经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

WULI

选修 3-3



教育科学出版社
·北 京·

微信公众号：电子课本大全

目录

第一章　分子动理论

1. 物体是由大量分子组成的……2
2. 学生实验：用油膜法估测油酸分子的大小……6
3. 分子的热运动……8
4. 分子间的相互作用力……12

本章小结……15
习题……15



第二章　气体

1. 初识分子热运动的统计规律……18
2. 温度　内能　气体的压强……23
3. 气体实验定律……26
4. 气体实验定律的图像表示及微观解释……31
5. 理想气体……34

本章小结……38
习题……39



第三章　固体和液体

1. 晶体和非晶体……42
2. 半导体……46
3. 液晶……50
4. 液体的表面张力……52
5. 饱和汽与未饱和汽……55

本章小结……59
习题……60



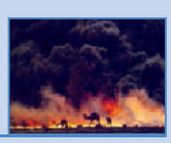
第四章　能量守恒与热力学定律



1. 能量守恒定律的发现……62
2. 热力学第一定律……67
3. 宏观过程的方向性……72
4. 热力学第二定律……76
5. 初识熵……78

本章小结……84
习题……85

第五章　能源与可持续发展



1. 能源与人类生存的关系……88
2. 能源利用与环境问题……91
3. 可持续发展战略……95

本章小结……102
习题……102

附录　中英文索引……103

微信公众号：电子课本大全

第一章 分子动理论

- 物体是由大量分子组成的
- 学生实验：用油膜法估测油酸分子的大小
- 分子的热运动
- 分子间的相互作用力

1827年，苏格兰植物学家R. 布朗发现水中的花粉及其他悬浮的微小颗粒不停地做无规则的运动，称为布朗运动. 此后很长一段时间，人们都无法弄清其中的原理. 50年后，J. 德耳索提出这些微小颗粒的运动是由于受到周围分子的不平衡的碰撞而产生的，后来这一解释得到爱因斯坦研究的证明. 布朗运动也就成为分子动理论发展的基础.



微信公众号：电子课本大全

热现象是我们生活中普遍存在的物理现象，也是人类最早认识的自然现象之一.

人类对于热现象的科学研究，一方面通过归纳客观现象和实验事实，建立起热学的宏观理论；另一方面，从构成宏观物体的微观粒子的运动规律出发，解释物体的宏观表现、性质和规律，建立起热学的微观理论——分子动理论.

本章将论述分子动理论的基本内容.

1 物体是由大量分子组成的

物体是由分子组成的



德谟克利特（Democritus，约前460—前370）

自古以来，人们就不断地探索物质组成的奥秘. 2 000多年以前，古希腊的著名学者德谟克利特就提出万物都是由极小的不可分割、不可改变的微粒构成的，并把这种微粒叫做原子. 我国战国时期的墨子（名翟，约前480—前420）提出“端”的说法，“端”没有间隙，不可分割，是组成物质最原始的粒子. 这些学说没有实验根据，是建立在直观经验基础之上的哲学思辨和猜测，其中包含着原子学说的早期思想.

今天，由于科学技术的高度发展，所有物体都是由原子、分子或离子组成的观点已被实验所证实，观察与操纵原子和分子也已经成为事实.

在热学范围，由于原子、分子或离子遵循相同的热运动规律，因此在讨论热运动时，往往不区分原子、分子或离子，而统称宏观物体是由分子组成的.

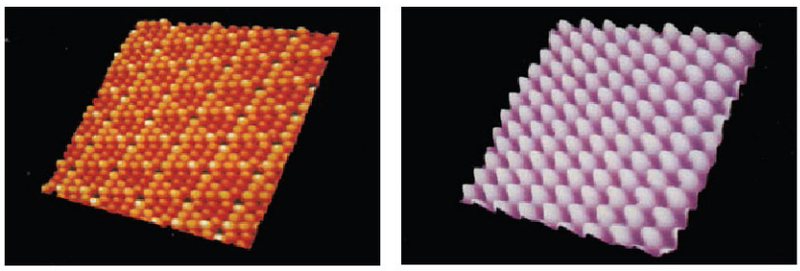
分子具有复杂的内部结构. 把分子看做小球，是一种对于分子的简化模型. 我们一般说分子的直径有多大，只是为了提供关于分子大小的一个数量观念，即知道分子大小的数量级. 除了一些有机大分子以外，一般分子直径的数量级为 10^{-10} m. 例如水分子的直径约为 4.0×10^{-10} m，氢分子的直径约为 2.3×10^{-10} m.

分子的大小

分子到底有多大？人类有办法测量分子的大小吗？人类有可能真正观察到真实的分子吗？

微信公众号：电子课本大全

在科学技术高度发达的今天，有了新型的表面分析仪器——扫描隧道显微镜（STM，图 1-1-1），使人们能够实时地观测原子在物质表面的排列状态，研究与表面电子行为有关的物理、化学性质．扫描隧道显微镜在平行和垂直于样品表面方向的分辨率分别可达 0.1 nm 和 0.01 nm，可以分辨出单个的原子，由此估测出的分子大小的数量级在 10^{-10} m．



（a）硅表面硅原子的排列　　（b）砷化镓表面砷原子的排列

图 1-1-2　扫描隧道显微镜所摄物质表面照片

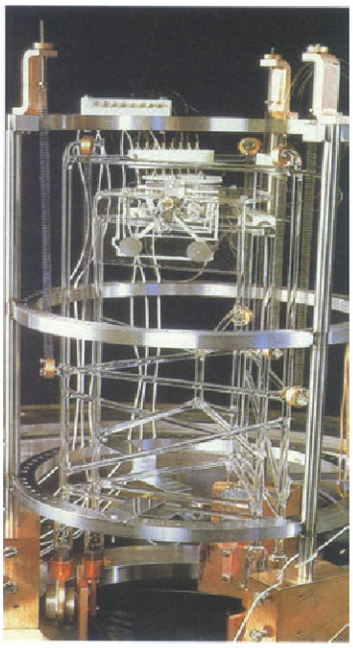


图 1-1-1　扫描隧道显微镜

小资料

扫描隧道显微镜是由美国 IBM 公司的宾尼希（Gerd Binning）和罗雷尔（He-inrich Rohrer）于 1981 年发明的，它是一种基于量子力学中隧道效应的新型高分辨显微镜．它的放大倍数可达几亿倍，所以可以观测到物质表面原子与分子的分布．

阿伏伽德罗常量

我们已经知道一般分子是非常小的，相应地，分子的质量也是非常小的．为了在这些微观物理量和宏观上可以测量的物理量之间找到换算关系，科学家采用了一个特殊的物质的量的单位，称为摩尔（mol），1 mol 的任何物质都含有相同的分子数 N_A．

$$N_A = 6.02\,214 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$$

N_A 叫做**阿伏伽德罗常量**（Avogadro constant），也曾称为阿伏伽德罗常数．通常取

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

阿伏伽德罗常量是一个重要常数，它是联系微观领域和宏观领域的桥梁．例如，水的摩尔体积是 $1.8 \times 10^{-5}\ \text{m}^3/\text{mol}$，每个水分子的直径约为 4.0×10^{-10} m，可以算出每个水分子的体积约为 $3.0 \times 10^{-29}\ \text{m}^3$，设想水分子是一个挨一个排列的，那么，1 mol 水中所含的水分子数为

$$N = \frac{1.8\times10^{-5}\ \text{m}^3/\text{mol}}{3.0\times10^{-29}\ \text{m}^3} = 6.0\times10^{23}\ \text{mol}^{-1}$$



阿伏伽德罗（Amedeo Avogadro，1776—1856）

微信公众号：电子课本大全

活动

根据阿伏伽德罗常量，可以估算出分子的质量．例如，水的摩尔质量是 1.8×10^{-2} kg/mol，1 mol 水中含有 6.0×10^{23} 个水分子，试估算一个水分子的质量．

在热学研究中，阿伏伽德罗常量经常用于定量计算中．这是因为阿伏伽德罗常量能把摩尔质量、摩尔体积这些宏观物理量跟分子质量、分子大小等微观物理量联系起来．

分子之间存在空隙

我们肉眼看不到分子，因此，也看不清分子是如何排列的．前面我们在估算 1 mol 水中所含的水分子个数时，为了简便，曾假设分子是一个挨一个紧密排列的，但实际上，组成物质的分子是否如此排列呢？

实验探究

液体分子之间有空隙

如图 1-1-3 所示，取一根长试管，倒入半试管水，再把酒精小心地倒在水面上，在试管内上层液体的上表面处做一个记号．用手指按住试管口，摇动试管混合这两种液体．待液面静止后，发现混合液的上表面要比原来低一些．这个现象表明了什么？

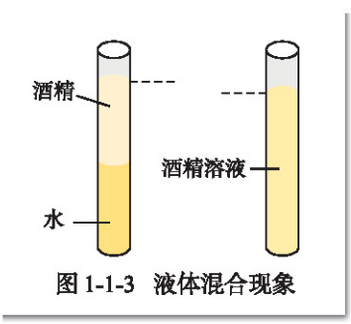


图 1-1-3　液体混合现象

上述实验表明：组成液体的分子之间是有空隙的．在生活中我们也会发现，气体很容易被压缩，这表明气体分子之间存在着很大的空隙．固体分子之间也有空隙，有人曾经做过这样一个实验：给装在钢筒中的油，施加很大的压强，结果有油从钢筒壁上渗出．

微信公众号：电子课本大全

练习与评价

1. 水分子直径约为 4×10^{-10} m. 若把 9 g 水的分子一个挨一个紧密地排成单行，则可绕地球赤道约_____圈.（赤道周长约为 4.0×10^{7} m）

2. 金的密度为 1.93×10^{4} kg/m^3，摩尔质量为 1.97×10^{-1} kg/mol，估算：

（1）金原子的质量；

（2）金原子的体积；

（3）金原子的半径.

3. 通过下列条件可以得出阿伏伽德罗常量的是（　　）.

A. 已知水的密度和水的摩尔质量

B. 已知水的摩尔质量和水分子质量

C. 已知水分子体积和水分子质量

D. 已知水分子体积和水的摩尔质量

发展空间



课外阅览

对人体呼吸气体分子数的估算

人们呼吸一口气的体积约 1 L；在标准状态下，1 mol 气体的体积是 22.4 L，因此人们在呼吸时每口气吐出约 2.69×10^{22} 个分子. 地球大气层中的所有气体若处于标准状态，体积约为 3.86×10^{21} L. 假设你吐出的一口气经过若干年后就均匀地混合到大气层中去，那么每升大气中将包含约 7 个你一口气吐出来的分子.

一般一个人每分钟约呼吸 12 次. 爱因斯坦一生约呼吸 5×10^{8} 次，即 5 亿次. 照这样计算，到现在为止，你已经吸入了多少个爱因斯坦所呼出的气体分子呢？

调查你周围某个工厂每分钟所排出的有害气体的数量. 按照上面的算法，你每次呼吸将会吸入多少个该厂排出的有害气体分子？估算一下人类向大气排放的有害气体数量，我们呼吸一次吸入的有害气体分子数会有多少？

数量级估算——一种重要的科学方法

理论物理学家在进行详细计算之前，为了选择和建立恰当的物理和数学模型，需要先粗略地估计各量的大小和各种可能效应的相对重要性，以判断什么是决定现象的主要机制. 实验物理学家在着手准备精密测量之前，为了选择合适的仪器和测量方法，也需要对各有关物理量的数量级先做一番估计. 有时掌握特征量的数量级，往往是研究一个物理问题时登堂入室的关键. 学习物理，就应该经常练习对各种事物做粗略的数量级估计，留心尺度大小改变时所产生的影响. 养成这种习惯，可以加深我们对物理现象的实际感受，从而提高我们对事物本质的洞察能力.

数量级的估算，可以有不同的深度，但没有一定的规律，也没有什么系统的方法，需要不断练习，灵活运用. 如果能记住一些基本常数，知道重要单位的换算率，熟知生活中有特

微信公众号：电子课本大全

殊接触的事物的数量级，可以作为进一步对其他量作数量级估算的出发点，广泛寻求量与量之间的关联.

从基本原理出发，建立适当的模型，采取一定的近似方法等都有助于数量级估算.

2 学生实验：用油膜法估测油酸分子的大小

实验目的

让我们通过估测油酸分子的大小（直径），加深对分子大小数量级的认识，学会模型法、估算法等科学方法的运用，体验探究过程.

实验原理

我们利用油酸在水面上形成一层单分子油膜的方法（见图1-2-1）估测分子大小. 当把一滴用酒精稀释过的油酸滴在水面上时，油酸就会在水面上散开，其中的酒精溶于水中，并很快挥发，在水面上形成一层单分子纯油酸薄膜（见图 1-2-2）. 如果把分子看做小球，那么就可以认为油膜的厚度等于油酸分子的大小（直径）. 测出一滴油酸的体积，并算出这滴油酸在水面上形成的单分子油膜的面积，就可估算出油酸分子的大小.

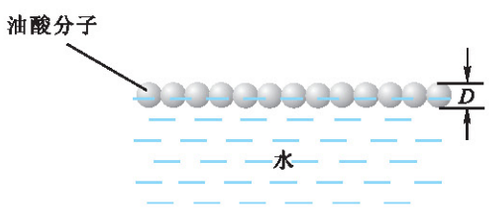


图 1-2-1　油膜法测分子大小的示意图

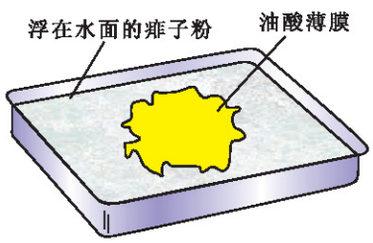


图 1-2-2　纯油酸薄膜

微信公众号：电子课本大全

讨论交流

阅读上面一段文字，思考以下问题并讨论：

1. 油酸中加酒精配成油酸酒精溶液的目的是什么？
2. 如何测出一滴油酸酒精溶液的体积？
3. 如何测出油膜散开时形成的不规则图形的面积？
4. 如何计算油酸分子的大小？

实验器材

量筒，注射器，浅盘，油酸酒精溶液，玻璃板，坐标纸，痱子粉或滑石粉，细彩笔，水.

实验步骤

1. 用注射器吸入一定体积（如1 mL）事先配制好的油酸的酒精溶液，再均匀地滴出，记下滴出的滴数，即可算出一滴油酸酒精溶液的体积 V_0.

2. 在边长约30~40 cm的浅盘里倒入约2 cm深的水，然后将痱子粉或滑石粉均匀地撒在水面上，用注射器将事先配制好的油酸酒精溶液滴一滴在水面上，待其散开.

3. 当油酸薄膜的形状稳定后，将玻璃板轻放在浅盘上，用细彩笔仔细地把油酸膜的形状画在玻璃板上.

4. 将画有油酸薄膜轮廓的玻璃板放在坐标纸上，用数学的方法估算出油膜的面积 S.

5. 根据油酸酒精溶液的浓度和已测出的一滴油酸酒精溶液的体积 V_0，算出一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积 V.

6. 用公式 $D=\frac{V}{S}$（D为油酸分子直径），计算得到油酸分子的大小.

发展空间

运用宏观实验的方法，可以测定非常微小的分子的大小，这种实验思想是很深刻的，实验方法也是很巧妙的. 想一想，实验中把宏观与微观两个领域联系起来的关键点在哪里？

微信公众号：电子课本大全

3 分子的热运动

分子很小，即便是一个很小的物体也包含很大数目的分子.要用研究物体做机械运动的方法来研究每一个分子的运动，显然是不可能的，那么，如何来研究分子的运动呢?

扩散现象

活动

1. 老师打开放在讲台上的一瓶香水，过一会儿同学们就会闻到香水的气味. 为什么讲台上瓶中的香水气味会被教室中的同学闻到?

2. 在一个量筒里滴入几滴溴，然后用一块小玻璃片盖住. 红棕色的溴蒸气从量筒底部慢慢上升，很快溴气就均匀地充满了整个量筒. 去掉小玻璃片，用手拿着量筒斜放在烧杯上，溴气就被“倒”进了烧杯，可见溴气的密度比空气的密度大（图 1-3-1）. 那么，密度大的溴气开始处于量筒底部，后来为什么会向上升并充满整个量筒呢?



图 1-3-1 气体的扩散

溴气的密度比空气的密度大，却能在空气中向上运动，同时，空气也能运动到下面的溴气中去. 这就是我们在初中已经学过的气体分子**扩散**（diffusion）现象. 可见，可以通过扩散现象来“观察”气体分子的运动.

观察思考

在烧杯里装上半杯清水，然后用一根滴管将溴滴到杯底，可以看到溴慢慢地将水染成红棕色（图 1-3-2），且溴在水中扩散时分布的形状是不规则的. 请比较溴和水混合的速度与刚才溴和空气混合的速度有什么区别.



图 1-3-2 液体的扩散

将一块铅和一块铜紧压在一起，经过相当长一段时间，可以发现铅块和铜块之间也存在扩散现象.

微信公众号：电子课本大全

上述现象表明：液体分子和固体分子也在不停地运动着．通过实验可以很容易观察到，当温度升高时，扩散现象更加明显．

分子的扩散在科学研究和生产技术中有很多应用．在电子技术领域，利用真空、高温条件下固体原子的扩散，可以向半导体材料中掺入其他元素，制成各种半导体器件；机械工业中常常在某些轴、齿轮等零件表面掺上碳、氮等元素，以增加其耐磨、耐腐蚀等特殊性能．

布朗运动

1827 年，英国植物学家布朗（Robert Brown，1773—1858）在显微镜下观察悬浮在静止液体里的花粉颗粒，发现花粉颗粒在做永不停息的无规则运动，而且颗粒越小现象越明显．科学家通过在显微镜下追踪某一微粒的运动，每隔 30 s 把观察到的微粒的位置记录下来，然后用直线把这些位置依次连接起来，得到了表现微粒位置变化的杂乱无章的折线（图 1-3-3）．

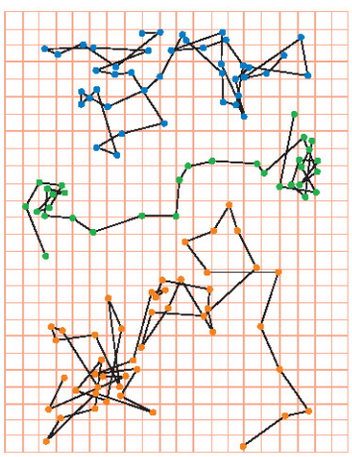


图 1-3-3　显微镜下看到的三个微粒运动位置的连线

悬浮微粒所做的无规则运动叫**布朗运动**（Brown motion），这种悬浮微粒叫做布朗微粒．

布朗运动的解释

布朗运动现象的发现使科学家大为惊奇．布朗运动产生的原因可能是什么？为什么微粒越小，布朗运动现象会越明显？探究中，一些科学家排除了对流或其他外界因素的影响，用大量分子做无规则运动的假设圆满地解释了布朗运动的现象．

我们知道，液体是由大量分子组成的，分子之间在频繁地碰撞，每个分子的运动方向和速率都在不断改变．不同时刻，各分子的运动速率有大有小，运动方向也各不相同．因此，液体中做无规则运动的分子不断地从四面八方撞击悬浮的微粒（图 1-3-4），液体中的微粒受到的液体分子的作用是无规则的．

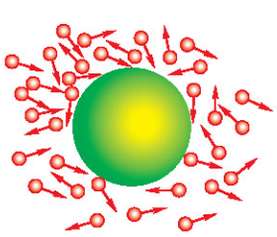


图 1-3-4　悬浮微粒受到大量液体分子的碰撞

当悬浮微粒足够小时，受到的来自各个方向的液体分子的碰撞作用不平衡．在某一瞬间，微粒在某一方向上受到的撞击作用强，致使微粒在合力方向上产生加速度．在

微信公众号：电子课本大全

下一瞬间，微粒在另一方向上受到的撞击作用强，致使微粒的加速度方向改变，并进而使运动方向也发生改变．由于来自各个方向碰撞作用所产生合力的大小、方向是无规则的，因而微粒运动的方向及运动的快慢都是无规则的．悬浮在液体中的微粒越小，在某一瞬间跟它相撞的分子数越少，碰撞作用的不平衡性表现得越明显，布朗运动就越明显．悬浮在液体中的微粒越大，在某一瞬间跟微粒相撞的分子数越多，从不同方向撞击微粒的分子数就越相近，碰撞作用的不平衡性就表现得越不明显，因而布朗运动也越不明显．如果微粒足够大，以至于在各个方向上与微粒相撞的分子数几乎相等，那么就观察不到布朗运动了．

我们虽然看不见分子的运动，但是我们却能看到由分子无规则运动所引起的布朗运动，也就是说，布朗运动虽然不是分子的运动，但它的无规则性，却反映了液体内部分子运动的无规则性．因此，布朗运动是液体分子不断做无规则运动的重要证据．

对布朗运动进行定量化的研究，是在20世纪初由爱因斯坦等人完成的．这些研究推动了布朗运动规律在其他领域的应用．

讨论交流

图 1-3-3 表示三个微粒做布朗运动的位置连线，可以看到它们运动的情况并不相同．根据这个实验事实，如何说明布朗运动不可能是由外界影响所引起的？说说你的理由，并与同学进行交流、讨论．

布朗运动现象不仅在液体中能观察到，只要满足一定的条件，在气体中也能观察到．

活动

如图 1-3-5 所示，用一根玻璃棒将单丝灯发出的光聚焦到烟尘盒中，在显微镜下观察到的烟尘颗粒呈现为一个个亮点，可以发现这些颗粒在空气中不停地做无规则运动，运动的快慢和方向不断改变．烟尘颗粒越小，这种运动越明显．

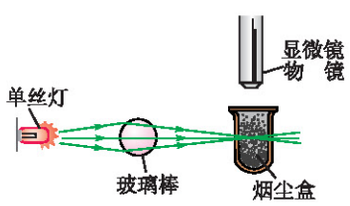


图 1-3-5 观察布朗运动

热运动

在实验中还可以观察到，布朗运动随着温度的升高而

微信公众号：电子课本大全

愈加剧烈．这表示分子的无规则运动跟温度有关：温度越高，分子的无规则运动就越剧烈．通常把大量分子的这种无规则运动叫做**热运动**（thermal motion）.

练习与评价

1．下列现象中，哪些能说明分子在不停地运动？

（1）将香水瓶盖打开后能闻到香味；

（2）在一杯水中放几粒盐，整杯水会变咸；

（3）汽车疾驶而过，落叶飞扬；

（4）洒在地上的水，过一段时间就干了；

（5）悬浮在水中的花粉做无规则的运动；

（6）大雾天，天空中悬浮着许多小水滴；

（7）海绵吸水；

（8）堆煤的墙角，一段时间后墙体变黑.

2．关于布朗运动的下列说法中，正确的是（　　）.

A．布朗运动就是液体分子的无规则运动

B．液体中的悬浮颗粒越大，布朗运动越明显

C．如果液体温度降到很低，布朗运动就会停止

D．布朗运动是液体内部分子做无规则运动时，对悬浮小颗粒碰撞作用的不平衡所引起的

3．在观察布朗运动时，从微粒在 A 点开始计时，每隔 30 s 记下微粒的一个位置，得到 B、C、D、E、F、G 等点，然后用直线依次连接，如图 1-3-6 所示．则微粒在 105 s 末时的位置一定在 DE 线段的中点吗？为什么？

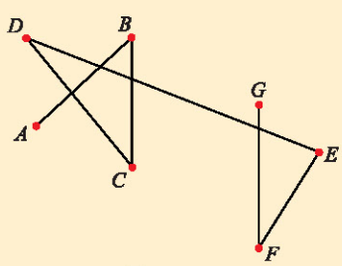


图 1-3-6

发展空间

课外阅览

布朗运动理论在社会领域的应用

布朗运动对于人们深入认识热运动本质和分子动理论最终取得胜利都有很重要的意义．布朗运动理论不仅用来作为许多自然现象的模型，而且还可用来作为许多社会现象的模型．

1973 年美国的布莱克（Fischer Black）、斯科尔斯（Myron Scholes）、莫顿（Robert Merton）共同研究得出了反映金融交易规律的公式（即 B–S 公式）．这一公式，被认为是对金融经济学的划时代贡献，被授予了 1997 年度的诺贝尔经济学奖．B–S 公式就是根据爱因斯坦等关于布朗运动研究的成果进一步推导得到的．

从这里也可以看到，物理学理论对其他学科、其他领域的辐射作用，不仅表现在思维模式、方法论和工作语言等方面，而且也包括物理学理论本身．

微信公众号：电子课本大全

4 分子间的相互作用力

分子间存在相互作用力

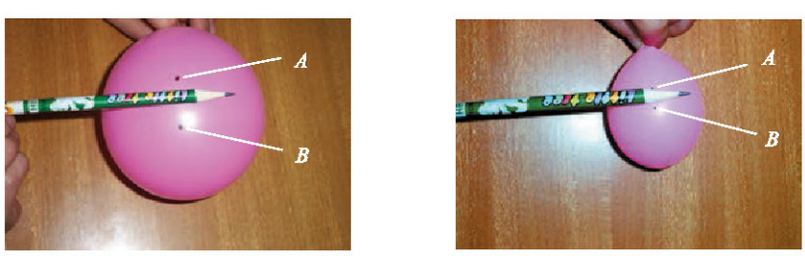
物体由大量分子组成，分子又在不停地做无规则运动，但许多物质在通常情况下都能以固体、液体这种凝聚状态存在，这是什么原因呢？

想必在固体、液体的分子之间存在一种相互作用，就是这种相互作用使大量分子凝聚在一起.

观察思考

1. 用双手拉一根橡皮筋，在橡皮筋伸长的同时，双手感到有一个往回拉的力，松手后橡皮筋在这个拉力作用下随即恢复原状，这个力是从哪里来的呢？

2. 把一个气球吹大，在球面上画 A、B 两个小圆斑，让气球慢慢放气，可以观察到 A、B 之间的距离逐渐缩短，圆斑逐渐缩成圆点（图 1-4-1），这一现象说明什么问题？



（a） （b）

图 1-4-1 观察气球放气现象

上述实验表明：橡皮筋拉长、气球吹大时，橡皮筋和气球橡皮膜中分子之间的距离就被拉大，当分子之间距离比正常情况拉大时就会出现一种阻止分子之间距离增大的相互吸引力. 弹性拉力就是物体被拉伸时，分子之间的引力引起的.

