

全国中小学教材审定委员会2005年  
初审通过

普通高中课程标准实验教科书

# 物理

(选修3-3)

广东教育出版社



普通高中课程标准实验教科书


# 物理

(选修3-3)

W U L I

广东基础教育课程资源研究开发中心物理教材编写组 编著

主 编: 保宗悌  
副 主 编: 布正明 王笑君 姚跃涌  
本册主编: 程志文  
本册编者: 云冠全 王笑君 布正明 朱建平 吕伟枝  
张书良 陈少强 保宗悌 程志文 韩思民  
(以姓氏笔画为序)  
绘 图: 李德安

 广东教育出版社

· 广 州 ·

# 前言

生活和生产中的大量实验证明，当物体的温度发生变化时，物体的许多性质都会随之发生变化。与物体温度有关的现象称为热现象。科学研究结果表明，一切热现象，例如，物体的热膨胀，物质的熔解和凝固、液化和汽化、气体压强的变化，等等，都是组成物体的大量微观粒子的无规则运动在总体上的宏观表现。热学研究热现象的规律，是物理学的一个重要部分。

研究热现象有两种不同的方法。一种是根据观察和实验，从宏观上总结热现象的规律；另一种从物质的微观结构出发，建立分子的动理论，用统计的方法说明宏观物体的热现象。这两种方法相辅相成，使人们对热现象的研究越来越深入。

本书内容包括分子动理论与统计思想，固体、液体和气体，热力学定律与能量守恒，能源与可持续发展等四个主题。通过本书的学习，同学们可以进一步探讨分子世界的奥秘，了解固体和液晶的微观结构，了解气体的实验定律，了解热力学基础知识，认知能源和环境与人类生存的关系，知道可持续发展的重大意义，体会研究热现象的科学方法。

热学的发展与人类文明进步是密切相关的。教材在如何反映现代科学技术成果和贴近生活两个方面作了积极的尝试。本书内容在精选中学物理热学基础知识的基础上，介绍了许多与热学相关的现代科学技术成果。在固体材料中介绍了半导体材料、磁存储材料、纳米材料和纳米技术；在液晶中介绍了薄膜晶体管液晶显示器（TFT LCD）及其作用；在能源与可持续发展中介绍了控制温室效应和防治酸雨的对策和措施。在选取例题和习题时，有意识地联系生活中的具体事例，例如在压强计算中选取气压式暖水瓶、高压锅安全阀，在气体实验定律应用中选取喷雾器，在“实践与拓展”栏目中选取了同学们可以就地取材完成的趣味物理实验。

在教学手段上，引入了数字化信息系统实验室（DISLab 系统），并通过我们的网站（[physics.scnu.edu.cn/gzwl](http://physics.scnu.edu.cn/gzwl)）和配套光盘提供更多的教育资源。同学们在学习本书的过程中，应该结合课程开展研讨性学习活动，领略自然界的奇妙，体会科学精神和热学发展对人类生活和社会发展的影响，拓展学习视野，提高收集和处理信息的能力。

为了使教材有利于探究性学习，本书保留了本系列教材中“实验与探究”、“讨论与交流”、“观察与思考”、“实践与拓展”、“资料活页”等几个特色栏目，突出教学过程中同学们的主动学习和积极参与。例如在演示实验的处理上，强调同学们要动脑、动手、动口，强调要实时观察实验，记录实验现象和数据，解释实验事实，相互交流，彼此促进，从中体现科学探究过程的艰辛和成功的喜悦。

爱因斯坦曾经说过：“人类一切经验和感受中，以神秘感最为美妙。这是一切真正艺术创作及科学发明的灵感源泉。”

祝愿同学们在学习中始终保持对自然的神秘感，努力探究热学的奥秘，领略科学的伟大和力量，取得丰富的学习成果。

# 目 录

<b>第一章 分子动理论</b> .....	1
<b>第一节 物体是由大量分子组成的</b> .....	2
分子的大小 .....	2
阿伏加德罗常数 .....	2
<b>第二节 测量分子的大小</b> .....	5
实验原理 .....	5
实验器材 .....	5
实验与收集数据 .....	6
分析与论证 .....	6
<b>第三节 分子的热运动</b> .....	7
扩散现象 .....	7
布朗运动 .....	7
<b>第四节 分子间的相互作用力</b> .....	10
<b>第五节 物体的内能</b> .....	12
分子的动能 温度 .....	12
分子势能 .....	12
物体的内能 .....	13
<b>第六节 气体分子运动的统计规律</b> .....	14
分子沿各个方向运动的机会相等 .....	14
分子速率按一定的规律分布 .....	15
<b>第二章 固体、液体和气体</b> .....	21
<b>第一节 晶体和非晶体</b> .....	22
单晶体 .....	22
多晶体 .....	23
非晶体 .....	23
<b>第二节 晶体的微观结构</b> .....	25
<b>第三节 固体新材料</b> .....	27
了解新材料 .....	27
新材料的未来 .....	28
<b>第四节 液体的性质 液晶</b> .....	31

液体分子的排列 .....	31
液体分子的热运动 .....	31
液晶 .....	32
长丝状液晶 .....	32
螺旋状液晶 .....	33
<b>第五节 液体的表面张力 .....</b>	<b>35</b>
液体的表面现象 .....	35
液体的表面张力及其微观解释 .....	36
<b>第六节 气体状态参量 .....</b>	<b>38</b>
体积 .....	38
温度 .....	38
压强 .....	39
<b>第七节 气体实验定律 (I) .....</b>	<b>42</b>
玻意耳定律 .....	42
<b>第八节 气体实验定律 (II) .....</b>	<b>46</b>
查理定律 .....	46
盖·吕萨克定律 .....	48
对气体实验定律的微观解释 .....	48
<b>第九节 饱和蒸汽 空气的湿度 .....</b>	<b>51</b>
饱和蒸汽 .....	51
饱和汽压 .....	51
空气的湿度 .....	53
<b>第三章 热力学基础 .....</b>	<b>59</b>
<b>第一节 内能 功 热量 .....</b>	<b>60</b>
改变物体内能的两种方式 .....	60
<b>第二节 热力学第一定律 .....</b>	<b>64</b>
热力学第一定律 .....	64
热力学第一定律应用举例 .....	64
<b>第三节 能量守恒定律 .....</b>	<b>66</b>
能量守恒定律 .....	66
第一类永动机是不可能造成的 .....	66
<b>第四节 热力学第二定律 .....</b>	<b>70</b>
热传导的方向性 .....	70
机械能和内能转化过程的方向性 .....	70
热力学第二定律 .....	71
热力学第二定律的微观实质 .....	72
熵 .....	72
<b>第五节 能源与可持续发展 .....</b>	<b>74</b>
能源与环境 .....	74
温室效应 .....	75
酸雨 .....	76
能量降退与节约能源 .....	76
<b>第六节 研究性学习——能源的开发利用与环境保护 .....</b>	<b>78</b>

# 第一章

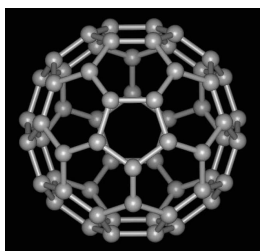
## 分子动理论

通过学习初中物理，同学们已经初步了解分子动理论的基本观点，知道物体是由大量分子组成，分子间有间隙，分子在不停地做热运动，分子间有相互作用力。在本章的学习中，我们将进一步探讨分子世界的奥秘，你将获得进入分子世界的线索，了解到分子质量究竟有多大，分子直径到底微小到什么程度，物体内分子的数目是如何大得惊人，还将亲自动手测量分子的大小……初步了解分子动理论是如何通过建立简化模型和应用统计思想，从微观角度说明宏观物体热现象的方法。

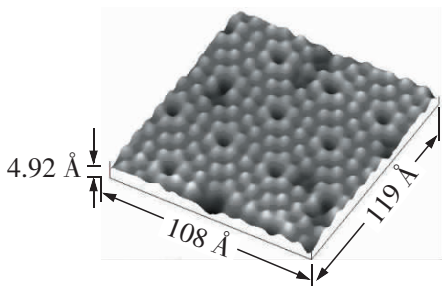


## 第一节 物体是由大量分子组成的

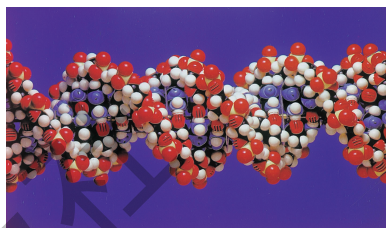
物体是由大量分子组成的，分子是构成物质并保持物质化学性质的最小微粒。有些物质的分子只包含一个原子，有些物质的分子包含多个原子，一些有机大分子包含上百个甚至上千个原子。



C<sub>60</sub> 分子示意图  
图 1-1-1



硅晶体表面原子的排列  
图 1-1-2



双螺旋结构的 DNA 分子模型  
图 1-1-3

### 分子的大小

#### 专业术语

扫描隧道显微镜  
scanning tunneling  
microscope

组成物质的分子是很小的，不但用肉眼不能直接看到它们，用普通的光学显微镜和电子显微镜都观察不到分子。20 世纪 80 年代，人们研制成能够放大上亿倍的扫描隧道显微镜（STM）。用这种显微镜能观察到单个的分子或原子。图 1-1-2 是用扫描隧道显微镜拍摄的硅晶体表面的原子排列图。

分子的大小可以用实验方法来测量，测量结果表明，如果把分子看成小球，除了一些有机物质的大分子外，一般分子的直径的数量级为  $10^{-10}$  m。例如，水分子的直径约为  $4.0 \times 10^{-10}$  m，氢分子直径约为  $2.3 \times 10^{-10}$  m，如果拿水分子跟乒乓球比较大小，就好像拿乒乓球与地球比较大小一样，两者相差太悬殊了。

### 阿伏加德罗常数

#### 专业术语

阿伏加德罗常数  
Avogadro constant

1 mol 物质所含有的粒子数为阿伏加德罗常数，用符号  $N_A$  表示。一般物体中分子的数目都是庞大得惊人的。阿伏加德罗常数是一个十分巨大的数字，科学工作者在 1986 年用 X 射线法测得阿伏加德罗常数的精确数值为

$$N_A = 6.0221367 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

在通常的计算中可取  $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ，在粗略的计算中可取  $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。为了对微观世界的规模有一个具体概念，下面举两个例子来说明。1 mol 水的质量是  $18 \times 10^{-3}$  kg，大约

是我们喝一口水的质量，换句话说，我们喝下一口水，就喝下了  $6.0 \times 10^{23}$  个水分子，如果动员全世界 60 亿人来数这些分子，每人每秒数一个，300 万年也数不完； $1 \text{ cm}^3$  水中含有  $3.3 \times 10^{22}$  个水分子，假如把  $1 \text{ cm}^3$  水中所有水分子一个挨一个地排列成一条直线，这条直线将长达 100 亿千米，可绕地球 24.9 万圈。

阿伏加德罗常数是一个重要的常数，它是联系微观量和宏观量的桥梁，通过下面的分析可以看到，阿伏加德罗常数把物体的体积  $V$ 、摩尔体积  $V_m$ 、物质的质量  $m$ 、摩尔质量  $M$ 、物质的密度  $\rho$  等宏观物理量和分子体积  $V_0$ 、分子直径  $d$ 、分子质量  $m_0$  等微观物理量都联系起来。

下面计算水分子的质量和大小：

已知水的摩尔质量  $M=18 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$ ，1 mol 水含有  $N_A=6.0 \times 10^{23}$  个水分子，则水分子质量

$$\begin{aligned} m_0 &= \frac{M}{N_A} \\ &= \frac{18 \times 10^{-3}}{6.0 \times 10^{23}} \text{ kg} \\ &= 3.0 \times 10^{-26} \text{ kg} \end{aligned}$$

可见水分子的质量是很小的。实际上，除了包含几千个原子的有机物质的大分子外，一般分子的质量都是很小的。例如，氧分子质量是  $5.6 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ，氢分子质量是  $3.3 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。

由水的摩尔质量  $M$  和密度  $\rho$ ，可得水的摩尔体积

$$V_m = \frac{M}{\rho}$$

把水分子看作是一个挨一个紧密地排列的小球，1 个水分子的体积为

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{V_m}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A} \\ &= \frac{18 \times 10^{-3}}{1.0 \times 10^3 \times 6.0 \times 10^{23}} \text{ m}^3 \\ &= 3.0 \times 10^{-29} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

每个水分子的直径为

$$\begin{aligned} d &= \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}} \\ &= \sqrt[3]{\frac{6 \times 3.0 \times 10^{-29} \text{ m}^3}{3.14}} \approx 4.0 \times 10^{-10} \text{ m} \end{aligned}$$

通过计算可知，分子直径的数量级是  $10^{-10} \text{ m}$ ，一根头发的直径的数量级是  $10^{-5} \text{ m}$ ，分子直径仅仅是头发直径的十万分之一。可见，分子确实是极其微小的。

在上面的讨论中，我们用阿伏加德罗常数计算出分子的质量和大小，反过来，知道分子的质量和大小，同样可算出阿伏加德罗常数。



 讨论与交流

1. 什么是数量级？
2. 我们知道分子间有间隙，分子内部也有复杂的内部结构，为什么在估算分子的大小时，可以把固体和液体的分子看作一个挨一个紧密排列的小球呢？

 练习

1. 某种固体物质的摩尔质量为  $M$ ，密度为  $\rho$ ，试写出这种物质的分子的质量、分子的直径、每立方米包含的分子数的表达式。
2. 已知铜的密度为  $8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，摩尔质量为  $64 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$ ，试估算铜分子的直径和质量。（取两位有效数字）
3. 已知标准状态下任何气体的摩尔体积都是  $22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ ，试估算标准状态下水蒸气分子的间距约是水分子直径的多少倍。

广东教育出版社

## 第二节 测量分子的大小

这节课我们应用油膜法来粗略测定分子的大小，同学们要通过实验收集和处理数据，估测油酸分子的大小的数量级，体会通过测量宏观量估算微观量的方法。

### 实验原理

分子的直径的数量级只有  $10^{-10}$  m，想直接测量分子的大小是不容易的。那么，能不能通过测量某些宏观量的数值来估算分子的大小呢？如果想办法让大量分子充分展开形成一层单分子层，这个单分子层的厚度的数量级就应当与分子大小的数量级相同；如果又能测出这一单分子层的体积和面积，就可以估算出单分子层的厚度，测量分子大小数量级的问题不就解决了吗？

油酸为无色或淡黄色油状液体，油酸分子可以看成由两部分组成，即一个较大的“头部”（烃链  $C_{17}H_{33}$ —）和一个很小的“尾巴”（羧基—COOH）。“头部”不溶于水，但“尾巴”对水有很强的亲和力。把一滴油酸酒精溶液滴入水中，让油酸分子充分展开，油酸分子就会竖起来，“头部”露出水面，而“尾巴”则留在水中，油酸分子就这样一个挨一个整齐地紧密排列在水面上，形成单分子层油膜。如图 1-2-1 所示。由于它的“尾巴”很小，只要测算出一滴溶液中纯油酸的体积  $V$  和在水面形成的油膜面积  $S$ ，就可根据  $D = \frac{V}{S}$  估测出分子的大小。

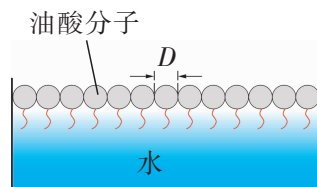


图 1-2-1

### 实验器材

表 1-2-1

序号	器材名称	备注
1	已稀释的油酸若干毫升	体积配比为 1:200
2	浅盘 1 只	30 cm × 40 cm
3	注射器（或滴管）1 支	
4	带方格的透明塑料盖板 1 块	
5	量筒 1 个	
6	彩色水笔 1 支	
7	痱子粉（或石膏粉）	带纱网或粉扑

## 实验与收集数据



图 1-2-2

1. 如图 1-2-2 所示, 用注射器 (或滴管) 将稀释的油酸滴入量筒, 数出每毫升溶液的滴数, 求出每滴液滴体积的平均值.

2. 如图 1-2-3 所示, 在水平放置的浅盘倒入约 2 cm 深的水, 用纱网 (或粉扑) 将适量痱子粉轻轻洒在水面上.

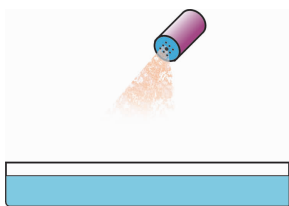


图 1-2-3

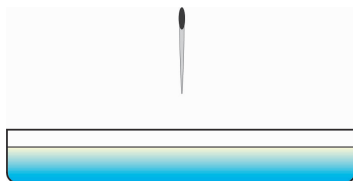


图 1-2-4

3. 如图 1-2-4 所示, 用滴管将一滴油酸溶液轻轻滴入水面中央, 油酸立即在水面散开, 形成一块薄膜, 薄膜上没有痱子粉, 可以清楚地看出它的轮廓. 待油膜形状稳定后, 在浅盘上盖上塑料盖板, 用彩笔描出油膜的边缘轮廓, 如图 1-2-5 所示.

4. 估测油膜面积, 估算油酸分子的直径.

5. 洗净浅盘, 擦去塑料盖板上的油膜轮廓线, 重复实验 2~3 次.

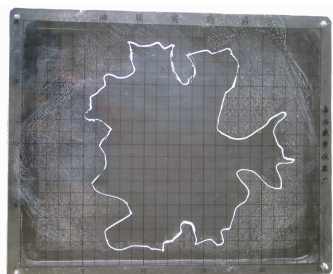


图 1-2-5

## 分析与论证

## 1. 数据处理

实验中油酸溶液的体积配比为\_\_\_\_, 每 1 mL 溶液有\_\_\_\_滴, 每滴溶液中含有纯油酸体积为\_\_\_\_\_mL.

将实验数据填入自己设计的表格中, 然后进行计算.

## 2. 实验结论

油酸分子的直径约为\_\_\_\_\_.

## 讨论与交流

1. 在实验中能不能直接把纯油酸滴在水面上, 为什么要稀释油酸? 酒精的作用是什么?

2. 油酸分子大小的理论值是  $1.12 \times 10^{-9}$  m. 你认为自己的实验是否准确测出了油酸分子的大小? 产生误差的主要原因是什么? 对实验结果关注的是测出的数值还是数量级?

3. 本实验能否测出阿伏加德罗常数?

## 第三节 分子的热运动

物体内的分子都在不停地做无规则运动，运动的剧烈程度与物体的温度有关。分子动理论这一基本观点同样是建立在广泛的实验事实的基础上的。

### 扩散现象



#### 讨论与交流

在室内打开一瓶乙醚的瓶盖，很快就会在整个房间内闻到乙醚的气味；

往一杯清水中滴入一滴红墨水，隔一段时间后，就会发现整杯清水都变成了红色；

使一块铅和一块金相互接触，经过一段足够长的时间，就会发现在很薄的一层接触面处，铅块内渗入了少量的金，金块内渗入了少量的铅。

在上述几种现象中，都发生了物质的迁移，你能说明其中的原因吗？

物理学中把由于分子的无规则运动而产生的物质迁移现象称为**扩散现象**。上述现象表明，气体、液体、固体都可以进行扩散。物体的分子能够向周围区域进行扩散，显然不是由于重力的作用，而只能是分子本身无规则运动的结果。

### 布朗运动

对分子做无规则运动的更有力的实验证明就是著名的布朗运动实验。



#### 观察与思考

实验装置如图 1-3-1 所示。把一滴墨汁用水稀释，滴一滴在一块带有细微方格的玻璃板上。把玻璃板放在显微镜下，观察某一颗小炭粒的运动。用一个投影仪把影像投影到银幕上观察更好。在一张坐标纸上每隔 10 s 记录一次小炭粒的位置。

#### 专业术语

布朗运动

Brownian motion

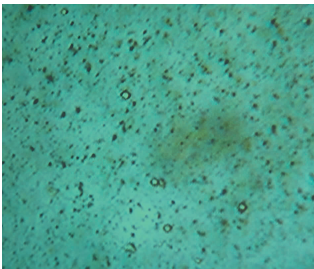


图 1-3-1 观察炭粒运动的实验装置及投影图

作图：把小炭粒的位置用线段连接起来，得到一条折线。

分析：从上面的折线来看，小炭粒的运动是有规则的还是无规则的？

思考：小炭粒为什么会运动？而且运动的方向还在不断地改变？

水中的悬浮微粒不停地做无规则运动的现象，是 1827 年英国植物学家布朗用显微镜观察悬浮在水中的花粉时发现的，后来人们把悬浮在液体或气体中的微粒的这种无规则运动叫做**布朗运动**。

布朗运动究竟是怎么产生的？

开始时，人们以为是外界因素，比如液体受到震动或对流等引起的，但在尽量消除外界因素影响的实验条件下，布朗运动仍然存在。布朗运动的起因问题困扰了人类大半个世纪，直到 1905 年，爱因斯坦才从理论上解释了布朗运动。他认为布朗运动是大量液体分子对悬浮微粒的不平衡撞击引起的，是大量液体分子不停地做无规则运动所产生的结果。

悬浮在液体中的微粒周围存在大量做无规则运动的液体分子，它们不停地对悬浮微粒进行撞击，如图 1-3-2 所示。由于液体分子运动的无规则性，在任一瞬间，从不同方向撞击悬浮微粒的液体分子数目各不相同，碰撞的冲击力也不一样，有时沿某一方向的撞击较强，粒子就顺着这一方向运动；当另一方向的撞击较强时，粒子就会改变运动方向。由于液体分子运动的无规则性，因此使粒子受较强撞击的方向是偶然性的，所以布朗运动是无规则的。我们观察到的悬浮微粒的无规则运动，实际上间接地反映了液体内部的分子在不停地做无规则的运动。

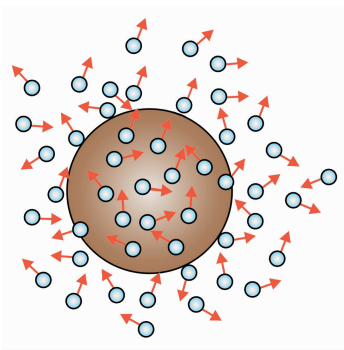


图 1-3-2 一个微粒每秒大约要受到它周围液体分子  $10^{21}$  次的碰撞

### 讨论与交流

在布朗运动实验中可以发现，较大的悬浮颗粒不能发生布朗运动，悬浮微粒越小，布朗运动就越明显。你能解释上述现象吗？

在扩散现象和布朗运动的实验中还表明，温度越高，分子的扩散越快，悬浮微粒运动就越激烈。这表明物体的温度高低是与内部分子无规则运动的剧烈程度直接相关的，温度越高，分子的无规则运动越剧烈。因此，物理学中把物体内部大量分子的无规则运动称为**热运动**。

### 实践与拓展

搜集有关布朗运动发现的历史和历史上对布朗运动解释的争论的资料。

 我们的网站 ([physics.scnu.edu.cn/gzwl](http://physics.scnu.edu.cn/gzwl))

视频材料：布朗运动

#### 专业术语

热运动

thermal motion

### 练习

- 有人说布朗运动就是分子的运动，这种说法对吗？为什么？
- 在有关布朗运动的说法中，下面说法正确的是 ( )。
  - 液体温度越低，布朗运动越明显
  - 液体温度越高，布朗运动越明显
  - 悬浮微粒越小，布朗运动越明显
  - 悬浮微粒越大，布朗运动越明显
- 关于布朗运动和扩散现象的说法正确的是 ( )。
  - 布朗运动和扩散现象都能在气体、液体和固体中发生
  - 布朗运动和扩散现象都是分子的运动
  - 布朗运动和扩散现象都是温度越高越明显
  - 布朗运动和扩散现象都是永不停息的

## 第四节 分子间的相互作用力



图 1-4-1 两段铅柱间的分子引力足以吊起 1 kg 重物

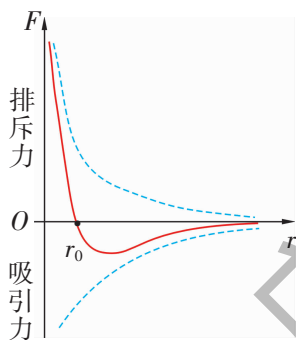


图 1-4-2 分子间的作用力跟距离的关系 (示意图)

要把一根金属棒拉断, 需要用很大的拉力. 这一现象使我们很自然地猜想分子之间存在着相互吸引的力. 分子间存在引力的事实可以用一个简单的实验来证明.

