制的纳米材料制成一种透明的胶体，涂在文物表面，可以形成一种“无机膜”，使文物完全与外界隔离，有利于文物的长期保护。这种纳米材料可以吸收紫外线，保持文物的颜色不变、材质不腐坏，还可以有效地防止虫菌对文物的侵蚀。在文物的周围涂上这种纳米材料，还有利于降低空气中有害气体的含量。

3. 材料对人类文明进程的影响

人类社会发展的历史证明，材料是人类赖以生存和发展的物质基础，也是人类社会文明进程的重要标志。在人类历史上，曾经历了石器时代、青铜时代和铁器时代，这些不同材料的应用体现了不同的生产力水平。实际上，每一种重要材料的发现和应用，都把人类支配自然的能力提高一步，从而把人类文明和社会发展推向一个新的阶段。

远古，先民选择石器做工具，因为石头是当时人们所能找到的自然界中最硬的材料。然而，石器毕竟有它的局限性，它很硬，但却容易断裂；它容易得到，但却不容易加工，更难以制成精良的工具。原始社会绵延了二三百万年，根本原因是生产力发展极其缓慢；而制约当时生产力发展的主要因素之一，就是以效率极其低下的石器为主的生产工具。青铜是人类制造和应用最早的一种合金材料，青铜工具的出现与使用，给农业和手工业生产以更强大的力量，为我国夏、商、西周时期的繁荣与发展注入了新的活力。然而青铜器的制作成本较高，所以当时用它制作的工具，特别是农具的数量，远不如供贵族使用的礼乐用品多（图2-43）。因此，在青铜器时代，原始的石器工具仍然占有相当大的比例。青铜器的出现对于社会生产力发展的作用，更主要的是体现在它的生产过程蕴含的科学技术知识与技能上，青铜器生产开创了一个崭新产业——冶金业。历史上，我国出现人工冶铁的时间不是最早，但发展迅猛，在极短的时间内就处于当时世界的领先地位。到了战国晚期，铁制农具已经成为农具的主流，为当时我国带来了相对发达的生产力，促进了中华文明的发展。

当历史进入20世纪下半叶开始的新技术革命时代后，新材料已经成为各个高技术领域发展的突破口，并在很大程度上影响着新兴产业的发展进程，当今科学技术的发展与材料科学和技术的



图2-43 河南安阳出土的商代司母戊青铜鼎



发展密切相关。没有新材料的开发与应用，便谈不上新的技术产品和产业进步。例如，没有半导体材料的工业化生产，就不可能有目前的计算机技术；没有高温高强度的结构材料，就不可能有今天的宇航工业；没有低消耗的光导纤维，也就没有现代的光纤通信……材料已经与信息、能源一起被当今国际社会公认为现代文明的三大支柱。

作业

1. 漆是中国古代最引人注目的复合材料。请查找有关资料，说明它是由哪些原材料制成的，有哪些应用。
2. 请你调查形状记忆合金还有哪些应用实例。
3. 举办一次“材料科技对人类生活和社会发展的影响”的演讲比赛。
4. 查阅有关资料，就新材料的发明及其应用撰写一篇科学报告。