微信公众号：电子课本大全

分子之间既然有相互吸引力，为什么还会有空隙呢？可见分子之间还必定存在着另一种相互作用——阻止分子之间无限接近的斥力．正是分子之间的引力，使大量分子在一定条件下凝聚成液体、固体，同时又由于分子之间存在的斥力，使液体、固体的分子之间保持一定的空隙，具有难以压缩的特性．

分子之间的相互作用有什么规律呢？

● 分子间作用力与距离的关系

分子之间同时存在着引力和斥力，那么什么时候分子间作用力表现为引力，什么时候分子间作用力表现为斥力呢？设想有两个分子，一个分子位于O点，另一个分子位于距离第一个分子r的地方，这两个分子间的作用力F与分子间的距离r的关系如图1-4-2所示．图中两条虚线分别表示两个分子间的引力和斥力随距离r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间的作用力F随距离r变化的情形．当$r<r_0$时，分子间斥力大于引力，合力表现为斥力，为正值；当$r>r_0$时，分子间引力大于斥力，合力表现为引力，为负值；当$r=r_0$时，合力为零，表示引力和斥力相平衡．r_0称为分子间的平衡距离（r_0的数量级为10^{-10}m）．

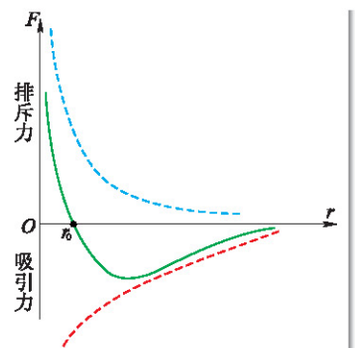


图1-4-2　分子间作用力跟距离的关系示意图

当$r<r_0$时，引力和斥力虽然都随着距离的减小而增大，但是斥力增加得更快，因而分子间的作用力表现为斥力．r再减小，分子间的斥力将迅速增大，致使分子不能无限制地接近．

当$r>r_0$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，且在开始阶段这个引力随着距离的增大而增大，在达到一定强度后（对应图1-4-2中实线最低点），随着r的增大，它又将逐渐减小．当r趋于无穷大时，分子之间的作用力趋于零．

固体、液体分子间的距离通常在r_0附近，分子间的相互作用较为明显．而通常情况下气体分子间的距离大于$10r_0$，分子间的作用力很小，可以忽略不计．

微信公众号：电子课本大全

分子动理论

通过前面内容的学习，我们对分子有了一定的了解，现在可以归纳出分子动理论的基本观点：**物体是由大量分子组成的；分子永不停息地做无规则运动；分子之间存在着引力和斥力.**

练习与评价

1. 解释下列现象产生的原因.

（1）气体很容易被压缩；

（2）两块纯净的铅板压紧后能合在一起；

（3）高压密闭的钢筒中油穿壁而出；

（4）两块玻璃夹一层水膜后难以分开；

（5）固体和液体一般很难被压缩.

2. 有人根据分子之间的距离为平衡距离时，分子间的合力为零，作出如下判断：合力为零，等效于分子之间没有力的作用，所以不用费力就可以把它们分开. 你认为对吗？为什么？

3. 既然分子之间存在引力，为什么锯断了的钢筋不易接上，而通过焊接却能够接上？

4. 当两个分子之间距离为 r_0 时，分子力为零，下列关于分子力的说法中正确的是（　　）.

A. 当分子间距离为 r_0 时，分子力为零，也就是说分子间既无引力也无斥力

B. 当分子间距离小于 r_0 时，分子引力增大了，但分子间表现出的却是斥力

C. 当分子间相互作用表现为斥力时，分子间距离再增大，引力会变大

D. 在分子力作用范围内，不管是 $r>r_0$，还是 $r<r_0$，当 r 变化时，斥力始终比引力变化得快

发展空间

实验室

用刀把两块铅块接触面刮平并处理干净，使之接触、加压并转捻一下，两铅块会黏合在一起. 这时需要较大的力才能把铅块拉开.

两片玻璃很难用这种方法结合起来. 但给玻璃接触处加热一直到熔化，就能使它们黏合. 使用胶水也能使物体黏合.

做一做这些实验，并用分子间的作用力进行解释.

微信公众号：电子课本大全

本章小结

1．分子动理论　分子动理论是建立在一定实验基础上的，其基本观点是：物体是由大量分子组成的，分子永不停息地做无规则运动，分子之间存在着引力和斥力．用分子动理论可以解释很多热现象和物质的性质．

2．分子的大小　一般分子（除了一些有机大分子外）直径的数量级为10^{-10}m．可以通过油膜法实验估测油酸分子的大小，得出分子大小的数量级．

3．阿伏伽德罗常量（N_A）　1 mol任何物质所含的分子数称为阿伏伽德罗常量，它是联系微观领域和宏观领域的桥梁，是重要的物理学常数之一．通常取$N_A = 6.02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$．

4．布朗运动　在静止液体（或气体）中的悬浮微粒所做的永不停息的无规则运动叫布朗运动．温度越高，颗粒越小，布朗运动越剧烈．布朗运动是液体（或气体）分子不停做无规则运动的证据．

5．分子间的作用力　分子之间同时存在着引力和斥力，实验显示分子力的作用与分子间的距离有关．当分子间的距离$r = r_0$时（r_0称为分子间的平衡距离），分子间的引力与斥力平衡；当$r < r_0$时，分子间作用力表现为斥力；当$r > r_0$时，分子间作用力表现为引力；当r趋于无穷大时，分子之间的作用力趋于零．

习　题

1．对液体和固体来说，如果用μ表示摩尔质量，m表示单个分子质量，ρ表示物质密度，V表示摩尔体积，V'表示单个分子体积，N_A表示阿伏伽德罗常量．下列反映这些量之间关系的各式中，正确的是（　　）

A．$N_A = \dfrac{V}{V'}$　　B．$N_A = \dfrac{\mu}{V'}$　　C．$V = \rho\mu$　　D．$V = \dfrac{\mu}{\rho}$

2．下列现象说明分子做无规则运动的是（　　）．

A．水沸腾时冒出的“白汽”在空气中做无规则运动

B．把少许碳素墨水滴入水中，在显微镜下可以观察到碳颗粒的无规则运动

C．阳光从缝隙射入教室，在阳光下看到尘埃不停地运动

D．经过搅拌，沙粒在水中杂乱地运动

3．有甲、乙两个分子，甲分子固定不动，乙分子由无穷远处逐渐向甲分子靠近，直到不能再靠近为止，在这个过程中（　　）．

A．分子力总对乙分子做正功

B．乙分子总是克服分子力做功

C．先是分子力对乙做正功，然后乙分子克服分子力做功

D．先是乙分子克服分子力做功，然后分子力对乙分子做正功

微信公众号：电子课本大全

4．估算在标准状态下氧气分子之间的距离．

5．1 mol 氢气在标准状态下的体积，比 1 mol 水的体积大多少？这个差值说明了什么？

6．（1）已知金刚石的密度为 3.5×10^3 kg/m³，由此可估算其中每个碳原子占据的体积为_____（保留两位有效数字）.

（2）把 1 g 食盐放入容量是 10^8 m³ 的水库中，当食盐分子均匀地分布于水中时，1 cm³ 水中含_____个食盐分子．

（3）银的化合价是 +1 价．假设银导线中银原子的最外层电子全部变为自由电子，那么直径为 2 mm 的银导线每米长度中含有的自由电子数约为_____个．（银的密度约为 1.0×10^4 kg/m³，银的摩尔质量取 0.1 kg/mol）

微信公众号：电子课本大全

第二章 气体

- 初识分子热运动的统计规律
- 温度　内能　气体的压强
- 气体实验定律
- 气体实验定律的图像表示及微观解释
- 理想气体

浩瀚的大气层像一件巨大的外衣，保护着地球上所有的生物，造就了地球上丰富多彩的生命世界.



微信公众号：电子课本大全

1 初识分子热运动的统计规律

我们已经知道，构成物体的大量分子都在永不停息地运动．每个分子的运动状态都在不断变化，都是不确定的．那么，如何来研究大量分子的无规则热运动呢？物理学家从热现象的基本特征出发，找到了一种适用于研究大量分子热运动的科学方法，叫做“统计方法”．通过统计方法可以找到反映大量分子热运动的统计规律．

统计规律

活动

投掷一枚硬币，分别投掷10次、20次、50次乃至更多次，统计硬币落地后正（反）面朝上出现的概率，看从中能反映出什么规律来．

在所有同样可能发生的各个随机事件（如硬币正面朝上或反面朝上）中，某个事件发生的可能性的大小可以用该事件发生的次数占总次数的比值来表示，这就是概率．

上面是对同一个对象反复进行操作得到的概率，现在我们再来对大量相同的个体在相同条件进行实验研究，看看发生各种可能事件的概率．

实验探究

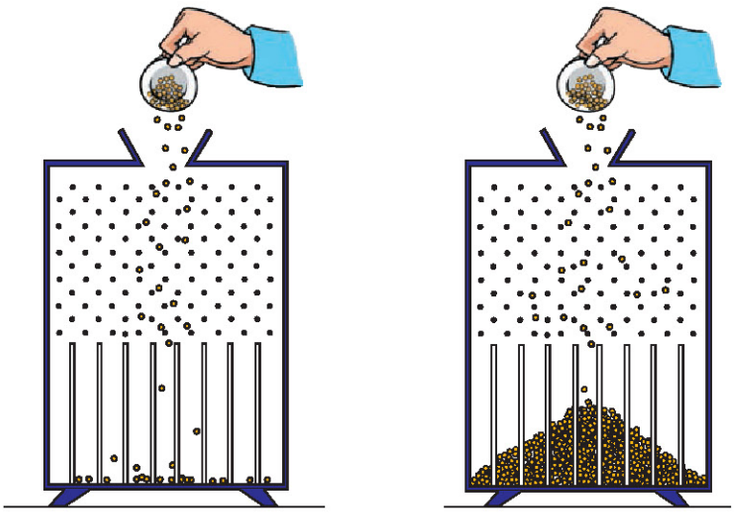
如图2-1-1所示的装置称为伽尔顿板，其顶面中央有一只漏斗，上部沿垂直于纸面方向钉有许多排列整齐的铁钉，下部用等长的木条竖直地隔成许多等宽的狭槽．

1. 将一只小球从漏斗口放入，可见小球在下落过程中与许多铁钉相碰撞，最后落入某一个狭槽内．再将几个小球逐个放入漏斗，观察这些小球是否落入到相同的狭槽内，有什么规律吗？

2. 将大量的小球一次投入漏斗口，或逐个投入大量小球，观察小球落在狭槽内的分布有什么规律．

3. 重复将大量小球投入漏斗口，小球落在狭槽内的分布情况还相同吗？

微信公众号：电子课本大全



（a）投放少量小球，小球的分布没有规律　（b）投放的小球数量足够多时，每次得到的分布情况几乎都相同，具有一定的规律性

图 2-1-1　伽尔顿板实验

实验结果表明，尽管某个小球落入哪个狭槽是偶然的，少量小球在各个狭槽内的分布也带有比较明显的偶然性，即小球落入哪一个狭槽是一种随机事件，但是只要入口的位置不变，小球的数目足够多，且总数保持不变，放球的方式也尽量相同，那么多次实验得出的结果彼此都很接近. 也就是说，在一定条件下，大量对象（小球）的运动作为一个整体是具有确定的规律性的，这种大量对象组成的整体所遵循的规律称为统计规律；个别对象（如单个小球）的一次运动不遵循统计规律性；研究对象（例如小球）数目较少时，其运动结果与统计规律会有偏差.

这种研究大量分子整体所表现出来的规律的方法——统计方法，是一种重要的科学方法.

分子运动速率分布

伽尔顿板实验能给我们什么启示呢？热现象可以用统计规律来描述吗？

讨论交流

气体中的分子比较稀疏，但是单位体积中的分子数还相当多. 在标准状态下，1 cm^3 气体中含有 2.7×10^{19} 个分子. 大量分子永不停息地做无规则运动，致使分子之

微信公众号：电子课本大全

间不断地发生碰撞. 在标准状态下，一个空气分子在 1 s 内与其他分子的碰撞竟达 10^9 次之多. 频繁的碰撞使每个分子运动速度的大小和方向频繁地发生改变，因此气体分子的运动是随机的，也是十分混乱的. 对比伽尔顿板实验，你猜测气体中以不同速率运动的分子的数量分布情况可能遵循什么规律?

在静止的气体中，某一时刻向各个方向运动的分子数目都大体相等. 就是说，在任一时刻分子沿各个方向运动的机会是均等的，沿各个方向运动的分子数目应该是相等的. 这里所说的相等，是对大量分子用统计方法得到的一个统计平均数，实际的分子数会有微小的差别. 分子数越多，这种用统计方法得到的结果跟实际情况越符合. 我们研究的物体总是由大量分子组成的，因此统计方法十分有用.

英国物理学家麦克斯韦通过对大量气体分子的运动进行类似上述的分析，并通过数学推导，得到一个分子速率分布函数，这个函数给出了一定温度下，每个速率区间 Δv 分子占总分子数的百分率. 表 2-1-1 给出了氧气分子在 0 ℃ 和 100 ℃时速率分布的情况.

表 2-1-1　氧气分子的速率分布

按速率大小划分的区间 /（m · 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

根据表格中的数据可以绘制直方图，如图 2-1-2 所示. 如果按速率划分足够多的区间，就可以绘制出一条光滑曲线，如图 2-1-3 所示. 由此可见，大量气体分子做无规则运动，它们的速率虽然有大有小，但分子的速率都按照一定

微信公众号：电子课本大全

的规律分布．大多数分子的速率在某个数值附近；离开这个数值越远，分子数越少．还可以看出，气体的温度越高，速率大的分子所占的比例越大．因此，温度越高，分子无规则运动越剧烈．

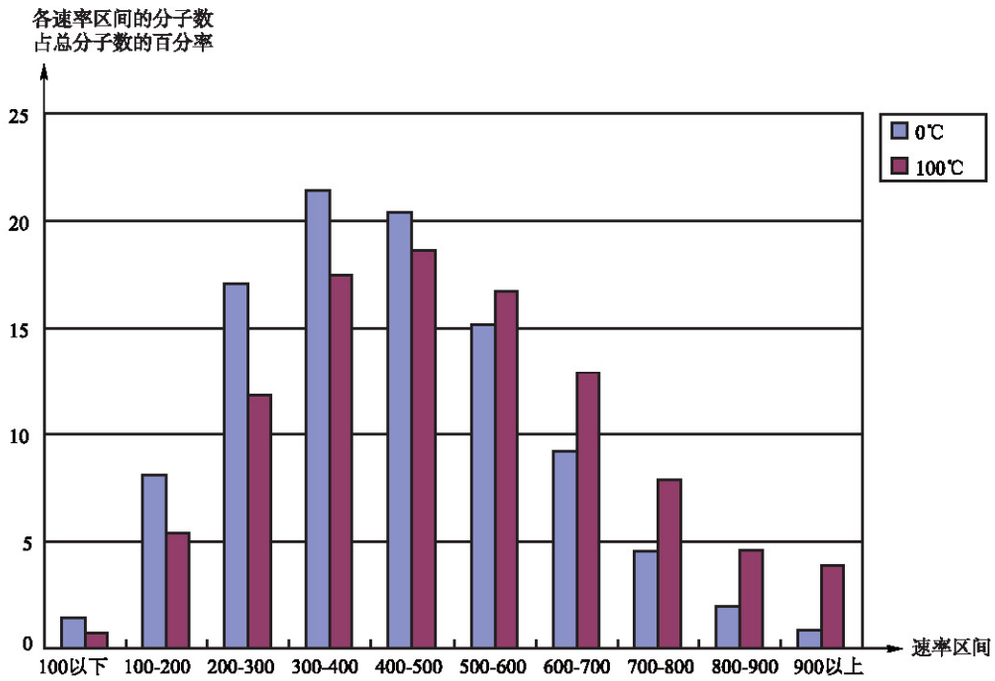


图 2-1-2　氧气分子在 0℃和 100℃时的速率分布

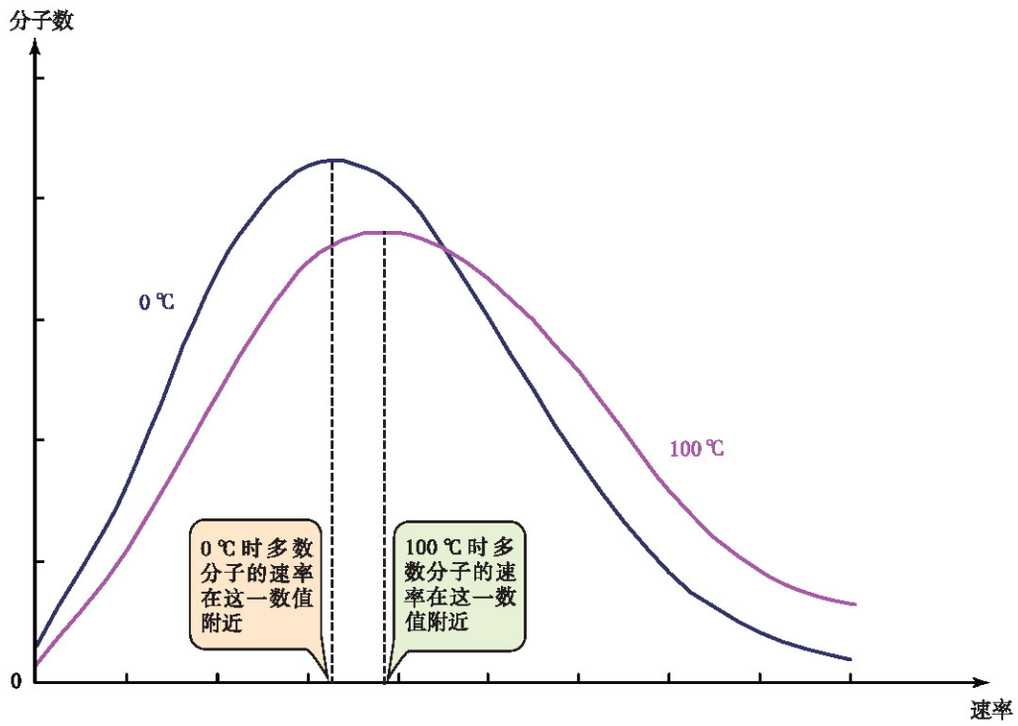


图 2-1-3　氧气分子在不同温度下的速率分布曲线

微信公众号：电子课本大全

练习与评价

1. 由气体分子的速率分布规律可知，一般的分子热运动的速率很大，大多在 200 m/s 到 600 m/s 之间. 但是，对于放在一个宽度只有几米的房间里的香水，打开瓶塞后，房间里的人要过一会儿才能闻到香味. 为什么？

2. 当温度升高时，气体分子的运动速率分布将如何变化？

发展空间



课外阅览

日常生活中的概率

人们在日常生活中经常碰到概率问题，如不同交通工具发生交通事故的概率，不同人群或不同环境下发生某种疾病的概率，甚至我们生活的每一天的降雨概率等等. 了解这些事件发生的概率，能够指导我们如何面对这些事件的可能发生，从而提高我们的工作效率和生活质量.

1. 交通事故发生的概率

乘飞机和乘汽车哪个更安全？这是人们常常关心的问题. 也许出于对在天上飞的飞机本能的恐惧心理，也许是媒体对飞机失事的过多渲染，人们对飞机安全性总是多一份担心. 但是，下面的数据能够让我们消除这种担心：

2009 年全球共飞行 3 000 多万架班次，运送 30 多亿人次，飞行事故共造成 766 人丧生. 而仅美国一个国家，2009 年的公路交通死亡人数就达到 34 000 人.

实际上，飞机发生重大事故，造成多名乘客伤亡的事件的概率约为三百万分之一. 这说明乘坐飞机非常安全，甚至比走路和骑自行车都要安全.

2. 天气预报中的降水概率

我国的一些城市在天气预报中发布了降水概率预报. 降水预报由于是预测，所以不可能百分之百地准确，一般是尽可能地利用所有的历史资料计算某气象要素出现的概率. 历史资料越长，概率值越准确. 也就是说气象台断然预报明天“有雨”或“无雨”都是不妥当的，因为这表明它们出现的概率为 100%，所以改用降水的概率作预报是比较合理的. 一般情况下，某天有降水事件出现的概率本是固定不变的，但当加入某些观测数据后，其概率大小就会有变化. 例如，前一天出现“卷云”现象时，当天“有降水”现象的概率就较大，如果前一天为“高压控制”时，当天“有降水”的概率就很小.

天气概率预报与传统的天气预报相比，有许多优点，可使公众对可能出现的天气现象了解更全面，更有利于安排工作和日常生活. 如气象台预报明天下雨的概率为 30%，说明明天有下雨的可能，但可能性不大，一些受雨水影响不大的工作可照常进行. 如果预报明天下雨的概率为 70%，则下雨的可能性较大，不宜在雨天做的工作就要另外安排时间.

同学们可以对日常生活中表现出统计规律的事例进行调查统计，并与其他同学交流.

微信公众号：电子课本大全

2 温度 内能 气体的压强

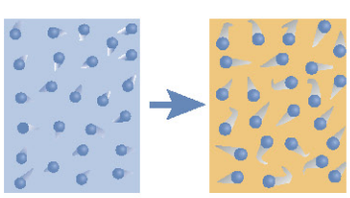
利用分子动理论可以解释热运动的宏观性质，包括物体的温度、内能、气体的压强等.

分子动能 温度

组成物体的分子在永不停息地做无规则运动，因此**做热运动的分子具有动能.**

物体中分子运动的速率是不同的，因此各个分子的动能也是不相同的. 由于分子之间不断发生碰撞，各个分子的动能还会不断发生变化. 但由于大量分子的热运动速率遵循气体分子速率分布规律，所以在一定温度下，大量分子的动能有一个平均值.

根据分子运动速率分布规律，温度升高，速率大的分子数增加，分子热运动的平均动能增大；温度降低，分子热运动的平均动能减小. 因此，**温度**（temperature）**标志着物体内部大量分子做无规则热运动的剧烈程度，可以作为物体分子热运动的平均动能的量度.**



（a）低温时分子的平均动能较小　（b）高温时分子的平均动能较大

图 2-2-1　物体的温度反映出物体内分子热运动的平均动能

对于一般气体，通过严格的理论推导可以得到，温度与分子热运动的平均动能成正比. 温度是大量分子无规则热运动的宏观表现，它仅仅与大量分子热运动的平均动能相对应，离开了大量分子来说温度是没有意义的. 例如关于“10 个分子的温度是多少”就无从谈起.

分子势能 内能

前面已经知道，物体内部大量分子在做无规则运动，具有分子动能. 除此之外，物体内部分子之间还存在什么能量？

地球上的一切物体都受到地球的引力作用，物体与地球组成的系统具有势能. 分子之间也存在着相互作用力，分子组成的系统具有势能吗？

微信公众号：电子课本大全

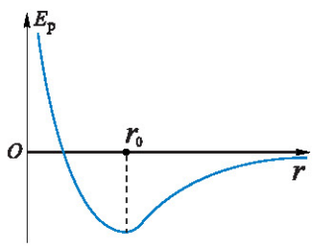


图 2-2-2　E_p–r 曲线（以分子间距离无穷远处为势能零点）

分子之间存在相互作用力，而且分子力做功也与路径无关，因此由分子组成的系统具有由它们的相对位置决定的势能，叫做分子势能.

在分子间作用力与相互距离关系的讨论中，我们知道，当分子间的距离 $r > r_0$ 时，分子间的相互作用力表现为引力，要增大分子间的距离就要克服引力做功，根据功能关系可以知道，这时分子势能随着分子间距离的增大而增大. 当分子间的距离 $r < r_0$ 时，分子间的相互作用力表现为斥力，要减小分子间的距离就要克服斥力做功，可以知道这时分子势能随着分子间距离的减小而增大. 上述情况类似于弹簧被拉长和压缩时弹性势能变化的规律.

分子势能的大小与分子间的距离有关，因此，当一定质量物体的体积发生变化时，分子间的距离也发生变化，分子势能随着发生变化.

内能（internal energy）是物体中所有分子做热运动所具有的动能和分子势能的总和.

根据分子动理论，温度反映了分子平均动能的大小；而分子势能又跟分子间的距离有关. 因此，物体内能与其所处的状态（如温度、体积等）有关，而与物体如何达到这个状态的过程无关. 物体的状态发生变化，物体所具有的内能也发生变化.

讨论交流

1. 两个物体 A、B，A 物体的温度比 B 物体要高，我们是否能判定 A 物体所具有的内能比 B 物体多呢？为什么？

2. 水壶里的水被加热而温度升高，水的内能如何改变？

3. 壶里的水加热到沸腾，继续加热，水的温度并不升高，内能如何改变？为什么？

4. 一块巨大的冰也具有内能吗？

5. 热量可以从内能较小的物体向内能较大的物体传递吗？试举例说明.

气体的压强

布朗运动说明了液体或气体中分子处于无规则运动状

微信公众号：电子课本大全

态，大量的分子相互碰撞，并与浸入其中的物体或容器器壁发生碰撞，宏观上呈现出液体或气体的压强.