### 观察与思考

取两段直径为 2 cm 左右的铅柱, 把它们的断面切平磨光, 然后立即用力把两个光滑的面对齐压紧, 这两段铅柱就连接在一起了, 而且下端可以吊起 1 kg 甚至更重的物体 (如图 1-4-1 所示).

思考:

为什么要把铅柱断面切平磨光并且用力压紧, 两段铅柱才会连接在一起? 改用两段铁柱行不行?

以上实验说明, 物体的分子间有相互吸引力, 而且吸引力发生作用的距离很小. 正是这种引力作用, 才使得大量分子聚集在一起形成固体和液体.

我们还知道, 固体和液体是很难压缩的, 即使是气体, 当压缩到一定程度后也很难继续压缩. 这些现象说明分子之间除了吸引力以外还存在排斥力. 进一步的研究结果表明, 排斥力发生作用的距离比吸引力发生作用的距离要小得多.

研究表明, 分子间的引力和斥力是同时存在的, 它们的大小都跟分子间的距离有关. 图 1-4-2 的两条虚线分别表示两个分子间的引力和斥力随距离变化的情形. 实线表示引力和斥力的合力即实际表现出来的分子力随分子间距变化的情形.

从图中可看出, 分子间的引力和斥力都随着分子间距离的增大而减小. 当分子间的距离等于  $r_0$  时, 分子间的引力和斥力相互平衡, 分子间的作用力为零.  $r_0$  的大小与分子的大小差不多, 数量级约为  $10^{-10}$  m. 我们把相当于距离为  $r_0$  的位置, 叫做**平衡位置** (如图 1-4-3a).

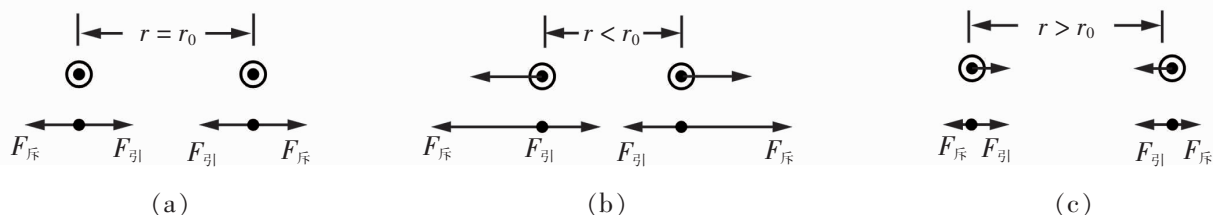


图 1-4-3

当分子间距离小于  $r_0$  时，分子间的引力和斥力都随距离的减小而增大，但斥力比引力增大得更快，分子间的作用力表现为斥力（如图 1-4-3b）。

当分子间距离大于  $r_0$  时，分子间的引力和斥力都随距离的增大而减小，而且斥力总是比引力小，分子间的作用力表现为引力，并且随着距离的增大迅速减小（如图 1-4-3c）。

分子间发生相互作用力的距离很短，当分子间距离的数量级大于分子大小的 10 倍时，分子间的作用力十分微小，已经可以忽略不计了。

分子间的作用力本质上是一种电磁力。分子是由原子组成的。原子内部有带正电的原子核和带负电的电子。分子间的作用力是由这些带电粒子的相互作用引起的。

### 讨论与交流

物质内部分子间的相互作用力与分子无规则的热运动是相互抗衡的两个方面。分子间的作用力使分子有序排列，分子的无规则热运动却使分子排列趋向无序。你了解了上述观点后，能不能具体谈一下，为什么物质三种不同聚集态即固态、液态、气态可以相互转化及其基本区别？

### 实践与拓展

把一块洗净的玻璃板吊在橡皮筋的下端，先使玻璃板水平地接触水面，如图 1-4-4 所示，然后向上拉玻璃板，使它离开水面。动手试一试，与同学交流你的发现，并解释为什么。

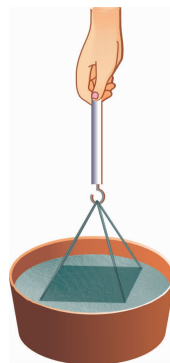


图 1-4-4

### 练习

1. 举例说明分子间有引力和斥力。
2. 关于分子间的作用力，下列说法中正确的是（ ）。
  - A. 当分子间的距离为  $r_0$  时，它们之间既没有引力，也没有斥力
  - B. 分子间的引力和斥力都随它们之间距离的增大而减小
  - C. 分子间的距离大于  $r_0$  时，分子间只有引力
  - D. 分子间的平衡距离  $r_0$  跟分子大小的数量级相同
3. 两个分子由距离很远 ( $r > 10^{-9} \text{ m}$ ) 逐渐靠拢到很难再靠近的过程中，分子间作用力的大小将（ ）。
  - A. 先减小后增大
  - B. 先增大后减小
  - C. 先增大后减小再增大
  - D. 先减小后增大再减小



## 第五节 物体的内能

### 分子的动能 温度

#### 专业术语

平均动能

average kinetic energy

温度

temperature

物体内部的分子不停地做无规则运动，做热运动的分子具有动能。物体内分子运动的速率是不同的，有的大，有的小，因此各个分子的动能并不相同。由于分子之间的频繁碰撞，各个分子的动能还会发生变化。因此某一个分子动能的大小带有很大的随机性。在热现象的研究中，我们所关心的不是每个分子的动能，而是物体内所有分子的动能的平均值。这个平均值叫做分子热运动的平均动能。

温度升高，物体分子的热运动加剧，分子热运动的平均动能也增加。温度越高，分子热运动的平均动能越大，温度越低，分子热运动的平均动能越小。从分子动理论的观点来看，**温度是物体分子热运动的平均动能的标志。**

#### 专业术语

分子势能

molecular potential energy

### 分子势能

分子间存在相互作用力，分子间具有由它们的相对位置决定的势能，这就是**分子势能**。

我们在力学中学过，弹簧具有弹性势能，弹簧的弹性势能跟弹簧的形变有关。弹簧没有形变时，弹力为零，弹性势能最小；拉伸或压缩弹簧时，必须克服弹簧的弹力做功，弹性势能增大。

从图 1-4-2 可知，当分子间的距离  $r > r_0$  时，分子间的作用力表现为引力，要增大分子间的距离，必须克服分子的引力做功，分子势能增大，分子间距离增加得越多，克服分子的引力做功就越多，分子势能就越大。这跟弹簧被拉长时，弹性势能增大的情形类似。



### 讨论与交流

1. 当分子间的距离  $r < r_0$  时，如果减小分子间的距离，分子势能怎样改变？
2. 当分子间的距离  $r = r_0$  时，分子势能最大还是最小？

通过上面的讨论，我们看到，从微观上说，分子势能与分子间的距离有关。当分子力表现为引力时，分子势能随分子间的距离增大而增大；当分子力表现为斥力时，分子势能随分子间

距离的减小而增大；当分子间的距离等于平衡距离  $r_0$  时，分子势能最小。

物体的体积发生变化时，分子间的距离发生变化，分子势能发生变化。因此，从宏观上说，分子势能跟物体的体积有关。

## 物体的内能

物体中所有分子做热运动的动能和分子势能的总和，叫做物体的**内能**。显然，物体的内能跟物体的温度和体积都有关系。温度升高时，分子平均动能增加，因而物体的内能增加；体积变化时，分子势能发生变化，物体的内能也会发生变化。

下面我们分析一下气体的内能。气体分子间的距离比较大，实验表明，当气体凝结成液体时体积要缩小上千倍，所以气体分子间的距离大约为分子直径的 10 倍，分子间的作用力十分微弱，气体分子间距离改变时，分子力所做的功非常微小，气体分子的势能变化可以忽略不计。因此，在一般情况下，我们可以把气体分子看作没有相互作用的质点。这种气体的简化模型称为**理想气体微观模型**。理想气体微观模型忽略了气体分子的相互作用力和分子势能，所以，理想气体的内能是所有分子动能的总和。理想气体的内能只跟温度有关，温度越高，理想气体的内能越大。一定质量的气体，温度越高，压强越小，气体越稀薄，就越接近理想气体。

### 专业术语

内能

internal energy

## 讨论与交流

如图 1-5-1 所示，内燃机做功冲程高温高压气体膨胀推动活塞对外做功，气体温度下降，体积增大。

1. 如果把气体看作理想气体，气体的内能怎么改变？
2. 实际上高温高压气体在膨胀过程中，气体温度下降，气体分子动能减小；气体体积增大，气体分子势能增加。请你分析一下，气体的内能是减小了还是增加了？为什么？

## 练习

1. 壶里的水被加热而温度升高，水的内能怎么改变？（液体的热膨胀很小，可不予考虑）
2. 一根烧红了的铁棍逐渐冷却下来，铁棍的内能怎么改变？（固体的热膨胀很小，可不予考虑）
3. 设想我们对固体进行压缩，当分子间的距离小于  $r_0$  时，随着固体的压缩，分子势能怎么改变？
4. 一颗炮弹在高空中以某一速度  $v$  飞行，有人说：由于炮弹中所有分子都具有这一速度，所以分子具有动能；又由于所有分子都在高处，所以分子具有势能。因此，所有分子的上述动能和势能的总和就是炮弹的内能。这些说法是否正确？为什么？

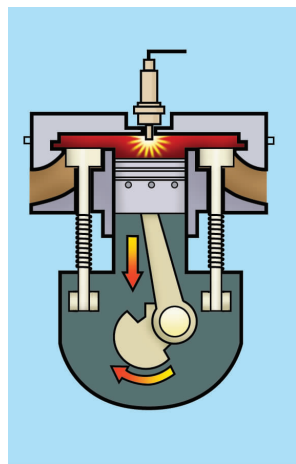


图 1-5-1

## 第六节 气体分子运动的统计规律

在上一节关于气体内能的讨论中，我们已经了解气体分子运动的一些特点，知道气体分子间的距离约是分子直径的 10 倍，数量级为  $10^{-9}$  m。从微观上看，气体分子间的距离相当大，气体分子的分布比较稀疏。但从宏观的尺度看， $10^{-9}$  m 的数量级是相当微小的，气体分子的分布仍然相当“稠密”，在单位体积中的分子数目还是相当大的。在标准状态下， $1\text{ cm}^3$  气体中仍有  $2.7 \times 10^{19}$  个分子。大量分子都在做无规则运动，分子间不断发生碰撞，一个空气分子在 1 s 内与其他分子的碰撞次数高达 65 亿次。频繁的碰撞使得每个分子的速度的大小和方向频繁地改变，因此在某一特定时刻，某个特定分子的速度大小和方向完全是偶然的。那么，分子的速率分布是否就不存在任何规律呢？理论和实验研究都说明，对于大量分子的整体而言，气体分子的运动是遵从一定的统计规律的。

### 分子沿各个方向运动的机会相等

为了更好地理解气体分子运动的统计规律，我们首先介绍一个在你身边的统计规律。同学们也许有抛硬币的经历，即把一枚硬币抛起来后落到地面，硬币的正面向上还是反面向上完全是偶然的，如果抛币的次数较少（例如 10 次、20 次），硬币出现正面或反面的次数仍然有很大的偶然性。但是，如果抛币的次数非常多（例如 1000 次、2000 次），你就会发现硬币正面向上和反面向上的次数总是分别接近抛币总次数的二分之一。或者说，当大量抛币时，硬币正面向上和反面向上的机会是均等的。这种大量个别偶然事件整体表现出来的规律称为**统计规律**。

在气体中，大量分子的频繁碰撞，使某个分子何时何地、向何处运动是偶然的。但是，对大量分子的整体来说，分子频繁碰撞的结果，使气体中任一时刻都有向任一方向运动的分子，即在任一时刻分子沿各个方向运动的机会是均等的，而且气体分子沿各个方向运动的数目也是基本相等的。我们可以粗略地认为，气体中向着上、下、前、后、左、右六个方向运动的分子数目相等，各占总分子数目的六分之一。当然，这里所说的“数目相等”是对大量分子的一个统计平均数，与实际的数目会有微小的出入。这跟大量抛币，硬币出现正面向上和反面向上的机会相等，总是接近抛币次数的二分之一的说法是相似的。气体分子沿各个方向运动的机会均等，就是大量分子运动整体表现出

来的统计规律.

### 分子速率按一定的规律分布

气体分子做无规则运动，速率有的大，有的小，但大量分子整体的速率分布遵从一定的统计规律. 研究表明，在一定的温度下，各种不同速率范围内的分子数在总分子数中所占的比率是确定的，表 1-6-1 是测定氧气分子在 0℃ 和 100℃ 时速率分布的实验结果.

表 1-6-1 氧气分子的速率分布

速率区间 $v/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	不同温度下各速率区间的分子数占 总分子数的百分率	
	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%



### 讨论与交流

1. 观察 0℃ 时的实验数据，说出气体分子速率分布的特点.
2. 比较 0℃ 和 100℃ 时的实验数据，说出不同温度下气体分子速率分布的差异点和共同点.

通过讨论大家可以知道，在一定的温度下，氧气分子的速率分布是确定的. 例如，在 0℃ 时，速率在 300 ~ 400 m/s 这一速率区间的分子数占总分子数的比率最大，分子数目最多，速率大于 400 m/s 或小于 300 m/s 的分子数占总分子数的比率，随着速率越大或越小而递减. 其实速率很大和速率很小的分子数占总分子数的比率实际上是很小的. 可见，气体中的大多数分子的速率都接近某个数值，与这个数值相差越多，分子数越少，表现出“中间多、两头少”的分布规律. 当温度升高时，分子数最多的速率区间移向速率大的一方，速率小的分子数减少，速率

大的分子数增加, 分子的平均动能增大, 总体上仍然表现出“中间多、两头少”的分布规律. 气体分子速率分布规律也是一种统计规律.

我们还可以用图象来描述表 1-6-1 的实验结果. 用  $N$  表示总分子数,  $\Delta N$  表示某一速率区间的分子数,  $\Delta v$  表示速率区间的大小, 则  $\frac{\Delta N}{N}$  表示某一速率区间的分子数占总分子数的比率,  $\frac{\Delta N}{N\Delta v}$  表示某一速率区间内单位速率

率间隔分子数占总分子数的比率. 取  $\frac{\Delta N}{N\Delta v}$  做纵坐标, 速率  $v$  为横坐标, 就可以画出分子速率分布的直方图 (图 1-6-1). 图中所取的速率区间为  $\Delta v = 100 \text{ m/s}$ . 图中每一个窄条矩形的面积  $\Delta v \times \frac{\Delta N}{N\Delta v} = \frac{\Delta N}{N}$ , 用于代表这一速率区间内的分子数占总分子数的比率. 例如, 图中带阴影的矩形的面积表示速率在  $500 \sim 600 \text{ m/s}$  的分子数占总分子数的比率为  $100 \times 0.151\% = 15.1\%$ .

如果做实验时把速率区间取得越窄, 则直方图边界的锯齿形就变得越小, 最后边界可变成一条平滑的曲线, 如图中的红色曲线所示. 这条曲线就能精确反映气体分子的速率分布, 称为**气体分子速率分布曲线**. 实验测得的速率分布曲线可以用来验证理论研究的结果.

早在 1859 年, 麦克斯韦就从理论上导出了气体分子按速率分布的规律. 六十多年后, 麦克斯韦的理论研究成果第一次得到实验验证. 以后随着实验方法的不断改进, 气体分子速率分布规律得到高度精确的实验证明. 玻尔兹曼在麦克斯韦的基础上又得出气体分子按能量的分布规律, 他们的研究成果为分子动理论奠定了基础.

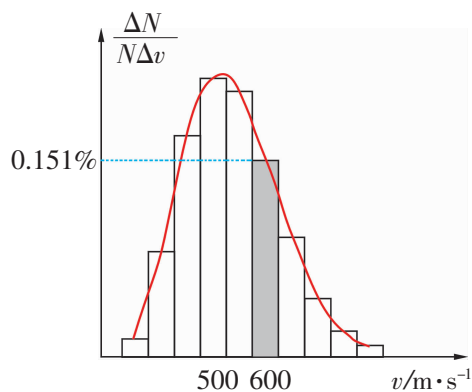


图 1-6-1 气体分子的速率分布

### 资料活页

#### 统计规律

什么是统计规律? 为了回答这个问题, 我们来观察如图 1-6-2 所示的实验装置.

一块竖直放置的木板, 顶边上有一漏斗形开口; 木板上部钉有许多规则排列的小钉子; 木板下部用多块竖直的隔板分隔出许多等宽的狭槽; 板前盖以玻璃, 从板顶漏斗形的入口投入小球 (例如小钢球) 时, 可观察小球落在狭槽内的分布情况. 这种装置称为伽耳顿板.

从伽耳顿板的入口处投入一个小球, 该小球在下落过程中先后与许多小钉发生碰撞, 最后落入某一个狭槽内. 重复几次实验, 可以发现小球每次落

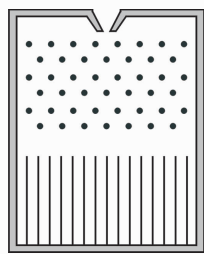


图 1-6-2 伽耳顿板

入的狭槽不完全相同. 这表明, 在每一次实验中, 小球落入某个狭槽内的机会是偶然的.

如果一次投入大量的小球, 可以看到, 落入每个狭槽内的小球数目是不相同的, 在中央处的狭槽内小球分布得最多, 离中央越远的狭槽内小球分布得越少, 呈现一种“中间多, 两头少”的分布规律 (如图 1-6-3). 我们可以按小球在狭槽内分布的情况用笔在玻璃上画出一条连续的曲线. 重复上述实验, 可以发现, 在小球数目较少的情况下, 每次所得的分布曲线都有显著的差别; 但当小球数目很多时, 每次所得的分布曲线彼此近乎重合.

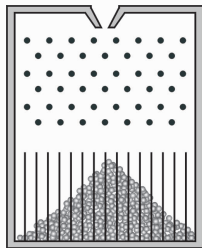


图 1-6-3 大量小球在伽耳顿板狭槽内的分布情况

实验结果表明, 尽管单个小球落入那个狭槽内是偶然的, 投入少量小球时, 狭槽内小球分布的情况也有明显的偶然性, 但投入大量小球时, 狭槽内小球分布的情况却是一定的, 而且落在某一个狭槽内的小球数目与小球总数的比率是稳定的. 所以, 多次投入大量小球所得的分布曲线都近乎重合. 这就是说, 大量小球整体按狭槽的分布遵循一定的规律, 这种对大量偶然事件整体起作用的规律称为统计规律.

在气体中大量分子做无规则的热运动, 分子以不同的速度沿着各个方向运动, 分子间频繁碰撞, 使每个分子的速度的大小和方向频繁地发生改变, 一个分子在某一时刻的速度大小和方向是偶然的. 这点跟一个小球投入伽耳顿板, 小球频繁与许多小钉碰撞, 最后落在那个狭槽具有偶然性是完全类似的. 但正如大量小球整体按狭槽分布遵循一定统计规律一样, 大量气体分子按速率的分布也是遵循一定的统计规律的. 麦克斯韦等人最早从理论上确定了气体分子按速率的分布规律, 这种分布规律后来就称为麦克斯韦速率分布律.

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

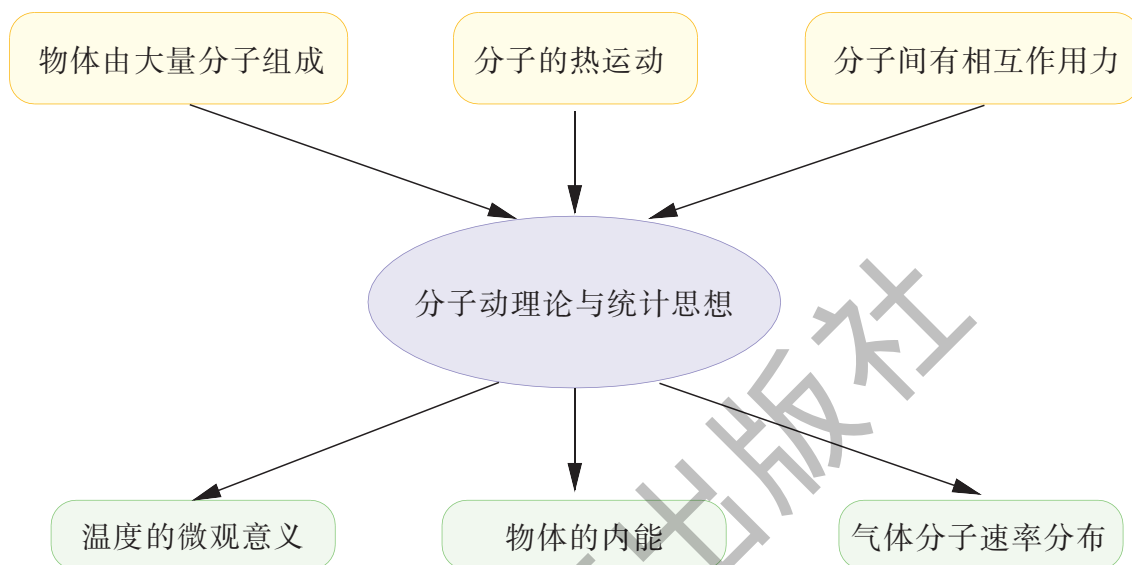
测定分子速率分布的实验装置

### 练习

- 以下有关气体分子运动的说法中, 正确的是 ( ).
  - 某时刻某一气体分子向左运动, 则下一时刻它一定向右运动
  - 在一个正方体容器里, 任一时刻与容器各侧面碰撞的气体分子数目基本相同
  - 当温度升高时, 速率大的气体分子数目增加, 气体分子的平均动能增大
  - 气体分子速率呈现“中间多, 两头少”的分布规律
- 统计规律在自然和社会现象中是普遍存在的. 通过调查, 了解日常生活中表现统计规律的事例. 例如, 调查某一年龄组学生的身高或体重, 用直方图表示调查结果, 并对调查对象的身体发育情况作出评价.

## 本章小结

### 一、知识结构



### 二、回顾与评价

分子动理论研究宏观热现象的方法是：\_\_\_\_\_

---



---



---

我参加探究活动得到的收获有：\_\_\_\_\_

---



---



---

我在本章学习遇到的较大困难有：\_\_\_\_\_

---



---



---

回顾与评价

我学习本章的体会是：\_\_\_\_\_

---



---



---

## 习 题 一

1. 下列说法中正确的是 ( ).
  - A. 物质是由大量分子组成的, 分子直径的数量级是  $10^{-10}$  m
  - B. 物质分子在不停地做无规则运动, 布朗运动就是分子的运动
  - C. 在任何情况下, 分子间的引力和斥力是同时存在的
  - D. 1 kg 的任何物质含有的微粒数相同, 都是  $6.02 \times 10^{23}$  个, 这个数叫做阿伏加德罗常数
2. 关于布朗运动和扩散现象, 下面说法正确的是 ( ).
  - A. 扩散现象说明了气体分子间存在着斥力
  - B. 扩散现象指不同的物质相互接触时, 彼此进入对方的现象
  - C. 布朗运动是悬浮微粒的无规则运动, 不是分子的无规则运动
  - D. 布朗运动和扩散现象都能在气体、液体、固体中发生
3. 某物质的摩尔质量为  $M$ , 密度为  $\rho$ , 阿伏加德罗常数为  $N_A$ , 则每个分子的质量和单位体积所含的分子数分别是 ( ).
  - A.  $\frac{N_A}{M}$ ,  $\frac{N_A \rho}{M}$
  - B.  $M N_A$ ,  $\frac{M N_A}{\rho}$
  - C.  $\frac{N_A}{M}$ ,  $\frac{M}{N_A \rho}$
  - D.  $\frac{M}{N_A}$ ,  $\frac{N_A \rho}{M}$
4. 分子间的相互作用力既有引力, 又有斥力, 下面说法正确的是 ( ).
  - A. 分子间的距离越小, 引力越小, 斥力越大
  - B. 分子间的引力和斥力同时存在
  - C. 在分子间的距离由平衡距离逐渐增大的过程中, 分子力先增大后减小
  - D. 在分子间的距离由平衡距离逐渐增大的过程中, 分子力逐渐增大
5. 有甲、乙两个分子, 甲分子固定不动, 乙分子由无限远处逐渐向甲分子靠近, 直到不能再靠近为止, 在这整个过程中 ( ).
  - A. 分子力总是对乙分子做正功
  - B. 分子势能先增大后减小
  - C. 先是分子力对乙分子做正功, 然后乙分子克服分子力做功
  - D. 在分子力为零时, 分子势能最小
6. 下面关于布朗运动的说法中正确的是 ( ).
  - A. 布朗运动是液体分子的无规则运动
  - B. 布朗运动是悬浮微粒分子的无规则运动
  - C. 悬浮微粒越大, 布朗运动越显著
  - D. 液体的温度越高, 布朗运动越显著



7. 当  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的冰变成  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的水时 ( ).

- A. 分子平均动能增加
- B. 分子平均动能和分子势能都增加
- C. 分子间的势能增加
- D. 分子平均动能减小, 分子势能增加

8. 已知金刚石的密度为  $3.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , 在体积为  $5.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3$  的小块金刚石中, 含有多少个碳原子? 设金刚石中碳原子是紧密地排列在一起的, 估算碳原子体积的大小.

9. 将  $1 \text{ cm}^3$  油酸溶于酒精, 制成  $200 \text{ cm}^3$  的油酸酒精溶液. 已知  $1 \text{ cm}^3$  溶液有 50 滴, 现取 1 滴这样的油酸酒精溶液滴到水面上, 随着酒精溶于水, 油酸在水面上形成单分子薄层, 已经测出这一薄层的面积为  $0.2 \text{ m}^2$ , 试根据上述数据估算油酸分子的直径的大小.

10. 利用油膜法可以粗略测出阿伏加德罗常数, 把密度  $\rho = 0.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  某种油, 用滴管滴出一滴油在水面上形成油膜, 已知这滴油的体积  $V = 0.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$ , 形成的油膜面积  $S = 0.7 \text{ m}^2$ , 摩尔质量是  $M = 0.09 \text{ kg/mol}$ , 若把油膜看成是单分子层, 每个油分子看成球形, 请你估算阿伏加德罗常数. (保留一位有效数字)

广东教育出版社

# 第二章

## 固体、液体和气体

在通常的条件下，物质有三种不同的聚集态：固态、液态和气态。固态和液态称为凝聚态。以固态出现的固体材料在日常生活、生产和科学技术中都有广泛的应用。液体在生产生活中也占有重要地位。本章主要介绍固体中晶体的宏观特征和微观结构，并介绍材料科学技术的有关知识，然后介绍液体的微观结构、液体表面张力现象及其应用，最后介绍气体的实验规律和空气的湿度。



## 第一节 晶体和非晶体

### 专业术语

晶体

crystal

单晶体

monocrystal

多晶体

polycrystal

固体可以分成晶体和非晶体两类. 晶体本身又分为单晶体和多晶体. 在常见的固体物质中, 石英、云母、明矾、食盐、味精等都是晶体, 玻璃、松香、沥青、橡胶等都是非晶体.

### 单晶体

#### 观察与思考

观察石英、云母、明矾、食盐、味精等固体物质的外形, 说出它们的共同特点.

晶体具有规则的几何形状. 例如, 食盐的晶体是正立方体形(图 2-1-1), 石英的晶体(透明的石英晶体叫水晶)中间是一个六棱柱, 两端是六棱锥(图 2-1-2). 冬季的雪花, 是水蒸气在空气中凝华时形成的晶体, 它们的形状一般是六角形的规则图案(图 2-1-3). 同一种晶体各相应晶面间的夹角是恒定不变的, 矿物学上常常依据晶体的形状来鉴别矿石.

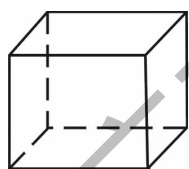


图 2-1-1 食盐晶体

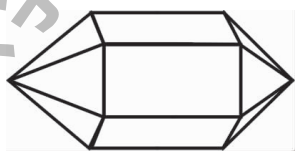


图 2-1-2 水晶

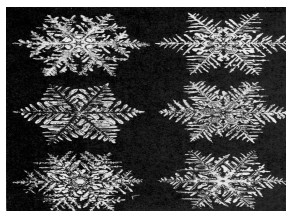


图 2-1-3 雪花的图案

晶体的一个基本特性是有一定的熔点, 这一点我们在初中已经学过. 晶体的另一个基本特性是各向异性, 晶体在不同的方向上具有不同的物理性质. 例如, 云母的晶体薄片, 在外力的作用下很容易沿平行于薄片的平面裂开, 但要使薄片纵向断裂就困难得多. 这说明云母在不同方向的机械强度是不一样的.

#### 实验与探究

取一张云母薄片, 在上面涂一层很薄的石蜡, 然后用烧热的钢针去接触云母片, 如图 2-1-4 (a) 所示, 观察接触点周围的石蜡熔化后所成的形状, 然后再在玻璃片上做同样的实验. 在图 (b) 和 (c) 中分别画出熔化了了的石蜡在云母片和玻璃片上的形状, 比较观察的结果, 并与同学交流对实验现象的看法.

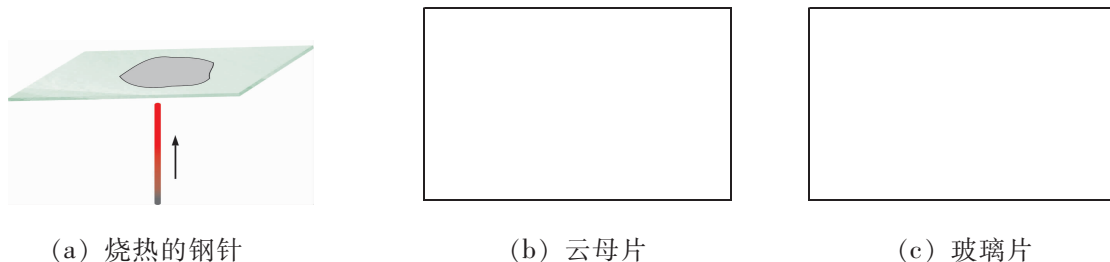


图 2-1-4

上述实验现象表明：云母晶体在不同方向上的导热性能是不同的，而非晶体玻璃的导热性能是各向相同的。

晶体在不同的方向上不仅机械强度、导热性能不同，而且导电性能和对光的折射率等其他物理性质也不一样。这类现象称为**各向异性**。非晶体沿各个方向的物理性质都是一样的，这叫做**各向同性**。

我们称石英、明矾等具有规则外形、各向异性、有确定熔点的单个晶体为单晶体。天然大块单晶体是不多的。单晶体是科学技术的重要原材料。例如大块纯净的氯化钠（NaCl）单晶，无色透明，特别能让红外光透过，是制造红外光谱仪器的重要材料。又如，生产半导体集成电路必须用高纯度、大尺寸的半导体单晶材料单晶硅、单晶锗。所以，单晶的制备技术是发展现代科技的关键技术之一。

#### 专业术语

各向同性

isotropy

各向异性

anisotropy

### 多晶体

金属和岩石虽然没有规则的外形，各方向的物理性质也相同，但是由于它们是由许多小单晶微粒（简称晶粒）组成的，因此，它们实质上是晶体。用金相显微镜观察金属的细微结构（图 2-1-5），可以发现，金属是由许多无规则排列的小晶粒构成的。每一晶粒仍然是有规则外形和各向异性的，但由于它们在空间排列是杂乱无章的，所以金属在总体上没有规则的外形，整体表现出各向同性。我们把由许多无规则排列晶粒构成的晶体称为多晶体。多晶体和单晶体一样，也具有确定的熔点。具有一定的熔点是一切晶体的宏观特性，是晶体和非晶体的主要区别。

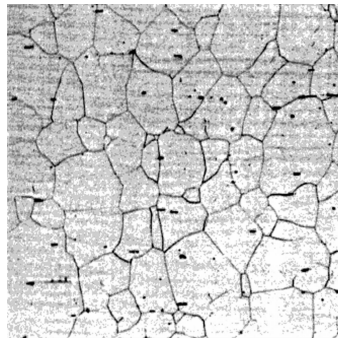


图 2-1-5 铁的显微组织，仔细观察可以看出，每个晶粒各个相应晶面间的夹角是不变的

### 非晶体

松香、沥青、玻璃、塑料等物质，外形不规则，各向同性，没有一定的熔点，这类固体物质称为非晶体。

非晶体物质在日常生活和工艺生产中是不可缺少的。非晶体没有固定熔点的特性常被应用于工艺生产中，例如，吹制玻璃器皿时，将玻璃放在火焰上加热，玻璃并不立即熔成液体，而是首先变软，利用玻璃的这种性质，就可以制成各种形状的玻璃器皿。

某种物质是晶体还是非晶体并不是截然划分的. 通过人工的方法可以使晶体转变为非晶体. 例如, 天然水晶是晶体, 而熔化以后再凝结的水晶(水晶玻璃)就是非晶体. 用超急冷方法使金属溶液凝固, 金属材料就会因为来不及结晶而形成非晶体.

### 讨论与交流

1. 晶体与非晶体的主要区别是什么?
2. 请你列举生活中的晶体和非晶体.

### 实践与拓展

#### 1. 观察晶体

找来较大的食糖颗粒、高锰酸钾颗粒, 放在放大镜下观察. 观察时, 要用针翻动晶体, 仔细看清晶体的各个面的形状, 用平面图把观察到的形状记录下来, 再把各个平面图合成立体图. 描述这两种晶体的外形, 跟同学相互交流观察的结果.

把糖粒、高锰酸钾颗粒弄碎, 再在显微镜下观察. 根据观察结果判断, 糖粒、高锰酸钾颗粒是单晶体还是多晶体.

2. 查阅资料, 利用冷却明矾饱和溶液的方法来生长明矾晶体.

### 我们的网站 ([physics.scnu.edu.cn/gzwl](http://physics.scnu.edu.cn/gzwl))

1. 利用冷却明矾饱和溶液的方法来生长明矾晶体
2. 晶体的双折射现象

### 练习

1. 辨别物质是晶体还是非晶体, 比较正确的方法是 ( ).
  - A. 从外形来判断
  - B. 从各向异性或各向同性来判断
  - C. 从导电性能来判断
  - D. 从是否具有确定的熔点来判断
2. 萘的熔点为  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 质量相等的  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  的液态萘和  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  的固态萘相比, 具有 ( ).
  - A. 相等的分子平均动能和分子势能
  - B. 相等的分子平均动能和较多的分子势能
  - C. 较多的分子平均动能和分子势能
  - D. 较少的分子平均动能和分子势能
3. 下列叙述中正确的是 ( ).
  - A. 多晶体和非晶体各向同性, 所以都不是晶体
  - B. 单晶体和多晶体都是各向异性的
  - C. 金属材料各向同性, 但金属中每一晶粒的内部各向异性
  - D. 明矾是多晶体, 小铁屑是单晶体

## 第二节 晶体的微观结构

晶体和非晶体在外形和物理性质上有很大的差异，其根本原因是它们的微观结构不同。人们对晶体微观结构的认识是随着生产和科学的发展而逐渐深入的。根据晶体外形的规则性和物理性质的各向异性，早在 1860 年就有人提出一种假说，认为晶体内部的微粒是有规则地排列着的。1895 年，科学家发现了 X 射线。1912 年，物理学家劳埃首次利用 X 射线对晶体结构进行研究，证实了晶体内部粒子有规则排列的假设是正确的。从 20 世纪中叶起，新的实验条件和技术使人们对晶体内部微观结构的研究更加深入。现在已经可以直接用电子显微镜对晶体内部结构进行观察和照相，为人们研究晶体内部结构提供了极大的方便。

研究表明，组成晶体的微观粒子（分子、原子或离子）按一定的规律在空间整齐地排列，晶体中物质微粒的相互作用很强，微粒的热运动不足以克服它们的相互作用力而远离，微粒的热运动表现为在一定的平衡位置附近不停地做微小振动。

晶体外形的规则性可以用物质微粒的规则排列来解释。图 2-2-1 是食盐的晶体结构示意图，食盐的晶体是由钠离子  $\text{Na}^+$  和氯离子  $\text{Cl}^-$  组成的，它们等距离、交错地排列在三组相互垂直的平行线上，因此食盐晶体具有正立方体的外形。

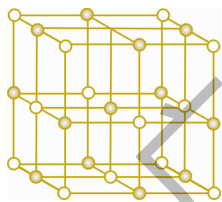


图 2-2-1 食盐的晶体结构

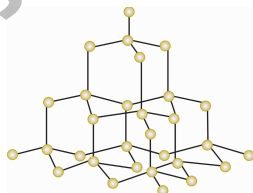


图 2-2-2 金刚石的晶体结构

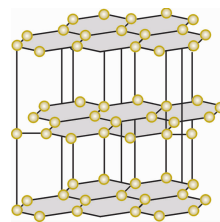


图 2-2-3 石墨的晶体结构

### 观察与思考

图 2-2-4 表示一个平面上单晶体物质微粒排列的情况。请你观察沿不同方向物质微粒的数目是否相同，思考引起晶体物质各向异性的原因。

你能解释多晶体的各向同性吗？

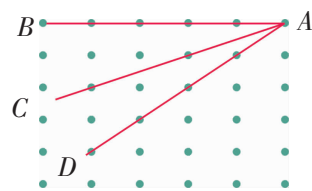


图 2-2-4 各向异性的微观解释

与晶体比较起来，非晶体内部物质微观粒子的排列是不规则的。图 2-2-5 (a) 表示石英晶体 ( $\text{SiO}_2$ ) 内部氧原子和硅原子的规则排列（平面示意图）；图 2-2-5 (b) 表示石英玻璃内部物质粒子不规则的排列情况。由于石英晶体物质粒子的规则排列，

要破坏石英晶体每一个六角环所需的能量是相同的；而石英玻璃各个环的大小形状不同，破坏它各个环需要的能量各不一样。由此不难解释为什么晶体有一定的熔点，非晶体没有一定的熔点。

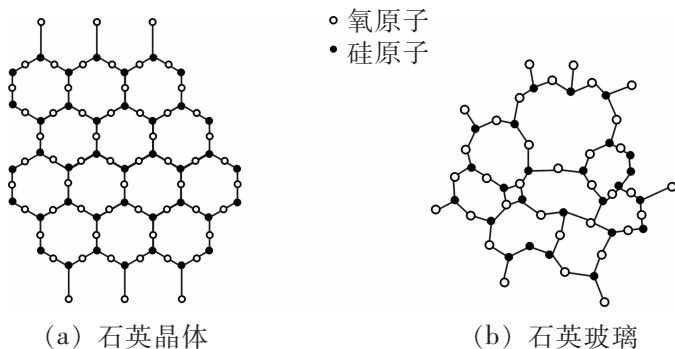


图 2-2-5 晶体与非晶体微观结构的区别

同一种物质微粒可能形成不同的晶体结构，从而生成种类不同的几种晶体。例如，碳元素可以生成石墨晶体和金刚石晶体；磷元素可生成白磷和红磷两种晶体。

### 讨论与交流

图 2-2-2 和图 2-2-3 表示碳原子两种不同的微观排列情况，碳原子按图 2-2-2 那样排列就成为金刚石，按图 2-2-3 那样排列就成为石墨。

你也许已经知道金刚石和石墨一些物理性质上的差别，你能不能根据它们的微观结构给予合理的解释？请你和老师、同学展开讨论和交流。

### 练习

- 关于晶体与非晶体，正确的说法是 ( )。
  - 晶体能溶于水，而非晶体不能溶于水
  - 晶体内部的物质微粒是有规则地排列的，而非晶体内部物质微粒的排列是不规则的
  - 晶体内部的物质微粒是静止的，而非晶体内部的物质微粒在不停地运动着
  - 在物质内部的各个平面上，微粒数相等的是晶体，不相等的是非晶体
- 比较金刚石和石墨的结果，下列说法正确的是 ( )。
  - 它们是同一物质，只是内部微粒的排列不同
  - 它们的物理性质有很大的差异
  - 由于它们内部微粒排列规则不同，所以金刚石为晶体，石墨是非晶体
  - 金刚石是单晶体，石墨是多晶体
- 晶体和非晶体在溶解时有什么不同，怎样从它们的微观结构来说明这种不同？

## 第三节 固体新材料

通过上一节的学习，我们知道固体材料内部物质微粒的排列对材料的力学性能有显著的影响。研究材料的微观结构是材料科学技术的基础。人类文明的进步与材料的发展是密切相关的。历史学家们曾经根据人类使用的材料把古代史划分为石器时代、陶瓷时代、青铜器时代和铁器时代。而今，人类已经越过钢铁时代，跨入人工合成材料和复合材料的新时代。不久的将来，人类还将进入纳米时代。本节介绍固体新材料的有关知识和应用。同学们在学习过程中，应当通过调查、收集资料等实践活动，了解材料科学的发展对人类生活和社会发展的影响，拓展学习视野，提高收集信息和处理信息的能力。

### 了解新材料

新材料有优异的性能和广阔的应用前景。新材料的发展和材料理论关系密切。新材料的研制与物理、化学、数学等基础学科和微电子、计算机等理工技术的新成果是交织在一起的。

新材料的发展与新工艺、新技术也密切相关。新材料、新工艺与新技术相互结合，为探索和研究新材料开辟了一条新途径，同时也为研究新的物理现象和效应开拓新的领域。

新材料往往具有特殊性能。例如超高强度、超高硬度、超塑性，以及各种特殊物理性能，如磁性、超导性……

新材料的研发及其应用，推动了人类文明和社会进步。例如半导体材料，半导体材料是支撑现代文明社会的最重要的材料之一，它在晶体管、集成电路、红外发光管、太阳能电池、微波集成电路、激光器件、光电集成电路等信息处理与通信领域都得到广泛应用。上至雷达、火箭、卫星，下到家用电视机、DVD机、手机、空调和家用电器的遥控器，都离不开半导体材料。

硅是当前用途最广的半导体材料，95%以上的半导体器件都是使用硅材料制作的。随着集成电路（IC）集成度的提高，其内部一个元件的尺寸已缩小到微米甚至亚微米的大小，这就对制作集成电路的硅单晶片的完整性提出了更高的要求，不允许硅单晶片内原子的规则排列出现微小的缺陷，而且对硅单晶片的局域平整度的要求也越来越高。例如，在采用 $0.18\ \mu\text{m}$ 工艺技术的超大规模集成电路的制作中，就要求硅单晶片在 $22\ \text{mm} \times 32\ \text{mm}$ 的区域内的不平整度小于 $0.12\ \mu\text{m}$ 。目前硅材料的制备技术已能适应这一需求，硅单晶的直径、长度、纯度和完整性都在不断



提高，几个主要研制半导体材料的发达国家能生产 250 mm 大直径硅锭，我国目前也能生产直径 200 mm 以上的优质单晶硅。以硅为基础材料制作的各种电子器件和集成电路，早已广泛用于国民经济、国防建设和人民生活的各个领域。

又例如磁存储材料，从 20 世纪 50 年代到 80 年代，磁记录介质经历了氧化物磁粉、金属合金磁粉和金属薄膜等 3 个重要阶段，金属薄膜这种磁介质的晶粒尺寸小、晶粒各向异性大、晶粒间的相互交换作用弱，能配合读写磁头设计的改进，使磁记录的密度每两年就翻一番，到 21 世纪初，年增长率已接近 100%。现在，厚度只有十几微米的磁性铁氧体单晶薄膜，其最高存储密度已超过  $100 \text{ Gb/cm}^2$ 。磁记录技术的进步，使电子计算机的微型化成为可能，极大地满足了人们在工作生活中对电子计算机日益增长的需求。

### 新材料的未来

目前，新材料科学正向着研究各种复合材料（例如复合金属材料、复合陶瓷材料、复合高分子材料）、研究并开发纳米材料、开发同时具有感知外界环境或参数变化和驱动功能的机敏材料、研究开发生物医学材料等方向发展。同时，新材料的制备工艺、检测仪器和计算机应用也是今后新材料科学技术发展的重要内容。例如，利用空间失重条件进行晶体生长，利用强磁场、强冲击波、超高压、超高真空以及强制冷等手段制备特殊性能的新材料。

#### 讨论与交流

阅读资料活页，举出一些你身边应用纳米材料的事例；展开你的想象力，漫谈纳米技术的未来。

#### 实践与拓展

调查和收集相关资料，撰写调查报告，通过具体事例，说明材料科学技术的发展和人类生活和社会进步的影响。

资料活页

纳米材料和纳米技术

纳米是一种长度单位，符号是 nm， $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$ 。一个分子的直径大约为 0.3~0.4 nm。纳米材料是指由纳米尺度内（0.1~100 nm 之间）的物质组成的体系。纳米技术的基本含义是在纳米尺度的范围内认识和改造自然，通过直接操作原子、分子来创造新的物质。

早在 20 世纪 50 年代，著名的诺贝尔奖获得者美国物理学家费曼 (Feyneman) 就提出了“要在小处做文章”的想法。他说以前人类都是把能够看得见的东西做成各种形状的物品，并得到各种工具，为什么不能从单个分子甚至单个原子出发来组装制造物品呢？费曼憧憬说：“如果有一天可以按人的意志安排一个个原子，将会产生怎样的奇迹？”费曼预言，如果对物体微小规模上的排列加以某种控制的话，物体就可能有大量异乎寻常的特性。今天，随着纳米技术的发展，费曼的预言正在逐渐变成现实。

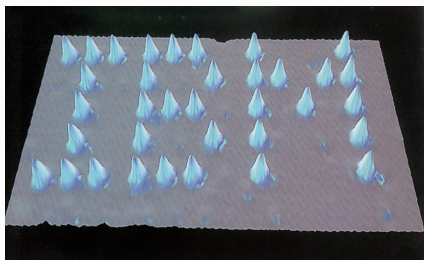


图 2-3-1 氙原子在镍表面排成的英文字母

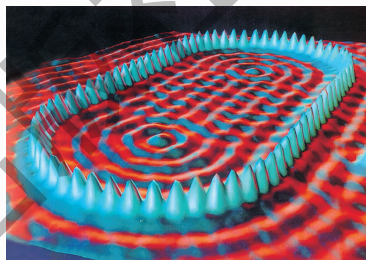


图 2-3-2 利用扫描隧道显微镜搬动原子圈起来的“运动场”

纳米材料从根本上改变了材料的结构，为克服材料科学研究领域中长期未能解决的问题开辟了新途径。例如，在电子和通信方面，用纳米薄层和纳米管制造纳米存储器、纳米显示器、纳米传感器，使器件的尺寸更小、运行速度更快、耗能更小。我国的一个研究小组首次利用碳纳米管研制出新一代显示器样品。在普通电压的驱动下，1 cm 见方的硅片上有序排列的上亿个碳纳米管立刻源源不断地发射电子，在电子的轰击下，显示屏上“CHINA”的字体清晰可见。和传统显示器相比，这种显示器不仅体积小、重量轻、省电、显示质量好，而且响应时间仅为几微秒，在  $-45\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$  的环境中都能正常工作，具有极广阔的发展前景。在医疗方面，可制造纳米结构的药物以及生物传感器，研究生物膜和 DNA 的精细结构，从而在生命科学领域实现技术突破。在制造业方面，还可利用纳米机器人制造蜜蜂大小的直升机……