活动

模拟气体压强的产生

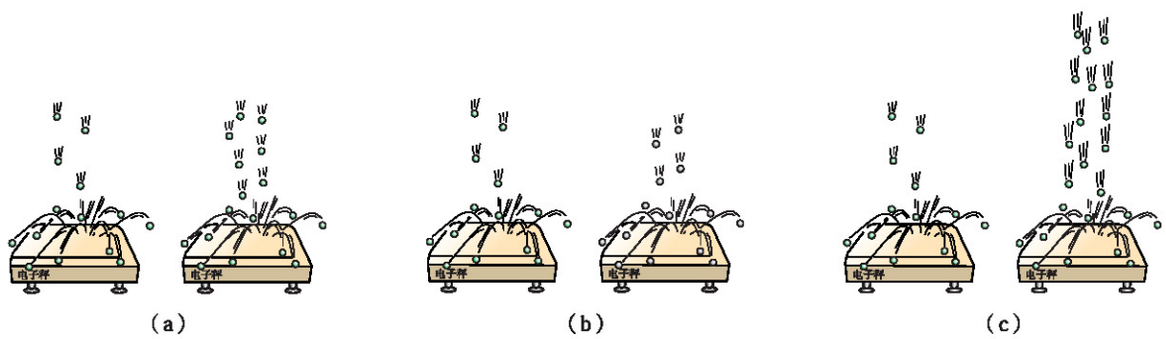
如图2-2-3是滚珠撞击电子秤实验的示意图. 假设把盛滚珠的杯子放在离秤盘上空5 cm高处，第一次在10 s内把质量相同的100粒滚珠持续快速地倒在小秤盘上，记下秤的读数. 第二次在5 s内把100粒同样的滚珠持续快速地倒在小秤盘上，记下秤的读数. 我们会发现第二次秤的读数大约是第一次的2倍，如图2-2-3（a）所示.

如果第二次同样是在离秤盘5 cm高处，且在10 s内把100粒滚珠持续快速地倒在小秤盘上，只不过这次滚珠的质量是第一次的2倍. 这时秤的读数也大约是第一次的2倍. 如图2-2-3（b）所示.

如果第二次在离秤盘上空20 cm高处，在10 s内把100粒滚珠持续快速地倒在小秤盘上. 这时秤的读数也大约是第一次的2倍. 如图2-2-3（c）所示.

如果只把一粒滚珠倒在秤盘上，就无法记录秤的读数.

上述模拟实验的结果表明了什么？



（a） （b） （c）

图 2-2-3 滚珠撞击电子秤实验示意图

气体的压强是由大量气体分子频繁地碰撞器壁而产生的. 气体分子与器壁的碰撞跟上述实验中小球对秤的撞击相类似. 因此，从模拟实验的结果可以推断：气体压强的大小与气体分子的平均动能和气体分子的密集程度两个因素有关.

在盛有气体的容器中，容器壁不断受到气体分子的碰撞. 每个分子撞击器壁一次，就给器壁一个作用力. 从个别

微信公众号：电子课本大全

分子看，它对器壁的碰撞是断续的，每个分子施加于器壁的作用力也是起伏不定的．但是，当大量分子对器壁进行碰撞时，就可以使器壁受到一个持续的、均匀的作用力，这便在器壁上表现出压强这个宏观的物理量，所以**气体的压强（pressure）就是大量气体分子作用在器壁单位面积上的平均作用力**．

练习与评价

1．判断下列说法的正误，并解释原因．

（1）只要温度相同，任何物体的分子速率的平均值都相同．

（2）温度高的物体中每个分子运动的速率一定大于温度低的物体中每个分子的速率．

（3）物体温度升高，每个分子的动能都增加．

（4）物体温度升高，分子的平均动能增加．

2．有同学认为："只要分子间距增大，分子势能就减小．"这种说法对吗？为什么？分子势能与分子间距有什么关系？

3．沸水的温度比冰的温度高得多，那么一杯沸水和一座冰山下降同样的温度，哪个内能变化得大些？为什么？

3 气体实验定律

气体的状态参量



图 2-3-1　探空气球

图 2-3-1 中的气球内装有一定质量的气体，我们仅用体积来描述球内气体的状态是不够的，因为球内气体的体积会随温度和压强的改变而发生变化．所以，一定质量的气体的状态应当用体积、温度、压强等物理量共同来描述．这些描述气体状态的物理量就叫做气体的状态参量．

气体的**体积**（volume）是指气体占有空间的大小．因为气体分子能够到达贮放气体容器内的整个空间，所以，气体的体积就是贮放气体的容器的容积．在国际单位制中，体积的单位是立方米，符号是 m^3．体积的单位还有升、毫升，符

微信公众号：电子课本大全

号是L、mL.

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

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

气体的**温度**表示气体的冷热程度，是气体分子平均动能的标志.

在热学中，用得较多的是**热力学温度**（thermodynamic temperature），亦称绝对温度，它是国际单位制中7个基本量之一，用符号T表示，单位是**开尔文**，简称开，符号是K. 热力学温度与摄氏温度之间的数量关系是

$$T = t + 273.15$$

上式也可以粗略地表示为

$$T = t + 273$$

可见，物体升高或降低的温度用开尔文和摄氏度表示在数值上是相同的.

温度的数值表示法叫做温标，如摄氏温标规定：在标准大气压下，水（冰）的熔点为0度，水的沸点为100度，中间划分为100等份，每等份为1℃.

气体的**压强**是大量气体分子对器壁撞击的宏观表现. 气体的压强用p表示，在国际单位制中，单位是帕斯卡，简称帕，符号是Pa.

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

气体压强的单位过去还常用“标准大气压”（符号atm）和“毫米汞柱”（符号mmHg）. 它们与帕斯卡的换算关系为

$1\ \mathrm{atm} = 1.013\ 25 \times 10^5\ \mathrm{Pa}$

$1\ \mathrm{mmHg} \approx 133\ \mathrm{Pa}$

玻意耳定律

一定质量的气体，如果在状态变化时其温度保持不变，这种变化称为等温变化. 在等温变化时，气体的压强与体积的变化遵循怎样的规律呢?

实验探究

如图2-3-2所示，玻璃管内装有一定质量的空气，作为实验的研究对象. 空气的体积可以由玻璃管旁的刻度直接读出，压强由与玻璃管连通的气压计读出.

由于实验过程中外界温度基本恒定，且玻璃管内的气体能很好地与外界发生热交换，只要我们移动活塞的速度足够慢，就可以使管中气体的温度保持不变.

1. 用手缓慢向上提或向下压玻璃管里的活塞，改变气体的体积，并读出对应于不同体积时气体压强的大小. 取得5组数据，并将实验数据填入下表中.

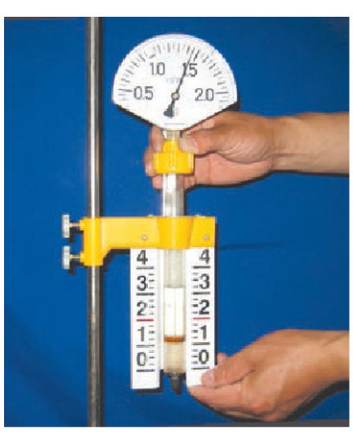


图2-3-2 玻意耳定律实验

微信公众号：电子课本大全

序号	1	2	3	4	5
体积/L					
压强/10^5 Pa					

2. 对表中数据进行分析和处理，看看能够得出什么结论.

实验表明：一定质量的某种气体，在温度保持不变的情况下，压强 p 与体积 V 成反比. 这个结论是英国科学家玻意耳（Robert Boyle，1627—1691）和法国科学家马略特（Edme Mariotte，1620—1684）各自通过实验发现的，叫做**玻意耳定律**（Boyle law）. 其数学表达式为

$$pV = 常量$$

查理定律

一定质量的气体，在保持体积不变的情况下，压强与温度的变化（即等容变化）遵循怎样的规律呢?



图 2-3-3 查理定律实验

实验探究

如图 2-3-3 所示，玻璃管里封闭着一定质量的空气，旋紧紧固螺钉使活塞不能移动，可以保证气体状态变化时体积保持不变.

1. 将封闭气体的玻璃管一端浸入水中，一段时间后，封闭气体温度与水温相同.

2. 改变水温，并读出对应于不同温度时气体压强的大小. 取得 5 组数据，并将实验数据填入下表中.

序号	1	2	3	4	5
温度/K					
压强/10^5 Pa					

3. 根据表中的数据，你能得出什么结论?

实验表明：一定质量的某种气体，在体积不变的情况下，压强 p 与热力学温度 T 成正比. 这个结论是法国科学家查理（Charles，1746—1823）通过实验发现的，叫做查

微信公众号：电子课本大全

理定律（Charles law）. 其数学表达式为

$$\frac{p}{T}=\text{常量}$$

盖吕萨克定律

通过类似的实验可以得到：一定质量的气体，在保持压强不变的情况下，体积 V 与热力学温度 T 成正比，即

$$\frac{V}{T}=\text{常量}$$

这个结论表明了一定质量的气体等压变化的规律，它是由法国科学家盖－吕萨克（Gay-Lussac，1778—1850）通过实验发现的，叫做**盖吕萨克定律**（Gay- Lussac law）.

练习与评价

1. 从深水处的鱼的嘴里吐出的一个小气泡，在向水面上升的过程中，气泡的大小会发生怎样的变化？为什么？（不考虑水温的变化）

2. 人们常常用充气泵为鱼缸内的水补充氧气. 图 2-3-4 为充气泵气室的工作原理图. 设大气压强为 p_0，气室内气体的压强为 p，气室通过阀门 K_1、K_2 与空气导管相连接. 则下述说法正确的是（　　）.

A. 向上拉橡皮膜时，$p>p_0$，K_1 关闭，K_2 开通

B. 向上拉橡皮膜时，$p<p_0$，K_1 关闭，K_2 开通

C. 向下压橡皮膜时，$p>p_0$，K_1 关闭，K_2 开通

D. 向下压橡皮膜时，$p<p_0$，K_1 关闭，K_2 开通

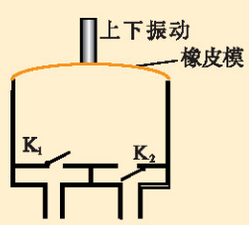


图 2-3-4

3. 如图 2-3-5 所示，输液时，当瓶中的药水通过导管流入人的静脉中时，外面的空气会自动通过插在瓶塞上的另一个针头进入瓶中. 试着解释这一现象.


图 2-3-5

4. 一定质量的气体，在保持体积不变的条件下，温度从 27 ℃升高到 127 ℃，其压强将变为原来的多少倍？

微信公众号：电子课本大全

发展空间

实验室

取 2 个瓶子，3 根玻璃管，1 根与玻璃管相配的橡皮管，2 只与瓶口相配的橡皮塞．在 1 只橡皮塞上钻一个孔，另一只上钻两个孔，孔的直径比玻璃管略小些．给其中一个瓶子装上大半瓶水，再按图 2-3-6 所示的方式进行组装，注意保证瓶塞与瓶口的密封性．将充满空气的瓶子浸入热开水中，或用热开水浇这个瓶子，可以看见水从装有水的瓶子的长玻璃管中喷出．

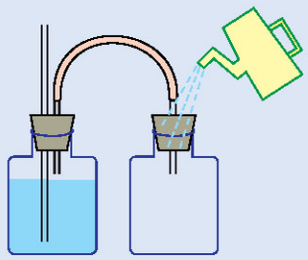


图 2-3-6　喷泉实验

课外阅览

为什么开冰箱门有点费劲

当你打开电冰箱门时，手会感觉到有点费劲．你可能会认为，这是因为冰箱门上安装有磁铁，是磁铁的吸力引起的．其实，你只说对了一部分，这里还有另一个重要的原因．当你打开冰箱门时，冰箱里的冷空气出来，外面的常温空气进到里面．冰箱门重新关上后，将这股“热”空气也关在里面．之后，“热”空气被冷却，压强会降低．设冰箱门长 60 cm，宽 50 cm，其面积为 0.3 m^2，冰箱外的气压为 1×10^5 Pa．冰箱内部与外部的气压只要相差 1%，你就要克服 300 N 的阻力才能打开冰箱门．

气压保温瓶的原理

玻意耳定律揭示了在一定外界条件下气体压强与体积的关系，具有实际的应用价值．气压保温瓶就是对玻意耳定律的一个应用．

气压保温瓶的内部结构如图 2-3-7 所示，其工作过程如下：导水管插入瓶胆中，盖好瓶盖后，用力向下缓慢压瓶盖上端的压盖，使气囊上部的进气孔封闭，这时，瓶胆和贮气室中的空气和水蒸气由原来的开放系统变成封闭系统．压盖继续下压，则由软塑料（气囊）构成的贮气室被压缩，封闭气体的体积减小，压强从原来的 p_0（外界大气压）逐渐增大到 p，当封闭气体的压强 p 与外界大气压之差 $\Delta p = p - p_0 = \rho gh$（$h$ 为导水管出水口到瓶内水面的高度差）时，瓶内的水即从导水管流出．

当撤去加在压盖上的压力后，弹簧将使气囊恢复原状，同时打开进气孔，外界空气进入气囊，贮气室和瓶胆内的气体压强又恢复到与外界大气压相同，水就不再流出．

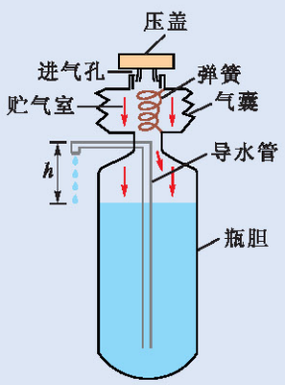


图 2-3-7　气压保温瓶的结构

微信公众号：电子课本大全

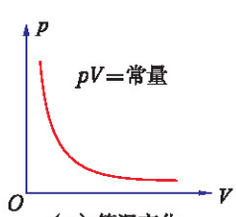
4 气体实验定律的图像表示及微观解释

气体实验定律的图像表示

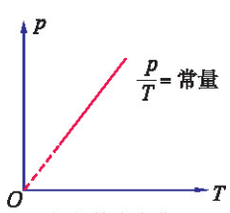
活动

利用一定质量的某种气体在等温、等容、等压变化的三个实验中获得的数据，作出反映相关状态参量之间关系的图像.

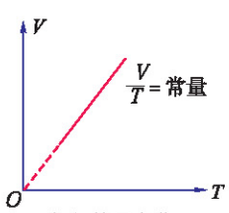
一定质量的某种气体在等温、等容、等压变化中的规律，既可以用公式表示，也可以用如图 2-4-1（a）（b）（c）所示的状态变化图像表示.



（a）等温变化



（b）等容变化



（c）等压变化

图 2-4-1 气体实验定律的图像

观察思考

在图 2-4-1（b）（c）中，反映等容变化和等压变化的图线有什么特点？其下部为什么要用虚线表示？

讨论交流

1. 一定质量的某种气体在 T_1、T_2、T_3 3个温度下发生等温变化，相对应的 3 条等温线如图 2-4-2 所示，则

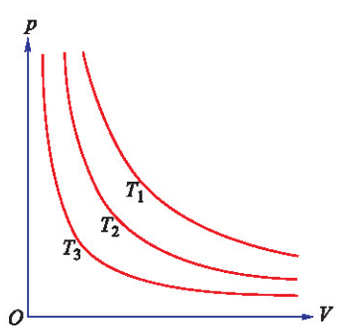


图 2-4-2 不同温度下的等温线

微信公众号：电子课本大全

T_1、T_2、T_3的大小关系如何？

2. 一定质量的某种气体装在容积分别为V_1、V_2、V_3的3个容器中，发生等容变化，由实验数据分别得到如图 2-4-3 所示的 3 条等容线，则V_1、V_2、V_3的大小关系如何？

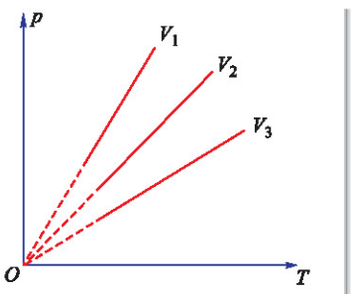


图 2-4-3　不同体积下的等容线

一定质量的某种气体做等温变化，在$p-V$图线中，气体的温度越高，等温线离坐标原点越远.

一定质量的某种气体做等容变化，在$p-T$图线中，气体的体积越小，等容线的斜率越大.

通过类似的讨论还可以得出：一定质量的某种气体做等压变化，在$V-T$图线中，气体的压强越小，等压线的斜率越大.

气体实验定律的微观解释

由上可见，气体实验定律既能用公式表示，也能用图像表示，它反映了气体宏观物理量之间的关系. 怎样从微观分子分布与运动的角度来解释气体实验定律呢？

讨论交流

一定质量的气体发生等温变化时，从微观角度来分析：

1. 气体的压强由什么因素决定？

2. 当气体的体积压缩到原来的$\frac{1}{n}$时，气体的压强怎样变化？为什么？

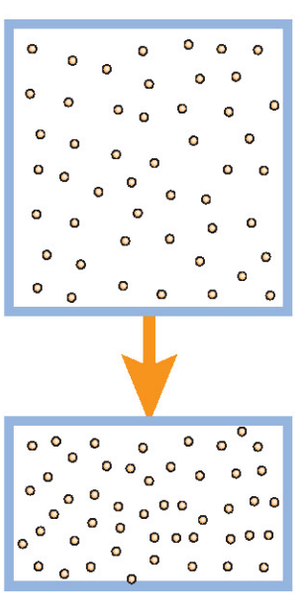


图 2-4-4　压缩气体

由前面的模拟实验以及分子动理论我们已经知道，气体压强与气体分子的平均动能和气体分子的密集程度有关.

对一定质量的气体，温度不变时，意味着气体分子的平均动能是一定的. 气体体积越小，分子的密集程度越大，单位时间内碰撞单位面积器壁的分子数越多，气体的压强

微信公众号：电子课本大全

就越大，这就是对玻意耳定律的微观解释.

一定质量的气体，体积保持不变，则单位体积中的分子数也保持不变. 当温度升高时，分子热运动的平均动能增大，这一方面使得单位时间内撞击到器壁单位面积上的分子数增多，同时也使得分子撞击器壁时对器壁的撞击力增大，从而使得气体的压强随之增大. 这就是对查理定律的微观解释.

一定质量的气体，当温度升高时，气体分子热运动的平均动能增大，这会使气体对器壁的压强增大. 要使压强保持不变，必须减小气体分子的密集程度，使单位时间内与器壁单位面积上碰撞的分子数减少，这在宏观上就表现为气体体积的增大. 这就是对盖吕萨克定律的微观解释.

练习与评价

1. 请在图 2-4-5 所示的三个坐标系中分别作出一定质量的气体状态变化的等温线、等容线和等压线.

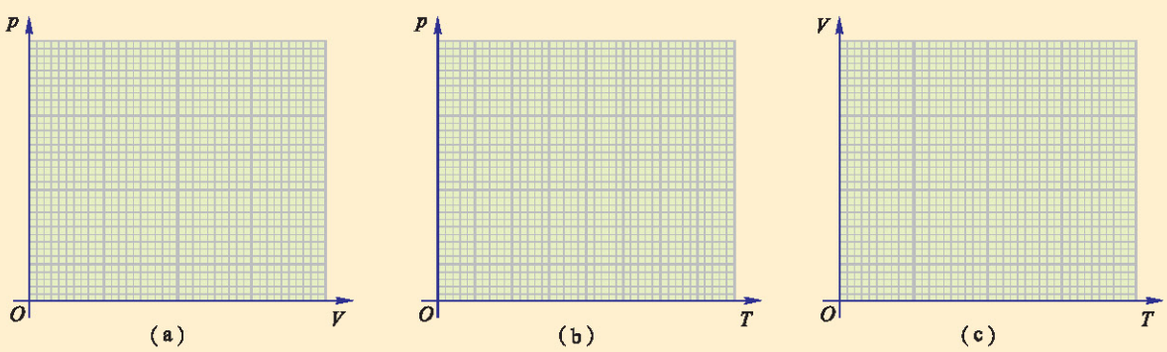


图 2-4-5

2. 一定质量的气体，初始状态 A 的压强为 1.5×10^5Pa，温度为 200 K、体积为 4 L. 先保持压强不变，将温度升高到 300 K 的状态 B. 再保持体积不变，将温度升高到 400 K 的状态 C.

（1）求气体在 B 状态的体积和 C 状态的压强.

（2）请在图 2-4-6（a）和图（b）坐标系中分别作出气体由状态 A 经过状态 B 变为状态 C 的图线，并在图线相应位置上标出字母 A、B、C.

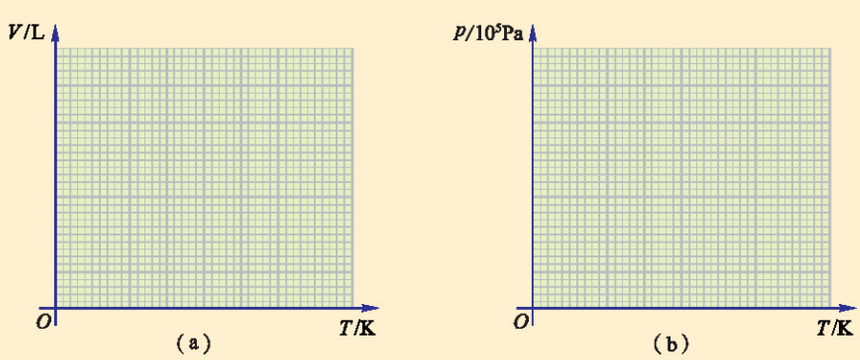


图 2-4-6

微信公众号：电子课本大全

发展空间

课外阅览

玻意耳定律的发现



玻意耳的画像

玻意耳是英国物理学家、化学家. 1635年，他到伦敦西郊的伊顿公学学习，1638年后，他到法国、瑞典、意大利去学习，1644年学成回国，开始了物理和化学的实验研究.

对于气体的压强和体积的关系，尽管前人已经有一定的研究，但都没有什么有价值的结论. 1662年，玻意耳对一端封闭的U形玻璃管内的空气体积随压强的变化作了实验研究. U形玻璃管两端长度不等，较长的一端是敞口的，从这一端注入一些水银，水银就会把空气封闭在较短一端. 当他再多注入一些水银时，封闭端的空气被进一步压缩，压强逐渐增大. 根据实际测量，玻意耳发现空气体积减小一半，压强就增大一倍，表明气体的压强与体积成反比关系(《关于空气的弹性与重量学说的答辩》，1662). 这是在力学运动以外的第一个自然定律. 1676年法国物理学家马略特也独立总结出在温度恒定时气体的压强与体积成反比的定律，在表述上比玻意耳完整，数据更令人信服. 因此，玻意耳定律也叫玻意耳－马略特定律.

玻意耳是近代化学的开拓者之一. 他反对当时还残存的中世纪的炼金术，主张物质的微粒学说，提出了接近于近代的化学元素的概念，区分了化合物和混合物，曾做了大量化学实验. 玻意耳强调实验的重要意义，所从事的实验涉及面很广，在流体静力学、热学、声学、医学、生物学、生理学等方面也曾做过许多实验，对之后实验物理学的发展有积极影响.

5 理想气体

在前面的学习中，我们以空气作为研究对象，得到了气体的三条实验定律. 那么气体状态发生变化时，各状态参量之间的实际关系与实验定律之间是否存在偏差？如果存在的话，不同气体的偏差是否相同？同种气体在不同条件下的偏差是否相同？

微信公众号：电子课本大全

不同气体的比较

讨论交流

有人做过这样的比较：在标准大气压下，取空气、氢气、一氧化碳、二氧化碳4种气体各1 m^3（它们的pV乘积都为1.013 25 × 10^5 Pa·m^3），若保持温度不变，将它们的压强都增大为原来的2倍，测出它们的体积，并求得pV乘积如表2-5-1所示.

表2-5-1

气体	空气	氢气	一氧化碳	二氧化碳
pV/10^5 Pa·m^3	1.012 77	1.013 26	1.012 74	1.010 16

从表2-5-1所提供的数据，你能得出什么结论?

前人做了大量实验，其结果表明，在温度不太低、压强不太高的条件下，一切气体的状态变化虽然并非严格地遵守气体实验定律，而且不同气体在遵守气体实验定律的程度上也略有差异，但却都能在较高程度上近似地遵守气体实验定律.

所谓“温度不太低，压强不太高”，是与常温、常压相比较而言的.

同种气体不同条件下的比较

但是，随着“高压”和“低温”条件的获得，人们在实验中发现，实际气体在“高压”和“低温”条件下状态参量之间的关系与气体实验定律存在着较大的偏差，表2-5-2是1 mol氮气在0 ℃时的压强p、体积V及pV乘积.

表2-5-2

压强p/（1.013 × 10^5 Pa）	体积V/（$10^{-3}m^3$）	pV/（1.013 × 10^2 Pa·m^3）
1	22.41	22.41
100	0.2224	22.24
300	84.95 × 10^{-3}	25.49
500	62.35 × 10^{-3}	31.18
700	53.25 × 10^{-3}	37.28
900	48.25 × 10^{-3}	43.43
1 000	46.40 × 10^{-3}	46.40

当气体的压强增为1.013 × 10^8 Pa时，气体的pV值将是标准状态下pV值的2倍多，其偏差是何等之大!

微信公众号：电子课本大全

理想气体

正如我们以前建立质点、自由落体运动等理想化模型一样，为了概括和研究不同气体在一定条件下所遵守的共同规律，我们设想有一种气体，在任何温度、任何压强下都遵守气体实验定律，这样的气体称为**理想气体**（ideal gas）. 理想气体也是一种理想化模型.

活动

理想气体在客观上真正存在吗？为什么？你可以参照建立质点、点电荷等理想模型的意义，谈谈建立理想气体模型的意义.

在温度不太低、压强不太大的条件下，一切实际气体都可以当做理想气体来处理，而不会出现太大的偏差.

怎样从微观上解释这个现象呢？

在温度不太低、压强不太大的条件下，气体都是“稀薄”的，即气体分子的间距远远大于分子本身的线度，分子本身的大小可以忽略，而且分子间除了相互碰撞以外，相互作用力也可以忽略不计. 气体实验定律正是在这样的条件下得出的.

在温度很低、压强很大的条件下，气体分子热运动的激烈程度大大降低，气体也变得相当“浓厚”，即气体分子的间距大大缩小，这时气体分子本身的大小已不能忽略，而且相邻分子间（除碰撞外）的相互作用力也不能忽略了，从而气体实验定律就完全不适用了.

由此说来，所谓理想气体，从微观上看，其分子都是不占有空间的质点，而且分子间除碰撞外完全没有相互作用力. 正因为有这样的微观特点，理想气体才严格遵守气体实验定律.