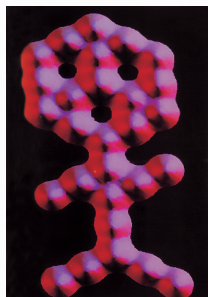


图 2-3-3 用 CO 分子排成的“纳米”人形

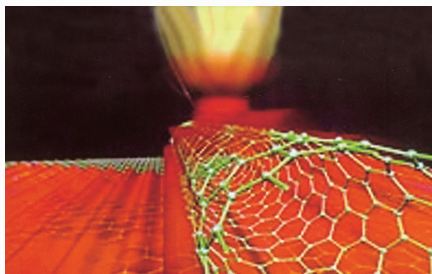


图 2-3-4 用石墨的一层碳原子卷曲成碳纳米管

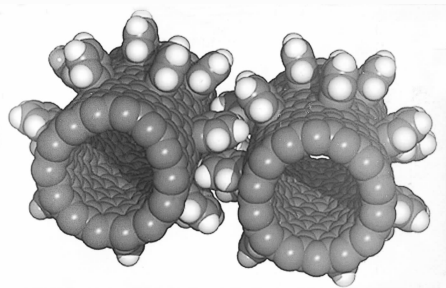


图 2-3-5 这种分子齿轮可能成为纳米机器里的传动装置

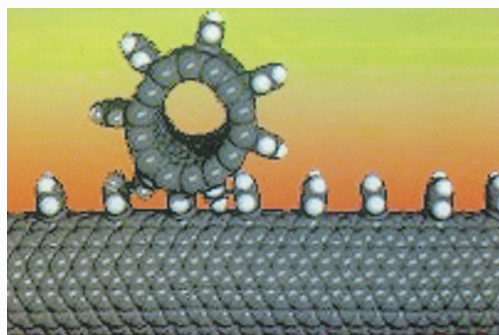


图 2-3-6 碳纳米管上滚动的齿轮将来可能用来运输分子

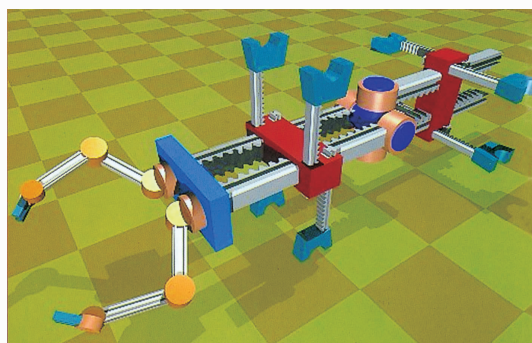


图 2-3-7 科学家想象的纳米机器人

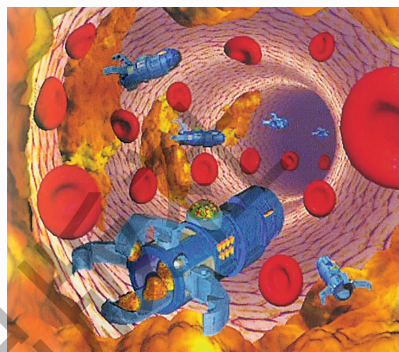


图 2-3-8 将来的纳米机器人可以用来清除血管壁上沉积的脂肪

纳米技术是现代科学技术的前沿，正如钱学森院士所预言的那样：“纳米左右和纳米以下的结构将是下一阶段科技发展的特点，会是一次技术革命，从而将是 21 世纪的又一次产业革命。”纳米技术在世界范围内备受重视，这一领域内的竞争异常激烈。我国科学家也在进行纳米技术的研究，并取得一些具有世界先进水平的成果，但与发达国家相比，我国在总体上仍有一定的差距。只有抓住机遇，迎头赶上，才能在纳米科技领域占有一席之地。

## 第四节 液体的性质 液晶

人们早就认识到液体的性质介于气体和固体之间。一方面，它像固体那样具有一定的体积，不易压缩；另一方面又像气体，没有确定的形状，具有流动性，在物理性质上各向同性。那么，液体的微观结构跟固体和气体有何差别呢？为了了解液体的微观结构的特点，我们从实验事实出发来认识液体分子的排列情况和热运动情况。

### 液体分子的排列

实验表明，物质在熔解和结晶时，大多数物质的体积只改变 10% 左右，因此分子间的平均距离只改变 3% 左右。而在汽化时，体积约增为原来的 1000 倍，分子间的平均距离约为原来的 10 倍。这些事实说明液体分子的排列更接近于固体，液体中的分子也是密集在一起的。因而液体有一定的体积，且不易压缩。用 X 射线研究熔解与结晶过程时发现，液体分子约在  $10^{-9}$  m 小区域内，在一个短暂时间内的排列会保持一定的规则性。液体中这种能近似保持规则排列的微小区域是由一些分子暂时形成的，边界和大小随时都在改变，有时这种区域会完全瓦解，有时新的区域又会形成。这种小区域杂乱无章的分布，使液体在宏观上呈现出各向同性。

液体微观结构与非晶体非常类似，非晶体可以看作是黏性极大的液体，所以严格地说，只有晶体才能叫做真正的固体。

### 液体分子的热运动

由于液体分子间的距离很小，分子间的相互作用力很大。因此，液体分子的热运动与固体类似，主要表现为在平衡位置附近做微小振动。但与固体不同的是，液体的结构较为松散，分子间的空隙要大一些，分子力的束缚要弱一些。因此，液体分子不会长时间在一个平衡位置附近振动，一小段时间以后，又转移到另一个平衡位置附近去振动，我们可以形象化地把液体分子的热运动譬喻为“游牧生活”，短时间的“搬迁”和比较长时间的“定居”交替进行，结果形成流动，这就是液体具有流动性的原因。

液体的扩散现象也是由液体分子热运动产生的。由于分子在液体内部移动比在固体中容易得多，所以液体的扩散要比固体的扩散快。

## 专业术语

液晶  
liquid crystal

## 液晶

1888年，奥地利植物学家莱尼兹尔在合成胆甾醇时发现，此类有机化学物在固态向液态转化的过程中存在着混浊的中间态。次年，德国物理学家莱曼发现，这个由固体向液态转化的中间态液体具有和晶体相似的性质，故称为液态晶体，简称**液晶**。液晶在力学性质上与液体相同，具有流动性，连续性，可以形成液滴。在光学性质、电学性质等方面又具有明显的各向异性，因而又具有晶体的某些性质。

液晶在发现后的一段相当长的时间内没有得到实际应用。直到20世纪80年代才发现液晶分子的排列可以受到电的控制而改变其光学性质，因此可当作显示材料，于是液晶才重新引起人们的极大兴趣。1988年，来自全世界31个国家的七百多位科学家聚集在德国，举行第12届国际液晶会议，纪念液晶“发现”100周年。随着科学技术的发展，目前液晶在电子工业、航空工业、生物、医学等领域内获得广泛的应用。下面介绍两类应用比较广泛的液晶。

## 长丝状液晶

这种液晶的分子呈长棒形排列，在自然状态下分子有彼此平行排列的倾向。它们沿一定方向的排列比较整齐，但彼此间前后左右的位置可以变动。这好像装在铅笔盒中的许多铅笔，它们既能够左右滚动，又能够前后滑动，但始终保持排列的方向不变，如图2-4-1所示。

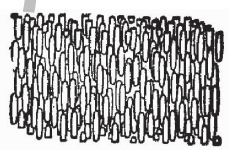


图 2-4-1 长丝状（向列型）液晶

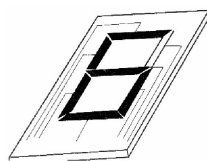


图 2-4-2 液晶数码管

长丝状液晶对外界的某些作用很敏感。在外加电压的影响下，液晶的分子不再平行排列，液晶会由透明状态变成混浊状态，去掉电压，又恢复透明。利用液晶的这一特性可以制作显示元件。在两电极间将液晶涂成文字或数码，加上适当电压，透明的液晶变得混浊，文字或数码就显示出来了。这种早期的显示元件（图2-4-2）结构比较简单，但清晰度和对比度都不够高。目前广泛应用在电子手表、电子计算器以及其他显示仪器中的液晶显示器应用了其他模式的液晶显示技术，其基本原理可在学习光的偏振现象（物理选修3-4）时作进一步的讨论。

螺旋状液晶

这种液晶的分子分层排列，每层分子的排列方向相同，但相邻各层分子的取向相差一个小角度，形成各层分子排列方向依次旋转，构成一个螺旋状结构，如图 2-4-3 所示。两层分子排列方向旋转了 360° 的分子层之间的距离称为螺旋状液晶的螺距  $d$ ，这种液晶具有显著的温度效应。温度升高时，它的螺距会变小，当  $d$  与入射光的波长  $\lambda$  相同时，就能产生强烈的选择性反射。因此，当温度逐渐升高时，它可以有选择地按红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫的顺序改变颜色。温度逐渐下降时，又按相反的顺序改变颜色。灵敏度高的在不到一度的温差内就可显示出整个色谱。液晶的这种特性可以用来探测温度。例如，在医学上可用来检查肿瘤，在皮肤表面涂上一层液晶，由于肿瘤部分的温度与周围正常组织的温度不一样，液晶就会显示不同的颜色。利用这种液晶还可以检查电路中的短路点，把液晶涂在印刷线路板上，由于短路处温度升高，这个地方液晶显示的颜色就与其他地方不同（图 2-4-4）。

专业术语

液晶显示器  
liquid crystal display (LCD)  
薄膜晶体管液晶显示器  
thin-film transistor liquid crystal display (TFT LCD)

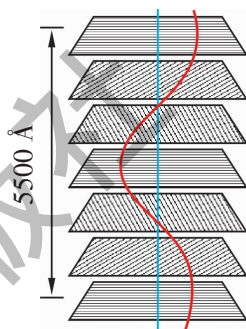


图 2-4-3

随着电子技术和其他一些技术迅速发展，液晶显示技术已取得重大突破。目前，已经把大规模集成电路技术与液晶技术结合在一起，生产出薄膜晶体管液晶显示器（TFT LCD）。这种液晶显示器上的每一个像素（每一个液晶显示单元）都是由集成在其后面的薄膜晶体管来驱动的，从而做到高速度、高亮度、高对比度显示屏幕信息。TFT LCD 已广泛用于彩屏手机、台式计算机和笔记本电脑显示器、液晶电视机。近年来，液晶理论又在细胞生物学和分子生物学中得到了发展，液晶的基础理论研究成为凝聚态物理学的一个重要分支。随着科学技术的进步，液晶的理论和技术应用有着广阔的发展前景。

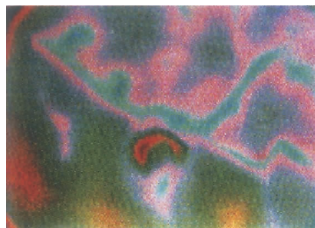


图 2-4-4 温谱图 具有不同表面温度的身体各部分以不同的颜色显示出来



图 2-4-5 带有液晶显示器的笔记本电脑

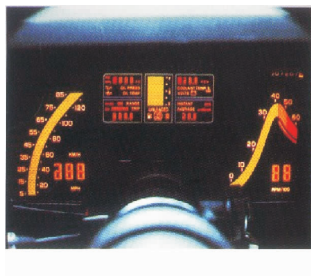


图 2-4-6 带有液晶显示器的汽车仪表盘



图 2-4-7 带有液晶显示器的袖珍彩色电视机

 实践与拓展

收集相关资料，通过具体事例，感受液晶给我们生活带来的巨大变化。

 我们的网站 ([physics.scnu.edu.cn/gzwl](http://physics.scnu.edu.cn/gzwl))

薄膜晶体管液晶显示器

 练习

- 关于液体和固体，以下说法正确的是 ( )。
  - 液体分子间的相互作用比固体分子间的相互作用强
  - 液体分子同固体分子一样，也是密集在一起的
  - 液体分子的热运动没有长期固定的平衡位置
  - 液体的扩散比固体的扩散快
- 下列说法正确的是 ( )。
  - 液晶态是介于固态和液态之间的中间态
  - 液晶具有流动性
  - 液晶表现出各向同性
  - 液晶表现出各向异性
- 关于液晶的分子排列，下列说法正确的是 ( )。
  - 液晶分子在特定方向排列整齐
  - 液晶分子的排列不稳定，外界条件的微小变动都会引起液晶分子排列变化
  - 液晶分子的排列整齐而且稳定
  - 液晶的物理性质稳定
- 为什么液体会具有流动性？

## 第五节 液体的表面张力

生活处处有物理. 在日常生活中, 同学们一定注意到许多有趣的液体表面现象, 例如, 叶面上的水珠 (图 2-5-1), 停在水面上而不致沉入水里的昆虫 (图 2-5-2), 浮在水面上的硬币……这些现象都与液体的表面张力有关. 本节要通过实验进一步探究液体的表面现象, 并且从分子动理论出发, 对液体表面张力给予微观解释.



图 2-5-1



图 2-5-2

### 液体的表面现象

#### 实验与探究

了解液体的表面现象

1. 把一根棉线的两端系在铁丝环上 (棉线不要张紧), 然后把环浸入肥皂水里, 再拿出来, 环上就布满了肥皂水的薄膜. 这时棉线圈是松弛的 (图 2-5-3).

用热针刺破棉线左侧的薄膜, 观察薄膜和棉线发生的变化. 重做这个实验, 再用热针刺破棉线右侧的薄膜, 观察薄膜和棉线发生的变化, 在图 2-5-4 和图 2-5-5 中画出薄膜和棉线发生变化后的形状.

2. 把一个棉线圈系在铁丝环上, 使环上布满肥皂水的薄膜, 这时膜上的棉线圈是松弛的 (图 2-5-6). 用热针刺破棉线圈里的肥皂膜, 观察棉线圈外的薄膜和棉线圈有什么变化, 在图 2-5-7 中画出薄膜和棉线发生变化后的形状.

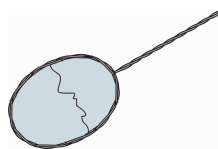


图 2-5-3



图 2-5-4



图 2-5-5

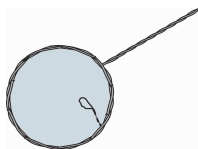


图 2-5-6



图 2-5-7



从实验 1 中观察到：刺破棉线左侧的薄膜，右侧的薄膜\_\_\_\_\_，使棉线\_\_\_\_\_；刺破棉线右侧的薄膜，左侧的薄膜\_\_\_\_\_，使棉线\_\_\_\_\_。

从实验 2 中观察到：刺破棉线圈里的薄膜，棉线外的薄膜\_\_\_\_\_，使棉线圈\_\_\_\_\_。

这些实验表明：液体的表面\_\_\_\_\_。

上述实验表明：液体的表面就好像张紧的橡皮膜一样，具有收缩的趋势。

### 液体的表面张力及其微观解释

为什么液体表面具有收缩的趋势呢？我们可以从液体的微观结构出发，用能量的观点来解释。

从微观的角度看来，液体的表面并不是一个几何面，而是一个厚度为分子有效作用距离（数量级为  $10^{-9}$  m）的薄层。位于液体表面层内的分子与液体内部分子所受到的分子力是有区别的。液体表面层分子的势能比液体内部分子的势能大。

由于液体分子在各个方向上都是均匀分布的，可以把分子力的作用范围认为是一个半径等于分子有效作用距离的球，这个球称为分子作用球。设液体内部有一分子 A（图 2-5-8），由于分子 A 的分子作用球处于液体内部，球内的分子均匀分布，对于分子 A 来说球内分子的分布是球对称的，因此球内所有分子对分子 A 的斥力和引力的合力为零。

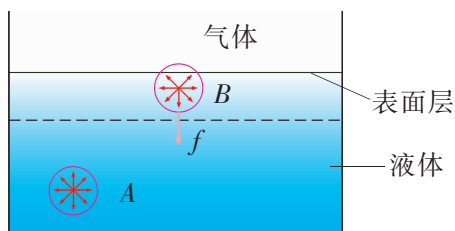


图 2-5-8 液体表面附近分子分布的示意图

设在表面层内有一分子 B，以 B 为中心的分子球一部分在液体外，由于分子斥力的有效作用距离比分子引力的有效作用距离小得多，分子 B 受到的分子斥力仍然可以认为是球对称的，但分子 B 所受的分子引力就不再是球对称的。由于缺少了液体表面层外这部分分子的引力，就使作用在分子 B 上的全部分子的引力的合力  $f$  垂直液面指向液内。如果要把液体分子从内部移到表面层去，就必须克服力  $f$  做功，使分子的势能增加。所以分子在表面层比在液体内部具有较大的势能。表面层越大，在表面层中的分子数就越多，整个表面层的势能就越大。液体表面增大时，表面层的势能就要增大，反之则要减少。因为势能总是有减少的

倾向，因此液体表面就有收缩的趋势，好像张紧的弹性薄膜一样。

假想在张紧的弹性薄膜表面有一根直线，直线两旁的薄膜存在使薄膜张紧的相互作用的拉力。与此类似，假想在液体表面有一根直线，直线两旁的液膜同样存在使液体表面张紧的相互作用的拉力，液体表面出现的这种张力，称为**表面张力**（图 2-5-9）。

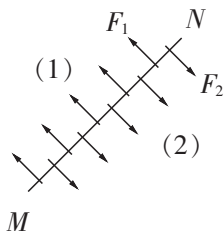


图 2-5-9 液体的表面张力

### 讨论与交流

现在你对表面张力已经有了进一步的了解，请你解释一下为什么草叶上的小水珠是球形的？为什么密度比水大的硬币可以被水的表面托住，不会沉到水里？跟同学讨论和交流你的看法。

#### 专业术语

表面张力  
surface tension

### 实践与拓展

1. 将橄榄油缓慢滴入水和酒精的混合液中，观察橄榄油液滴在混合液中的形状，怎样才能看到悬浮在混合液体中浅黄色的球状液滴呢？实验成功的关键是什么？
2. 在水面上撒一些痱子粉，然后在痱子粉的中央滴一滴肥皂水，观察并解释发生的现象。

### 练习

1. 液体表面具有收缩趋势的原因是（ ）。
  - A. 液体可以流动
  - B. 液体表面层分子的势能比液体内部分子的势能大
  - C. 液体表面层分子的势能比液体内部分子的势能小
  - D. 与液体接触的容器壁分子，对液体表面分子有吸引力
2. 下列现象中，与液体表面张力有关的是（ ）。
  - A. 小缝衣针漂浮在水面上
  - B. 小木船漂浮在水面上
  - C. 荷叶上的小水珠呈球形
  - D. 慢慢向小酒杯中注水，即使水面稍高出杯口，水仍不会流下来
3. 把两枚硬币水平地轻轻放在水面上，硬币会漂浮着，用嘴轻轻吹气，使两枚硬币逐渐靠拢，当它们相距小于 1 cm 时，可以发现两枚硬币会“自动”靠拢，最后聚集在一起，如图 2-5-10 所示，为什么？
4. 在地面上，较小的水银滴呈球形，较大的水银滴因受不能忽略的重力的影响而呈扁平形状，那么，在处于完全失重状态的宇宙飞船中，大滴的水银会呈什么形状？为什么？

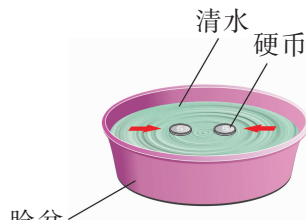


图 2-5-10

## 第六节 气体状态参量

我们在日常生活中都有这样的经验：压瘪了的乒乓球浸没到热水中，球往往会鼓起来；给自行车打气时，越往下推压气筒的活塞，就感到向上的反推力越大……这些现象反映了气体压强、体积、温度的变化是相互联系的。你了解其中的奥秘吗？本节首先介绍描述气体的状态参量，下一节再进一步探究气体的实验定律。

在研究气体的性质时，可以用气体的体积、温度、压强来描述气体的状态。描述气体状态的物理量称为**气体的状态参量**。

### 体积

气体分子可以自由移动，所以气体总要充满容器的整个空间。气体的体积就是指气体分子所能达到的空间，也就是气体充满的容器的容积。在国际单位制中，体积的单位是立方米，符号是  $\text{m}^3$ 。常用的单位还有升、毫升，符号分别是 L、mL。

$$1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3 = 1 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ mL} = 10^{-6} \text{ m}^3 = 1 \text{ cm}^3$$

#### 专业术语

体积

volume

温度

temperature

压强

pressure

### 温度

温度是物体内部分子热运动平均动能的标志。要定量的表示温度，就要确定温度的数值表示法——温标。日常生活中常用的温标是摄氏温标，摄氏温标表示的温度称为**摄氏温度**，用  $t$  表示，它的单位是**摄氏度**，符号是  $^{\circ}\text{C}$ 。在国际单位制中用热力学温标来表示温度，叫做**热力学温度**，用符号  $T$  表示。热力学温度是国际单位制中七个基本单位之一，它的单位是**开尔文**，简称开，符号为 K。热力学温度与摄氏温度的关系为

$$T = t + 273.15 \text{ K} \quad (2.6.1)$$

为了简化计算，上式也可近似地表示为

$$T = t + 273 \text{ K}$$

例如，将一定质量的水由  $20^{\circ}\text{C}$  加热到  $60^{\circ}\text{C}$ ，水的温度升高

$$\Delta t = (60 - 20)^{\circ}\text{C} = 40^{\circ}\text{C}$$

用热力学温度表示，则  $\Delta T = (333 - 293) \text{ K} = 40 \text{ K}$

从上面的计算可以看出，热力学温标和摄氏温标的零点选择不同，但它们的分度方法，即每一度的大小是相同的，物体

升高或降低的温度用热力学温度和摄氏温度表示在数值上是相同的.

从分子动理论的观点来看, 温度反映了物体内部无规则热运动的剧烈程度, 温度越高, 分子热运动越激烈, 分子热运动的平均动能就越大. 通过理论分析可以得出, 理想气体的热力学温度  $T$  与分子的平均动能  $\varepsilon$  成正比, 即

$$T = a\varepsilon \quad (2.6.2)$$

式中  $a$  是比例常数.

这表明温度是物体分子热运动平均动能的标志.

## 压强

用打气筒把气体打进气球或轮胎里, 气球和轮胎都会鼓起来. 这些现象说明气体对器壁有压力, 气体作用在器壁单位面积上的压力叫做气体的压强. 国际单位制中, 压强的单位是帕斯卡, 简称帕, 符号是 Pa.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

气体压强的单位在实际应用中还常用“标准大气压”(符号 atm) 和毫米汞柱(符号 mmHg).

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg}$$

我们在初中已经初步学习过压强的计算, 下面我们一起来分析一个身边的实例, 进一步了解气体压强的计算.

**例:** 如图 2-6-1 所示, 气压式保温瓶内水面与出水口的高度为  $h$ , 设水的密度为  $\rho$ , 大气压强为  $p_0$ , 要使水从出水口流出, 瓶内气体的压强至少多大?

**解:** 瓶内气体没有压缩时, 出水管内的水面与瓶内水面一样高, 要使水从出水口流出, 管内的水面要升高  $h$ , 瓶内气体的压强  $p$  至少要等于大气压强  $p_0$  加上水柱产生的压强  $p_h = \rho gh$ , 所以

$$p = p_0 + p_h = p_0 + \rho gh$$

从分子动理论的观点来看, 气体的压强是大量气体分子频繁碰撞器壁的结果. 我们都有在雨中打伞的经验, 当稀疏的大雨点打在伞上时, 我们感到伞上各处受力是不均匀的, 而且是断续的; 但当密集的雨点打到伞上时, 就会感到雨伞受到一个均匀的、持续的压力(图 2-6-2). 气体压强产生的原因与此相似, 单个分子对器壁的冲力是短暂的, 但大量分子频繁地碰撞器壁, 就会对器壁产生持续的、均匀的压力. 所以从分子动理论的观点来看, 气体压强就是大量气体分子作用在器壁单位面积上的平均作用力.