讨论交流

一般来说，对于一定质量的物体，它的内能由体积和温度来决定. 温度决定分子平均动能的大小，而体积决定分子势能的大小. 那么，一定质量的理想气体，其内能跟体积有关吗？为什么？

微信公众号：电子课本大全

练习与评价

1. 关于理想气体，下列说法正确的是（　　）

A. 理想气体能在任何条件下严格遵守气体实验定律

B. 理想气体只在温度不太低、压强不太高的条件下遵守气体实验定律

C. 理想气体分子间的引力等于零

D. 理想气体在等温变化过程中，内能不会发生改变

2. 如图 2-5-1 所示，一定质量的理想气体由状态 A 变化到状态 B 的过程中（　　）

A. 气体的密度一直变大

B. 气体的内能一直变大

C. 气体的体积一直变大

D. 气体的体积先变大后变小

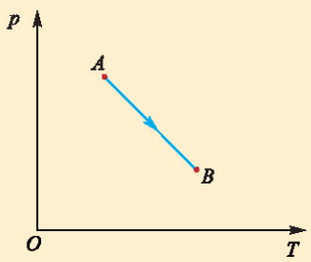


图 2-5-1

发展空间

课外阅览

理想气体状态方程

我们一般用 p、V、T 三个参量描述一定质量的某种理想气体的状态．前面的每个实验定律所谈的，都是当某一参量不变时另外两个参量的变化关系．在某些过程中，三个参量都可能变化，它们会遵循怎样的关系呢？

假设一定质量的理想气体从某一状态 A（p_A，V_A，T_A）变化到任一状态 C（p_C，V_C，T_C）．我们可以找到一个中间态 B（p_B，V_B，T_B），使气体先从 A 态等温变化到 B 态，再从 B 态等容变化到 C 态．根据玻意耳定律、查理定律，有

$$p_A V_A = p_B V_B$$

$$\frac{p_B}{T_B} = \frac{p_C}{T_C}$$

由第二式得 $p_B = \frac{p_C}{T_C} T_B$，代入第一式，有

$$p_A V_A = \frac{p_C}{T_C} T_B V_B$$

而 $T_A = T_B$，$V_B = V_C$，因此

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

也就是说

$$\frac{pV}{T} = 常量$$

上述关系被称为一定质量的某种理想气体的**状态方程**（equation of state）．

微信公众号：电子课本大全

本章小结

1. **分子运动速率分布** 物体中大量分子运动的速率分布服从统计规律.统计规律在生产与生活中有着广泛应用.

2. **物体的内能** 物体中所有分子做热运动所具有的动能和分子势能的总和叫做物体的内能. 物体内能的大小由物体的温度、体积等因素决定，即由物体所处的状态确定，而与物体如何达到这一状态的过程无关.

3. **气体的状态参量** 描述一定质量的气体的状态参量有体积、温度和压强. 气体的体积是指气体占有空间的大小；气体的温度是气体分子平均动能的标志，热力学温度 T 与摄氏温度 t 的数值关系为：$T = t+273.15$；气体的压强是由大量气体分子对容器的碰撞引起的，压强的大小与气体分子的平均动能和气体分子的密集程度有关.

4. **玻意耳定律** 气体状态变化时若温度保持不变，叫做等温变化.一定质量的某种气体，在温度 T 不变的情况下，压强 p 与体积 V 成反比，即 $pV=$ 常量，这个规律叫做玻意耳定律.

5. **查理定律** 气体状态变化时若体积保持不变，叫做等容变化. 一定质量的某种气体，在体积 V 不变的情况下，压强 p 与热力学温度 T 成正比，即 $\frac{p}{T}=$ 常量，这个规律叫做查理定律.

6. **盖吕萨克定律** 气体状态变化时若压强保持不变，叫做等压变化. 一定质量的某种气体，在压强 p 不变的情况下，体积 V 与热力学温度 T 成正比，即 $\frac{V}{T}=$ 常量，这个规律叫做盖吕萨克定律.

9. **气体状态变化的图像** 气体状态变化的规律可以用图像来表示，反映气体做等温变化、等容变化和等压变化规律的图线，分别叫做等温线、等容线和等压线.

10. **理想气体** 理想气体是在任何条件下都能严格遵守气体实验定律的气体. 在温度不太低、压强不太大的条件下，实际气体可以近似看做理想气体. 理想气体分子可以看做质点，分子之间除碰撞之外，彼此之间不存在相互作用力. 一定质量的理想气体其内能仅由温度决定，而与体积无关.

微信公众号：电子课本大全

习 题

1.以下关于分子热运动的讨论中正确的是（ ）.

A. 平静的湖水中，水分子没有热运动

B. 波涛汹涌的海水上下翻腾，说明水分子热运动剧烈

C. 水凝结成冰，表明分子热运动已停止

D. 没有沸腾的水中某些水分子的热运动速率可能比正在沸腾的水中某些水分子的热运动速率更大

2. 下列有关内能的说法中正确的是（ ）.

A. 10 个分子的动能和分子间势能的总和就是这 10 个分子的内能

B. 一架飞机以某速度在空中飞行，由于组成飞机的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，所有分子具有势能，上述分子的动能和势能的总和就是物体的内能

C. 在不考虑分子间势能的情况下，质量和温度相同的氢气和氧气内能相同

D. 物体内能增大时，温度不一定升高

3. r_0 为分子间的平衡距离，在分子间距 r 从小逐渐增大的过程中，下表中各物理量如何变化？将它们的变化情况填入表中.

物理量 \ 分子间距	$r < r_0$	$r = r_0$	$r > r_0$	$r > 10\,r_0$
分子引力				
分子斥力				
分子力				
分子势能				

4. 关于温度的概念，下述说法中正确的是（ ）.

A. 对于温度不同的物体，温度较低的物体内能一定较小

B. 温度的高低是可以由人的感觉准确判定的

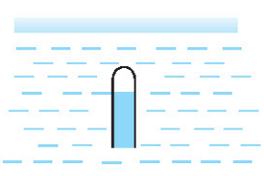
C. 运动快的分子温度高，运动慢的分子温度低

D. 分子的平均动能越大，物体的温度越高

5. 使用压力锅时，锅内压强大，液体沸点高，食物容易煮烂．已知某压力锅的限压阀的质量为 0.1 kg，排气孔直径为 0.3 cm，则锅内气体的压强最大可达多大？若锅内压强每增大 3.6×10^3 Pa，水的沸点相应要提高 1 ℃，则该压力锅内的温度最高可达到多高？

6. 用手压一只打足了气的气球，往往在气球还没有被压扁时就爆了．试用气体实验定律解释这一现象.

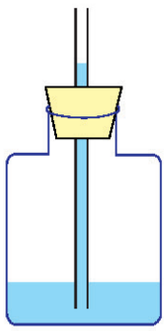
7. 如图所示，一支开口向下的短试管在水内一定的深度处于静止状态，如果将它稍向上提起一些，放手之后，试管将如何运动？如果将它稍压下一些，放手之后，试管将如何运动？为什么？



（第 7 题图）

微信公众号：电子课本大全

8. 如图所示为一气体温度计，瓶中装入部分水时，从两端开口的竖直管内吹入一些气体，水会沿玻璃管向上升起一段．在瓶外壁上擦些酒精，竖管中的液柱将会下降．试利用气体实验定律解释这些现象，在解释时，你作了怎样的近似处理？



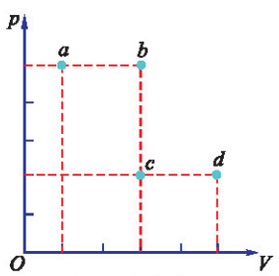
（第 8 题图）

9. 我国民间常用“拔火罐”来治疗某些疾病，即用一个罐，将纸燃烧后放入罐内，然后迅速将火罐开口端紧压在人体的皮肤上，待火罐冷却后，火罐就紧紧地“吸”附在皮肤上．试用气体实验定律解释这一现象．

10. 已知离地面越高，大气压强越小，温度也越低．现有一只气球由地面缓慢向上升起，试分析大气压强和温度对球内气体的体积各会产生什么影响．

11. 如图所示，一定质量的气体先后处于 a、b、c、d 四个状态，则气体温度最低的状态是（　　）．

A. a　　B. b　　C. c　　D. d



（第 11 题图）

12. 关于一定质量的理想气体的叙述中，下列说法正确的是（　　）．

A. 严格遵守气体实验定律的气体叫做理想气体

B. 理想气体状态变化时，内能一定不会发生变化

C. 理想气体分子之间的引力为零

D. 理想气体的体积变化时，分子势能发生变化

微信公众号：电子课本大全

第三章 固体和液体

- 晶体和非晶体
- 半导体
- 液晶
- 液体的表面张力
- 饱和汽与未饱和汽

固体与液体均属于凝聚态，它们是各种天然与人工材料的主体. 人们公认，材料、能源及信息是现代社会生存与发展的三大支柱.



微信公众号：电子课本大全

固体与液体以及两者之间的一些过渡状态的物质，与气体相比，它们的密度较大，分子间的距离较小，有较强的相互作用力，有相对稳定的体积，因而被称为凝聚态物质.

凝聚态物质包括各种天然与人工材料，例如金属、合金、玻璃、陶瓷、木材、塑料、树脂、橡胶、液晶以及各种半导体材料、超导材料、纳米材料、新能源材料、发光材料、生物材料等. 据不完全统计，目前发现的凝聚态物质已超过 25 万种. 为适应人类社会生存与发展的各种需要，新型材料被不断地创造、发明出来，成为当代科技革命的重要内容之一.

本章介绍关于材料的结构与性能的知识，并在此基础上，简要介绍在当代社会令人瞩目的三类新型材料 —— 半导体、纳米材料及液晶，为进入材料科学技术之门打下基础.

1 晶体和非晶体

晶体和非晶体



（a）黄水晶



（b）明矾



（c）钻石

图 3-1-1 晶 体

观察思考

用放大镜观察食盐、明矾、玻璃和松香碎片，它们的形状有什么特点？

固体可分为**晶体**（crystal）和**非晶体**（noncrystal）两大类. 金刚石、食盐、石英、云母、明矾、硫酸铜、味精、蔗糖等天然具有规则的几何形状，都是晶体；玻璃、松香、沥青、橡胶、蜂蜡等天然不具有规则的几何形状，是非晶体.

用放大镜观察雪花，可以发现雪花晶体呈六角形（如图 3-1-2 所示）.

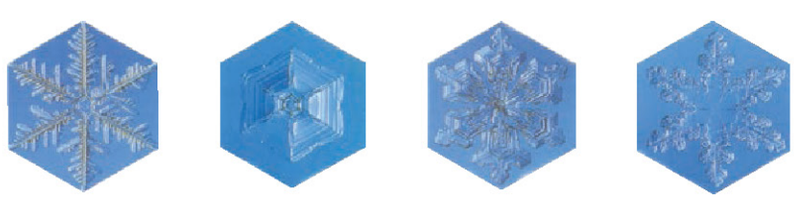


图 3-1-2 雪花晶体图案

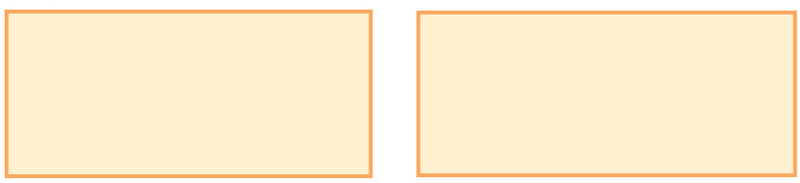
微信公众号：电子课本大全

实验探究

晶体和非晶体在不同方向上的导热性能是否相同？

取 1 张云母片和 1 块盖玻片，在云母片和盖玻片的一面均匀地涂上石蜡．用钳子夹住小铁钉放在酒精灯上烧红后，将钉尖接触云母片和盖玻片未涂蜡一面中央的某一点．

分别在图 3-1-3（a）（b）上画出云母片和玻璃片上热铁钉接触点周围的石蜡熔化后所成图形的形状，并分析热量在云母片和玻璃片上传递过程有什么不同？由此你能得出什么结论？



（a）云母片上石蜡熔化的形状　　（b）玻璃片上石蜡熔化的形状

图 3-1-3

实验表明，晶体在各个方向上的导热性能不同，而非晶体在各个方向上的导热性能相同．

大量事实证明，晶体在不同的方向上不仅导热性能不同，而且机械强度和导电性能等其他物理性质也不一样．也就是说，晶体的一些物理性质与方向有关，这种特性叫做**各向异性**（anisotropy）．而非晶体的各种物理性质，在各个方向上都是相同的，叫做**各向同性**（isotropy）．

晶体的热膨胀也具有各向异性．如石墨受热时，沿某些方向膨胀，而沿另一些方向则收缩．

单晶体和多晶体

拿一块金属来进行观察和实验，你将会发现，金属没有天然规则的几何形状，各个方向的物理性质也都相同，但是人们用金相显微镜观察磨光了的金属表面时发现，金属是由许多小的晶粒构成的．这些小晶粒的线度一般为 10^{-4} ~ 10^{-3} cm，最大的可达 10^{-2} cm，每立方厘米里至少有 10^{7} 个晶粒．每一个晶粒都有规则的几何形状，其内部都是各向异性的．正因为如此，金属具有确定的熔点．金属实质上是晶体，只是因为金属中的大量晶粒在空间的排列是无规则的，所以金属在整体上表现为各向同性．

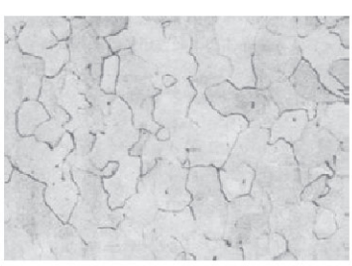


图 3-1-4　金属铁的显微组织

我们称石英、明矾等天然具有规则几何形状且各向异性的大晶体为**单晶体**（monocrystal），而称金属、岩石等由许多晶粒构成的晶体为**多晶体**（polycrystal）．单晶体在科

微信公众号：电子课本大全

学技术上有重要应用，例如，制造各种晶体管就要用纯度很高的单晶硅或单晶锗.

晶体的微观结构

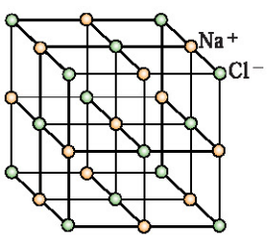


图 3-1-5　食盐晶体的点阵结构

为了解释晶体外形的规则性和物理性质的各向异性，早在 1860 年就有人提出假说认为晶体中的粒子是有规则、周期性地排列的. 1912 年，人们利用 X 射线对晶体结构进行研究，确切地证实了这一假说. 现在，人们利用电子显微镜对晶体内部结构进行直接观察和拍照，为这一假说作出了更有力的证明.

我们知道，晶体是由分子、原子、离子等微粒组成的，如果用点来表示这些微粒的质心的话，那么，这些点在晶体内部的空间就会形成一个有规则的、周期排列的结构，称为晶体的点阵结构. 图 3-1-5 是食盐晶体中钠离子（Na^+）和氯离子（Cl^-）构成的点阵结构. 晶体的许多特性都与点阵结构有关.

固体性质的微观解释

固体为什么有一定的体积和形状?

构成固体（晶体或非晶体）的微粒排列非常紧密，微粒之间的引力很大，绝大多数粒子只在各自的平衡位置附近做小范围的无规则振动. 所以固体具有固定的形状和体积.

晶体为什么会表现出各向异性?

如图 3-1-6，从某一微粒出发，沿不同的方向画等长的线段 *AB*、*AC*、*AD*，则三条线段上的微粒数目并不相等. 这表明不同方向上微粒排列的情况不同. 正是由于这个原因，晶体在不同的方向上会表现出不同的物理性质.

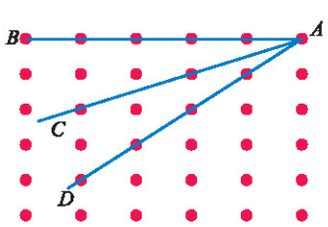


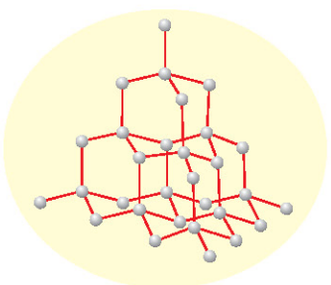
图 3-1-6　各向异性的微观解释

同一种物质为什么物理性质可能不同?

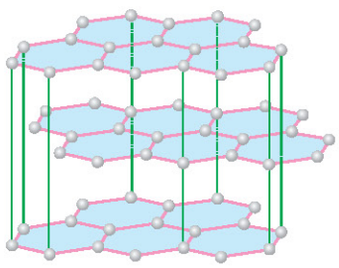
同样的砖头可以建造出不同的建筑，同一种物质微粒也可以形成不同的晶体结构，从而表现出不同的物理性质. 例如，金刚石和石墨都是由碳原子构成的，但金刚石中碳原子形成一种紧密结构［图 3-1-7（a）］，相互之间的作用力很强，所以金刚石十分坚硬，金刚石可用来制造玻璃刀和钻

微信公众号：电子课本大全

头. 而石墨则是层状结构 [图 3-1-7 (b)], 层与层之间距离较大，作用力较弱，沿着这个方向容易把石墨一层层地剥下，所以，石墨质地松软，可用来制作铅笔芯和润滑剂.



(a) 金刚石的晶体结构



(b) 石墨的晶体结构

图 3-1-7　金刚石与石墨的比较

练习与评价

1. 晶体与非晶体的区别在于是否具有 (　　).

A. 天然规则的几何形状　　B. 各向异性

C. 确定的熔点　　D. 一定的硬度

2. 某物质表现出各向异性，是由于该物质的微粒 (　　).

A. 在空间的排列不规则　　B. 在空间按一定的规则排列

C. 数目较多的缘故　　D. 数目较少的缘故

3. 同种晶体物质能够生成几种不同的晶体，这种性质叫做晶体的多形性. 晶体的多形性是由于它们 (　　).

A. 物质微粒的大小不同　　B. 物质微粒的性质不同

C. 物质微粒的多少不同　　D. 物质微粒的排列结构不同

发展空间

实验室

制作大体积明矾晶体

将 400 g 水、80 g 明矾放入锅中，将水加热至沸腾，等明矾全部溶解后停止加热.

将明矾溶液冷却至 50 ℃～60 ℃后，倒入玻璃杯中. 稍微放置片刻，此时杯底将会形成小的明矾结晶.

用布过滤液体，取出结晶. 尽量挑选形状较好的结晶，将它用黏合剂粘在细线的一端，将细线的另一端系在筷子上，将小结晶浸在刚才用布滤过的液体中. 将浸有小结晶的杯子放入冰箱的冷藏室. 一天之后，液体中便会形成一块比较大的美丽的八面体明矾结晶.

微信公众号：电子课本大全

2 半导体

半导体的特性



图 3-2-1 半导体材料——硅

在固体材料中，有些物质（例如金、银、铜、铝等）导电性能好，称为导体；另一些物质（例如陶瓷、云母、塑料、橡胶、玻璃等）导电性能很差，称为绝缘体；还有一类物质（例如锗、硅、砷化镓等）的导电性能介于导体与绝缘体之间，称为**半导体**（semiconductor）.

人们通常用电阻率 ρ 来表示材料的导电性能. 电阻率 ρ 由材料的自身性质决定，而与形状无关. 对于长度为 l、横截面积为 S、电阻为 R 的某种材料（例如一段导线），它的电阻率 ρ 是

$$\rho = \frac{S}{l}R$$

导体（金属）的电阻率数值一般为 $10^{-8} \sim 10^{-6}\Omega \cdot m$，半导体的为 $10^{-5} \sim 10^{7}\Omega \cdot m$，而绝缘体的则为 $10^{8} \sim 10^{20}\Omega \cdot m$.

与导体相比，半导体的电阻率对掺入杂质非常敏感. 通过控制半导体材料的杂质浓度，可以控制半导体材料的导电性能.

在一般情况下，金属导体的电阻率与温度成线性关系，即电阻率随温度升高而均匀增大；半导体材料的电阻率与温度的关系则较为复杂，有些半导体材料对温度、光照非常敏感，外界温度、光照的微小改变都能使电阻率迅速发生变化.

利用半导体的特性，可以制成各种不同性能的器件，它们在信息技术、自动化控制、现代照明系统等方面得到广泛的应用.

硅（旧称矽，英文名称 Silicon）在地壳中的含量高达 26%，仅次于氧元素，硅常常以沙子或者石英等形式存在于地表及岩石中. 对于芯片制造业和太阳能电池工业来说，都需要极高纯度的硅.



图 3-2-2 晶体三极管

晶体管 集成电路

在纯净的半导体材料中掺入不同的杂质，会形成 N 型

微信公众号：电子课本大全

和P型两种不同的半导体．把N型半导体与P型半导体通过一定的技术手段结合在一起，可形成PN结，也就是一个半导体**二极管**（diode）.

二极管只允许电流向一个方向流动，具有单向导电的特性．利用二极管的这种特性，可以将交流电变成直流电．

三极管（triode）是将一层P型（或N型）半导体夹进两层N型（或P型）半导体之间而制成的．三极管具有放大信号或开、关电流的作用．在晶体管收音机、电视机里有许多用于放大信号的三极管，在计算机中有成千上万个作为开关及其他用途的三极管．

集成电路（integrated circuit）指的是采用一定的生产工艺把许多二极管、三极管等晶体管，以及电阻、电容等元件做在一块半导体芯片（硅晶片）上制成的电路．一块比指甲还小的集成电路可以容纳成千上万个二极管、三极管和电阻、电容等元件．在一些芯片上，两个元件之间的间隔只有人头发直径的1/50，电信号能够以极快的速度通过集成电路，从而实现信息传输的高速化．在各种电子仪表、家用电器、电脑之中，都包含着各种类型的芯片，用来对信息进行存储、处理、控制和显示．

1947年，美国科学家肖克利（William Shockley）、巴丁（John Bardeen）和布拉顿（Walter Brattain）利用半导体材料制成了第一个晶体三极管.

1958年，美国物理学家基尔比（Jack Kilby）制成第一块半导体集成电路.

1971年，第一块大规模集成电路（在一个芯片中集成10^5个电子元件）诞生.

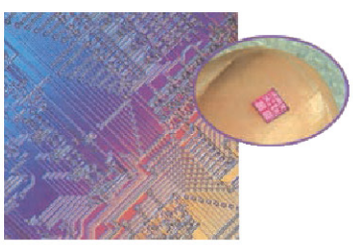


图 3-2-3　集成电路

各种特殊性能的半导体器件

利用半导体的各种特殊性能制成的半导体器件，例如热敏电阻、光敏电阻、光电池、可控硅、高压硅堆、半导体激光器等，它们在电子控制、电器设备、家用电器、通信及国防科技上有广泛的应用．下面介绍其中的几种．

光敏电阻（photoresistor）是利用半导体材料在光照条件下，其电阻率迅速下降的特性制成的一种半导体器件．有的光敏电阻用纯净半导体材料制成，有的则用掺杂半导体材料制成．制备光敏电阻的材料有：锗、硅、硒、硫化镉、硫化铅、碲镉汞等．光敏电阻常用于一些自动控制的装备中．

热敏电阻（thermistor）是利用半导体材料在温度变化时，其电阻率迅速改变的特性而制成的半导体器件．其中，电阻值随温度升高而减小的叫负温度系数热敏电阻，电阻值随温度升高而增大的叫正温度系数热敏电阻．

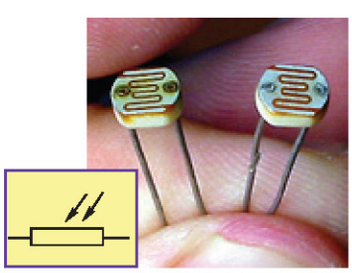


图 3-2-4　光敏电阻

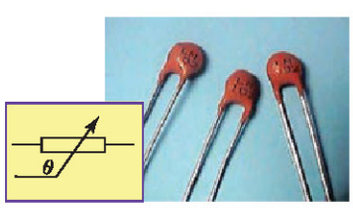


图 3-2-5　热敏电阻

微信公众号：电子课本大全



图 3-2-6　使用光电池提供能量的人造卫星

据估计，我国目前每年用于照明的电力接近 2 500 亿千瓦时，其中若有1/3采用半导体发光二极管来照明，每年可节电约800亿千瓦时，相当于目前三峡电站的年发电量.

活动

没有电源，任何电器都不能工作. 但为什么有些小计算器常年不换电池，仍能正常工作？寻找一下这些小计算器中的电池，猜猜它们是什么类型的电池.

光电池是将太阳辐射直接转换成电能的装置. 这种电池是用硅等半导体材料做成的，可为卫星、计算器等提供能量. 光电池是一种环保型的能源装置，它的应用前景非常广阔.

发光二极管（light-emitting diode）是通电后能发光的半导体器件，简称 LED. 早期的 LED 只能发出微弱的红光或绿光，多在电路及仪器中作为指示灯，或组成文字、数字进行显示等. 随着白光 LED 的出现，越来越多的发光二极管被用作照明. LED 被誉为 21 世纪的新型光源，具有效率高，寿命长，不易破损等传统光源无法比拟的优点.

练习与评价

1. 导体、绝缘体、半导体的电阻率分别处于什么范围？
2. 与导体相比，半导体有哪些不同的特点？
3. 什么是集成电路？集成电路具有哪些优点？.
4. 正温度系数的热敏电阻的阻值随温度的升高如何变化？

发展空间

课外阅览

纳米材料

在各种固体材料中，有一种新型材料异军突起，那就是纳米材料.

纳米（nanometer）是长度的单位，1 纳米是十亿分之一米，即

$$1\ \text{nm} = 10^{-9}\ \text{m}$$

科学家研究发现，许多材料当其厚度、横截面的线度或其颗粒的线度在 1～100 nm 时，就会表现出十分奇特的力学、热学、电学、磁学、光学、化学等性质. 人们把特征尺寸在 1～100 nm，并具有新特性的材料称为纳米材料.

纳米材料有着十分广泛、诱人的应用前景，正在使材料科学技术领域出现一次革命. 以下是由纳米材料衍生出来的一些高科技产品.

微信公众号：电子课本大全

太空电梯　碳纳米管抗断裂的能力比一般钢铁材料高12倍，而密度仅为一般钢铁的1/6，碳纳米管纤维是制作太空电梯绳索的理想材料.