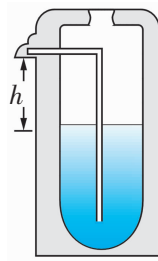


图 2-6-1



图 2-6-2 雨滴不停地落在伞面上, 对伞面施加了压力

 讨论与交流

既然气体压强是大量气体分子频繁碰撞器壁的结果，请你猜想一下，从微观角度来看，气体压强的大小跟什么因素有关？

下面我们一起来整理一下讨论的结果。从微观的角度来看，如果气体分子碰撞器壁产生的作用力越大，每秒撞击器壁单位面积的分子数越多，气体的压强就越大，气体的压强跟气体分子的平均动能和分子的密集程度有关。

分子的平均动能越大，分子碰撞器壁时对器壁产生的作用力就越大，气体的压强也就越大；在分子平均动能一定时，气体分子越密集，每秒撞击器壁单位面积的分子就越多，气体压强也就越大。

也许有同学会问，为什么气体压强跟分子的平均动能有关，而不是跟分子的平均速率有关呢？这是因为分子速率的变化从两个方面影响着分子对器壁的碰撞效果。一方面，分子的平均速率增大，碰撞器壁的平均作用力就增大；另一方面，速率大了，每秒碰撞器壁的次数也增多。同时，速率相同的分子碰撞器壁产生的作用力跟分子的质量有关，质量越大，对器壁的作用力就越大。所以，影响气体压强的微观因素是气体分子的平均动能，而不是气体分子的平均速率。

理论和实验证明，理想气体的压强与分子平均动能和单位体积的分子数的乘积成正比，即  $p = \frac{2n\varepsilon}{3}$ ，称为理想气体压强公式，式中  $n = \frac{N}{V}$ ，是单位体积的分子数，表示分子分布的密集程度， $\varepsilon$  是分子的平均动能。

温度是分子平均动能的标志，一定质量的气体的总分子数是一定的，分子的密集程度与气体的体积成反比，所以，从宏观的角度来看，气体压强  $p$  跟气体的温度  $T$  和体积  $V$  有关。实际上，一定质量的气体，它的压强、温度、体积三个状态参量的变化是相互联系的，那么，当气体的状态发生变化时，这三个状态参量的变化遵循什么规律呢？我们在下一节将进一步研究这个问题。

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

理想气体压强公式的推导

 练习

1. 如图 2-6-3 所示，用长为  $h = 20 \text{ cm}$  的一小段水银柱把气体封闭在玻璃管里。已知大气压  $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，求玻璃管水平放置（图 a）、开口向上竖直放置（图 b）、开口向下竖直放置

(图 c) 时, 被封闭的气体的压强各是多少帕?

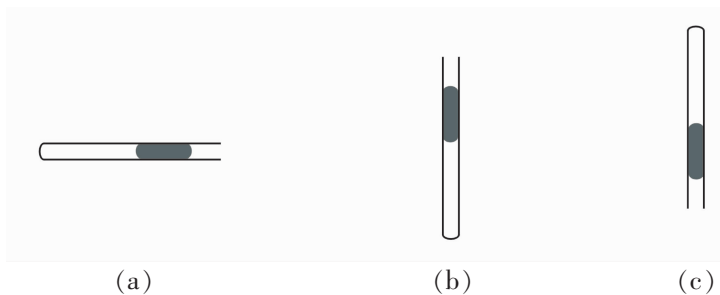


图 2-6-3

2. 求图 2-6-4 中被水银柱封闭在直玻璃管内气体的压强. 已知水银柱长 10 cm, 大气压强  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

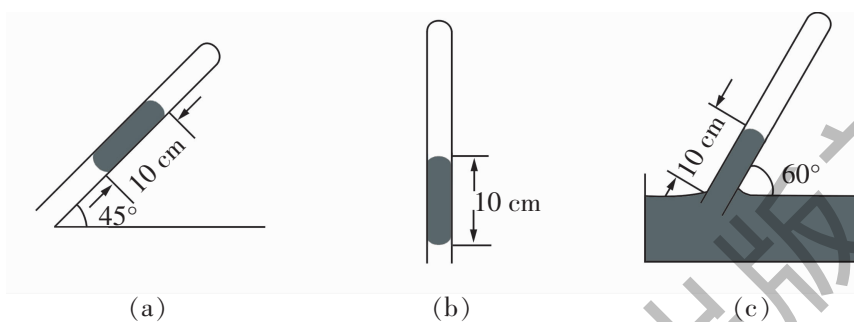


图 2-6-4

3. 高压锅的锅盖中间有一排气孔, 孔的上面盖上类似砝码的限压阀将排气孔堵住, 当加热高压锅, 锅内气体压强增大到一定程度时, 气体就把限压阀顶起来, 锅里的蒸汽就从排气孔向外排出. 已知排气孔直径  $d = 0.4 \text{ cm}$ , 限压阀的质量  $m = 0.05 \text{ kg}$ , 大气压强  $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 则锅内气体的压强可以达到多少帕?

## 第七节 气体实验定律 (I)

对一定质量的气体来说, 如果压强、温度、体积这三个状态参量都不变, 我们就说气体处于一定的状态. 在实际中, 我们经常遇到气体改变状态的现象. 例如, 按下家用气压保温瓶顶盖的活塞, 瓶内气体的体积减小, 压强增大, 把水从瓶内压出来, 松开顶盖活塞, 瓶内气体体积增大, 压强减小, 出水管内的水又回到气压瓶里; 内燃机气缸中的气体被压缩时, 体积减小, 温度升高, 压强增大, 燃气推动活塞做功时, 体积增大, 温度下降, 压强降低. 一定质量气体的压强、温度、体积这三个状态参量在变化过程中遵循什么规律呢? 在这一节里我们将应用实验的方法, 一起来探究气体的实验定律. 由于三个状态参量的变化是相互联系的, 我们可以用控制变量的方法, 先分别保持其中一个状态参量不变, 研究其他状态参量的关系, 然后确定三个状态参量的变化规律.

### 观察与思考

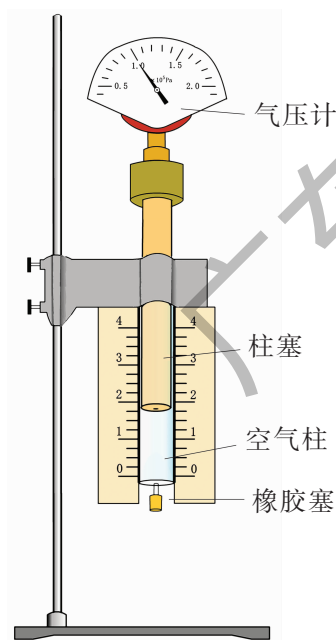


图 2-7-1 玻意耳定律演示仪示意图

如图 2-7-1 所示, 注射器的柱塞和下端的橡皮塞把一段空气封闭在玻璃管中. 这段空气是我们研究的对象, 实验过程中它的质量是不变的, 实验中如果空气柱体积变化不太快, 它的温度大致等于环境的温度, 不会有明显的变化.

实验中空气柱的压强可以从仪器上方的气压计的指针读出, 空气柱的长度可以从玻璃管侧的刻度尺读出, 由于玻璃管横截面积不变, 空气柱的体积与气柱长度成正比.

向下压或向上提柱塞, 读出压强和空气柱长度的几组数据, 很容易发现, 空气柱的体积越小, 压强越大. 空气柱的压强是否跟体积成反比呢? 我们可以应用数字化信息系统实验室 (DISLab 系统) 做进一步的探究.

### 玻意耳定律

一定质量的气体, 在保持温度不变的情况下, 压强、体积遵循什么规律变化呢?

## 实验与探究

### 气体压强与体积的关系

DISLab 系统实验装置如图 2-7-2 所示, 注射器通过软管与压强传感器相连, 封闭在注射器内的气体体积可以直接由注射器的刻度读出, 气体压强的测量由 DISLab 系统通过压强传感器和数据采集器自动完成并输入计算机处理. 实验过程简述如下:

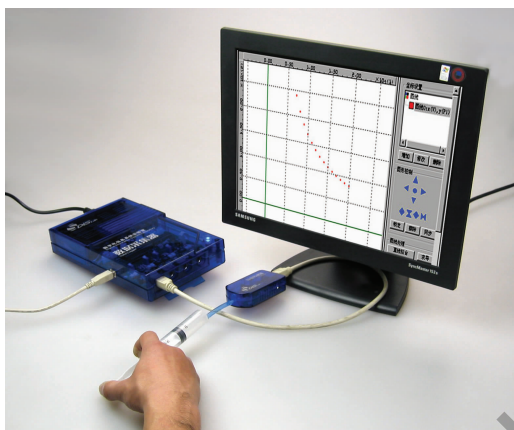


图 2-7-2 DISLab 系统研究气体压强与体积关系的实验装置

1. 启动计算机并进入 DISLab 系统软件主界面, 点击实验条目“气体压强和体积的关系”.

2. 将注射器的活塞置于初始位置, 通过软管将注射器与压强传感器的测试口紧密连接. 输入气体体积的初始值, 点击“数据记录”, DISLab 系统自动记录当前的压强数据.

3. 改变注射器内气体的体积, 输入当前的体积读数, 同时点击“数据记录”, 记录此时所对应的压强数据. 重复上述实验, 分别记录几组数据, 如图 2-7-3 所示.

4. 点击“绘图”, 计算机显示图 2-7-4 和图 2-7-5 所示的压强与体积的关系图线和压强与体积倒数的关系图线.

记录				
	$P/\text{Pa}$	$V/\text{mL}$	$P \cdot V/\text{Pa} \cdot \text{mL}$	$U=1/V$
1	82.86	20	1657.2068	0.0500
2	87.44	19	1661.4454	0.0526
3	92.17	18	1659.1125	0.0556
4	97.80	17	1662.5910	0.0588
5	104.10	16	1665.6529	0.0625
6	111.59	15	1673.8468	0.0667
7	119.74	14	1676.3645	0.0714
8	129.16	13	1679.0266	0.0769
9	140.09	12	1681.0220	0.0833
10	153.24	11	1685.6711	0.0909
11	168.88	10	1688.8306	0.1000
12	186.88	9	1681.9369	0.1111
13	210.34	8	1682.7569	0.1250
14	240.34	7	1682.3636	0.1429

图 2-7-3 实验数据记录

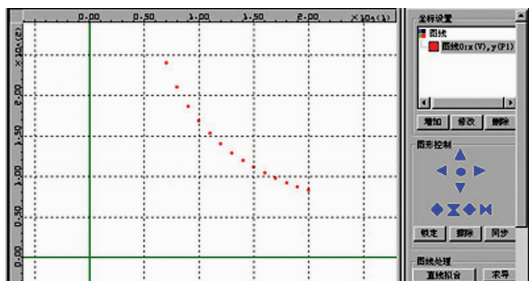


图 2-7-4 等温过程的  $p-V$  图线

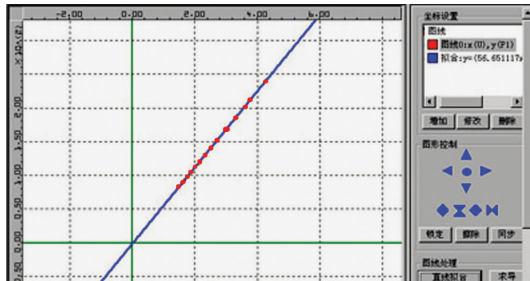


图 2-7-5 等温过程的  $p-\frac{1}{V}$  图线

5. 分析实验数据和  $p-V$ 、 $p-\frac{1}{V}$  关系图线, 你发现气体压强和体积有什么关系?



实验表明，一定质量的气体，在温度不变的情况下，压强和体积成反比。即

$$p \propto \frac{1}{V}$$

设气体体积为  $V_1$  时，压强为  $p_1$ ，体积为  $V_2$  时，压强为  $p_2$ ，那么

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (2.7.1)$$

### 专业术语

玻意耳定律

Boyle's law

等温过程

isothermal process

等温线

isotherm

一定质量气体在温度不变时压强和体积关系的实验规律是英国科学家玻意耳和法国科学家马略特各自通过实验发现的，叫做**玻意耳定律**。

气体在温度不变的情况下发生的状态变化过程，称为**等温过程**。一定质量气体的等温过程可以用图线来表示，在平面直角坐标中，用纵轴表示气体的压强  $p$ ，用横轴表示气体的体积  $V$ ，等温过程在  $p$ - $V$  图上是一条如图 2-7-6 所示的双曲线，这种表示等温过程的图线称为**等温线**。

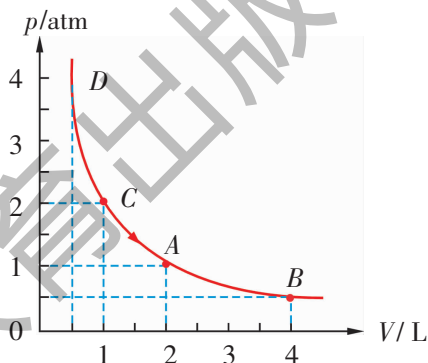


图 2-7-6

等温线上的某一个点表示气体处于某一状态，这点的坐标 ( $p$ 、 $V$ ) 表示气体在该状态下的状态参量，例如，图中状态 A 压强  $p_1=1 \text{ atm}$ ，体积  $V_1=2 \text{ L}$ ，状态 B 压强  $p_2=0.5 \text{ atm}$ ，体积  $V_2=4 \text{ L}$ ，图中箭头表示过程进行的方向，气体由状态 A 经等温过程变化到状态 B。

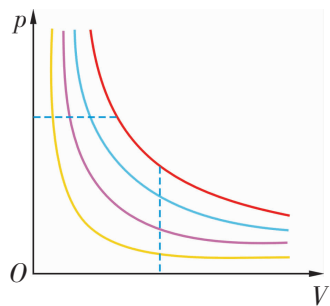


图 2-7-7

### 讨论与交流

图 2-7-7 表示一定质量的某种气体在不同温度下的几条等温线，图中哪一条等温线对应的温度最高？哪一条等温线对应的温度最低？为什么？你能应用气体压强的微观解释加以说明吗？

**例：**一个自行车内胎的容积为  $2.0 \text{ L}$ ，用打气筒给这个车胎打气，每打一次气就把压强为  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  的空气打进去  $125 \text{ cm}^3$ ，设打气前胎内没有空气，那么打了 20 次后胎内的压强有多大？（假定空气的温度不变）

**解：**将打入胎内的气体作为研究对象，假设空气打入内胎前充满一个与内胎相通，容积为  $V_1$  的容器，那么，空气打入内胎前的压强和体积分别为  $p_1$ 、 $V_1$ ，打入内胎后的压强和体积分别为  $p_2$ 、 $V_2$ ，则

$$p_1 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$V_1 = 20 \times 125 \text{ cm}^3 = 2500 \text{ cm}^3 = 2.5 \text{ L}$$

$$V_2 = 2.0 \text{ L}$$

根据玻意耳定律  $p_1 V_1 = p_2 V_2$

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{2.5 \times 1.0 \times 10^5}{2.0} \text{ Pa} = 1.25 \times 10^5 \text{ Pa}$$

### 实验与拓展

在图 2-7-1 所示的实验中，采集 5 组数据，以压强  $p$  为纵坐标，以体积的倒数  $\frac{1}{V}$  为横坐标，用图象法检验  $p$  和  $\frac{1}{V}$  的线性关系。

### 练习

1. 图 2-7-8 所示，一段封闭的粗细均匀的玻璃管开口向下竖直插入水银槽中。管内封有一定质量的气体，管内气体体积为  $V$ 。现将玻璃管缓慢下压，则管内外水银面高度差  $h$  将随 ( )。

- A.  $V$  不变而不变
- B.  $V$  不变而减小
- C.  $V$  减小而减小
- D.  $V$  减小而增大

2. 图 2-7-9 是两根粗细均匀的玻璃管，用一段  $h = 19.0 \text{ cm}$  的水银柱将一部分空气封闭在细玻璃管里。当玻璃管开口向上竖直放置时 (图 a)，管内空气柱长  $L_1 = 15.0 \text{ cm}$ ，大气压  $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。那么，当玻璃管开口向下竖直放置时 (图 b)，管内空气柱的长度是多少？

3. 一个足球的容积是  $2.5 \text{ L}$ ，用打气筒给这个足球打气，每打一次就把压强  $1 \text{ atm}$  的空气打进去  $125 \text{ cm}^3$ 。如果足球在打气前内部没有空气，那么打了 40 次以后，足球内部空气的压强有多大？ (假定空气温度不变)

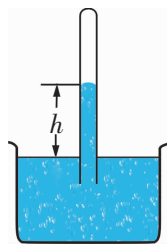


图 2-7-8

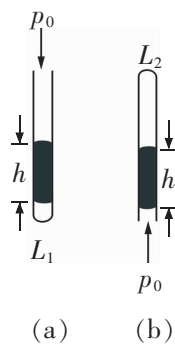


图 2-7-9

## 第八节 气体实验定律 (II)

### 查理定律

气体在体积保持不变的情况下发生的状态变化过程, 叫做**等容过程**. 从图 2-7-7 可以看出, 一定质量的气体在等容过程中, 温度升高, 压强增大; 温度降低, 压强减小. 那么, 气体等容过程压强和温度遵循什么规律呢? 我们继续应用 DISLab 系统来探究这一问题.

### 实验与探究

气体压强和温度的关系

实验装置如图 2-8-1 所示, 锥形烧瓶内有密封的空气, 当瓶内的气体与外界达到热平衡时, 烧瓶里的气体与外界的温度相同. 实验过程用温度传感器测量烧瓶外水的热力学温度, 用压强传感器测量烧瓶内气体的压强, 实验操作如下:

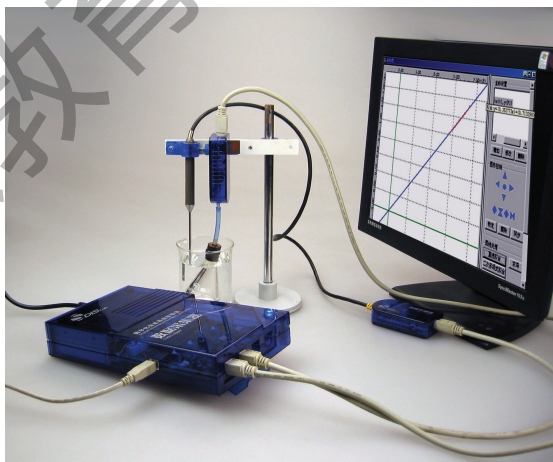


图 2-8-1 研究气体压强与温度关系的实验装置

1. 将压强传感器和温度传感器接入数据采集器, 点击软件主界面进入实验条目“气体压强与温度的关系”.
2. 将压强传感器与温度传感器一起固定在支架上, 通过软管将压强传感器的测量口与锥形烧瓶密封连接, 在烧杯中放入清水, 将温度传感器与锥形烧瓶一同浸没在水中片刻, 待烧瓶中的气体温度与水温相同时, 点击“数据记录”, 记录气体的压强和温度值.
3. 向烧杯中加入适量沸水, 可看到气体的压强与温度都在上升, 等数据显示稳定, 再次点击“数据记录”, 记录气体压强

与温度. 重复实验, 可得到几组不同的压强与温度值, 如图 2-8-2 所示.

记录					
<input type="checkbox"/>	自动	间隔 0.1	手动	放大 缩小 绘图	变量 公式
	$P_1$	$t_2$	$T=t_2+273.15$	$Y=1000P_1/(t_2+273.15)$	
1	101.19	10.59	283.7400	356.6293	
2	107.38	28.69	301.8400	355.7514	
3	112.20	43.26	316.4100	354.6032	
4	116.22	53.94	327.0900	355.3151	
5	117.38	59.28	332.4300	353.0969	
6	121.59	71.11	344.2600	353.1924	
7	124.66	79.07	352.2200	353.9265	
8	132.56	98.00	371.1500	357.1602	

图 2-8-2 实验数据记录

4. 点击“绘图”, 计算机显示对应的  $p-T$  图线. 如图 2-8-3 所示.

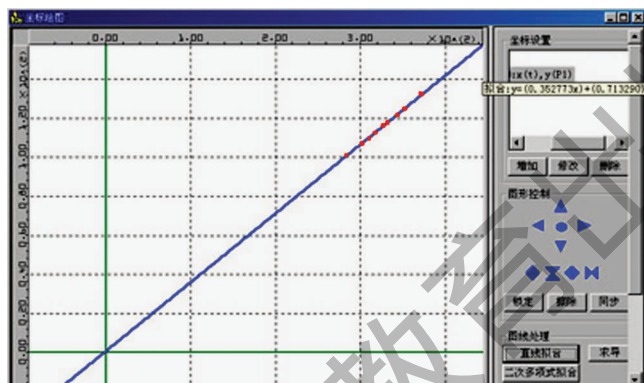


图 2-8-3 等容过程的  $p-T$  图线

### 专业术语

查理定律

Charles law

等容过程

isochoric process

等容线

isochore

实验表明, 一定质量的气体, 在体积不变的情况下, 压强  $p$  与热力学温度  $T$  成正比. 即

$$p \propto T$$

设温度为  $T_1$  时, 压强为  $p_1$ , 温度为  $T_2$  时, 压强为  $p_2$ , 则有

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2.8.1)$$

一定质量气体在等容过程中压强与温度的关系是法国科学家查理通过实验发现的, 叫做查理定律.

一定质量气体的等容过程也可以用图线来表示. 在  $p-T$  图上, 等容过程的图线是一条过原点的直线, 这种表示等容过程的图线称为等容线 (图 2-8-4).

### 讨论与交流

图 2-8-5 表示一定质量某种气体在不同体积下经历等容过程的一族等容线, 请你说明一下哪一条等容线对应的体积最大? 哪一条等容线对应的体积最小? 为什么?

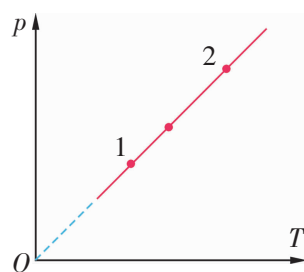


图 2-8-4

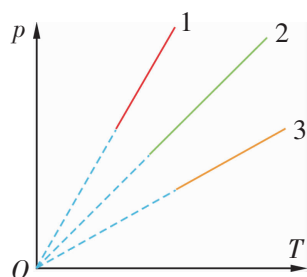


图 2-8-5

## 盖·吕萨克定律

我们已经用控制变量法分别研究了气体等温过程和等容过程状态参量变化的实验规律. 同样, 通过实验可以研究气体在压强不变时的实验规律. 实验表明, 一定质量的气体, 在压强不变的情况下, 体积与热力学温度成正比, 即

$$V \propto T$$

设温度为  $T_1$  时, 体积为  $V_1$ , 温度为  $T_2$  时, 体积为  $V_2$ , 则

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2.8.2)$$

这个规律是法国科学家盖·吕萨克通过实验发现的, 叫做盖·吕萨克定律.

气体在压强不变情况下发生的状态变化过程, 称为等压过程. 等压过程也可以用图线来表示, 在  $V-T$  图上, 等压过程是一条过原点的直线, 这种表示等压过程的图线叫等压线 (图 2-8-6).

上述三个气体实验定律是在气体压强不太大, 温度不太低的条件下总结出来的. 温度很低时, 任何气体都已液化甚至变成固体, 气体实验定律早已不适用了, 正因为如此, 等容线和等压线在温度很低的一段是用虚线表示的.

实验表明, 在压强不太大, 温度不太低的条件下, 不论什么气体都近似符合气体实验定律. 为了研究方便, 我们可以设想有一种严格遵守三个实验定律的气体, 这样的气体称为理想气体. 理想气体实际上是不存在的, 它是对实际气体的一种理想化的简化模型. 在通常的条件下, 许多实际气体, 例如氢气、氧气、氮气、氦气、空气等, 都能很好地遵守气体的实验定律, 可以把它们当作理想气体处理, 这样处理不仅很简便, 而且得到的结果误差很小.

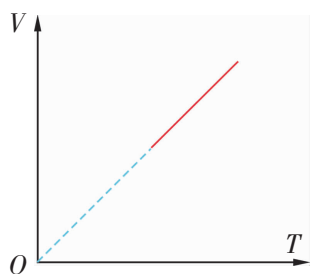


图 2-8-6

## 专业术语

等压过程

isobaric process

等压线

isobar

## 对气体实验定律的微观解释

从分子动理论的观点来看, 一定质量的气体, 温度保持不变时, 气体分子的平均动能一定, 气体体积减小, 分子的密集程度增大, 气体压强增大; 反之, 气体体积增大, 分子密集程度减小, 气体压强减小. 这就是分子动理论对玻意耳定律的定性解释. 不仅如此, 分子动理论还可以从理论上推导出玻意耳定律, 将分子的密集程度  $n = \frac{N}{V}$  代入理想气体压强公式  $p = \frac{2n\varepsilon}{3}$  得,

$pV = \frac{2N\varepsilon}{3}$ , 当温度不变时,  $pV = \text{恒量}$ , 这就是玻意耳定律. 我们

看到, 从实验总结出来的气体的实验定律与分子动理论的结果是一致的. 一方面, 通过实验总结出来的实验定律, 经过分子

动理论的分析,才能了解其本质;另一方面,分子动理论经过实验研究而得到验证和发展.研究物体热现象的宏观方法和微观方法是彼此联系,相辅相成的.

### 讨论和交流

如何从微观的角度解释查理定律和盖·吕萨克定律?

本节我们分别讨论了气体在等温、等容和等压过程的实验定律,也许有同学会问,如果压强、温度、体积三个状态参量一起发生变化,这三个状态参量的变化是否也遵循一定的规律呢?对这个问题感兴趣的同学可以查阅理想气体状态方程的相关资料.

### 实践与拓展

观察气体的等容过程

图 2-8-7 是一个观察气体压强与温度变化关系实验装置的示意图,同学们可以就地取材,设法完成实验.例如,烧瓶可以用普通的带橡皮塞的玻璃瓶代替,压强计的细玻璃管可用废圆珠笔芯代替,连接部分可用自行车气门芯的小橡皮管,管内注入适量的红墨水.把瓶先后放入盛着冰水混合物的容器和盛着热水的容器中,设法保持瓶内气体的体积不变,观察等容过程气体压强和温度变化的关系.

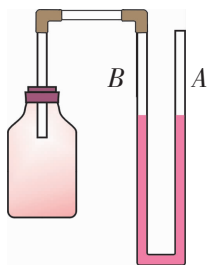


图 2-8-7

### 资料活页

#### 理想气体的状态方程

理想气体的状态方程可以由气体的实验定律导出.

如图 2-8-8 所示,一定质量的某种理想气体经历了从 A 到 B 的一个等温过程,从 B 到 C 的一个等容过程.根据玻意耳定律和查理定律有

$$p_A V_A = p_B V_B \quad (T_A = T_B)$$

$$\frac{p_B}{T_B} = \frac{p_C}{T_C} \quad (V_C = V_B)$$

两式联立,消去两个方程中状态 B 的压强,得到关系式

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_C V_C}{T_C}$$

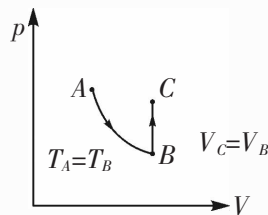


图 2-8-8

因为 A、C 是气体的两个任意状态,所以上面的式子表明,一定质量的某种理想气体,从状态 1 变化到状态 2 时,尽管  $p$ 、 $V$ 、 $T$  都可能改变,但压强跟体积的乘积与热力学温度的比值保持不变.即

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \text{或} \quad \frac{pV}{T} = c$$

式中  $c$  是与  $p$ 、 $V$ 、 $T$  无关的常量.

上面两式都叫做一定质量的某种理想气体的状态方程 (state equation of

ideal gas).

理想气体的状态方程也可以由分子动理论推导出来. 根据分子动理论, 理想气体压强公式

$$p = \frac{2}{3} n \varepsilon = \frac{2N}{3V} \varepsilon$$

理想气体的热力学温度与分子平均动能  $\varepsilon$  成正比

$$T = a \varepsilon$$

两式联立, 有

$$\frac{pV}{T} = \frac{2N}{3a}$$

对一定量的理想气体, 总分子数目  $N$  是一定的, 用常数  $c$  表示  $\frac{2N}{3a}$ , 有

$$\frac{pV}{T} = c$$

式中  $c$  与  $p$ 、 $V$ 、 $T$  无关.

从以上的推导可以看出, 研究物体热现象的宏观方法和微观方法是彼此联系, 相互成立的.

### 练习

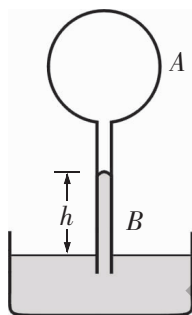


图 2-8-9

1. 如图 2-8-9 所示的装置称为伽利略温度计, 玻璃泡  $A$  内封有一定质量的气体, 与  $A$  相连的细管  $B$  插在水银槽中, 管内水银面的高度  $h$  即可反映泡内气体的温度, 即环境温度, 并可由管  $B$  上的刻度直接读出. 设管  $B$  的容积与玻璃泡  $A$  的容积相比可以忽略不计, 已知温度为  $27^\circ\text{C}$ 、大气压为  $76\text{ cmHg}$  时, 管内水银面的高度为  $16\text{ cm}$ , 求温度变为  $0^\circ\text{C}$  时, 管内水银面的高度为多少厘米? (设大气压强保持不变) 如果大气压增大而温度不变, 读出的温度数值会有什么影响?

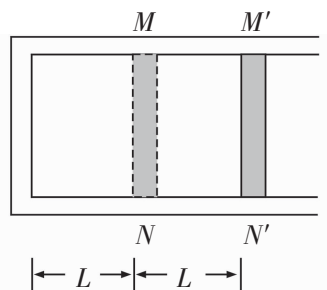


图 2-8-10

2. 图 2-8-10 是右端开口的圆筒形容器, 底面积为  $S$ , 活塞可以沿容器壁自由滑动. 开始时, 活塞把一定质量的理想气体封闭在容器内, 活塞与容器底部的距离为  $L$ , 气体温度为  $T_0$ , 大气压强为  $p_0$ , 若给容器内气体加热, 让气体膨胀, 活塞缓慢移动到与容器底部距离为  $2L$  处, 求:

- (1) 气体膨胀过程中推动活塞所做的功.
- (2) 气体膨胀后的温度.

(3) 气体膨胀后把活塞固定, 让气体温度缓慢地变回  $T_0$ , 求此时气体的压强是多少? 并画出在此过程中气体压强  $p$  随温度  $T$  变化的图线.

## 第九节 饱和蒸汽 空气的湿度

生活中我们都有这样的经验，装在敞口容器里的液体经过一段时间会全部蒸发掉，而盛在密闭容器里的液体，即使时间很长也不会蒸发完。这是什么原因呢？

### 饱和蒸汽

从微观的角度上看，在容器的液面上同时进行着两种相反的过程。一方面，一些动能较大的液体分子克服其他液体分子的引力逸出水面成为蒸汽分子；另一方面，由于分子无规则的热运动，液面上方的蒸汽分子总会有一些会撞到液面，返回到液体中，如图 2-9-1 所示。在密闭的容器中，随着液体不断地蒸发，液面上蒸汽的密度不断增大，回到液体中的分子数也逐渐增多。最后，当蒸汽分子的密度增大到一定程度时，单位时间内回到液体中的分子数等于从液面飞出去的分子数。这时蒸汽的密度不再增加，液体也不再减少，蒸汽和液体之间达到了动态平衡，我们把与液体处于动态平衡的汽叫做**饱和蒸汽**。

#### 专业术语

饱和蒸汽

saturated vapor

饱和汽压

saturated vapor pressure



图 2-9-1

### 饱和汽压

液体的饱和蒸汽所具有的压强，叫做这种液体的**饱和汽压**，用符号  $p_s$  来表示。

实验表明，在相同的温度下，不同液体的饱和汽压一般是不同的。通常挥发性强的液体的饱和汽压大一些。例如，在  $20\text{ }^\circ\text{C}$  时，乙醚的饱和汽压为  $5.87 \times 10^4\text{ Pa}$ ，水为  $2.34 \times 10^3\text{ Pa}$ 。水银的饱和汽压很小， $20\text{ }^\circ\text{C}$  时仅为  $1.6 \times 10^{-1}\text{ Pa}$ ，所以水银气压计水银柱上方的空间可以认为是真空。





## 讨论与交流

实验还表明：同一种液体的饱和汽压随温度升高而增大（表 2-9-1）；在温度不变的情况下，饱和汽压不随体积的改变而变化。请你从微观的角度对上述实验事实给予合理的解释。

表 2-9-1 不同温度下水的饱和汽压

$t/^\circ\text{C}$	$p_s/\text{Pa}$	$t/^\circ\text{C}$	$p_s/\text{Pa}$	$t/^\circ\text{C}$	$p_s/\text{Pa}$	$t/^\circ\text{C}$	$p_s/\text{Pa}$
-15	$1.92 \times 10^2$	3	$7.58 \times 10^2$	21	$2.486 \times 10^3$	39	$6.990 \times 10^3$
-14	$2.08 \times 10^2$	4	$8.13 \times 10^2$	22	$2.643 \times 10^3$	40	$7.374 \times 10^3$
-13	$2.25 \times 10^2$	5	$8.72 \times 10^2$	23	$2.809 \times 10^3$	41	$7.777 \times 10^3$
-12	$2.44 \times 10^2$	6	$9.34 \times 10^2$	24	$2.983 \times 10^3$	42	$8.198 \times 10^3$
-11	$2.65 \times 10^2$	7	$1.001 \times 10^3$	25	$3.167 \times 10^3$	43	$8.638 \times 10^3$
-10	$2.87 \times 10^2$	8	$1.073 \times 10^3$	26	$3.361 \times 10^3$	44	$9.099 \times 10^3$
-9	$3.11 \times 10^2$	9	$1.148 \times 10^3$	27	$3.564 \times 10^3$	45	$9.582 \times 10^3$
-8	$3.35 \times 10^2$	10	$1.228 \times 10^3$	28	$3.779 \times 10^3$	50	$1.233 \times 10^4$
-7	$3.63 \times 10^2$	11	$1.312 \times 10^3$	29	$4.004 \times 10^3$	60	$1.991 \times 10^4$
-6	$3.91 \times 10^2$	12	$1.402 \times 10^3$	30	$4.242 \times 10^3$	70	$3.115 \times 10^4$
-5	$4.21 \times 10^2$	13	$1.497 \times 10^3$	31	$4.492 \times 10^3$	80	$4.733 \times 10^4$
-4	$4.55 \times 10^2$	14	$1.598 \times 10^3$	32	$4.753 \times 10^3$	90	$7.009 \times 10^4$
-3	$4.89 \times 10^2$	15	$1.705 \times 10^3$	33	$5.032 \times 10^3$	100	$1.013 \times 10^5$
-2	$5.28 \times 10^2$	16	$1.817 \times 10^3$	34	$5.319 \times 10^3$	150	$4.759 \times 10^5$
-1	$5.68 \times 10^2$	17	$1.937 \times 10^3$	35	$5.623 \times 10^3$	200	$1.554 \times 10^6$
0	$6.11 \times 10^2$	18	$2.064 \times 10^3$	36	$5.940 \times 10^3$	250	$3.975 \times 10^6$
1	$6.57 \times 10^2$	19	$2.197 \times 10^3$	37	$6.274 \times 10^3$	300	$8.589 \times 10^6$
2	$7.05 \times 10^2$	20	$2.338 \times 10^3$	38	$6.625 \times 10^3$	350	$1.653 \times 10^7$

在日常生活中，温度不变时饱和汽压不随体积的改变而变化的例子是很多的。例如，有使用石油液化气瓶经验的人都知道，无论石油液化气瓶中所剩液体多少，只要没用完，瓶中的饱和汽压基本保持不变，从而实现稳定供气。

由于饱和蒸汽的压强只跟温度有关，与体积无关，因此气体的实验定律不适用于饱和蒸汽。实验表明，未饱和蒸汽近似遵循气体实验定律，而且离饱和状态越远，就越遵循气体实验定律。

## 空气的湿度

由于水不断蒸发，空气中总含有水蒸气。在一定温度下，单位体积的空气中含有的水汽分子数越多，空气就越潮湿；含有的水汽分子越少，空气就越干燥。空气的干湿程度对我们的生活和生产都有很大的影响，例如，空气太潮湿钢铁容易生锈，东西容易发霉；空气太干燥我们的口腔和鼻腔会感到干燥难受。还有一些精密的仪器、仪表、量具要在恒温恒湿的房间中使用，否则就会影响其精密度。因此，我们要在学习饱和汽压的基础上，对空气的干湿程度有所了解。

空气的干湿程度可用单位体积空气所含有的水汽分子数，即水汽密度来表示，叫做空气的**绝对湿度**。而许多与空气干湿程度有关的现象，不仅与空气中所含水汽的绝对数量有关，而且还与空气中的水蒸气偏离饱和状态的远近程度有关。例如，在绝对湿度相同时，在夏天的中午，气温较高，水汽的饱和汽压较高，水汽离饱和状态较远，水分蒸发得很快，人就感到干燥；在气温较低的夜晚，水汽的饱和汽压较低，水汽比较接近饱和状态，水分蒸发得慢，人就感到潮湿。因此，我们引入**相对湿度**来描述空气中的水蒸气偏离饱和状态的程度。

从概念上说，可以用空气中的水蒸气密度和同一温度下饱和水蒸气密度的比值来描述水汽偏离饱和状态的远近，但测量水汽的密度显然是不方便的。从气体压强公式可知，水汽压强  $p$  和水汽密度  $n_0$  成正比关系，而且测量压强比测量密度容易得多，因此，通常就用水蒸气的压强表示空气的绝对湿度，并定义：**某温度时空气中水蒸气的压强和同一温度下饱和水汽压的百分比，叫做该温度下空气的相对湿度**。如果用  $p$  表示空气中水蒸气的压强，用  $p_s$  表示同一温度下水的饱和汽压，用  $B$  表示相对湿度，那么

$$B = \frac{p}{p_s} \times 100\%$$

例如，空气温度为  $18\text{ }^\circ\text{C}$  时，空气的水蒸气的压强，即绝对湿度  $p = 1.3 \times 10^3 \text{ Pa}$ ，而在这温度下的饱和水汽压为  $p_s = 2.1 \times 10^3 \text{ Pa}$ ，则此时空气的相对湿度为

$$B = \frac{1.3 \times 10^3 \text{ Pa}}{2.1 \times 10^3 \text{ Pa}} \times 100\% = 62\%$$

即空气中水蒸气的压强是饱和水汽压强的  $62\%$ ，偏离水蒸气饱和状态远近程度适中。在日常生活中，卧室的相对湿度为  $60\% \sim 70\%$  是比较适宜的。如果空气的相对湿度达到  $90\%$ ，说明空气中水蒸气的压强已经非常接近饱和水汽压，这时的空气就非常潮湿了。

### 专业术语

相对湿度  
relative humidity

 讨论与交流

你能解释以下的现象吗？

1. 在潮湿的天气里，湿衣服不容易晾干。
2. 清晨我们常常见到花草树叶上有晶莹的露珠。
3. 炎夏酷暑时，在冷饮中放入冰块，杯的外壁上会出现水珠。
4. 戴眼镜的人大多有这样的经验，从寒冷的室外走进温暖的房间时，镜片会蒙上一层水雾。
5. 在严寒的冬天里，行驶的汽车车窗玻璃上往往会结一层雾珠，使玻璃变得雾蒙蒙的。

 资料活页

### 湿度计

相对湿度的大小可以用湿度计来测量。常用的有干湿球湿度计（图 2-9-2）和毛发湿度计（图 2-9-3）。

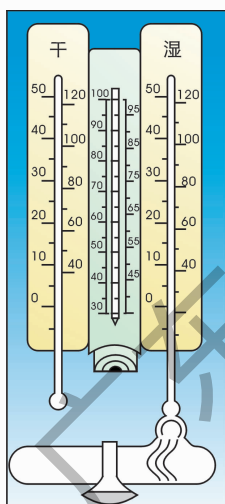


图 2-9-2 干湿球湿度计

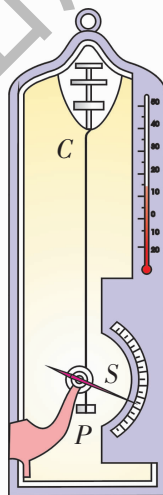


图 2-9-3 毛发湿度计

干湿球湿度计由两支相同的温度计构成，其中湿球湿度计上的感温泡上包着棉纱，棉纱的下端浸在水中。由于水的蒸发，使湿球湿度计指示的温度总是低于干球温度计指示的空气温度。在一定的温度下，空气越干燥，水分蒸发得越快，两支温度计显示的温差就越大。利用这个温差，从干湿球湿度计的附表上可以查出空气的相对湿度。

毛发湿度计是利用脱脂毛发的长度随相对湿度的增大和减小而伸长或缩短的特性制成的。将脱脂毛发的一端  $C$  固定，另一端绕过一个轻滑轮，带动固定在滑轮上的指针  $S$  转动，从指针所指的刻度，可以直接读出相对湿度的数值。

 我们的网站 ([physics.scnu.edu.cn/gzwl](http://physics.scnu.edu.cn/gzwl))

露点 露点的测量



### 练习

以下练习参考表 2-9-1.

1. 当空气的绝对湿度是  $1.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ 、气温是  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  时, 空气的相对湿度是多大?

2. 教室里空气的相对湿度是 60%, 温度是  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ , 绝对湿度是多大?

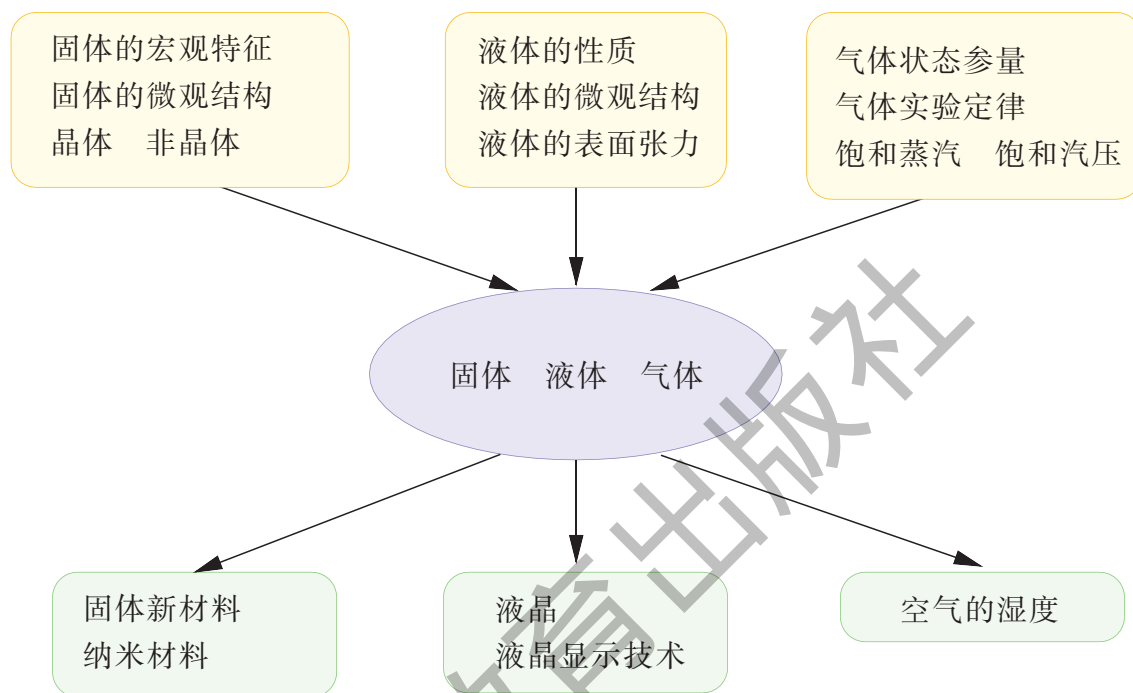
3. 如果干湿球湿度计上两支温度计的指示数字相同, 这时空气的相对湿度是多大?

4. 空气的温度是  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , 相对湿度是 50%, 气温降低到多少摄氏度时, 才会有露珠出现?

广东教育出版社

## 本章小结

### 一、知识结构



### 二、回顾与评价

我身边的新材料： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我身边的液晶： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

回顾与评价

我对研究热现象的两种方法的评价是： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我在学习本章中的主要体会是： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 习 题 二

1. 晶体具有各向异性的特性是由于 ( ).
  - A. 晶体在不同方向上物质微粒的排列情况不同
  - B. 晶体在不同方向上物质微粒的排列情况相同
  - C. 晶体内部的结构无规则性
  - D. 晶体内部的结构有规则性
2. 关于晶体和非晶体, 下列说法中哪些是正确的? ( )
  - A. 各向同性的物质一定没有确定的熔点
  - B. 晶体熔化时温度和内能都不变
  - C. 通常的金属材料是各向同性的, 所以这些金属都是非晶体
  - D. 晶体和非晶体在一定的条件下可以相互转化
3. 关于液体表面层和表面张力, 下列说法中正确的是 ( ).
  - A. 表面张力与表面层内的分子力无关
  - B. 表面张力是由于表面层分子受到的引力不对称产生的
  - C. 表面层分子的势能比液体内部分子的势能大
  - D. 表面层分子的活动范围大, 所以表面层分子的平均动能也较大
4. 在下列现象中判断哪些是由液体表面张力引起的? ( )
  - A. 吹出来的肥皂泡
  - B. 硬币能浮在水面上
  - C. 木船浮在水面上
  - D. 散落在玻璃板上的水银呈球形
5. 两端封闭的均匀玻璃管水平放置, 管内有一小段水银将气体分为左、右两部分, 体积为  $V_{左}$  和  $V_{右}$ , 它们的温度均为  $T_1$ , 现将两边气体的温度同时缓慢地升高到  $T_2$ , 在升温过程中, ( ).
  - A. 若  $V_{左} > V_{右}$ , 则水银柱将向左移动
  - B. 若  $V_{左} > V_{右}$ , 则水银柱将向右移动
  - C. 只有当  $V_{左} = V_{右}$  时, 水银柱才能保持不动
  - D. 无论  $V_{左}$ 、 $V_{右}$  大小如何, 水银柱都保持不动
6. 一定质量的气体在压强不变的情况下, 体积增大, 分子的平均动能 ( ).
  - A. 增大
  - B. 减小
  - C. 不变
  - D. 条件不足, 不能确定
7. 如图 2-1 所示, 食盐晶体是由钠离子和氯离子组成的, 这两种离子在空间中三个互相垂直的方向上都是等距离地交错排列的. 已知食盐的摩尔质量是  $58.5 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$ , 密度是  $2.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , 求食盐晶体中两个距离最近的钠离子的

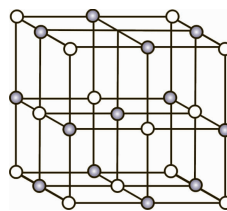


图 2-1 食盐的晶体结构

距离的大小.

8. 水银气压计中混入了一个气泡, 上升到水银柱上方, 使水银柱上方不再是真空, 因而气压计的读数比实际的大气压小些. 当实际大气压相当 768 mm 水银柱产生的压强时, 该水银气压计的读数只有 750 mm, 此时管里的水银面到管顶的距离为 80 mm. 当该气压计的读数为 740 mm 水银柱时, 实际的大气压是多少? 设温度保持不变.

9. 某种喷雾器贮液筒的总容积为 6 L, 装入 5 L 的药液后将密封盖盖好, 如图 2-2 所示. 拉压一次与贮液筒相连的活塞式打气筒, 可以把 0.2 L 压强为 1 atm 的空气打进贮液筒. 设打气过程气体温度不变, 求:

(1) 要使贮液筒中液面上方的空气压强达到 4 atm, 打气筒要拉压多少次?

(2) 为了保证打气后, 即使打开喷嘴开关不再打气也能把药液喷光, 那么至少要拉压多少次打气筒?