隐形飞机　铂（白金）在常规尺寸时呈银白色，但当铂的颗粒减小到纳米尺寸时却呈黑色. 这表明纳米材料具有极强的电磁波吸收性质，可用来制造隐形飞机、隐形军舰等，同时也可用来制造高效的光热和光电转换材料，以提高太阳能的利用率.

纳米机器人　纳米机器人能够在血管中游走，清除血管壁上的沉积物，或攻击癌细胞，治疗或修补损伤的细胞组织.

纳米陶瓷　纳米陶瓷具有良好的耐磨、坚韧和抗高温等性能，可以用来制造内燃机的汽缸和活塞，也可用来制造人造骨.

纳米涂料　纳米涂料提高了涂料的附着力，具有耐洗刷以及杀菌、环保等性能. 在玻璃表面涂一层纳米级TiO_2的薄膜，普通玻璃就变成具有自己清洁功能的自净玻璃.



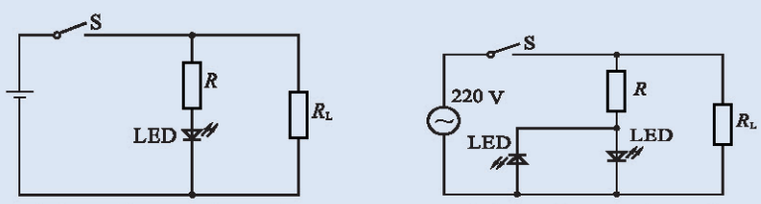
图 3-2-7　隐形飞机



图 3-2-8　纳米机器人

发光二极管引发照明革命

20世纪90年代以来，发光二极管技术有两大突破. 一是以氮化镓（GaN）为材料的白光发光二极管脱颖而出，二是发光二极管的功率已达到1～10 W的水平. 这样一来，发光二极管已可以用来照明.



（a）电池作电源的直流电路　　（b）市电作电源的交流电路

图 3-2-9　发光二极管的驱动电路

发光二极管与传统的白炽灯、各类气体放电灯相比，有很多突出的优点.

（1）在同样的亮度下，发光二极管的耗电量仅约为普通白炽灯的10%，节能灯的20%～30%，而寿命却在8万小时以上.

（2）可以用低压（6 V以下）直流电作为电源，也可以用市电220 V作电源，驱动电路简便.

（3）体积小，可以做成点、线、面等各种形式的轻、薄、小的产品.

（4）所发出的光中没有紫外线和红外线，对人体无任何损害，属绿色光源.

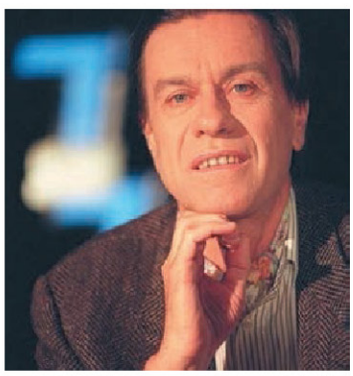
专家们认为，发光二极管将是继白炽灯、各类气体放电灯（日光灯、高压水银灯等）之后，人类照明史上的又一次飞跃，是一次重大的照明革命.



图3-2-10　上海东方明珠电视塔的景观照明采用的是LED灯光系统

微信公众号：电子课本大全

3 液 晶



“液晶之父”热纳（Pierre-Gilles de Gennes，1932—2007）

1991年诺贝尔物理学奖获得者，法国科学家热纳，说过：“我喜欢液晶是因为液晶既神奇又美丽.”今天，**液晶**（liquid crystal）的种种产品已经走进了我们的生活，如液晶手表，液晶电视，电脑的液晶显示器，计算器、电话机、汽车仪表以及手机上的液晶显示屏，等等. 那么，什么叫做液晶？它有什么特性？

● 什么是液晶

我们知道，水在不同的温度下以固体、液体和气体三种状态存在，如图 3-3-1 所示.

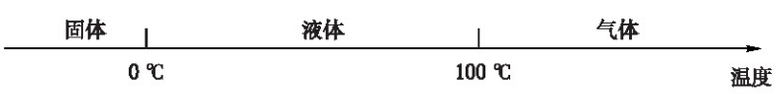


图 3-3-1 纯水的状态和转变温度（1.01×10^5 Pa）

但物质并不都像水那样简单. 例如有一种称为十四酸胆甾醇酯的物质（这种物质能够在我们的细胞膜以及引起动脉硬化的沉淀物中找到），它在室温下是固态. 当温度升高到71℃时，就变成了能够流动的浑浊“液体”. 当温度继续升到85℃时，浑浊的“液体”变得澄清了，跟我们所熟悉的其他液体一样. 继续加热到200 ℃，没有进一步出现新的现象. 十四酸胆甾醇酯处于71℃到85 ℃之间的温度时，虽然能够流动，但其他许多特性不同于一般的固体，也不同于一般的液体. 这种处于固态与液态之间的过渡状态称为液晶态，处于这种状态的物质就叫做液晶.



图 3-3-2 十四酸胆甾醇酯的状态和转变温度（1.01×10^5 Pa）

微信公众号：电子课本大全

天然存在的液晶不多，大多数液晶是人工合成的．迄今为止科学家已发现几千种有机化合物具有液晶态．

液晶的分子结构

液晶表现出来的特性跟液晶内部分子以及分子排列的有序性有关．当处于固态时，分子保持固定的位置和取向，同时具有位置有序和取向有序；当处于液态时，这两种有序性完全丧失，分子可以随意地移动和转动；而当处于液晶态时，分子位置的有序性丧失，可以与在液体中大体相同的方式自由地来回运动，但仍倾向于保持在固体中确定的取向，分子排列在液晶中的有序性介于固体和液体之间．图 3-3-3 反映了在固体、液晶和液体中分子排列的状况．



图 3-3-3　固体、液晶和液体分子的排列示意图

液晶显示

液晶分子的排列会因温度、压强、摩擦、电磁作用、容器表面的差异等外界条件的微小变动而发生变化，由此引起液晶光学性质的改变．**液晶显示**（Liquid Crystal Display，即 LCD）就是利用液晶的这些性质而发展起来的．



图 3-3-4　常见的液晶显示器

以白底黑字液晶显示器为例．未加电压时，液晶分子处于自然排列状态，射入显示器的光在显示电极部分能够被反射回来，显示器呈黄白色；而当显示电极部分加上适当的电压时，由于液晶分子排列状态的改变，射入显示器的光在显示电极部分不能被反射回来，显示电极部分呈现黑色，处于显示态．电压除去后，液晶分子回复原有的状态，屏幕又恢复黄白色．如图 3-3-5 所示的显示方式就是利用这一原理来显示数字和符号的．

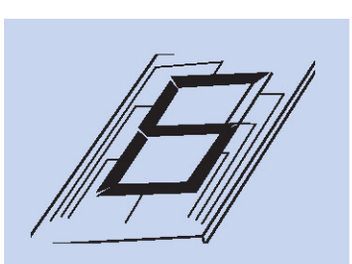


图 3-3-5　液晶显示的基本原理

微信公众号：电子课本大全

练习与评价

1. 是否所有物质从固态到液态，或从液态到固态的转变都要经过液晶态？试举例说明.
2. 液晶的分子排列有什么特点？
3. 试简述液晶显示原理.

4 液体的表面张力

液体的微观结构



图 3-4-1 液体的形状随容器的形状而变（图中的蓝色小球代表液体中的粒子）

跟固体一样，液体微粒也是紧密靠近的，但微粒之间的相互作用力不像固体中的那么强. 这使得液体具有一定的体积，不易压缩，却没有一定的形状. 液体微粒的热运动主要是在平衡位置附近的微小振动，但微粒的平衡位置不是固定的，微粒在一个平衡位置附近振动一小段时间后，又会转移到另一个平衡位置附近振动，所以液体具有流动性. 由于微粒在液体里的移动比在固体中容易得多，所以液体的扩散比固体的扩散快.

奇异的表面张力现象



图 3-4-2 水滴形成的“水晶项链”

你知道图3-4-2的照片是什么吗？是闪闪发光的水晶项链吗？不！这是沾有小水滴的蜘蛛网. 你也许会对自然界所创造的艺术品叫绝，但你是否想过：水滴的形状为什么都是圆的呢？

微信公众号：电子课本大全

活动

如图 3-4-3 所示，在装满水的杯子里小心地把 1 枚 1 角的硬币放在水面上，观察并在纸上画出硬币边缘水面的形状．轻轻向下压硬币，你看到什么现象？缓缓加大压硬币的力，观察硬币没入水中时水面发生的变化．

硬币的密度比水大，它为什么能浮在水面上？



图 3-4-3　漂在水面上的硬币

实验探究

将一根细线宽松地系在一个铁丝框架相对的两边上．把框架浸到洗涤剂溶液里再取出来，框架上便会出现一层液膜，如图 3-4-4（a）所示．用烧热的针刺破线的一侧的液膜，看看出现了什么现象．

重做一次实验，用热针刺破线的另一侧的液膜，看看出现了什么现象．

将两次实验观察到的液膜的形状分别画在图（b）和图（c）上．由此你能得出什么结论？

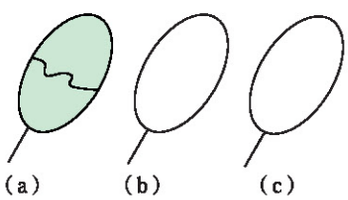


图 3-4-4　表面张力实验

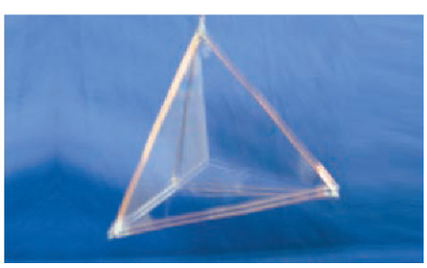
实验表明：液体表面好像张紧的橡皮膜，具有收缩的趋势．液体表面存在的这种收缩力叫做**表面张力**（surface tension）．正是表面张力，使液体的表面积趋向最小．如果要增大液体的表面，就需要做额外的功．

利用数学方法可以证明：体积一定的物体，当其形状为球形时，表面积最小．据此，你就可以解释为什么液滴的形状都是球形的了．

你玩过肥皂泡吗？利用特制的洗涤剂，我们可以制作出形状各异的肥皂膜．

活动

在洗脸盆中放半盆肥皂水（用洗涤剂的水溶液更好），将用铜丝弯折成的正四面体和正方体框架，浸没在肥皂水中后取出来，欣赏由肥皂膜形成的奇妙的曲面．



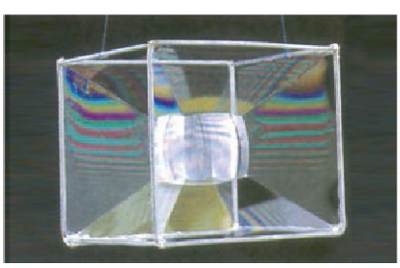


图 3-4-5　肥皂膜形成的奇妙曲面

微信公众号：电子课本大全

液体表面张力的成因

液体的表面张力可以用液体的微观结构进行解释．我们知道，液体是由大量分子组成的，但在液体表面层中的分子要比液体内部的稀疏些，如图 3-4-6 所示．分子间既存在着引力，也存在着斥力，在液体内部，引力和斥力的大小相近．但在液体的表面层，由于分子之间的间距较大，分子之间的相互作用总体上表现为引力．如果在液面上任意画一条分界线 MN（图 3-4-7），则分界线两侧的分子之间就存在着相互作用的吸引力，而这些相互吸引力的宏观表现就是液体的表面张力．

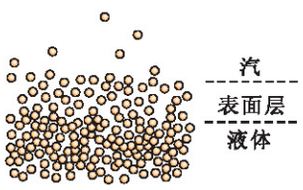


图 3-4-6　液体不同层面的分子疏密程度不同

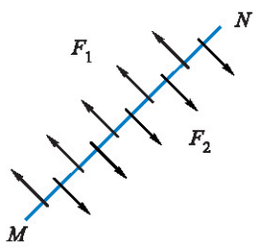


图 3-4-7　表面张力的方向：与液面平行，与液面上所画的分界线垂直

练习与评价

1．如图 3-4-8 所示，水黾站在水面上，正在吃水中的小虫．观察图中水面的形状，解释水黾为什么不会掉进水里．当洗涤剂落到水面上后，水黾将沉入水中．这说明了什么？

2．雨伞的伞面是用布料做成的，为什么雨水不会穿过伞面滴下来？

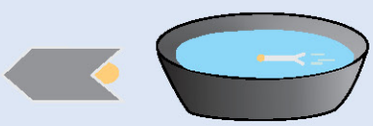


图 3-4-8　水黾站在水面上

发展空间

实验室

把一块塑料泡沫剪成如图 3-4-9（a）所示的小船状，在船尾镶上一块肥皂．或把火柴杆劈开，劈开的长度约占总长度的 1/4，镶上一小块肥皂，就做成了一只“小船”．把这只“小船”放在水盆中，看看在水面上会发生什么现象．你能解释所发生的现象吗？



（a）　（b）

图 3-4-9　塑料泡沫制成的小船

微信公众号：电子课本大全

5 饱和汽与未饱和汽

饱和汽与未饱和汽

液体在任何温度下都会蒸发，但为什么装在密闭容器里的液体，即使过了很长时间也不见减少呢？

从微观上看，在液体与气体之间同时进行着两个相反的过程：由于分子的运动，一方面液体分子离开液面跑到周围空间，另一方面液面上方也有气体分子回到液体中去．

当容器敞口时，相同时间内回到液体的分子数要小于跑离液面的分子数，如图 3-5-1（a）所示，这在宏观上表现为液体逐渐减少．

当容器密闭时，由于离开液面的分子都聚集在瓶内液面上方狭小的空间中，随着液面上气体的密度不断增大，回到液体的分子数也逐渐增多，如图 3-5-1（b）所示．当相等时间内回到液体的分子数等于离开液面的分子数时，周围空间的气体就不会再增多，液体的数量也就不再减少．

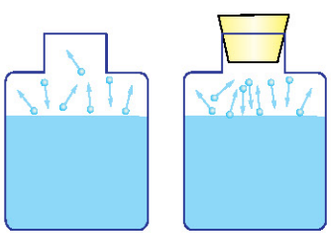


图 3-5-1　液体表面的分子运动示意图

当相等时间内回到液体的分子数等于离开液体的分子数时，液体和气体之间达到了一种动态平衡．跟液体处于动态平衡的气体叫做**饱和汽**（saturated vapor），而未达到饱和的气体叫做**未饱和汽**（unsaturated vapor）．

饱和汽压及其相关因素

每一种气体都会产生压强，饱和汽产生的压强叫做**饱和汽压**（saturated vapor pressure）．饱和汽压的大小跟哪些因素有关呢？

表 3-5-1　几种液体的饱和汽压（20℃时）

液体	乙醚	酒精	水	水银
饱和汽压 /Pa	5.87×10^4	5.86×10^3	2.34×10^3	1.60×10^{-1}

微信公众号：电子课本大全

在空间可能还有其他气体，饱和汽压仅指由饱和汽产生的压强．空间气体的总压强等于各种气体产生的压强之和．

讨论交流

我们已经知道气体的压强是由气体分子的密集程度和气体分子的平均动能共同决定的．请你据此分析出饱和汽压大小的相关因素．

先考虑温度．当温度升高时，能够跑出液面的分子数有什么变化？由此引起饱和汽分子的密集程度有什么变化？

再考虑液体性质．液体的蒸发有难有易，蒸发难易不同的液体相比较，哪种液体分子容易跑出液面？哪种液体饱和汽分子的密集程度大些？

实验表明：饱和汽压与温度和液体的性质直接相关．温度越高，饱和汽压越大；相同温度下，越容易蒸发的液体，饱和汽压越大．

活动

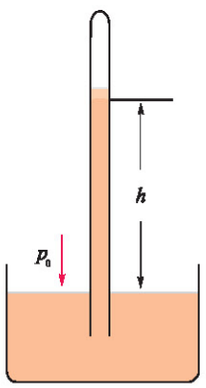


图 3-5-2　研究饱和汽压跟体积的关系

我们可以通过如图 3-5-2 的实验研究饱和汽压与体积的关系．在托里拆利实验装置中，让少许乙醚进入水银柱上方．稳定后，封闭端内将有乙醚的饱和汽，其饱和汽压等于外界大气压 p_0 减去水银柱产生的压强 ρgh，即 $p = p_0 - \rho gh$．当将玻璃管向上提起，或向下插入一些时，可以发现只要水银液面上还有液态的乙醚，稳定后管内水银柱的高度保持不变．这个现象说明了什么？

实验表明：当温度不变时，饱和汽压并不随体积而变化．这是因为，当体积增大时，容器中汽分子的密集程度减小，原来已经饱和的汽变成了不饱和汽，于是液体将继续蒸发，直到蒸汽饱和为止．

空气的湿度

空气的湿度通常用空气中水蒸气的压强来表示，水蒸气的压强越大，湿度也越大．我们把空气中所含水蒸气的压强叫做空气的**绝对湿度**（absolute humidity）．

微信公众号：电子课本大全

实际上，人对空气是干燥还是潮湿的感觉，并不是由空气的绝对湿度来决定，而主要由空气中的水蒸气与饱和状态的接近程度来决定．空气的绝对湿度一定时，水的饱和汽压小，水蒸气距饱和状态近，则水蒸发得就慢些，人就感到空气潮湿；反之，水的饱和汽压大，水蒸气距饱和状态远，则水蒸发得快，人就感到空气干燥．物理学中用相对湿度来描述空气中的水蒸气与饱和状态的接近程度，其定义为：某温度时空气的绝对湿度跟同一温度下水的饱和汽压的百分比，叫做这时空气的**相对湿度**（relative humidity）．

用 p 表示空气的绝对湿度，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

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

因为水的饱和汽压跟温度直接相关，所以，在一定的绝对湿度下，不同温度时的相对湿度并不相同．

空气湿度的影响

空气的湿度对人类和其他动物的生活、植物的生长及工农业生产至关重要．

湿度太小，空气太干燥，人的口腔易干，有的甚至会出现嘴唇干裂，皮肤骚痒，鼻腔出血等现象．湿度过大，空气太潮湿，人身上的汗液难蒸发，会感到沉闷、烦躁和呼吸不畅．

在干燥的环境中，容易因摩擦和碰撞而产生静电火花，容易引发火灾；空气干燥还会对纺织、印刷等工业生产形成不良影响．而在潮湿的环境里，物品容易霉变，金属制品容易锈蚀，病菌容易繁殖和传播．

人类生活和生产对空气的湿度有不同的要求，为了使环境保持适当的温度，可以用抽湿机或加湿器来调节．

小资料

几个比较适宜的相对湿度

住人的房间：45%～65%

水稻在抽穗扬花期：70%～80%

平菇生长期：85%～90%



图 3-5-3 空气干燥使森林火灾容易发生

练习与评价

1. 在托里拆利实验中，水银柱上方的空间是绝对真空吗？为什么？
2. 一个密闭容器中装有一些液体，下列因素中会影响液面上方饱和汽压大小的是（　　）．

A. 温度　B. 体积　C. 液体种类　D. 液体的数量

微信公众号：电子课本大全

3. 下表所列的是在不同的温度下水的饱和汽压，试在图 3-5-4 的坐标系中大致画出水的饱和汽压与温度的关系图像. 根据图像说明饱和汽压与温度的关系是不是线性的，并作出定性的解释（可只利用前 4 组数据作图）.

表 3-5-2　不同温度下水的饱和汽压

温度/℃	0	20	40	60	80
饱和汽压/10^2 Pa	6.11	23.4	73.3	199	473

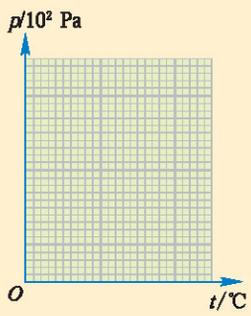


图 3-5-4　$p-t$ 图

4. 你平时怎样判断当日的空气湿度的高低?

5. 蜻蜓低飞往往是下雨的预兆. 怎样解释这一自然现象?

6. 食糖的贮藏对湿度有较高的要求. 有一瓶食糖，如果瓶盖没有密封，则春天时食糖容易发生怎样的变化? 这些食糖在冬天时又会发生怎样的变化?

发展空间

实验室

探究饮水鸟摆动的奥秘

饮水鸟是一种风靡全球的物理玩具，它不用发条和电力就可以来回摆动做饮水动作. 如图 3-5-5 所示，只要先把鸟的头部用水浸湿，同时再提供一小盅清水，鸟就可以不停地来回摆动做饮水的动作，直到小盅中的水变干为止. 饮水鸟来回摆动的奥妙何在呢?


图 3-5-5　饮水鸟

其实，饮水鸟的头和身躯是由两个薄壁玻璃球做成的，两球用玻璃管相通，其内装有极易蒸发的乙醚，如图 3-5-6（a）所示. 制造时，球内的空气已被抽出，乙醚液体上方充满了饱和乙醚汽. 鸟的头部包有一层易吸水的布，启动时，这层布已被水蘸湿. 当布上的水蒸发时，上球的温度和球内的饱和汽压会降低. 由于下球中的饱和汽压大于上球中的饱和汽压，会把下球中的乙醚液体沿玻璃管向上压，从而使整只鸟的重心上移，鸟身前倾，如图 3-5-6（b）所示. 当鸟身转至接近水平时，尾泡中玻璃管口露出液面，两只球中的饱和汽相通，玻璃管中的乙醚液体又流回下球中，如图 3-5-6（c）所示. 接着鸟身又恢复到原来的竖直位置，如此循环往复地进行着. 而鸟嘴则是一根锥形的金属管，其内穿有纱线与鸟头上的布相连. 鸟每次“饮水”时由于纱线的毛细作用，水将沿纱线不断地吸到鸟头布上，使头部蒸发掉的水得到补充.

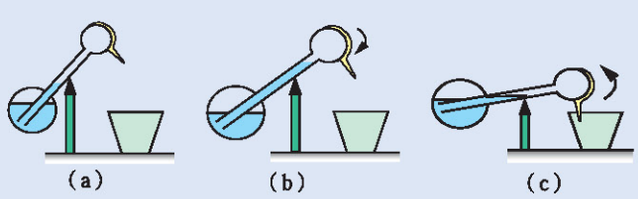


图 3-5-6　饮水鸟的工作过程

微信公众号：电子课本大全

课外阅览

干湿泡湿度计

干湿泡湿度计由两支规格完全相同的温度计组成，一支称为干泡温度计，其感泡暴露在空气中，用以测量环境温度；另一支称为湿泡温度计，其感泡用棉纱包裹，棉纱的下端浸在水中，棉纱中的水不断向周围空气中蒸发并带走热量，使湿泡温度下降，空气的相对湿度越低，棉纱中的水蒸发得越快，导致湿泡温度越低，两支温度计读数之差就越大. 干湿泡湿度计就是通过测量干泡温度和湿泡温度来确定空气的相对湿度的.

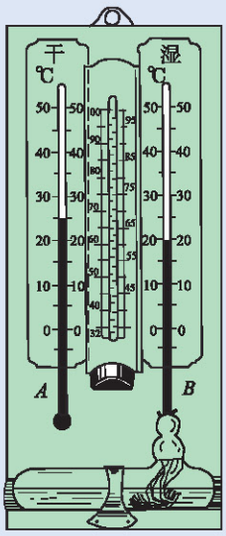


图 3-5-7

露　点

大气中的水蒸气接触到温度足够低的固体，就会在固体的表面凝结成水珠，这些水珠叫做“露”. 水蒸气开始凝结的温度叫做**露点**（dew point）. 这个温度也就是空气中的水蒸气刚好达到饱和时的温度.


图 3-5-8　空气中的水蒸气在固体表面上凝结成露（如果露点低于 0 ℃，水蒸气就直接凝华成霜）

空气潮湿时，露点较高，水蒸气容易凝结；空气干燥时，露点较低，水蒸气不容易凝结. 根据露点与气温的差值，可以判断出空气中水蒸气与饱和状态的接近程度，从而判断出相对湿度的大小.

本章小结

1. 晶体和非晶体　固体可分为晶体和非晶体，晶体又可分为单晶体和多晶体. 晶体具有一定的熔点，而非晶体则没有. 单晶体天然具有规则的几何形状，非晶体天然不具有规则的几何形状. 单晶体具有各向异性，非晶体具有各向同性. 多晶体是由许多小晶粒构成的，每一个小晶粒都具有规则的几何形状，其内部也是各向异性的. 但从整体上看，多晶体不具有规则的天然几何形状，而且表现为各向同性.

2. 晶体的微观结构　在固体内部，微粒的排列非常紧密，微粒之间的引力较大，绝大多数微粒只能在各自的平衡位置附近做小范围的无规则振动. 在晶体内部，微粒按照一定的规律在空间整齐地排列，同种物质的微粒按不同的方式可以排列出不同的晶体结构.

3. 半导体　导电能力介于导体和绝缘体之间的材料叫做半导体. 半导体的电阻率受掺入杂质的影响很大，并对温度和光照极为敏感. 纯净半导体掺入不同的杂质后会形成P型半导体或N型半导体.

微信公众号：电子课本大全

4. 液晶 液晶态是介于固态和液态之间的中间态. 液晶分子没有固定的位置，但有一定的取向. 液晶分子的排列会因温度、压力、摩擦、电磁作用、容器表面的差异等外界的微小变动而发生变化，液晶显示就是利用液晶的这些性质发展起来的.

5. 液体的表面张力 在液体内部，微粒紧密靠近. 微粒的运动是在其平衡位置附近振动，但平衡位置是不断变动的. 液体表面由于具有收缩的趋势而产生的收缩力叫做表面张力. 表面张力会使液体的表面积趋于最小. 表面张力是由于处于液体表面层的微粒相互之间的引力而产生的，其方向与液面平行，与液面上所画的分界线垂直.

6. 饱和汽与未饱和汽 相等时间内回到液体和离开液体的分子数相等时，液体和气体达到动态的平衡. 跟液体处于动态平衡的气体叫饱和汽，而没有达到饱和的气体叫未饱和汽；温度越高，饱和汽压越大；相同温度下，越容易蒸发的液体，饱和汽压越大. 饱和汽压的大小与体积无关.

7. 空气的湿度 空气中含有水蒸气的多少用湿度描述. 绝对湿度用空气中所含水蒸气的压强量度. 某温度时空气的绝对湿度跟同一温度下水的饱和汽压的百分比，叫做这时空气的相对湿度，即 $B=\frac{p}{p_s}\times 100\%$. 相对湿度可以用干湿泡湿度计测量.

习　题

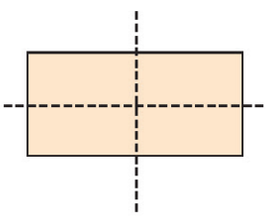
1. 固体和液体分子的运动有什么不同？并以此解释固体和液体性质的区别.

2. 晶体和非晶体在几何形状和物理性质上有什么区别？

3. 如图所示是一块密度、厚度均匀的矩形被测样品，其长度为宽度的 2 倍. 若沿图中所示的两对称轴测得其电阻均为 R，则这块样品（　　）

A. 一定是单晶体　　B. 可能是多晶体

C. 一定是非晶体　　D. 可能是非晶体



（第 3 题图）

4. 半导体和金属在导电性能上有什么区别？

5. 用细管吹肥皂泡，嘴离开细管后，肥皂泡就会缩小. 为什么？

6. 下列现象中，由于液体的表面张力造成的现象是（　　）

A. 船只浮在水面上

B. 钢针浮在水面上

C. 游泳时弄湿了的头发沾在一起

D. 布伞伞面的布料有缝隙但不漏雨水

7. 下列关于饱和汽的说法中，正确的是（　　）

A. 一定温度下，饱和汽压是一 定的

B. 饱和汽压一定随温度的升高而增大

C. 相同温度下，不同液体的饱和汽压一般不同

D. 饱和汽压与液体多少无关

微信公众号：电子课本大全

第四章 能量守恒与热力学定律

- 能量守恒定律的发现
- 热力学第一定律
- 宏观过程的方向性
- 热力学第二定律
- 初识熵

潮起潮落，风起云涌，会形成壮观的海浪. 利用海浪发电，可以启动粒子加速器和电冰箱……天地万物，变化发展，一切都依赖于能量的存在和转化.

自然界本身的发展变化具有一定的方向性，虽纷繁复杂却也有规律可循.



微信公众号：电子课本大全

1 能量守恒定律的发现

在我们的日常生活与学习中，时时刻刻都在与能量打交道．但你思考过没有，你正在使用的能量从何而来？使用的能量又转变成了什么呢？

能量形式与能量转化

讨论交流

当你用手机与远方的朋友联系时，利用的是电磁波，使用的是电磁能．手机中电池储存的是化学能，对电池进行充电时当然需要电能，而这些电能可能来自于机械能（水能、风能等）、内能、核能、太阳能等．这些不同形式的能之间是如何相互转化的呢？

能量的各种形式之间可以相互转化．能量从一种形式转化成另外一种形式，需要一定的条件．这些条件，有的容易实现，有的目前还很难实现．例如利用摩擦很容易把机械能转变成内能；但要利用轻核聚变将核能转变为内能，除了氢弹以外，受控核聚变一直到今天还没有达到应用阶段．

自然界中几种重要的能量形式和它们之间的相互转化可以用图 4-1-1 来表示．

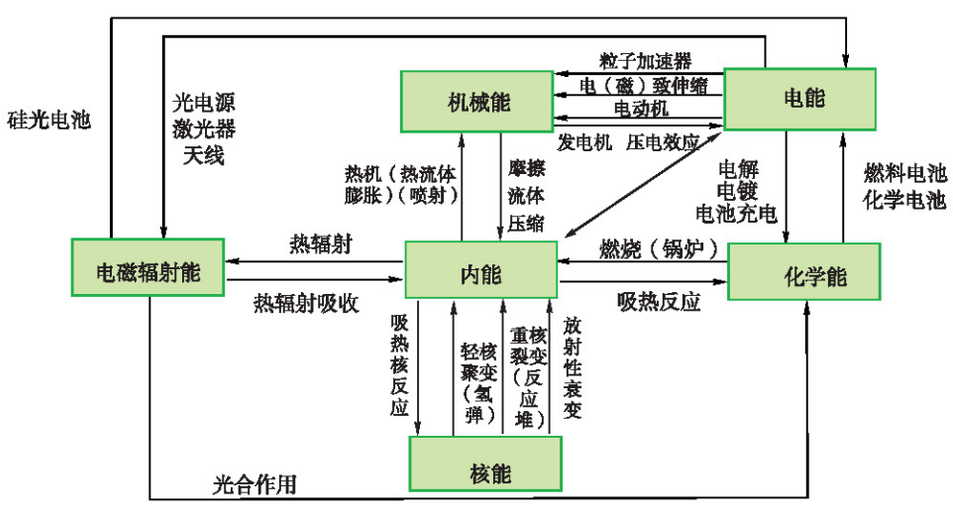


图 4-1-1　几种重要的能量形式及相互之间的转化

微信公众号：电子课本大全

各种能量形式之间的相互转化是否遵循一定的规律？自然科学的发展和技术的进步，为探求这种规律奠定了基础.

能量守恒定律发现的历史背景

蒸汽技术的发展　18世纪初，英国的纺织、冶金、军火、造船等工业迅速发展，同时，动力不足的问题也日益尖锐地反映出来．就是在这种社会需求的推动下，蒸汽机的发明和不断改进，成为英国工业发展的动力．到18世纪80年代，蒸汽机的高度发展和普遍使用，宣告了蒸汽时代的来临.

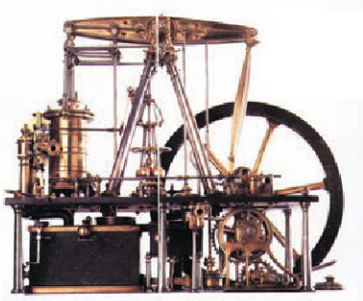


图 4-1-2　18世纪的蒸汽机

蒸汽技术的成就，令人信服地证明了内能可以转化为机械能，极大地推动了热学理论的发展，由此可见，技术的进步对科学的发展也是一种推动.

各种基本运动形式之间普遍联系性的发现　早在17世纪中叶，物理学家就已提出“运动量”守恒的思想．1669年，惠更斯提出“活力”守恒定律，这里的“活力”是指碰撞物体的运动量 mv^2，就是现在所说的动能的2倍.

从18世纪末到19世纪初，各种自然现象之间的普遍联系相继被发现，能的概念被引入．随着电磁学、光学的迅速发展，使得热运动和其他运动形式之间的相互转化具有十分重大的理论和实际意义.

化学、生物学的研究，使人们进一步认识到不同形式的能都是可以相互转化的.



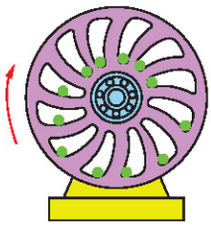
卡诺（Sadi Carnot，1796—1832），法国工程师

1800年伏打（Alessandro Volta，1745—1827）发明了可将化学能转变为电能的伏打电堆．戴维（Humphry Davy，1778—1829）于1808年发明了电弧灯，实现了从电能到光能的转换．1824年卡诺通过对热机原理的研究提出了热功转换的关系．1834年法拉第发现了电化当量，找到了电能与化学能之间的定量转化关系.

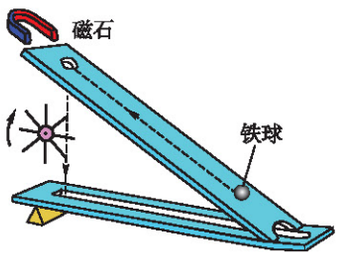
蒸汽技术的发展，各种基础运动形式相互联系及转化的发现，为能量守恒定律的发现奠定了基础.

永动机研制的失败　人们为了满足生产对动力日益增多的需求，曾试图制造所谓的“永动机”——不需要任何动力和燃料，却能对外不断做功．这样的动力装置史称第一类永动机.

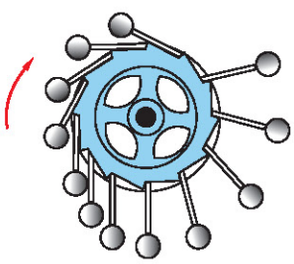
微信公众号：电子课本大全



（a）



（b）



（c）

图 4-1-3　形形色色的永动机

18 世纪，在英国及欧洲各国发展了工业大生产，当时是依靠烧煤加热水获得蒸汽，推动蒸汽机，蒸汽机带动各种机械做功. 机器的大量使用又使一些人研究起“永动机”，例如提出了企图利用轮子的惯性、水的浮力、毛细现象、带电体间的电力、天然磁体的磁力等实现无需提供能量而能永恒运动的种种永动机的方案. 但这些企图最终都失败了.

所有“永动机”研制的失败，促使人们去思考：“如果永恒的运动（永动机）是不可能的，那么在各种自然力之间应该存在什么样的关系呢？”这其实从反面为能量守恒定律的提出提供了证据.

观察思考

图 4-1-3 所示是历史上曾出现过的形形色色的永动机中的几种. 设计者认为它们能“永动”的理由是什么？你能指出其错误在什么地方吗？

能量守恒定律的发现与确立

能量守恒的思想有悠久的历史渊源，能量守恒定律的发现与确立有多方面的原因和条件. 目前科学界公认，能量守恒定律的发现与确立，主要是由迈尔、焦耳和亥姆霍兹完成的.

1839 年，迈尔作为东印度轮船公司的随船医生，乘船从荷兰去印尼的爪哇岛. 给病人抽血时，他发现静脉血比在欧洲时红. 迈尔把这归因于在热带，人体散热少，动脉血中所消耗的氧也较少. 他认为，体力和体热来源于食物中所含的化学能，如果动物体内的能的输入与支出是平衡的，那么，所有这些形式的能在量上就必定守恒. 但是迈尔的观点长期得不到科学界的承认和理解，反而遭到嘲笑和讥讽. 一直到 19 世纪 60 年代以后科学界才开始给予迈尔公正的评价.



迈尔（Julius Robert VonMayer，1814—1878）

完成精确的热量与功之间的数量关系（热功当量）测量并得到举世公认的是英国科学家焦耳. 焦耳的研究工作始于电流的热效应，并于 1840 年得到了焦耳定律. 在此后 30 多年，先后做实验 400 多次，通过磁电机实验，桨叶搅

微信公众号：电子课本大全

拌实验，水通过多孔塞实验，空气压缩和稀释实验等，测得大量热功当量的数据，当时测出的热功当量的数值是 1 cal = 4.18 J *，这一结论为能量守恒定律建立了牢固的实验基础．但在当时，焦耳的工作并没有引起应有的注意．

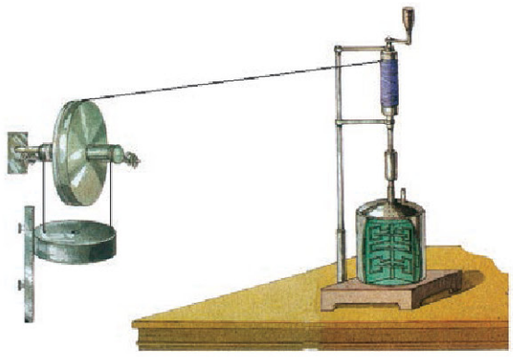


图 4-1-4　焦耳测定热功当量的实验装置



焦耳（James Prescott Joule，1818 — 1889）



亥姆霍兹（Herman Ludwig Ferdinand Helmholtz，1821 — 1894）

1847 年，德国物理学家亥姆霍兹在柏林物理学会议上提出了《论力的守恒》的论文．在论文中，具体阐述了热、功、化学能、电磁能、光能、机械能之间的相互转化与守恒规律，并建立了能量守恒定律的数学公式．亥姆霍兹的论文没有得到会议的认可，被认为是胡思乱想，他给《自然科学年鉴》投稿又被拒绝，无奈之下，自费出版了一本小册子．这本小册子后来被认为是论述能量守恒定律最早也是最好的著作之一．

大量研究表明，自然界的一切物质都具有能量，能量的不同形式对应于物质不同的运动形式．当运动形式发生变化或运动量发生转移时，能量也从一种形式转化为另一种形式，或从一个物体传递给另一个物体，在转化和传递过程中，能量都是守恒的．

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为另一种形式，或者从一个物体转移到另一个物体，在转化或转移的过程中其总量不变．这就是我们在《物理　必修 2》中已经学习过的**能量守恒定律**（law of conservation of energy）．

能量守恒定律的发现与确立被认为是 19 世纪自然科学的三大发现之一．

19 世纪自然科学的三大发现是：能量守恒定律，细胞学说，达尔文的生物进化论．

* 对于热量的单位，目前国际单位制和我国法定计量单位都用焦耳（J）来表示，卡（cal）已不再使用，这个比例关系是历史上的表述．

微信公众号：电子课本大全

20180526-物理选修3-3（p65）.indd 65　2018-5-29 14:02:14

自从能量守恒定律被发现与确立以来，物理学乃至自然科学的每一个理论，首先都必须经受它的检验.

练习与评价

1. 试说明下列过程中能量是怎样转化的.

（1）在水平公路上行驶的汽车，发动机熄灭后，速度越来越小，最后停止.

（2）汽车以恒定的速度在水平路面上行驶.

（3）火药爆炸产生燃气，子弹在燃气的推动下从枪膛中发射出去，射穿一块钢板，速度减小.

（4）跳伞运动员在3 000 m的高空离开飞机，立即打开降落伞，后来他以较低的速率匀速下降.

2. 有一种所谓“全自动”机械手表，既不需要给手表上发条，也不用任何电源，却能不停地走下去. 这是一种新的永动机吗？为什么？

3. 风沿水平方向以速度v垂直吹向一个直径为d的风车叶轮上，风车叶轮旋转所扫过的面积为风车可接受风能的面积. 设空气密度为ρ，风的动能有50%转化为风车的动能，风车又带动水车将水提高h的高度. 设水车效率为80%，求单位时间内最多可提升多少质量的水.

4. 在光滑水平面上停放一木块，一子弹水平射穿该木块. 对此过程，下述说法中正确的是（　　）.

A. 子弹与木块之间的摩擦力对木块做的功等于木块内能的增加

B. 子弹损失的机械能等于子弹与木块增加的内能

C. 子弹与木块之间的摩擦力对木块做的功等于木块动能的增加

D. 子弹损失的机械能等于木块增加的动能和内能之和

发展空间

物理在线

从能量守恒定律发现的历史过程，可以领略到自然规律的奇妙，体会科学家探索自然规律的艰辛，以及科学家在科学研究过程中坚持真理、勇于创新、实事求是的科学态度和科学精神. 请查阅相关的科学史资料和网站，加深对能量守恒定律及其发现历程的理解.

课外阅览

能量守恒定律的贡献

在1850年以后，能量守恒定律成为深入研究蒸汽机原理、研制汽轮机和各种内燃机、发明和改进电机和核动力等的主要理论依据. 这些动力机械的发明和改进，都是以最大限度地提高燃料利用率和热效率为中心展开的.

微信公众号：电子课本大全

能量守恒定律的发现对第一次产业革命（1760—1830）之后，提高蒸汽机的性能，和对第二次技术革命（1831—1888）与产业革命（1881—1914）过程中电机与内燃机的研制及改进起到了重要的指导作用.

能量守恒定律的确立，用能量这一物理量把各种自然现象用定量的规律联系了起来，也在极其广阔的领域中把自然界各种物质运动联系了起来，使不同领域的科学工作者具有一系列的共同语言，并取得了许多重大成就.

能量守恒定律为科学研究提供了方便. 在涉及能量的研究中，可以只关注始末状态的能量值，而避开中间复杂的变化途径和细节.

能量守恒定律不仅在低速、宏观条件下适用，而且在高速、微观世界中也同样适用. 能量守恒定律是最基本、最普遍的自然规律之一，也是自然科学最重要的基本定律之一.

走向社会

能量守恒定律可以用来解释各种自然现象.

1994年7月发生了彗木相撞事件，因而天文学家十分关心小行星是否会与地球相撞. 假如一颗直径1 km的小行星撞击地球，估算其释放的能量（质量约10^{12} kg，速度20 km/s）. 讨论这将给地球造成的危害. 查阅资料，了解人们为了阻止小行星撞击地球，正在研究采用哪些有效的方案？

2 热力学第一定律

热学研究中，由于外界与物体相互作用会引起物体内能的变化. 下面我们分析引起物体内能变化的物理过程.

改变物体内能的两种方式

观察思考

用锯条锯木头，锯条和木头的温度都会升高. 用钻头钻孔，钻头和被钻物的温度也都会升高. 用搅拌器在水中搅动，可以使水温升高（图4-2-1）. 这些现象说明了什么？

外力对物体做功，可以使物体内能增加.

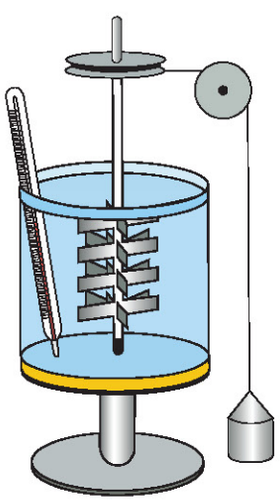


图4-2-1　重力做功通过螺旋叶片旋转使水的温度升高

微信公众号：电子课本大全



图 4-2-2　炉火把水烧开

观察思考

用炉火烧煮食物，锅和火炉周围的物体温度升高了．一杯热水放在桌子上，不断散热，水的温度降低了．请你从能量转化的观点来解释这些现象．

物体的内能改变了，但是并没有发生做功的过程．这种没有做功而使物体内能改变的物理过程叫做**热传递**（thermal transmission）．

可见，能够改变物体内能的物理过程有两种：做功和热传递．



（a）通过热传递，铁片的温度升高，内能增加



（b）做功能使铁片的温度升高，内能增加

图 4-2-3

一定体积的水、一块铁片可以用热传递的方式使它温度升高，也可以用做功的方式（如搅动、锤打）使它升高同样的温度．做功和热传递对物体内能的改变是等效的．

热力学第一定律

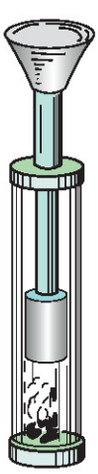


图 4-2-4　压缩气体做功，气体内能增加

功、热量跟内能改变之间的定量关系，在物理学中叫做**热力学第一定律**（first law of thermodynamics）．从能量守恒的角度看，热力学第一定律是能量守恒定律在涉及热现象时的具体表述．

活动

如图 4-2-4 所示，在一个厚壁玻璃筒里放一块硝化棉，迅速压下活塞，可以观察到硝化棉会燃烧起来．硝化棉为什么会燃烧？（由于活塞迅速压下，作用时间很短，可以认为在这个过程中，厚壁玻璃筒与外界没有热量交换）

微信公众号：电子课本大全

一个物体，如果它跟外界不发生热交换，也就是这个物体既没有吸收热量也没有放出热量，那么，外界对它做多少功，它的内能就增加多少．反之，物体对外界做多少功，它的内能就减少多少．设外界对物体做功为 W，物体的内能从 U_1 变化到 U_2，变化量为 $\Delta U = U_2 - U_1$，我们得到两者的关系式为 $\Delta U = W$.

讨论交流

把高压锅放在炉子上烧煮食物，放上压力阀，从常温加热直到压力阀开始冒气的过程中，外界没有对高压锅做功，高压锅也不对外做功，外界不断对高压锅加热，提供的热量转化成了什么？

如果外界既没有对物体做功，物体也没有对外界做功，这时物体吸收了多少热量，它的内能就增加多少．反之，物体放出多少热量，它的内能就减少多少．设物体吸收（或放出）的热量为 Q，同时内能的变化量为 ΔU，我们得到两者的关系式为 $\Delta U = Q$.

如果物体跟外界同时发生做功和热传递的过程，那么外界对物体所做的功加上物体从外界吸收的热量 Q 等于物体内能的增加．由此我们可以得到热力学第一定律的数学表达式

$$\Delta U = Q + W$$

对于这一公式，我们规定：$W > 0$ 是外界对物体做功，$W < 0$ 是物体对外界做功；$Q > 0$ 是物体从外界吸收热量，$Q < 0$ 是物体向外界放出热量；$\Delta U > 0$ 表示物体的内能增加，$\Delta U < 0$ 则表示物体的内能减少．

热力学第一定律告诉我们一个重要结论，即物体从某一状态改变到另一状态时，由于所经历的过程不同，功和热量的数值就不同，但不管经历怎样的过程，如果是从相同的初态改变到相同的终态时，功和热量的代数和（$W + Q$）必定是相同的，而且等于物体内能的变化量 ΔU.

【例题 1】 用活塞压缩汽缸里的空气，对空气做了 900 J 的功，同时汽缸向外散热 210 J．求汽缸中空气的内能改变了多少．

【分析】 外界对空气做功，所以 W 为正；汽缸向外散热，所以 Q 为负．

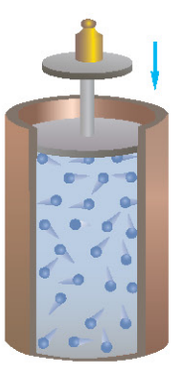


图 4-2-5　活塞压缩空气，对空气做功

微信公众号：电子课本大全

【解】 根据热力学第一定律，汽缸中空气的内能改变量为

$$\begin{aligned}\Delta U &= Q + W \\ &= -210\,\mathrm{J} + 900\,\mathrm{J} \\ &= 690\,\mathrm{J}\end{aligned}$$

ΔU为正，表示汽缸中空气的内能增加了 690 J.

【例题 2】一定量的气体从外界吸收了 2.6×10^5 J的热量，内能增加了 3.6×10^5 J. 那么是气体对外界做了功，还是外界对气体做了功？做了多少功？

【分析】 气体从外界吸收热量，所以 Q为正；内能增加，所以 ΔU也为正.

【解】 根据热力学第一定律，所做的功为

$$\begin{aligned}W &= \Delta U - Q \\ &= 3.6\times10^5\,\mathrm{J} - 2.6\times10^5\,\mathrm{J} \\ &= 1.0\times10^5\,\mathrm{J}\end{aligned}$$

W为正，表示外界对气体做功，且做了 1.0×10^5 J的功.

练习与评价

1. 指出下面各个例子中分别是通过什么物理过程改变物体内能的.

（1）铁丝在酒精灯火焰上灼烧变热；

（2）铁丝来回弯折几下会变热；

（3）陨石进入大气层后变成火球；

（4）太阳能热水器中水的温度升高；

（5）用打气筒打气，气筒壁变热；

（6）用火炉把水烧开；

（7）古人钻木取火.

2. 关于物体内能的变化，以下说法中正确的是（　　）.

A. 物体吸收热量，内能一定增大

B. 物体对外做功，内能一定减小

C. 物体吸收热量，同时对外做功，内能可能不变

D. 物体放出热量，同时对外做功，内能可能不变

3. 做功和热传递对改变物体的内能虽然等效，但从能量转化的观点来看是有区别的. 这种区别是什么？

4. 一系统从外界吸热 600 J，同时系统对外做功 750 J，问该系统内能如何变化，变化了多少？

5. 一定质量的气体从外界吸收热量 3.85×10^5 J，它的内能增加了 2.43×10^5 J. 是气体对外界做功还是外界对气体做功？做了多少功？

微信公众号：电子课本大全

发展空间

走向社会

在日常生活、工农业生产等方面，我们遇到很多有关热传递、做功使物体的内能变化的实例．通过调查说出仅通过热传递使内能变化，或仅通过做功使内能变化，或同时发生热传递、做功使内能变化的例子．

课外阅览

热　机

能够持续地把热（内能）转变成机械能的装置叫做**热机**（heat engine）．

在热机的工作过程中，工作物质（如蒸汽）吸收燃料燃烧所放出的热量 Q_1，内能增加 ΔU，工作物质在膨胀的过程中对外做功 W．但 Q_1 不可能全部转化成对外所做的有用的功，而是有相当一部分热量消耗在周围环境及冷凝器中，这些消耗的热量总和为 Q_2．根据热力学第一定律，热机完成一个循环时，工作物质回到原来的状态，因此 $\Delta U=0$，所以有关系 $Q_1=W+Q_2$．

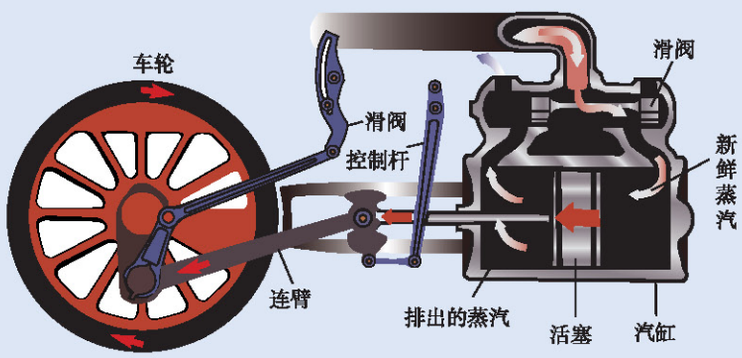


图 4-2-6　蒸汽机的结构示意图

在一个循环中所吸收的热量 Q_1 中只有 Q_1-Q_2 部分转化为有用的功 W，因此热机效率 $\eta=\dfrac{W}{Q}=\dfrac{Q_1-Q_2}{Q_1}=1-\dfrac{Q_2}{Q_1}$，效率总是小于1．除了蒸汽机，热机还有内燃机（汽油机、柴油机等）、蒸汽轮机、燃气轮机、空气喷气发动机、火箭喷气发动机等类型．

如果让热机的工作物质按照逆循环工作，就成为制冷机．制冷机是外界对它做功 W'，在低温处（如电冰箱内）吸收热量 Q_2'，再在高温处（冰箱外）放出热量 Q_1'．在这个循环中，根据热力学第一定律也有关系 $Q_1'=W'+Q_2'$．其制冷的效能可以用制冷系数 ε 来描述，表示制冷机的制冷量 Q_2' 与外界所做的功 W' 之比

$$\varepsilon=\frac{Q_2'}{W'}=\frac{Q_2'}{Q_1'-Q_2'}$$

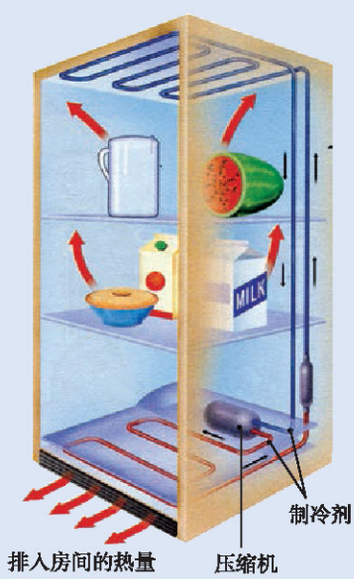


图 4-2-7　电冰箱的结构示意图

微信公众号：电子课本大全

3 宏观过程的方向性

日常生活中，我们经常与宏观热现象接触. 观察这些与热现象有关的变化，你是否想过这些过程的方向性问题呢？

热传递的方向性

热水放在桌子上，会慢慢冷却；冰块放在温暖的室内，会逐渐融化. 这是大家熟悉的事实. 反过来，在相同的自然状态下，冷却的水会不会重新变热？融化的冰会不会重新凝固起来呢？

实验告诉我们，两物体相互接触时，热量总是从高温物体传向低温物体，而不可能自发地从低温物体传向高温物体.