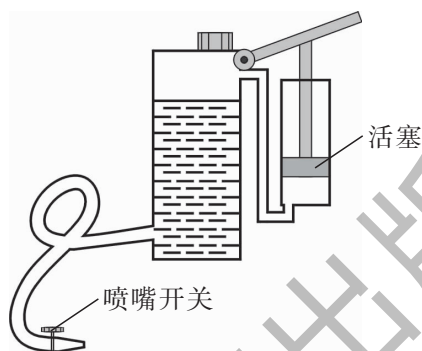


图 2-2

# 第三章

## 热力学基础

热力学是研究热现象的宏观理论，热力学的出发点和方法与分子动理论有所不同。在自然界中，物质的运动形式千变万化，每一种运动形式的变化都伴随着相应的能量传递和转化，所以，在热力学中并不考虑物质的微观结构和过程，而是以观察和实验为依据，从能量观点出发，分析研究宏观物体热现象能量传递和转化的关系和条件。因此，热力学的研究对象是非常广泛的，有关能量从一种形式转化为其他形式以及消耗能量而做功等范围极为广泛的技术问题，都可以用热力学的方法进行研究。

本章主要介绍热力学基础知识，包括反映能量传递和转化数量关系的热力学第一定律和反映能量传递和转化方向的热力学第二定律。在本章的学习中，我们还将了解到能源和环境与人类生存的关系，认识可持续发展的重要意义。





## 第一节 内能 功 热量

### 专业术语

功  
work

从能量观点出发研究热现象，必然要运用功和能的概念。本节介绍内能、功、热量的概念以及三者之间的相互关系。

我们在第一章已经了解了内能的概念，知道内能是物体内部所有分子做热运动的动能和分子势能的总和。物体内能跟物体的温度和体积都有关系，温度升高，分子动能增加，因而物体的内能增加；体积变化时，分子势能发生变化，因而物体的内能发生变化。那么，什么样的物理过程可以使物体的温度、体积发生变化，从而改变物体的内能呢？

### 改变物体内能的两种方式

日常生活和生产中做功改变物体内能的例子屡见不鲜。例如擦火柴时，我们克服摩擦力做功，火柴头内能增加，温度升高达到红磷的燃点，火柴就燃烧起来了；用锯条锯木头，我们克服摩擦力做功，锯条和木头温度升高，内能增加。这类“摩擦生热”的现象，实际上是因为做功而改变物体的内能。下面观察两个气体做功使内能改变的实验：

### 观察与思考

1. 在一个厚壁的玻璃筒里放一小块浸有乙醚的棉花，迅速压下活塞，可以使棉花燃烧起来（图 3-1-1）。

2. 在厚壁容器的一端通过胶塞插进一支灵敏温度计和一根气针，另一端用卡子卡住一个可移动的胶塞。用打气筒慢慢向容器打气，增大容器内的压强。当容器内的压强增大到一定程度时，打开卡子，气体冲开胶塞，可以从灵敏温度计观察到容器的温度明显变低（图 3-1-2）。

思考并解释上述实验现象。

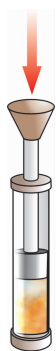


图 3-1-1

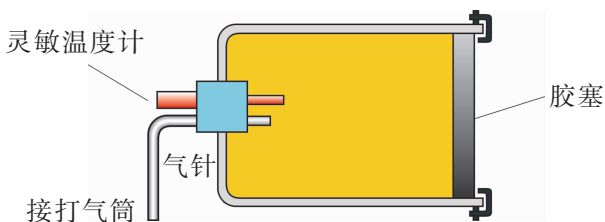


图 3-1-2

实验表明，气体被压缩时，活塞对筒内的气体做功，气体的温度升高，内能增加；气体膨胀对外做功，气体的温度下降，内能减小。气体被压缩或膨胀时做功，气体的内能就发生变化。

做功可以改变物体的内能。但是，做功并不是改变物体内能的唯一方式。例如，将灼热的小铁块放入一盆水中，铁块的温度降低，令内能减少；水的温度升高，内能增加。一杯热水在不断向外界散热后逐渐冷却，内能减少。总之，高温物体总是自发地把自己的内能传递给低温物体。这种没有做功而使物体内能改变的现象称为热传递。热传递时所转移的内能称为**热量**。由此可见，**热量是热传递过程中物体内能变化的量度**。习惯上我们所说的“物体吸热（或放热）多少”，实际上是说由于热传递物体的内能增加（或减少）多少。

#### 专业术语

热量  
heat

我们可以用加热（热传递）的方法使一根铁棒的温度升高，也可以用摩擦生热（做功）的方法使它升高同样的温度。所以，就改变物体的内能来说，热传递和做功是等效的，都可以作为内能变化的量度。也由此可知，内能、功、热量用同样的单位是理所当然的。但在历史上，当初人们并未认识到热是能的一种形式，18世纪有人提出了“热质说”，认为热是一种看不见的，没有重量的特殊物质——“热质”，给热量规定了另外一个单位“卡（cal）”。

热到底是什么？这个问题困扰了人类几十年。19世纪英国实验物理学家焦耳坚信热是能的一种形式，他在1840年以后的近40年的时间里，以科学严谨的态度和坚忍不拔的毅力，先后进行了400多次实验，令人信服地证明热量和功之间有着确定的数量关系。所以热量并不是什么传递着的热质，而是传递着的能量。

#### 讨论与交流

1. 做功和热传递是改变物体内能的两种方式，就改变物体内能来说，做功和热传递是等价的。那么，做功和热传递是否就没有区别呢？你能指出它们的区别吗？
2. 阅读资料活页，了解人们对热量的认识过程，谈谈你的体会。

## 资料活页

## 热量是什么

在历史上,热量这一概念是在18世纪用“热质说”来说明混合量热法的规律时提出的。“热质说”认为,热是一种看不见、无重量的特殊物质——热质.物体的冷热程度决定于它所含有的热质的多少;热质既不能产生,也不能消灭,只能从较热的物体传到较冷的物体,在热传递过程中热质守恒.根据这种概念规定了热量的单位“卡”(cal):1卡是1克水温度升高1摄氏度所吸收的热量.

“热质说”对热传递和混合量热过程给出了令人满意的解释,但是,“热质说”不能解释摩擦生热的现象,因为它无法说明摩擦过程中热质的来源.1798年,伦福德(Rumford即 Benjamin Thompson, 1753—1814)正是从这里找到了突破口,给出了否定热质存在的第一个实验证据.伦福德在为德国政府监造炮筒时发现了一个事实:为防止过热,要在钻削炮筒的过程中不断地往炮筒中加水,不然水就会因沸腾而很快蒸发干了.水为什么会沸腾呢?按照“热质说”的解释,当物质被切削得越碎时,它容纳热质的热容量就变得越小,多余的热质就被释放出来引起水的沸腾.照此说来,被切削成屑的金属量越多,就应产生越多的热量,但是,伦福德发现用很钝的钻头加工炮筒,以至不能切削下金属碎屑时,反而会比用锐利的钻头产生更多的热量.这显然是同“热质说”相矛盾的.

伦福德明确地指出,热并不是一种物质,这些热量只能来自钻头钻削金属的机械运动.他还通过测量得出,钻削中产生的热近似的与钻孔机做的机械功成正比.伦福德的工作实质上是表明:热和功之间是相互联系的,摩擦生热的过程是能量由一种形式转换为另一种形式的过程,总能量保持不变.

伦福德的初步概念,被焦耳进一步发展.焦耳深信热现象是物体中大量微粒做无规则机械运动的宏观表现,为了精确地测定所做机械功与所产生的热量,焦耳曾作了下述这一历史上有名的实验.实验装置如图3-1-3所示,砝码下落做功(因而使其重力势能减少),带动一组桨叶旋转,这些桨叶搅拌水摩擦生热(确切地说,是通过做功使机械能转变为内能),使绝热的盛水容器中的水温度升高,砝码对质量为 $m$ 的水所做的功是已知的,由水温的升高又可以计算出通过热传递的方式使水升高同样温度所需要的热量,于是就可以求出与单位热量相当的功,即热功当量之值.用这种装置所做的大量实验证明,热功当量是一个恒量,它等于 $4.18\text{ J/cal}$ .

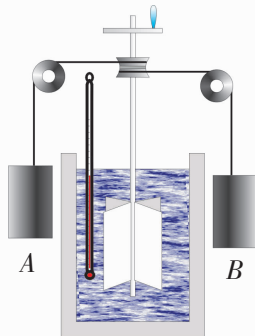


图 3-1-3

焦耳的大量实验以富有创造性的独特设计和精确的实验结果令人信服地证明：热量和功之间存在着确定的数量关系，所以热量并不是什么传递着的热质，而是被传递的能量。同时，这些实验结果还说明，一定内能的增加（或减少），总是伴随着等量的其他某种形式能量（如机械能、电能）的减少（或增加）。这种关系正是表明，热运动和其他形式的运动之间可以互相转化。因此焦耳的工作不仅最终否定了“热质说”，而且为能量守恒定律的建立奠定了坚实的实验基础。



### 练习

- 下列例子是通过什么方式改变物体内能的？
  - 用太阳灶烧水（      ）
  - 古人钻木取火（      ）
  - 用电热水壶烧水（      ）
  - 用打气筒打气，筒壁变热（      ）
  - 柴油机汽缸内空气被压缩（      ）
  - 热机汽缸内高温高压气体膨胀（      ）
- 举出几个实例来说明做功可以改变物体的内能。
- 把锅里 150 kg 的水由 20 °C 加热到 80 °C，水的内能增加了多少？
- 一个物体的内能增加了 20 J，如果这个物体跟周围环境不发生热交换，周围环境需要对这个物体做多少功？如果周围环境对这个物体没有做功，那么需要传给物体多少热量？

## 第二节 热力学第一定律

既然做功和热传递都可以改变物体的内能，那么，功、热量跟内能的改变之间有什么关系呢？

### 热力学第一定律

#### 专业术语

热力学第一定律  
first law of thermodynamics

一个物体，如果它跟外界不发生热交换，那么，外界对它做多少功，它的内能就增加多少。设外界对物体所做的功为  $W$ ，内能的增加为  $\Delta U$ ，那么  $W = \Delta U$ 。

如果外界对物体没有做功，那么，它从外界吸收多少热量，它的内能就增加多少，设物体吸收的热量为  $Q$ ，内能的增加为  $\Delta U$ ，那么  $Q = \Delta U$ 。

如果物体跟外界同时发生做功和热传递的过程，那么，物体内能的增加  $\Delta U$  就等于物体吸收的热量  $Q$  和外界对物体做的功  $W$  之和。即

$$\Delta U = Q + W \quad (3.2.1)$$

上式所表示的功、热量跟内能改变的定量关系，在物理学中叫做热力学第一定律。



在上面的讨论中，我们只考虑了当物体跟外界不发生热交换时，外界对物体做正功；外界对物体不做功，物体从外界吸热两种情况。实际上，外界既可以对物体做正功，也可以对物体做负功；物体既可以从外界吸热，也可能向外界放热；物体的内能可能增加，也可能减少。根据热力学第一定律的物理意义，如何规定  $Q$ 、 $W$  和  $\Delta U$  的符号，才能全面反映功、热量跟内能改变的定量关系？

$Q > 0$ 表示 _____	$Q < 0$ 表示 _____
$W > 0$ 表示 _____	$W < 0$ 表示 _____
$\Delta U > 0$ 表示 _____	$\Delta U < 0$ 表示 _____

### 热力学第一定律应用举例

为了更好地理解热力学第一定律的物理意义，下面应用热力学第一定律讨论理想气体等压、等容和等温过程的能量转换关系。

由于理想气体的微观模型忽略不计分子之间的作用力，也就忽略了分子的势能，所以理想气体的内能只是分子热运动动

能的总和，理想气体的内能只跟温度有关，与体积无关。

1. 如图 3-2-1 所示，设密封在容器内的理想气体在保持压强  $p$  不变的情况下，体积从  $V_1$  膨胀到  $V_2$ ，气体向外推动活塞，外界对气体做负功， $W < 0$ ，由盖·吕萨克定律  $\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$  可知， $V_2 > V_1$ ， $T_2 > T_1$ ，气体温度升高，内能增加， $\Delta U > 0$ ，由热力学第一定律， $Q = \Delta U - W > 0$ ，可见，理想气体在等压膨胀过程中从外界吸热，气体吸收的热量一部分用来增加内能，另一部分转化为对外所做的功。

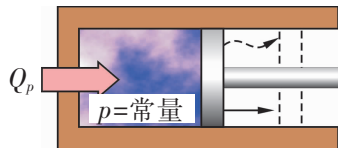


图 3-2-1

相反，如果理想气体被压缩，外界对气体做正功， $W > 0$ ，由盖·吕萨克定律  $\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$  可知， $V_2 < V_1$ ， $T_2 < T_1$ ，气体温度降低，内能减小， $\Delta U < 0$ ，由热力学第一定律， $Q = \Delta U - W < 0$ ，气体对外界放热，放出的热量等于外界对气体所做的功与气体内能减小量之和。

2. 如图 3-2-2 所示，理想气体在等容过程中体积保持不变，气体没有推动活塞对外界做功， $W = 0$ ，由热力学第一定律， $\Delta U = Q$ ，在等容过程中，气体从外界吸收的热量全部用于增加气体的内能，反之，气体放出热量，内能减小。

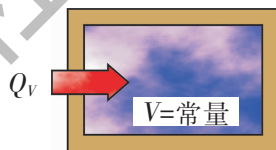


图 3-2-2

3. 如图 3-2-3 所示，理想气体在等温过程中内能保持不变， $\Delta U = 0$ ，由热力学第一定律， $W = -Q$ ，如果气体被等温压缩，则  $W > 0$ ， $Q < 0$ ，气体对外界放热，外界对理想气体所做的功全部转换为传给外界的热量。如果气体等温膨胀，气体从外界吸取的热量全部转换为对外所做的功，此时  $Q > 0$ ， $W < 0$ 。

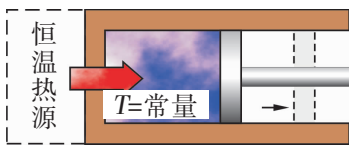


图 3-2-3

从上面的讨论可以看到，热力学第一定律不仅表明能量传递与转化遵守量的守恒，而且也说明了能量传递和转化的途径。

**例：**一定量的气体从外界吸收了  $2.6 \times 10^5 \text{ J}$  的热量，内能增加了  $4.2 \times 10^5 \text{ J}$ 。外界对气体做了多少功？

**解：**由热力学第一定律得

$$W = \Delta U - Q = 4.2 \times 10^5 \text{ J} - 2.6 \times 10^5 \text{ J} = 1.6 \times 10^5 \text{ J}$$

外界对气体做的功是  $1.6 \times 10^5 \text{ J}$ ，计算结果表明，气体在压缩过程中向外界吸热，内能增加，增加的内能在数值上等于外界对气体所做的功和气体吸取的热量之和。

**练习**

1. 一定量的气体，从外界吸收热量  $2.7 \times 10^5 \text{ J}$ ，内能增加  $4.3 \times 10^5 \text{ J}$ ，求气体对外界做了多少功？

2. 空气压缩机在一次压缩中，活塞对空气做了  $2.0 \times 10^5 \text{ J}$  的功，同时空气的内能增加了  $1.5 \times 10^5 \text{ J}$ 。它从外界吸收了热量还是向外界放出了热量？传递的热量是多少？

3. 在本节的例题中，如果气体吸收的热量仍为  $2.6 \times 10^5 \text{ J}$ ，但是内能只增加了  $1.6 \times 10^5 \text{ J}$ ，计算气体对外做了多少功，怎样解释这个结果？

## 第三节 能量守恒定律

### 能量守恒定律

#### 专业术语

能量守恒定律  
law of conservation of energy

热力学第一定律表示，做功和热传递都是能量变化的量度，做功和热传递提供给一个物体多少能量，物体内能就增加多少，能量在转化或转移中守恒。不仅机械能，其他形式的能都可以和内能互相转化。例如，通过电流的导体温度升高，电能转化为内能；燃料燃烧过程中，化学能转化为内能；炽热的灯丝发光，内能转化为光能……实验证明，在能量转化过程中，能量都是守恒的。

大量事实证明：各种形式的能都可以相互转化，并且在转化过程中守恒。

能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化成为另一种形式，或者从一个物体转移到别的物体；在转化和转移过程中其总量不变。这就是能量守恒定律。

能量守恒定律早在 1860 年前后就得到科学界的普遍的承认，并成为全部自然科学和工程技术的基础。它是自然界的一条普遍规律，一切违背能量守恒定律的观点，都被实践证明是错误的。因此恩格斯把这一定律称为“伟大的运动基本定律”，并把这一定律和细胞学说、达尔文的生物进化论一起称为 19 世纪自然科学的三大发现。

#### 讨论与交流

阅读资料活页，了解能量守恒定律发现的过程，谈谈你的体会。

### 第一类永动机是不可能造成的

能量守恒定律的发现具有重大的实践意义和理论意义。历史上，人们曾幻想制造这样一种机器，它不需要任何动力或燃料却能不断对外做功，这种机器称为**第一类永动机**。

由热力学第一定律可知，如果没有外界热源提供热量，则有

$$Q = 0, \Delta U = W$$

这表明，物体对外做功 ( $W < 0$ ) 是必须以减少内能 ( $\Delta U < 0$ ) 为

代价的. 如果不消耗内能, 则有

$$\Delta U = 0, Q = -W$$

这表明, 物体必须从热源吸取热量 ( $Q > 0$ ), 才可能不断对外做功. 所以, 不消耗任何能量, 却可以源源不断对外做功的第一类永动机是不可能造成的. 能量守恒定律的确立, 使人们走出了制造永动机的幻想境界, 进一步去探讨实现各种能量形式相互转化的具体条件, 有效利用自然界的各种能源.

能量守恒定律的发现为物理学理论的发展提供了一个有力的支柱, 使经典物理学从经验科学发展成完整的理论科学. 在哲学上, 这个定律的发现, 为辩证唯物主义自然观提供了一个牢固的自然科学基础, 它揭示了自然界各种不同的运动形式不是相互孤立、毫无联系的, 它们在一定的条件下可以发生相互转化, 并且在数量上保持守恒. 因此, 能量守恒定律有力地论证了物质运动的不灭性和统一性.

### 讨论与交流

有人设计了一台“永动机”(图 3-3-1), 设计思想如下: 在水轮上方装入一定量的水, 水流下时冲动水轮转动, 水轮通过皮带传动带动抽水机不断地把水从下方的水池中抽到上方水箱中, 这样, 水不停地循环, 水轮机将永久地转动下去.

请你分析一下, 这样的“永动机”能实现吗? 为什么?

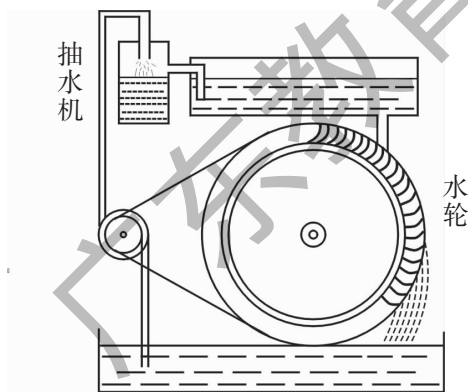


图 3-3-1

### 实践与拓展

找出家里那些涉及能量转变的装置, 用它们的照片或示意图做成一张招贴画, 在上面标出涉及的能量转变情况.



 资料活页

### 能量守恒定律的发现

能量守恒定律是19世纪最伟大的发现之一，它不仅适用于无机世界，也适用于生命过程，是自然界中最为普遍的规律。可以说，没有哪一个定律能像能量守恒定律这样把物理、化学、生物、天文、地质等学科以及机械、电子、建筑等多种工程技术组成的如此广泛的科学技术领域联系起来，使从事不同性质工作的科学工作者具有一系列共同的语言。尽管在历史上能量守恒的思想有悠久的渊源，但科学界公认的能量守恒定律的奠基人是迈那、焦耳和亥姆霍兹。

1842年，作为一名年轻的德国医生，迈那就根据自己的研究提出了能量守恒的理论，认为热是能量的一种形式，可以和机械能相互转化。可惜由于他的实验缺乏准确的数据，致使得出的结果误差很大（他给出的热功当量值比正确值小了17%），这使得他深邃的能量守恒思想未获得人们的理解。同乡们的嘲笑和讥讽使他在巨大的精神压力下跳楼自杀（未遂）。直至19世纪60年代后期科学界才开始给他以公正的评价，使他晚年得以安慰。

完成精确测量热功当量历史大业并赢得举世公认的，是英国实验物理学家焦耳。焦耳在1840—1849年间通过做磁电机、桨叶搅拌、水通过多孔塞、空气压缩和膨胀等多种实验，测得大量热功当量的数据，用实验结果确凿地证明了内能和机械能及电能间的转化，用大量的事实使科学界认识了能量守恒定律是自然界的一条基本规律。

德国的生物学家亥姆霍兹是能量守恒的第三位独立发现者。他始终坚信“永动机”是不可能的，且反对“生机论”，主张一切生理现象都必须服从物理和化学的规律。1847年，他论述能量守恒的重要论文《力的守恒》在给《年鉴》（当时权威的科学杂志）投稿失败且遭到冷遇时毫不气馁，并以小册子形式单独刊印。该文中，亥姆霍兹总结了许多人的工作，把能量的概念从机械运动推广到热、电、磁乃至生命过程，提出了普遍的能量守恒定律，为深入理解自然界的统一性提供了有力的理论武器。

在发现和建立能量守恒定律方面，除了以上三位公认的科学家外，他们同时代中，英国的格罗夫，法国的卡诺、赫恩，丹麦的柯尔丁等都曾经独立地做过研究并得出了相同的结论。可见，能量守恒定律这样一条自然界普遍规律的发现和确立，是许多学科中大量科学工作者共同完成的。其中除了物理学家的勤奋和严谨，其他学科，特别是生命科学工作者的配合起了不可低估的作用。对此，苏联分子生物学家伏肯斯坦形象地比喻为：物理学家赠给生物学以显微镜，而生物学家报答物理学以能量守恒定律。

 练习

1. 一个球掉到地上后又弹起来, 描述这个过程的能量转化情况. 为什么球弹起来的高度一次比一次低?

2. 试说明下列现象中能量是怎样转化的:

(1) 在水平公路上行驶的汽车, 发动机熄火之后, 速度越来越小, 最后停下来.

(2) 火药爆炸产生燃气, 子弹在燃气的推动下从枪膛发射出去, 射穿一钢板后速度迅速减慢.

(3) 用柴油机带动发电机发电, 供给电动水泵抽水, 把水从低处抽到高处.

3. 取一个横截面积是  $3 \text{ dm}^2$  的不高的圆筒, 筒内装水  $0.6 \text{ kg}$ , 用来测量射到地面的太阳能. 在太阳光垂直照射  $2 \text{ min}$  后, 筒内水的温度升高了  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

(1) 计算在阳光直射下, 地球表面每平方厘米每分钟获得的能量.

(2) 已知射到大气顶层的太阳能只有  $45\%$  到达地面, 另外  $55\%$  被大气吸收和反射, 而未到达地面. 你能由此估算出太阳辐射的功率吗? 需要什么数据, 自己去查找.

实验测得的太阳辐射功率为  $3.86 \times 10^{26} \text{ J/s}$ . 看看你估算的结果与这个结果在数量级上是否相符.

## 第四节 热力学第二定律

日常经验告诉我们，自然界中有一些变化可以自发地进行，而另一些过程却不能自发地进行，必须借助外界的作用才能实现。例如，热量可以自发地从高温物体传到低温物体，气体能够自发地向真空膨胀等，其相反方向的过程虽然不违反热力学第一定律，但是却不能自发地进行。可见，自然界发生的过程一定遵守热力学第一定律，但遵守热力学第一定律的过程不一定能发生。热力学第一定律并没有解决热现象的一切问题，它不能说明自然界过程进行的方向。因此，在热力学第一定律之外，还存在着一条反映自然界过程进行方向和条件的规律，这就是**热力学第二定律**。

### 热传导的方向性

#### 专业术语

热力学第二定律  
second law of thermodynamics

两个温度不同的物体互相接触时，热量会自发地从高温物体传给低温物体，最后两个物体温度相同达到热平衡。但人们从来没有发现过热量自发地从低温物体传给高温物体，使两个物体的温差愈来愈大。

热传导过程是有方向性的。热量从高温物体向低温物体的热传导过程是能自发进行的；而其相反方向的过程是不能自发进行的，要使热量从低温物体传给高温物体，必须借助外界的作用。比如，电冰箱消耗了电能，对冷却系统做了功，可以不断地把热量从冰箱内部的低温区传给外界的空气，来维持电冰箱内部的低温。一旦切断电源，外界的热量就会自发地传给电冰箱，使其温度升高。

### 机械能和内能转化过程的方向性

一个在水平面上运动的物体，由于克服摩擦力做功，最后总要停下来。在这过程中，物体的机械能全部转化为内能，使物体和地面的温度升高。实践证明，这个过程是可以自发进行的。但人们从来没有发现过这个静止在地面的物体，靠自行降低温度而自发地加速运动起来，尽管这个过程并不违反热力学第一定律。这表明，机械能和内能转化过程也是有方向性的。机械能全部转化为内能的过程是可以自发进行的，而相反方向的过程，即内能全部转化为机械能的过程，是不能自发进行的。要将内能全部转化为机械能，必然会引起其他影响。

历史上曾经有人设想制造一种热机,这种热机没有冷凝器,热机从单一热源吸热全部用来做功,而不引起其他变化,把它得到的内能全部转化为机械能,热机效率达到 100%. 这种想象中的热机称为**第二类永动机**. 这种永动机并不违反热力学第一定律,但是,由于内能全部转化为机械能是不可能自发进行的,因此从单一热源吸热,把内能全部转化为机械能而不引起其他变化的第二类永动机是不可能制造成功的. 人们为制造第二类永动机所作的各种努力,与制造第一类永动机一样,都失败了.