冰箱、空调能使热量从低温处（冷冻室或室内）传向高温处（冰箱外或室外）. 但是一停电，冰箱内或室内的温度马上又会上升，这是为什么呢？

要使热量从低温物体传向高温物体，外界必须对物体做功.

上述事实表明：**热传递具有方向性**.

扩散现象的方向性

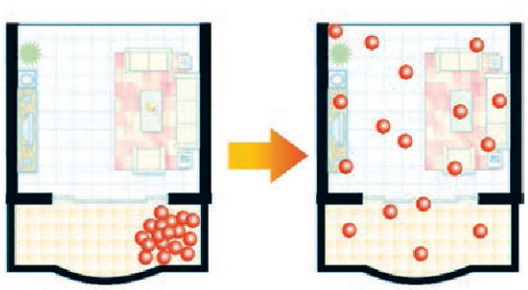


图 4-3-1　香水分子在房间中扩散

大家都知道，在房间一角喷洒一些香水，香水分子将弥散到整个房间（图4-3-1），然而分散的香水分子却不会自动地再聚到房间一角去. 这说明**扩散现象具有方向性**. 图4-3-2 中，一个密闭容器用隔板分成两部分，一边充满氮气，另一边充满与氮气压强相同的氧气. 现在，如果隔板上的小孔被打开，两类分子会自动相互扩散掺和，直到均匀分布

微信公众号：电子课本大全

为止. 然而，氮气和氧气绝不可能在容器里自动分离. 回到一边是氮气，一边是氧气的情况. 这也是气体的扩散现象表现出来的方向性. 一滴蓝墨水滴入清水中，墨水会自发地在清水中扩散，直到它们均匀地掺和在水中为止. 但是这些蓝墨水绝不会自发地聚集成蓝墨水滴. 这表明液体扩散现象也具有方向性.

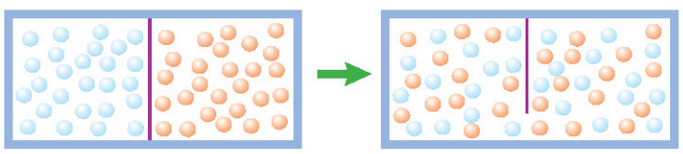


图 4-3-2　混 合

气体的自由膨胀如图4-3-3所示. 开始时气体集中在容器的A部，B部为真空，打开隔板后，气体自由膨胀至B部. 经过一段时间，气体均匀地分布在整个容器之中. 但不可能在没有外加的条件下，出现完全相反的过程，即气体分子自动地全部回到A部，B部重新成为真空. 气体的自由膨胀也是一种扩散现象，具有方向性.

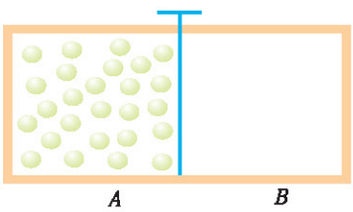


图 4-3-3　自由膨胀

机械能与内能转化的方向性

一个物体在水平面上运动，由于克服摩擦力做功，慢慢地停了下来. 在这个过程中，物体的动能转化为物体与地面的内能，这是人们常见的事实.

活动

如果一个 10 kg 的西瓜温度降低 0.1 ℃，大约会放出 4 kJ 的热量. 这个能量如果都转化为西瓜的动能，就可以使西瓜蹦高约 40 m！如果能出现这种怪事，田里的西瓜就用不着搬运，自己会跳到车上去了（图 4-3-4）. 根据理论计算可知，这种事情发生的可能性只有 $10^{-(4\times10^{23})}$，实际上这是不会发生的. 那么，这个事实包含的物理本质是什么呢？

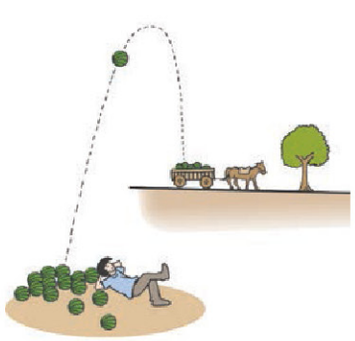


图 4-3-4　西瓜会自己蹦到车上去吗

静止在水平面上的物体，绝不可能通过降低物体或地面的温度，使静止的物体运动起来，即物体的内能不会自发地转化为物体的动能.

微信公众号：电子课本大全

1824 年，法国工程师卡诺提出了理想热机的模型．热机仅仅工作于一个热源和一个冷源之间，即从高温热源吸热，向低温热源放热，对外提供有用功．假如热机从高温热源吸收热量 Q_1，向低温热源放出热量 Q_2，对外做功 W，热机的效率 η 为

$$\eta=\frac{W}{Q_1}=1-\frac{Q_2}{Q_1}$$

实际上，热机总有一部分热量 Q_2 要向低温热源释放，即 $Q_2\neq 0$，所以，热机的效率不可能达到 100%．也就是说，内能不可能全部转化为机械能，而不产生其他影响．**机械能与内能之间的转化存在着方向性**．

其他过程的方向性

燃烧现象　煤和有机物燃烧，能放出大量的热，这是碳和碳氢化合物氧化的过程．煤渣、灰烬和二氧化碳等废气不可能自动地重新变成煤、有机物和氧气．这表明**燃烧过程也具有方向性**．

爆炸现象　一颗炸弹爆炸，建筑物倒塌，到处都是残垣断壁．然而，那些残垣断壁、碎砖烂瓦会自动地重新复合成整齐完好的建筑物吗？显然不会发生！这就是说**爆炸过程也具有方向性**．

活动

具有方向性的过程在我们的日常生活中都广泛地存在着，列举几种过程，并分析其变化的方向性．

上述种种过程都有一个共同的特点，它们只沿某个方向发生，而不可能在没有外界影响（或不产生其他影响）的情况下沿相反方向发生．这些过程我们称之为**不可逆过程**（irreversible process）．

微信公众号：电子课本大全

练习与评价

1. 下列过程是可逆的还是不可逆的？为什么？

（1）在一绝热的容器里盛有液体，不停地晃动液体，使液体的温度升高.

（2）在一个可以传热的容器里盛有液体，容器放在一个很大的恒温池中，不停地搅动液体仍然可以保持温度不变.

（3）把放在绝热容器里的不同温度的液体进行混合.

（4）卡车突然刹车，轮胎摩擦生热.

（5）冬天阳光照暖身体.

（6）处在真空中的物体在光滑水平面上做匀速直线运动.

（7）热量从高温物体传递到低温物体.

（8）两种不同的气体可以通过扩散成为一种均匀的混合气体.

2. 点燃一些纸片，一会儿纸片就变成了灰烬；而这个过程的逆过程是出现一些纸灰，慢慢地伴随着火焰纸灰恢复成纸片. 这样的情形肯定被认为是荒唐的，你还能再举出一些类似的例子吗？一杯热水放在桌上一段时间，就变成了凉水；而一杯凉水也能通过加热变成一杯热水. 请你再列举些类似的能反向发生的过程，指出这些过程正、反向发生时的区别.

发展空间

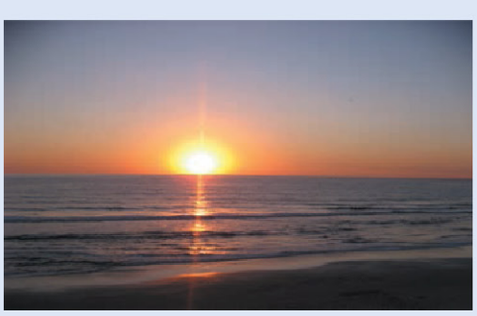
课外阅览

从概率的角度来分析自由膨胀过程

在图4-3-3中，如果只有1个分子，在隔板抽去前只能在A部，即粒子只有一种微观状态；把隔板抽去后，它处于A、B两部的机会是均等的，所以在A部的概率是$\frac{1}{2}=\left(\frac{1}{2}\right)^1$，即粒子有处于$A$部或$B$部2种微观状态. 如果系统有2个分子，可以分析得到2个分子都在A部的概率是$\frac{1}{4}=\left(\frac{1}{2}\right)^2$，即两个粒子共有4种微观状态. 假设容器中有1 mol气体，分子数有6.02×10^{23}个. 请你通过概率分析说明这时全部分子都在A部的概率是多少. 这种现象有可能发生吗？

物理在线

学习了热力学第一定律后，我们明白了第一类永动机不可能制成的原因. 在历史上人们又对永动机提出了第二种设想，我们不牺牲任何代价使处于环境温度附近的大气、海洋的温度稍微降低一点，把释放出来的热量全部用来做功，将可以为人类提供大量的能量，这就是第二类永动机. 这并不违背热力学第一定律，那么第二类永动机能制成吗？上网查阅相关资料并与同学交流.



4-3-5　地球表面被浩瀚的海洋覆盖，如果海洋的温度能自动降低1℃，由此释放出的热量足够全世界使用4 000年，只是这可能实现吗

微信公众号：电子课本大全

4 热力学第二定律

自然界中的宏观过程都具有方向性，对这种客观现象我们还可以寻找出其一般的规律.

我们已经知道各种不可逆过程具有的共同特征，从这些共同特征中可以总结出一个自然界所遵循的基本规律，这就是**热力学第二定律**（second law of thermodynamics）.

热力学第二定律的克劳修斯表述



克劳修斯（Rudolf Clausius，1822—1888）

1850 年，德国物理学家克劳修斯根据热传递过程的不可逆性提出了热力学第二定律的一种表述：**不可能把热量从低温物体传递到高温物体而不产生其他影响**. 要注意热力学第二定律的克劳修斯表述不能简单地说成是“不可能把热量从低温物体传递到高温物体”，其实这是可能的.

讨论交流

设想一种使热量从低温处流向高温处的技术设备，说明这种设备是否违反了热力学第二定律的克劳修斯表述，应如何准确地理解“不产生其他影响”的含义？

热力学第二定律的开尔文表述



开尔文（Lord Kelvin，1824—1907）

1851 年，英国物理学家开尔文根据功热转化的不可逆性指出：**不可能从单一热源吸取热量使之全部变为有用的**

微信公众号：电子课本大全

功而不产生其他影响. 同样，热力学第二定律的开尔文表述不能简单地说成是“不可能从单一热源吸取热量使之全部变为有用的功”.

热力学第二定律的表述不是惟一的，而且进一步的研究可以证明，热力学第二定律的各种不同的表述都是等价的.

讨论交流

热力学第二定律中的开尔文表述是不是意味着在可以产生其他影响的条件下，从单一热源吸取热量使之全部变为有用的功是可能的呢？这里“产生其他影响”指的是什么？根据热力学第二定律的开尔文表述，可以解释第二类永动机也是不可能制成的，试加以讨论.

小资料

假设某一系统吸收空气或海水中的热量，对外部做有用功，而又回返到初态. 如此周而复始地反复进行，永不停止. 该系统称为第二类永动机.

历史上有不少人，不懂得遵循科学规律，盲目地为发明和制造永动机耗费了大量的物力和人力，结果均以失败告终. 直到今天仍然还有一些人不遗余力地梦想发明、制造永动机，实在是一种违背科学原理的异想天开.

练习与评价

1. 室外比室内冷的时候热量传递的方向是怎样的？室外热的时候呢？解释热量传递如何体现了热力学第二定律？

2. 根据热力学第二定律，下列说法中正确的是（　　）

A. 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

B. 热机不可能把从某一热源吸的热全部变成有用的功

C. 热量能够从高温物体传到低温物体，也可能从低温物体传到高温物体

D. 机械能可以全部转化为内能，内能也可能全部转化为机械能

3. 在制冷机的运转中，热量是从热区流向冷区还是从冷区流向热区？这种流动是自发的还是需要外界的帮助？是否违反热力学第二定律？

4. 你能设计一种可以利用海洋的内能驾船漂洋过海而不违反热力学第二定律的装置吗？

微信公众号：电子课本大全

发展空间

课外阅览

热力学第二定律对热机技术发展的贡献

在热学中运用数学推导，可以得到卡诺理想热机的效率公式为$\eta=\frac{T_1-T_2}{T_1}=1-\frac{T_2}{T_1}$，其中$T_2$为低温热源的温度，$T_1$为高温热源的温度.

热机的效率会受到热机高温热源的温度与低温热源的温度的影响，而且两者之间的温差越大，热机的效率越高. 由于低温热源温度不容易降低，因此，提高高温热源的温度成为提高热机效率的有效途径.

根据热力学第二定律和其他热学的相关定理，研究得到，汽轮机的效率取决于蒸汽入出口的温度比. 因此，设法提高蒸汽入口温度，降低出口温度，可以大大提高汽轮机的效率. 目前大型的汽轮机蒸汽入口温度为 400 ℃左右，热机效率达到 35%～40%.

喷气发动机和火箭在原理上都是靠燃气高速向后喷射所产生的推力推动前进的，热力学原理对于效率的提高有着重要的指导作用.

热力学定律对热机技术发展的贡献，可以使我们认识到科学对技术的推动作用.

5 初识熵

熵的概念

观察思考

学生做早操，队伍排得整齐有序，做完早操解散后，操场上学生向各个方向走动，队伍就乱了. 马路上人、车分道，又有交通规则约束，交通就比较有秩序；如果人、车各行其是，交通就会一团糟. 固体熔化，液体蒸发，分子的排列逐步趋向于分散和混乱. 一碗米中掺入一把沙子，或

微信公众号：电子课本大全

两种气体相互混合，都很难把它们“再”分离．这些从有序向无序的变化过程，都有一个共同的特征，那就是如果没有外界条件的干预，系统是不会自动回到原来的状态的．这些现象所反映的本质是什么呢？

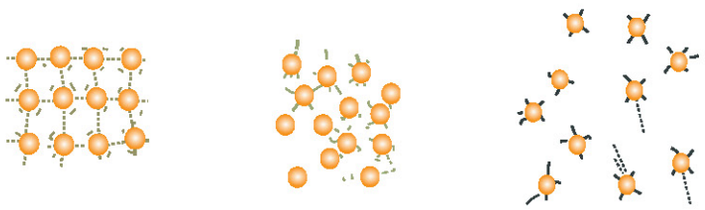


图 4-5-1　水的三种状态的微观结构与无序程度

在热传递中，热量总是自发地从高温处传递到低温处，热传递的后果总是使得系统的温度分布趋于均匀化．因此，热传递过程的方向性或不可逆性可以用温度作判据．功热转化总是从系统相对比较有规则的机械运动向微观分子无规则的运动方向进行．因此，功热转化的方向性可用分子运动的规则性作判据．扩散总是从物质密集向稀疏方向进行，扩散的后果总是使物质分子的密集程度分布趋于均匀化．因此，扩散过程的方向性可用分子的密集程度作判据．

我们可以把上述几种不可逆过程的进行方向列表进行比较，如表 4-5-1 所示．

表 4-5-1　几种不可逆过程状态变化的比较

过程	系统状态	
	过程开始前	过程结束后
热传递	温度不均匀分布（差异）	温度均匀分布（无差异）
功热转化	宏观有规则的机械运动	大量分子无规则运动
扩散	物质集中	物质分散

从表4-5-1可以看出，不可逆过程总是系统从有差异的状态向无差异的均匀状态过渡，从有规则向无规则过渡，从集中向分散过渡．物理学上把系统的有差异的不均匀、有规则、集中说成有序，把系统的无差异的均匀、无规则、分散说成无序．同时，定义熵（entropy）这个物理量代表系统的无序性程度．无序性大，熵大；无序性小，熵小．这样一来，就可以用熵统一描写不可逆过程的走向．

微信公众号：电子课本大全

对熵的进一步认识

回顾前面对一系列不可逆过程的研究，我们实际上已经对熵这个物理量有了一定的认识．现在我们要进一步了解熵．

观察思考

如图 4-5-2（a）所示，盒子的外壁是绝热的．A 部分中分子热运动的平均动能大，温度高；B 部分中平均动能小，温度低．现将两部分气体接触，由热力学第二定律可以知道，热量会从 A 部分向 B 部分传递，这一过程一直持续到两部分之间不再有温差为止，如图 4-5-2（b）所示．从微观的角度分析，相接触的 A、B 两部分中分子运动的平均动能是变得更有差异，还是趋向于无差异？

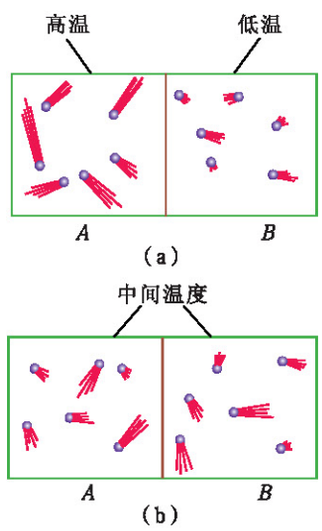


图 4-5-2　热量传递的一种微观过程

熵是系统无序度的量度　从分子运动速率分布规律来分析，热气体与冷气体的区别在于：热气体中的分子平均来说以较大的动能运动（尽管不同的分子具有不同的动能），而冷气体中的分子平均来说以较小的动能运动［图 4-5-2（a）］；当 A、B 两部分相接触时，热量从热气体向冷气体传递，热气体中分子的平均动能减小，冷气体中分子的平均动能增大［图 4-5-2（b）］，这个过程一直持续到 A、B 两部分达到相同的温度为止．这时，就不再有开始时的那种差别了．从微观的角度看，这时盒子里分子的无规则运动趋向无差异、均匀化．从扩散的微观现象分析中，我们已经知道，均匀化对应着较多的微观状态，微观状态越多，意味着越混乱，或者说更加无序了，也就是熵增加了．

如果系统所处的状态比较有序，亦即无序度（或称混乱度）较小，其熵值较小；而系统所处的状态比较无序，亦即无序度较大，则其熵值较大．

熵是不可逆过程的共同判据　在前面讨论过的不可逆过程中，每一个不可逆过程对应有一个判据．热传导的方向性（或不可逆性）的判据是温度；功热转化的方向性的判据是分子无规则运动的剧烈性；扩散过程的方向性的判据是分子的密集程度．这些判据从不同的角度反映系统的自发过程总是从有序向无序变化的规律．因为熵是系统无序

微信公众号：电子课本大全

度的量度，所以可以用熵作为一切不可逆过程的共同判据.

熵是系统状态的函数　我们已经知道，一定质量的物体系统，温度一定，内能就一定. 从对不可逆过程的研究中，我们也知道一种状态对应一个熵值. 如一块完整的玻璃有一个熵值，打碎的玻璃另有一个熵值；0 ℃的冰有相应的熵值，变为0 ℃的水后，对应不同熵值；水在不同温度有不同熵值. 熵与系统状态对应，因此，熵可以看做系统状态的一个函数，通常用 S 表示.

熵增原理

热力学第二定律是关于自然过程进行方向的基本定律. 在热传递现象中，系统自发地从温度不均匀趋向均匀；在功热转化过程中，系统自发地从宏观有规则的机械运动趋向微观分子的无规则运动；在扩散现象中，系统自发地从物质集中趋向分散. 所有这些过程的方向性可以表述为一条原理：**孤立系统的熵总是增加的，或者孤立系统的熵总不减少**，这就是**熵增原理**（principle of entropy increase）. 若以 S 代表这个系统的熵，ΔS 代表过程中熵的变化，则熵增原理可以表示为 $\Delta S \geqslant 0$. $\Delta S = 0$ 对应系统已处于平衡态（状态已不随时间变化）；$\Delta S > 0$，表示孤立系统的任何一个过程熵总是增加的. 熵增原理其实就是热力学第二定律的另一种表述，也是热力学第二定律最基本的表示式.

这里所说的“孤立系统”是指与外界既没有物质的交流，也没有能量的交换，因而是与外界没有任何联系的系统.

熵增是孤立系统内部实际发生的过程的必然趋势.

熵的概念和熵增原理，在自然科学和社会科学领域中都被引用. 如系统科学、经济学、哲学、文学、艺术以及历史学、宗教学等学科中，都不同程度地引进了熵的理论及耗散结构理论（开放系统的熵理论）来研究本学科及综合学科的许多重大问题，并且获得了新的启示和发展.

观察思考

图书馆书架上按一定顺序摆放着一排排图书，如果一不小心把书架弄倒了，图书全部掉到地上而变得杂乱无章，按照一定的规律重新排列起来得花费时间和精力. 房间里把物品搞乱很容易，但要收拾整齐就费工夫了. 这些都是熵增加的过程. 桌子上有一个花瓶，落到地面上，打得粉碎，这个现象不可逆，也是一个熵增加的过程.

此外，我们日常生活中碰到的现象，如衣服脏了，木头腐烂了，金属生锈了，等等，也是熵增过程吗？为什么？

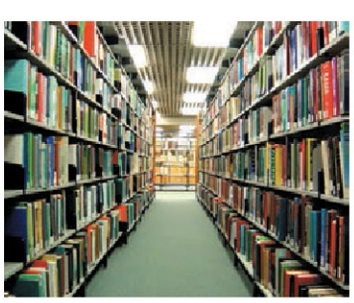


图 4-5-3　图书馆中书架上图书的排放是有序的

微信公众号：电子课本大全

应当指出，熵增是孤立系统内部实际发生的过程的必然趋势. 对于其中某个子系统而言，却可以发生相反的过程，即向熵减小的方向进行，亦即无序度减小；但是，这必然会引起周围其他部分的熵增得更多，更加无序. 因而，作为整个孤立系统来说，总熵仍然是增加的，系统变得更加无序了.

练习与评价

1. 用熵的概念解释下列现象.

（1）橙汁与葡萄汁混合时，熵增加吗？

（2）在一本书掉到地板上这一过程中，能量是否守恒？熵是否增加？

（3）当一种物质凝固时，它由液态变成更为有序的固态，这一过程违反熵增原理吗？试解释之.

（4）假如你利用周末整理房间，把房间整理得更为整齐有序. 这时宇宙的熵是增加，减少还是不变？

（5）水里放糖，描述系统的两种可能的分布. 哪一种分布熵更大？为什么？根据热力学第二定律，糖放入水中后会发生什么变化？持久的平衡是什么分布？

2. 把6只黄蜂放在两个房间，使之成一个（5，1）分布. 如果给两个房间之间打开一个小窗口，确定有多少个机会从（5，1）分布变为（4，2）分布？反过来，又有多大可能性从（4，2）分布变为（5，1）分布？在此基础上，试着判断这两种分布哪一种熵更大.

发展空间

“和平号”空间站坠落过程

“和平号”空间站已于2001年3月23日成功地坠落在南太平洋海域. 坠落过程可简化为从一个近圆轨道（可近似地看做圆轨道）开始，经过与大气摩擦，空间站的绝大部分经过升温、熔化，最后汽化而销毁，剩下的残片坠入大海. 在此过程中，空间站原来的机械能，除一部分用于销毁和一部分被残片带走外，还有一部分能量E'通过其他形式散失（不考虑坠落过程中化学反应的能量）.

1. 试导出用以下各物理量符号表示的散失的能量E'的公式.

（1）坠落开始时空间站的质量$M = 1.17 \times 10^4$ kg；

（2）轨道离地面的高度$h = 146$ km；

（3）地球半径$R_{地} = 6.4 \times 10^6$ m；

微信公众号：电子课本大全

（4）坠落空间范围内重力加速度可看做 $g = 10\ \mathrm{m/s^2}$；
（5）入海残片的质量 $m = 1.2 \times 10^4\ \mathrm{kg}$；
（6）入海残片温度升高 $\Delta t = 3\,000\ ℃$；
（7）入海残片的入海速度为 $v = 340\ \mathrm{m/s}$；
（8）空间站材料每千克升温 1 ℃，平均需要热量 $Q = 1 \times 10^3\ \mathrm{J}$；
（9）每销毁 1 kg 材料平均所需能量 $\mu = 1.0 \times 10^7\ \mathrm{J}$.
2. 算出 E 的数值（结果保留两位有效数字）.

课外阅览

熵给我们的启示

现在，熵的概念已经远远超出了其作为一种具体科学概念的范畴，也超出了从狭义理解的作为系统演化的判据，而被赋予认识论和方法论方面的具有普遍性的意义.

有经济学家认为，生产是进化，是以形成高熵“废物”为代价而生产出高度有序的低熵产品. 消费意味着向无序发展，是熵增加过程. 矿石成为钢铁，小麦成为面包，当然更趋有序；而机器变成废铁，食品成为排泄物，无疑是在增加熵. 炼铁的生产过程，从熵理论的观点看，炼成的是低熵状态的铁，但同时产生了高熵的废渣、废气和大量的能量消耗，整体的熵仍是增大.

用熵理论来讨论环境和资源问题时可以认为，每当我们加快人或机械的能量消耗速度时，熵的减小或产品价值的提高便会在整个环境中的其他地方引起更严重的混乱，即引起熵的增大. 经济活动是人类对生态循环的干预，它靠吸收环境的低熵而排出高熵. 如果人类社会以高于自然本身转化的速度摄取低熵物质，产生高熵的废物，那么整个生态的熵赤字就会上升，同时，可供未来人类和动物受用的物质也就不断地减少.