### 热力学第二定律

我们还可以举出其他实例,说明自然界宏观过程是有方向性的.

气体的扩散现象具有方向性. 两种不同的气体可以自发地进入对方,最后成为一种均匀的混合气体. 相反,一种均匀的混合气体绝不会自发地分开成为两种气体. 当然,使用物理或化学手段可以把混合气体分开,但这必然要引起一些其他的变化.

图 3-4-1 表示两个可以连通的容器,容器 A 中装有气体,容器 B 是真空. 打开阀门 K,容器 A 中的气体会自发地向容器 B 中膨胀,最后两个容器都充满压强相等的气体,这个过程称为气体的自由膨胀. 但有谁见过气体会自发地从容器 B 流向容器 A,最后使容器 B 恢复成真空? 当然,用抽气机把容器 B 中的气体抽到容器 A 中,可以使容器 B 恢复成真空. 但是,这要借助于抽气机的帮助,这就引起了其他的一些变化(例如抽气机做功).

自然界中一切与热现象有关的宏观过程都具有方向性. 物理学家在分析了大量自然现象后,确立了热力学第二定律. 许多科学家从不同的角度考察了不同的宏观过程的方向性,给出了热力学第二定律的多种表述,下面仅介绍常见的两种表述形式.

最早提出并沿用至今的热力学第二定律的表述是 1850 年由德国物理学家克劳修斯 (Rudolph Julius Emmanuel Clausius, 1822—1888) 提出的:**热量不能自动地从低温物体传递到高温物体. 或者说,不可能使热量由低温物体传递到高温物体,而不引起其他变化.**显然,克劳修斯是按照热传导的方向性来表述热力学第二定律的.

1851 年,英国物理学家开尔文 (Lord Kelvin, 1824—1907) 提出了热力学第二定律的另一表述:**不可能从单一热源吸收热量并把它全部用来做功,而不引起其他变化.**这是按照机械能与内能转化过程的方向性来表述的.

这两种表述是等价的,可以从一种表述导出另一种表述,所以它们都称为热力学第二定律.

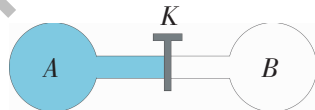


图 3-4-1

### 热力学第二定律的微观实质

为什么与热现象有关的宏观过程都具有方向性呢？初次接触的同学可能会感到困惑。下面我们用分子动理论定性地分析热力学第二定律的微观实质，也许能消除同学们理解热力学第二定律的畏难情绪。

先分析机械能和内能的转化过程。显然，做功是通过物体做宏观位移来完成的，因此做功总是与分子群体的有序运动联系在一起；内能是物体内部所有分子热运动动能和分子势能的总和，因此内能是和分子的无序运动联系在一起的。机械能转化为内能的过程，从微观上来说，是大量分子的有序运动朝无序运动的方向转换的过程；其相反方向的过程是大量分子从无序运动朝有序运动方向转换的过程。

再看热传导过程。两个有温差的物体互相接触，温度高的物体分子无规则热运动的平均动能大，通过接触面上两侧分子的互相碰撞，使得原先温度高的物体分子平均动能逐渐减少，温度低的物体分子平均动能增大，直到两者温度相同达到热平衡。开始时，平均来说，动能大的分子分布在高温物体一边，动能小的分子分布在低温物体一边，体现出一种按动能大小有序分布的状态。最后两个物体达到热平衡，物体内部分子热运动的剧烈程度趋向一致，原先那种分子按动能大小有序分布的状态消失了，所有分子处于相同的无序运动状态。所以，热传导过程也是使物体内部分子的热运动由比较有序的状态向无序的状态转化的过程。

综上所述，可以看出，机械能和内能的转化和热传导这两个不同的过程是有内在联系的。它们的共同点是：自发进行的宏观过程的方向总是从有序性高的状态向无序性高的状态进行的。热力学第二定律的微观实质是：与热现象有关的自发的宏观过程，总是朝着分子热运动状态无序性增加的方向进行的。

### 熵

#### 专业术语

熵

entropy

物理学中引入一个物理量——熵，来描述物体的无序程度，物体内部分子热运动无序程度越高，物体的熵就越大。例如，图3-4-1所示的气体自由膨胀过程就是一个气体的熵增加的过程。我们不妨打个比方，一箱原先装在蜂箱里的蜜蜂，散放到一间大房间中，于是蜜蜂可以自由飞舞的空间比原来的大了，因而显得更凌乱，更无序了，在某一时刻，要确定某只蜜蜂在空间的位置就更困难了。气体自由膨胀前后，分子运动状态与此颇为相似。气体分子全部聚集在容器A是有序状态，分子杂乱分布在整个容器AB是无序状态。因此，分子自由膨胀的过程是一个

向大量分子热运动的无序性增加的方向进行的过程，气体的熵是增加的，因而这个过程是可以自发进行的。



### 讨论与交流

1. 一滴墨水在水中扩散，扩散前后熵增大了还是减少了？
2. 你能用熵的概念来解释气体扩散现象的方向性吗？请开展小组讨论和交流。

热力学第二定律揭示了有大量分子参与的宏观过程的方向性，使得它成为独立于热力学第一定律的一个重要的自然规律。热力学第二定律在物理、化学、生物等学科中有重要的应用，它对于我们认识自然、利用自然有重要的指导意义。



### 练习

1. 试根据热力学第二定律判断下列两种说法是否正确：
  - (1) 机械能可以全部转化为内能，但内能不能全部转化为机械能。
  - (2) 热量能够从高温物体传到低温物体，但不能从低温物体传到高温物体。
2. 理想气体等温膨胀时从单一热源吸取的热量全部转化为对外所做的功，这一过程是否违反热力学第二定律？为什么？
3. 在一个密闭隔热的房间里，有一电冰箱正在工作，如果打开电冰箱的门，过一段时间后房间的温度会（ ）。
  - A. 降低
  - B. 不变
  - C. 升高
  - D. 无法判断
4. 有一台热机，从热源每小时吸收  $7.2 \times 10^7 \text{ J}$  热量，向冷凝器放出  $3.6 \times 10^7 \text{ J}$  的热量，热机传动部分产生的热量为从热源吸收的热量的 10%，求热机的输出功率和效率。

## 第五节 能源与可持续发展

人类开发和利用能源的历史，是人类在认识自然和利用自然方面不断前进的历史。能源的开发和利用，给人类带来了巨大进步。随着社会的发展，人类对能源的需求越来越大，能源的消耗不但使自然资源锐减，而且不断地影响环境，使许多环境因素改变，不利于人类的生产和生存。能源和环境是人类面临的两大问题。



图 3-5-1 岭澳核电站

### 能源与环境

目前，人类消耗的能量主要来自煤、石油、天然气等物质，人们把煤、石油、天然气叫做常规能源。大量消耗常规能源使大气中的污染物质超出正常含量，引起空气质量恶化，危害生态环境。

此外，排入大气中的污染物在太阳紫外线照射下发生光化学效应，形成一种毒性很大的二次污染物“光化学烟雾”。大量消耗常规能源产生的大气污染对全球气候和生态环境系统产生的影响，最为突出的是温室效应和酸雨。

## 温室效应

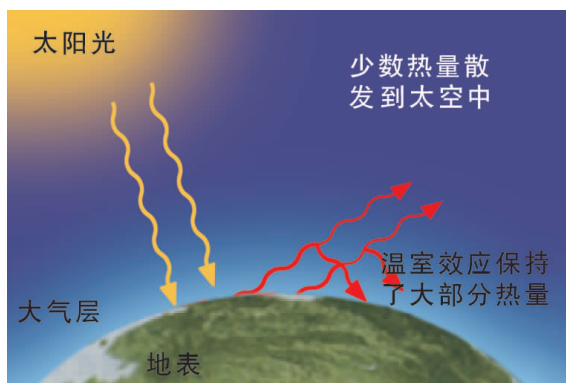


图 3-5-2 温室效应

温室效应是人类过多地排放二氧化碳，干扰了地球的热量平衡造成的。全球变暖会引起海平面上升、气候变化和疾病增多。从能源的开发和利用的角度来说，控制全球变暖的对策首先是通过调整能源结构，控制二氧化碳的过量排放。

1. 提高能源利用率，这是节约能源的重要途径。从技术上说，主要有改进燃料设备，提高传热效率，改进燃烧技术，提高热的有效利用率和余热利用率等。另一方面，要建立节约能源的消费观，改变高消费、大浪费的生活方式。

2. 开发新能源。目前，石油、煤炭和天然气等化石能源是世界能源系统的主体，约占世界能源构成的 90% 左右，它们排放的  $\text{CO}_2$  占总量的 70%。化石燃料属不可再生能源，储量有限，因此应积极开发新能源，多使用核能、水能、太阳能、风能、地热能、沼气等污染少的清洁能源。我国的水能资源丰富，水力发电条件得天独厚，应让这一能源优势发挥其应有的作用。太阳能是最理想的能源品种，一无污染，二是普遍存在，三能永续使用。我国太阳能资源丰富，居世界第二，目前正在加快研制以太阳能为主的可再生能源利用技术，争取早日进入“太阳能时代”。



图 3-5-3 太阳能电站



图 3-5-4 风力发电

我国在能源消费中，煤炭占 73.5%，石油占 18.6%，天然气占 2.2%，在短期内改变以煤为主的能源结构是不现实也是不可能的。为了减少环境污染，提高能源利用率，我国正在开发和推



广泛应用减少污染和提高效益的煤炭加工、燃煤转换和污染控制等技术。

### 酸雨

天然降水的本底 pH 为 6.55，一般将 pH 小于 5.6 的降水称为酸雨。人为排放的二氧化硫和氮氧化物是酸雨形成的根本原因。这些污染物主要来自燃烧含硫的煤炭以及机动车排放的废气。酸雨最初发生于 19 世纪 80 年代，到 20 世纪 50 年代，欧洲许多国家相继受到酸雨的污染，80 年代后酸雨的危害加剧，世界范围内均出现酸雨危害，我国的酸雨危害在 20 世纪 80 年代也开始呈现急剧发展的态势。

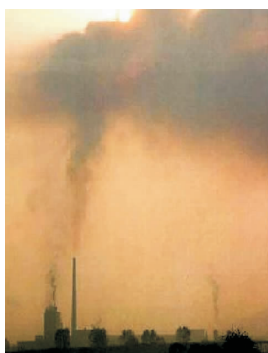


图 3-5-5 过量排放  $\text{SO}_2$  是酸雨形成的原因



图 3-5-6 酸雨腐蚀建筑物和艺术品

酸雨有“空中死神”之称，危害极大。酸雨影响人的健康，危害生态系统，使土壤酸化和贫瘠，腐蚀建筑物和艺术品。酸雨的危害已引起全球范围的重视。目前主要从以下三个方面采取防治措施：

1. 健全法规，强化管理，控制排放。
2. 发展清洁煤技术，减少燃烧过程  $\text{SO}_2$  的排放。例如，全国最大的燃煤电厂——广东沙角电厂，年消耗标准煤 600 多万吨，装机容量占广东装机容量近 15%，每年向广东提供电能近 340 亿千瓦时，但也排放了高达 7 万吨的  $\text{SO}_2$ ，是珠江三角洲酸雨的最大污染源之一。沙角电厂安装了燃煤脱硫配套设施后，每年可减少排放 4 万吨  $\text{SO}_2$ ，取得显著的环境生态效益。
3. 通过改造发动机，安装汽车尾气净化器，用无铅汽油代替含铅汽油等手段，控制汽车尾气的排放。

### 能量降退与节约能源

热力学第一定律确立了能量转化过程中总能量是守恒的。当我们燃烧煤、石油、天然气的时候，能的总量并没有变化。站在热力学第一定律上来看一切，不可能有能源危机。那么，为什么还经常说要节约能源呢？站在热力学第二定律上看，能量不仅

有“量”的问题，而且有“质”上的差别。根据热力学第二定律，自然界中的宏观过程是有方向性的。能量在转化过程中，能量的可利用程度是逐渐降低的。例如，内燃机不可能把燃烧汽油或柴油释放的内能全部用来做功，总有一部分热量通过散热系统散失到环境中。这些散失到环境中的能量很难重新收集起来加以利用，可利用程度很低。如果我们用内燃机输出的机械能带动发电机发电，又有一部分机械能转变为发电机的内能，使发电机温度升高，电能消耗之后，最终也是变成周围环境的内能。这些弥散在空间的能量可利用程度也很低，通俗地说，这些能量“变质”或贬值了。这种能量可利用程度降低的现象称为**能量降退**。

煤炭、石油、天然气等常规能源都是不可再生的能源。消耗常规能源释放的总能量尽管“数”量上不变，但是“质”量是不断衰退的，所以不是用之不竭的。随着生产力的飞速发展，能源的消耗也急剧增长。研究人员估计，按照目前石油和煤炭的开采速度，地球上的石油储藏将在几十年内全部开采完，煤也将在二百多年的时间内开采完。能源需求的成倍增长与常规能源的有限性的矛盾将不断引起世界性的能源危机。可以想象，如果没有石油和煤炭，汽车、飞机、轮船和铁路上的内燃机车都不能开动，火力发电厂将停止发电，人类的社会生活将陷于瘫痪。只有节约能源，提高能源利用率，改变能源结构，不断开发新能源，重视生态环境保护，努力做到经济与环境协调发展，坚持人类与自然和谐发展，坚持发展经济不以耗竭资源、污染环境为代价，努力做到既满足当代人的需求，又不损害子孙后代的需求能力，使人类社会和生态环境沿着可持续发展的道路前进。



### 讨论与交流

1. 针对常规能源的利用所带来的环境污染，你认为社会和公民应该做些什么？解决环境污染的根本出路在哪里？
2. 未来的理想能源要能够大规模替代石油、煤炭和天然气等常规能源，你认为未来的理想能源必须满足哪些条件？

## 第六节 研究性学习

### ——能源的开发利用与环境保护

可持续发展是地球人的唯一的选择。以能源的开发利用和环境保护为主题，选择一个贴近生活，并且是人们关心的有关新能源的开发利用、节约能源、环境保护等社会热点问题，围绕问题分析现状、收集资料、开展调查、研究利弊、提出解决问题的建议。下面提供一些课题给大家参考。

1. 调查自己家庭目前的能源使用状况和能源使用的变迁。说明使用了哪几种能源、每种能源的特点和类别、每种能源的计量单位及意义、每个月各种能源的大约使用量，并就如何节约能源提出具体的措施。

2. 通过访谈、查看有关资料等调查实践活动，了解当地机动车辆使用能源的情况，以及机动车辆排放出的废气对人类身体健康的影响，提出减少机动车废气污染的建议。

3. 调查当地的能源利用和环境污染情况，分析当地环境的主要污染物和污染源，向有关部门提出保护环境的建议。

4. 调查当地太阳能、风能或沼气的开发利用情况，提出开发当地新能源的建议。

5. 查阅有关资料，进一步了解产生温室效应和酸雨的物理化学原因，调查温室效应和酸雨在当地造成的危害，并向有关部门提出防治措施。

6. 通过调查，估计当地一些大型综合商场、高层建筑、厂矿企业的能源消耗情况，提出一些合理利用能源和节约能源的建议。



#### 资料活页

#### 部分环境保护机构的网址

中国国际环保网	<a href="http://www.65.com.cn">http://www.65.com.cn</a>
地球日论坛	<a href="http://www.econet.apc.org/edayforum">http://www.econet.apc.org/edayforum</a>
中国环境保护在线	<a href="http://www.chinapollutiononline.com">http://www.chinapollutiononline.com</a>
中国室内环境网	<a href="http://www.chinaeq.org">http://www.chinaeq.org</a>
环境及持续发展教育网	<a href="http://www.ied.edu.hk/esdwed/linksloc.htm">http://www.ied.edu.hk/esdwed/linksloc.htm</a>
绿色地球村	<a href="http://userpape.wx88.net/ywmhb.htm">http://userpape.wx88.net/ywmhb.htm</a>
绿色校园网	<a href="http://www.greenschools.com">http://www.greenschools.com</a>
中学环境教育	<a href="http://lizhong.sdent.gd.cn/huanbao">http://lizhong.sdent.gd.cn/huanbao</a>



世界自然基金会中国网站	<a href="http://www.wwfchina.org">http://www.wwfchina.org</a>
中国环保网	<a href="http://www.ep.net.cn">http://www.ep.net.cn</a>
中国环境保护网	<a href="http://www.zhb.gov.cn">http://www.zhb.gov.cn</a>
中国经济信息网环境与发展	<a href="http://sd-ep.cei.gov.cn">http://sd-ep.cei.gov.cn</a>
中国生态系统研究网	<a href="http://cern.ac.cn">http://cern.ac.cn</a>

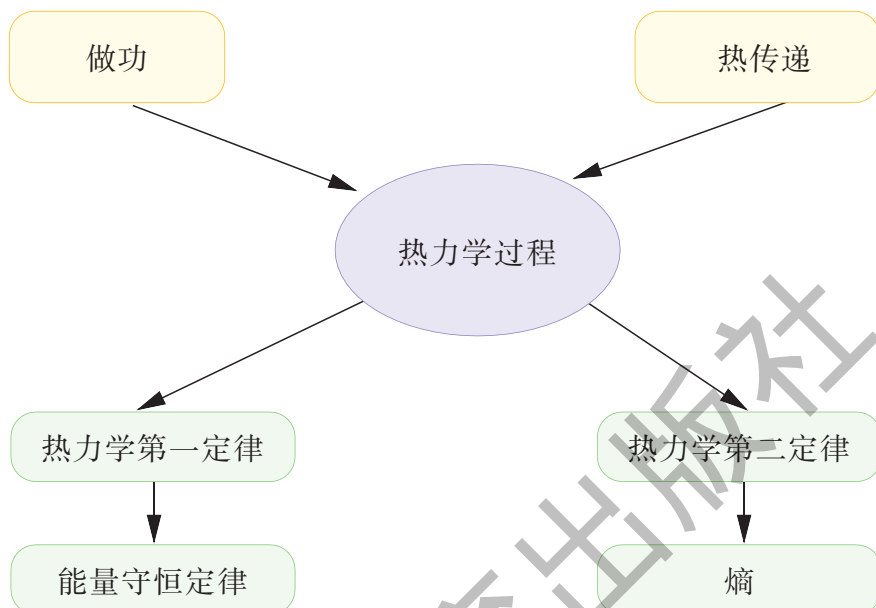
### 我们的网站 ([physics.scnu.edu.cn/gzwl](http://physics.scnu.edu.cn/gzwl))

研究性学习案例：广州野生鹭鸟兴衰与城市生态关系的调查研究

广东教育出版社

## 本章小结

### 一、知识结构



### 二、回顾与评价

永动机的不可能实现对我的启示是：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

热力学第一定律和第二定律在实际中的意义是：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我对能源开发利用与环境和人类生存的关系的体会是：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我参加了与本章学习内容有关的活动有：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

学习实践活动中我遇到的困难有：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我在本章的学习体会是：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 习 题 三

1. 下面各例子中，通过做功改变物体的内能的是 ( )。

- A. 太阳把地面晒热
- B. 刹车时轮胎变热
- C. 气缸内的气体被压缩，气体温度升高
- D. 用砂轮磨刀具时，刀具温度升高

2. 下列关于气体内能变化的各种说法中，正确的是 ( )。

- A. 气体吸热内能一定增加
- B. 气体体积膨胀内能一定减小
- C. 气体放热内能可能增加
- D. 气体被压缩内能一定增加

3. 如图 3-1 所示，容器  $A$ 、 $B$  中各有一个可以自由移动的轻活塞，活塞下面是水，上面是大气，大气压恒定。 $A$ 、 $B$  的底部由带有阀门  $K$  的管道相连，整个装置与外界绝热。开始时， $A$  中水面高于  $B$  水面，打开阀门，使  $A$  中的水逐渐向  $B$  流，最后达到平衡，在这过程中 ( )。

- A. 大气压力对水做功，水的内能增加
- B. 水克服大气压力做功，水的内能减少
- C. 大气压力对水不做功，水的内能不变
- D. 大气压力对水不做功，水的内能增加

4. 如图 3-2 所示，一个密封的不导热的容器内，有一个不导热的光滑活塞将它隔成  $A$ 、 $B$  两个部分，在  $A$ 、 $B$  中有质量相同的空气。开始时活塞被销钉固定， $A$ 、 $B$  两个部分气体温度相同， $A$  部分气体的体积大于  $B$  部分气体的体积。拔去销钉，活塞平衡时  $A$ 、 $B$  两个部分气体的体积关系是 ( )。

- A.  $V_A > V_B$
- B.  $V_A = V_B$
- C.  $V_A < V_B$
- D. 条件不足，不能确定

5. 子弹射入一块放在光滑水平地面上的木块，下面判断正确的是 ( )。

- A. 通过做功使木块的内能改变
- B. 通过热传递子弹的内能改变
- C. 子弹损失的机械能等于木块内能的增加量
- D. 子弹的内能不改变

6. 下列说法中正确的是 ( )。

- A. 热量能自发地从高温物体传给低温物体
- B. 热量不能从低温物体传到高温物体
- C. 热传导是有方向性的

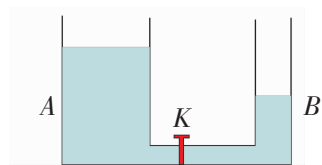


图 3-1

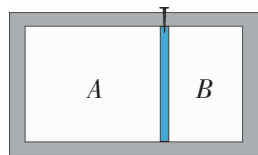


图 3-2

D. 能量降退说明能量是不守恒的

7. 下列说法中不正确的是 ( ).

A. 第一类永动机不可能制成, 因为它违反了能量守恒定律

B. 第二类永动机不可能制成, 因为它违反了能量守恒定律

C. 热力学第一定律和热力学第二定律是相互独立的

D. 热力学第二定律的两种表述是等价的

8. 地球上大量的海水, 它的总质量约为  $1.4 \times 10^{21}$  kg, 只要这些海水的温度降低  $0.1^\circ\text{C}$ , 就能放出  $5.8 \times 10^{23}$  J 的热量, 相当于 1800 万个功率为 100 万千瓦的核电站一年的发电量. 你认为可以实现吗? 为什么?

9. 阅读下面短文:

二氧化碳对长波辐射有强烈的吸收作用, 行星表面发出的长波辐射到大气以后被二氧化碳截获, 最后使大气升温, 大气中的二氧化碳像暖房的玻璃一样, 只准太阳的辐射热进来, 却不让室内的长波热辐射出去, 大气中的二氧化碳的这种效应叫“温室效应”. 这是科学界对地球变暖进行分析的一种观点.

根据上述观点, 判断下列说法正确的是 ( ).

A. 在地球形成的早期, 火山活动频繁, 排出大量的二氧化碳, 当时地球的气温很高

B. 经过漫长的年代, 地壳的岩石和气体中的二氧化碳发生化学反应, 导致二氧化碳减少, 地球出现了生命

C. 由于工业的发展和人类的活动, 导致二氧化碳在空气中的含量增大, 地球上的温度在升高

D. 现在地球变暖的原因是工业用电和生活用电的急剧增加, 使大量的电能转化为内能

10. 一块  $0^\circ\text{C}$  的冰雹自高空落下, 若它落地时, 它的重力势能全部转化为它的内能, 且融化成同质量同温度的水. 那么它是从距地面多高的高空中自由落下的? (冰的熔化热  $\lambda = 3.36 \times 10^5$  J/kg, 重力加速度  $g$  取  $10$  m/s<sup>2</sup>)

11. 某地强风风速为  $14$  m/s, 设空气密度为  $\rho = 1.3$  kg/m<sup>3</sup>, 通过横截面积为  $400$  m<sup>2</sup> 的风的能量使该区域内的风力发电机转动, 其中风能的 20% 转化为电能, 则该发电机的功率是多大?

广东教育出版社



绿色印刷产品

批准文号: 粤发改价格 [2015] 362号 举报电话: 12358

ISBN 978-7-5406-5894-6



9 787540 658946

定价: 6.61元