人类必须科学地发展，才能实现可持续发展，这是熵理论给我们的启示.

耗散结构

耗散结构（dissipative structure）是20世纪60年代比利时科学家普里高津提出的.


普里高津（Ilya Prigogine，1917—2003）

长期以来，人们研究的重要对象是平衡系统的有序稳定结构，如晶体、液体等平衡结构. 这些系统在温度比较低的条件下，组成它们的分子呈有序排列，保持着一种稳定的结构. 系统内部的热运动只能使分子在平衡位置附近振动，而不能破坏系统整体的有序状态. 只有在温度不断增加，达到某一特定的值之后，原有的有序稳定状态才会被破坏，产生相变.

一般认为，若系统原先处于一种混乱无序的非平衡状态，是不可能在这种状态下出现稳定有序的结构的. 以普里高津为首的布鲁塞尔学派经过长期研究后指出：一个远离平衡的开放系统（包括物理的、化学的、生物的，甚至社会的）在外界条件变化达到一定水平时，系统通过不断地与外界交换能量和物质，就有可能从原来的无序状态转变为一种时间、空间或功能有序的状态，这种非平衡状态下的新的有序结构，称为耗散结构.

微信公众号：电子课本大全

本章小结

1. 能量守恒定律 自然界存在着多种多样的能量形式，能量的不同形式之间在一定的条件下可以相互转化，并且在转化过程中总量守恒. 也可表述为：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为另一种形式，或者从一个物体转移到另一个物体，在转化或转移的过程中其总量不变.

2. 热力学第一定律 做功和热传递在改变物体的内能方面是等效的. 如果物体跟外界同时发生做功和热传递的过程，那么外界对物体所做的功 W 加上物体从外界吸收的热量 Q 等于物体内能的增加 ΔU. 数学表达式为 $\Delta U = Q + W$.

3. 不可逆过程 一些宏观过程如热量传递、功热转化、扩散现象等都具有方向性. 这种只沿某个方向发生，而在没有外界影响（或不产生其他影响）的情况下不可能沿相反方向发生的过程，叫做不可逆过程.

4. 热力学第二定律 常见的热力学第二定律的两种表述为克劳修斯表述：不可能把热量从低温物体传递到高温物体而不产生其他影响；开尔文表述：不可能从单一热源吸收热量使之全部变为有用的功而不产生其他影响.

5. 熵 熵是反映系统无序程度的物理量，是不可逆过程的共同判据. 熵是系统状态的函数.

6. 熵增原理 熵增加是孤立系统内部实际发生的过程的必然趋势. 或者说，孤立系统的熵总是增加的.

微信公众号：电子课本大全

习　题

1. 在一个标准大气压下，1 g 100 ℃的水吸收 2 264 J 的热量变为同质量 100 ℃的水蒸气，在这个过程中，以下四个关系中正确的是（　　）.

A．水蒸气的内能与水的内能之差等于 2 264 J

B．水蒸气的内能与水的内能之和等于 2 264 J

C．水蒸气的内能与水的内能之差小于 2 264 J

D．水蒸气的内能与水的内能之差大于 2 264 J

2. 一个气泡从恒温水槽的底部缓慢地向上浮起，则（　　）.

A．气泡对外做功，内能不变，同时放热

B．气泡对外做功，内能不变，同时吸热

C．气泡内能减少，同时放热

D．气泡内能不变，因此，不吸热也不放热

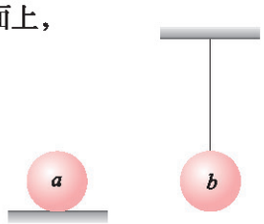
3. 如图所示，两个完全相同的金属球 a、b，其中 a 放在不导热的水平面上，b 球用不导热的细线悬挂起来，现两球吸收相同的热量，它们的温度分别升高了 Δt_a、Δt_b，则（　　）.

A．$\Delta t_a > \Delta t_b$

B．$\Delta t_a < \Delta t_b$

C．$\Delta t_a = \Delta t_b$

D．无法比较



（第 3 题图）

4. 某校中学生参加电视台“异想天开”栏目的活动，他们提出了下列四个设想方案，从理论上讲可行的方案是（　　）.

A．城市上空的气温比周围要高，形成了所谓的“热岛效应”，利用这个热源来进行发电

B．发明一种装置，把在繁华的马路上，行人走路时消耗的一部分能量转化为电能

C．汽车尾气中各类有害气体排入大气后，严重污染了空气，想办法使它们自发地分离开，既清洁了空气，又变废为宝

D．将屋顶都盖上太阳能板，可直接用太阳能来解决家庭照明和热水供应问题

5. 黄果树瀑布落差达 74 m，设下落过程中重力势能全部转化为水自身的内能，求每千克水在下落过程中温度升高多少.

6. 若对物体做 1 200 J 的功，物体与外界无热量交换，可使物体温度升高 3 ℃. 那么，如果对该物体做 3 000 J 的功，物体的温度升高了 5 ℃，则该过程中，物体是吸热还是放热？吸收或放出了多少热量？

7. 冬季，由于温度太低，摩托车很难启动（在农村启动 195 型拖拉机时也会遇到类似情况）. 这时驾驶者往往先关闭油门，连续踩下启动摇杆若干次，然后再打开油门，再踩下启动杆就可启动，为什么？

8. 将两块 0 ℃的冰互相摩擦，两者之间的摩擦力为 9.8 N，两者的平均相对速度为 3 m/s，如果所做的功全部用来使冰熔化，那么摩擦 5 min 可以熔化多少冰？（冰的熔化热为 3.4×10^5 J/kg）

9. 一个与外界没有热量交换的汽缸中密封有一定质量的气体，现用外力压缩活塞，使活

微信公众号：电子课本大全

塞对气体做功 2×10^5 J，气体的内能将如何改变？改变多少？

10．试解释不可逆过程并不违反热力学第一定律．

11．一木块沿着光滑斜面下滑的过程是热力学不可逆过程吗？这是否意味着木块不可能沿着光滑斜面往上滑？

12．用钻头在铁块上钻孔时，注入 20 ℃的水 5 kg，10 min 后，水的温度上升到 100 ℃，同时有 1 kg 的水变成了水蒸气．如果已知钻头做功的功率为 10 kW，求钻头消耗的能有百分之几变成了水和水蒸气的内能．[水的比热容 $c = 4.2 \times 10^3$ J/（kg·℃），100 ℃时的水的汽化热 $l = 2.3 \times 10^6$ J/kg]

13．要把质量为 1000 kg 的卫星发射到地球附近的圆形轨道上．如果燃料完全燃烧产生的热量有 1% 转化为卫星在轨道上运动时的动能，试求燃料的质量 m 至少为多少．（地球半径 $R = 6\,400$ km，燃料热值 $q = 6.4 \times 10^7$ J/kg，$g = 9.8$ m/s^2）

14．取一个横截面积是 3×10^{-2} m^2 的不高的圆筒，筒内装水 0.6 kg，某天中午在太阳光照射 20 min 后，水的温度升高了 10 ℃．

（1）试估算太阳光转化为内能的功率．

（2）若地表植物接收太阳能的能力与水相同，绿色植物在光合作用下每吸收 1 kJ 的太阳能可放出 1.05 L 的氧气．地表植物面积占地表面积的 31%，则地表植物每秒可放出氧气多少升？

微信公众号：电子课本大全

第五章 能源与可持续发展

- 能源与人类生存的关系
- 能源利用与环境问题
- 可持续发展战略

能源是人类赖以生存与发展的重要物质基础. 目前，人类主要使用的化石能源（煤、石油、天然气等）已面临枯竭，化石能源的使用还带来了严重的环境问题. 你看，饥渴万分的骆驼正在穿越燃烧着的油田，去寻找牧草和未污染的水！如何开发新能源、保护生态环境，已成为人类社会可持续发展的重大课题.



微信公众号：电子课本大全

1 能源与人类生存的关系

现代社会，人口剧增，生产力迅速发展，能源消耗急剧增加，能源对人类生存和社会进步会产生什么影响呢？



图 5-1-1 开采露天煤矿

能源及其分类

能源（energy sources）是指能够提供能量的自然资源．任何物质都具有能量．但是只有比较集中而又较易转化的物质和可以直接利用的能量资源才能用作能源．

社会生产力的发展与能源的开发利用有着极为密切的关系．能源的开发和转换技术是科学技术的重要组成部分．

能源有多种多样的分类方法．

一次能源和二次能源 一次能源是指直接来自自然界的未经加工、转换的能源，有时也叫初级能源，如原煤、原油、天然气、生物燃料、油页岩、水能、核能、太阳能、海洋能等．二次能源是指由一次能源直接或间接加工、转换而来的能源产品，如煤气、汽油、焦炭、电能、蒸汽、热水、沼气等．



图 5-1-2 海上石油开采

再生能源和非再生能源 一次能源还可分成再生能源和非再生能源．再生能源具有天然的自我恢复能力，不会随本身的转化或人类的利用而日益减少，如水能、风能、太阳能、地热能等．非再生能源是指必须经历地质年代才能形成而短期内无法再生的能源，如原煤、石油、天然气、核能等．它们将越用越少，但它们又是人类目前主要利用的能源．

常规能源和新能源 常规能源（又称传统能源）是指当前开发技术上比较成熟、使用比较普遍的能源，如原煤、石油、天然气、水能、核裂变能等．新能源是指新近才开始大规模利用的，或正在研究以便广泛推广使用的能源，如核聚变能、太阳能、氢能、地热能、风能、海洋能等．

目前人类使用的能源以常规能源为主，主要是原煤、石油、天然气等非再生能源，这些能源在使用时都会污染环境．

小资料

事实上，太阳能是地球上除核能外的所有能量的来源．

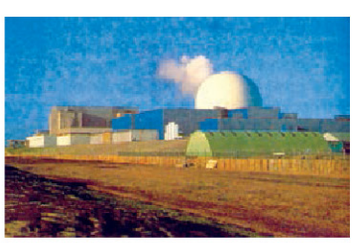


图 5-1-3 核电厂

能源与人类文明

人类约在 50 万年前就学会了使用火．火的使用和取火

微信公众号：电子课本大全

方法的发明，标志着人类第一次设法利用自然能源为自身服务，并且在人类走向文明的进程中起到了巨大的推动作用.

18世纪的产业革命中，蒸汽机成为生产的主要动力，工业得到迅猛发展，生产力得到极大提高. 19世纪末，电力成为工业的主要动力，也成为人类生活所不可缺少的动力. 这个时期的蒸汽机、电力主要依靠煤炭作为主要能源.

20世纪50年代后，主要能源转换为石油和天然气，人类因此创造了历史上空前的物质文明.

能源不但是主要的动力来源，而且是国民经济的重要基础. 如以石油为原料提炼加工可以得到塑料、合成纤维、人造橡胶、化肥、农药、人造革、染料、炸药、香料、糖精、医药等各种制品.

人们的日常生活处处离不开能源，人们的衣、食、住、行、文化娱乐、医疗卫生等都与能源密切相关.

讨论交流

据统计，1994年高收入国家年人均能耗为5.006 t标准油，中等收入国家为1.475 t标准油，低收入国家为0.369 t标准油，世界年人均耗能数量为1.433 t标准油，我国年人均能耗为0.664 t标准油. 生活最富裕的北美地区比贫穷的南亚地区年人均能耗要高55倍. 这一统计数字所包含的意义是什么？请从不同的角度谈谈你的看法.

标准油是各种能源按所能释放能量进行计量时的换算当量，相当于“称量”能源量的“砝码”. 1kg标准油相当于42.62MJ.

从一个国家人民的年人均能耗量就可以看出一个国家人民的生活水平. 但目前人类利用的主要是非再生能源，而非再生能源的储量是有限的. 大量的消耗加快了这些能源耗竭的速度，同时，能源的利用给环境带来的污染也日益严重.

能量耗散与能源问题

讨论交流

能量守恒定律说明了能量在转化和转移过程中是守恒的. 那么，我们为什么还要节约能源呢？

微信公众号：电子课本大全

根据热力学第二定律，能量在数量上虽然守恒，但其转移和转化都具有方向性.事实上在各种各样的活动中,各种形式的能最终都转化为内能，流散到周围的环境中．机械能、电能、化学能等都是集中度较高因而有序度也较高的能量,当它们转化为环境的内能后,成为了分散的、无序度更大的能量．像这样由高品质的能量转化为低品质能量的过程叫做“能量耗散”.

由此可知，能量耗散虽然不会使总能量减少，却会导致能量品质的降低，它实际上将能量从高度有用的形式降级为不大可用的形式.

能量虽不会减少，但能源会越来越少，因此我们要节约能源.

世界经济的现代化,得益于化石能源(如煤、石油、天然气)与核裂变原料的广泛应用，是建立在化石能源基础上的经济.那么,根据科学的估算,当前地球上储存的化石能源还有多少？人类活动对能源的需求又是多少？

世界性的能源问题主要反映在能源短缺及供需矛盾所造成的能源危机．随着世界经济的发展、人口的急剧增长和生活水平的不断提高，对能源的需求量也迅速增大.

根据世界能源委员会的估计，主要的非再生能源开采尚可维持的情况见表5-1-1所示；人类为了生存与发展对能源的需求情况见表 5-1-2 所示.

表 5-1-1　地球上非再生能源情况

种类	储量（折合成标准煤计）/10^9 t		耗尽期（估计时间）
	探明	潜在	
煤	900	2 700	2200 年左右
石油	100	36	2040 年以前
天然气	74	60	2040 年左右
铀	1 300	1 600	2110～2120 年

表 5-1-2　人类对能源需求情况

年份	需求量（折合成标准煤计）/10^9 t	年份	需求量（折合成标准煤计）/10^9 t
1980	7.5	2020	15.8
1984	7.8	2040	18.0
2000	11.0	2060	21.0

标准煤和标准油一样，也是一个用于计量能源量的当量.1kg 标准煤相当于 29.3MJ.

目前,世界各国已充分认识到地球上有限的非再生能

微信公众号：电子课本大全

源储量已远远不能满足人类日益增长的长期需求，21 世纪人类正面临着严重的传统能源枯竭的威胁．能源问题在人类可持续发展中占有重要的位置．

练习与评价

1．下列现象属于能量耗散的是（　　）．

A．利用水能发电产生电能

B．电能通过灯泡中的电阻丝转变为光能

C．电池的化学能转化为电能

D．火炉把房间烤暖

2．从能源消耗的角度考虑，随着社会的发展，人口的增长，当我们使用地球上的能源时，是否会用尽地球上所有的能源？请提出相关论据加以说明．

发展空间

走向社会

了解并调查当地厂矿、城镇居民等能源消耗的情况．访问或咨询电力部门，了解当地的用电情况和供电能力．认识能源问题所带来的影响和后果，思考如何面对这样的危机．

2 能源利用与环境问题

随着能源消耗量的持续增长，能源消耗对环境带来的污染也日益严重．

任何一种能源的开发和利用都会给环境造成一定的影响．水能的开发利用可能造成地面沉降、地震、上下游生态系统显著变化、地区性疾病蔓延、土壤盐碱化、野生动植物灭绝、水质发生变化等．地热能的开发利用可能引起地面下沉，使地下水或地表水受到氯化物、氟化物、硫酸盐、碳酸盐的污染，等等．



图5-2-1　工厂冒出的各种烟和气体

微信公众号：电子课本大全

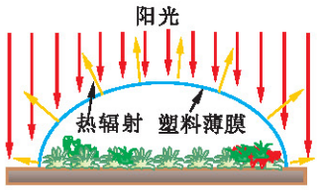


图 5-2-2 塑料大棚中的温室效应

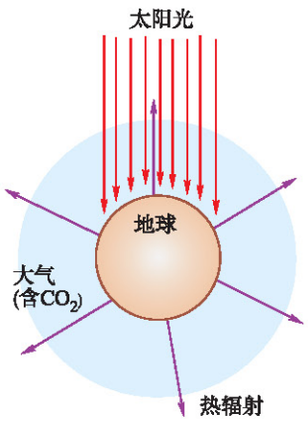


图5-2-3 地球的温室效应形成原理

温室效应

二氧化碳等气体只能吸收电磁波中的长波，不能吸收短波. 太阳辐射主要是短波，地球表面辐射主要是长波. 当在地球上空的二氧化碳等气体增多时，太阳辐射的短波可自由通过，使太阳的能量到达地面，地球表面温度升高；同时又强烈吸收地面的长波辐射，使散失到宇宙空间的热量减少，导致地球温度升高. 图 5-2-3 说明了地球温室效应的形成原理.

生产中搭建的塑料大棚，就是利用这一原理使棚内温度升高并保持的. 太阳光容易通过塑料薄膜进入大棚，提高棚内温度，而热量不容易通过塑料薄膜传递到大棚外（图 5-2-2）.

温室效应造成的影响包括：

（1）**全球温暖化** 全球平均气温升高，在过去的 100 年内，全球平均升温约 0.5 ℃. 根据计算，当 CO_2 浓度增加 1 倍时，全球平均气温将升高 1.5 ℃ ~ 4.5 ℃.

（2）**海平面上升** 气温升高，冰雪融化，海平面上升，陆地面积减少.

（3）**降水量变化** 温室效应将加强和干扰水循环，从而在一些地方引起干旱，在另一些地方却导致洪灾.

（4）**影响农业生产** CO_2 浓度升高，温度上升，可以使农作物全年生长期延长，热带、亚热带的经济作物将北移，有利于一年多熟制. 但是，随着 CO_2 浓度增加，植物产量增加，而质量下降. 植物叶片含碳量增加，蛋白质含量下降. 温度上升，害虫发育周期缩短，繁殖速度加快. 植物生长速度加快，需要更多的肥料；同时由于温度的升高，肥料的分解速度加快.

（5）**影响气候带和植被分布** 气候变化将极大地改变植被类型的地理分布，这种变化会使生物多样性减少，生态系统效益下降.

（6）**影响土地利用** 海平面上升，将引起地下水位上升，低洼地积水或土壤盐渍化. 同时滩涂面积减少，堤坝高度增加.

（7）**影响人体健康** 气温升高，容易提高死亡率. 温室效应使空气质量恶化，有利于蚊蝇的繁殖，容易导致疾病的产生和扩散.

微信公众号：电子课本大全

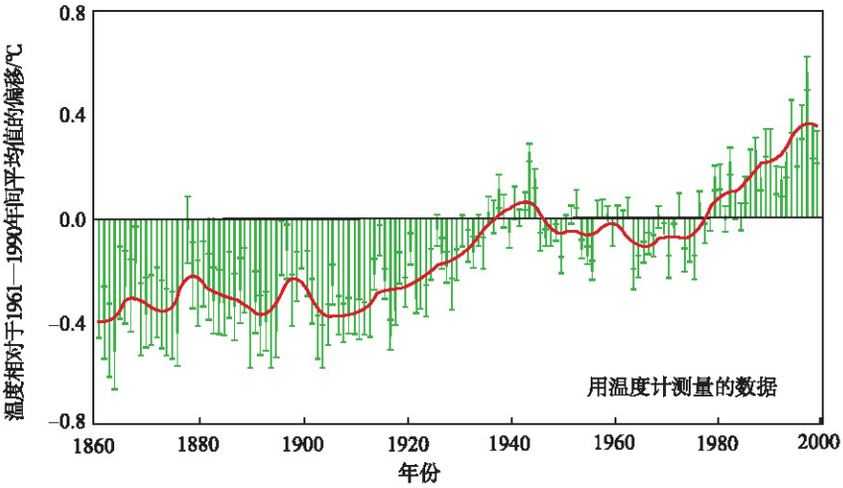


图 5-2-4　1860 年以来全球平均气温状况

酸雨

酸雨，被称做“天堂的眼泪”、“空中的死神”，具有很大的破坏力．是谁带来了酸雨？我国的酸雨区域主要分布在哪些地方？

酸雨，就是 pH 小于 5.6 即呈酸性的降水．目前酸雨的概念还包括酸性沉降．我国是酸雨危害严重的国家，2001 年，我国酸雨区面积约占国土面积的 30%．

现代工业、农业、交通和陆地、海洋天然排放的多种污染物，与尘埃一起升到高空，通过扩散、迁移、转化，经重力沉降到地面或经雨雪冲刷到达地面．其中人工排放源主要为化石燃料燃烧的生成物，金属冶炼等工业排放，以及交通运输排放．

酸雨导致土壤的酸性增强，使大量农作物和牧草枯死；它会破坏森林生态系统，使林木生长缓慢，乃致森林大面积死亡；它可以使江河湖水酸化，鱼虾大量死亡；它会使农作物减产、可食部分重金属含量增加；酸雨加速了各种材料和设备的腐蚀；酸雨还会损害人体的各种系统，严重影响人体健康．

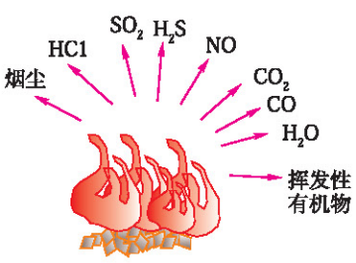


图 5-2-5　煤燃烧的生成物



图 5-2-6　汽车排出的废气

大气臭氧层厚度变薄

臭氧（O_3）是淡蓝色而有刺激性的气体，地球上 90% 的臭氧分布在距地球表面约20～40 km之间的大气区域，它



图 5-2-7　树林遭酸雨侵害而枯死

微信公众号：电子课本大全

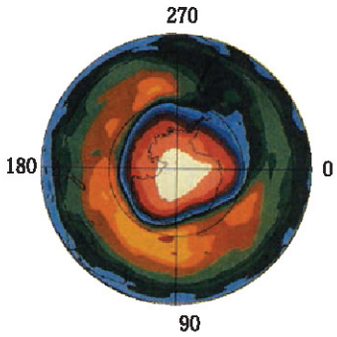


图 5-2-8　1993 年拍摄的南极上空的臭氧层图，图中白色部分是臭氧层的洞

是大气中的氧在太阳辐射的作用下产生的．臭氧层可以吸收 99% 的太阳紫外辐射中对生物最有害的部分，从而保护地球上的各种生物体．同时，臭氧层吸收太阳辐射，加热大气层．因此，臭氧层是名副其实的地球生命的保护伞．

1984 年英国科学家法尔曼（Joseph Farman）等人，在南极哈雷湾观测站发现，南极洲上空的臭氧层浓度在 20 年中减少了大约 40%．极地上空中心地带有 95% 的臭氧被破坏，与周围比较形成了一个臭氧空洞，2000 年这个洞的面积已达 2 900 万平方千米．同时，在北极地区上空也发现了臭氧空洞，我国青藏高原臭氧层破坏也很严重．

是什么原因导致臭氧层变薄？人类有可能通过恰当的途径减缓大气臭氧层的变薄，并最终得以恢复吗？

1972 年，美国环境化学家罗兰（Sherwood Rowland）等经过研究，发现氯氟烃类化合物在受到高能量的紫外线照射以后将产生氯原子和自由基，而氯原子能够连续破坏臭氧分子．这些物质主要是电冰箱和空调机的制冷、泡沫塑料发泡、电子器件清洗用的氯氟烃（即含氧氟里昂）以及用于特殊场合的溴氟烃．荷兰气象学家克鲁森（Paul Crutzen）等发现高空中飞机排放的氮氧化物也会与臭氧反应．

强烈的紫外辐射会对植物、动物产生直接的破坏作用，对生态系统的结构和功能产生明显的影响，并有可能引起人体皮肤癌、眼病等．

放射性污染

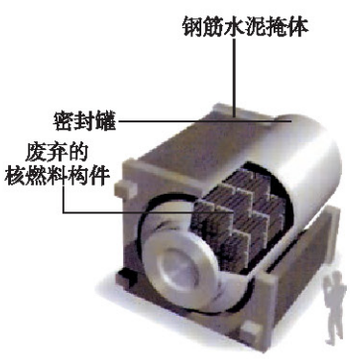


图 5-2-9　核废料储存罐

核裂变能的开发和核技术在医疗、农业、工业和科学研究中的应用，在带给人类巨大利益的同时也造成了对环境的污染．这种污染主要是放射性污染．

核能技术的发展，尽管在反应堆方面已有了安全保障，但是所产生的核废料的处理问题并没有完全解决．当一个核电站退役后，大量的核电站垃圾要转移，而其中有一半多具有放射性．核动力反应堆会产生两种放射性废料，其中最主要的是核裂变产物，它们绝大多数具有足以危害人体和周围环境的较强的放射性．这就需要建造废弃核燃料储存设施，以放置装有核废料的巨大密封罐，如图 5-2-9 所示．

微信公众号：电子课本大全

练习与评价

1. 简述地球温室效应形成的原因.
2. 简述酸雨形成的原因.
3. 简述臭氧层被破坏的原因.

发展空间

物理在线

查阅资料，了解电脑、手机、电视机等电子产品报废以后，是如何回收和处理的？在这些过程中会造成哪些环境问题？谈谈你解决这些问题的设想.



图 5-2-10　堆积如山的城市垃圾

3 可持续发展战略

在人类对能源利用的过程中，其中有很大一部分能量被损耗、浪费了，因此，人类要实现可持续发展，既要开发新能源，也要有效地利用能源和节约能源.

能源消耗

活动

一般小汽车的汽油消耗量约为每百千米10 L，1 L汽油

微信公众号：电子课本大全



图 5-3-1 灯火辉煌的城市

约含有 3.3×10^7 J 化学能，那么小汽车行驶 100 km 消耗的能量约为 3.3×10^8 J. 估计一个普通家庭一天的用电量. 那么小汽车行驶100 km所消耗的能量约相当于一个普通家庭多少天的用电量？我国目前汽车的拥有量迅速上升，对能源、交通、环境等将产生哪些影响？

如图 5-3-2，表示一辆普通汽车在行驶过程中能量的转换，从图中可以看出真正用于汽车行驶时克服空气阻力和克服摩擦力的能量是其中很少的一部分，大部分能量都被无效地损耗了. 这种能量的低水平利用也存在于其他情况的能源利用中. 因此，必须设法提高能源的利用率，减少能源的损耗和浪费，节约能源.

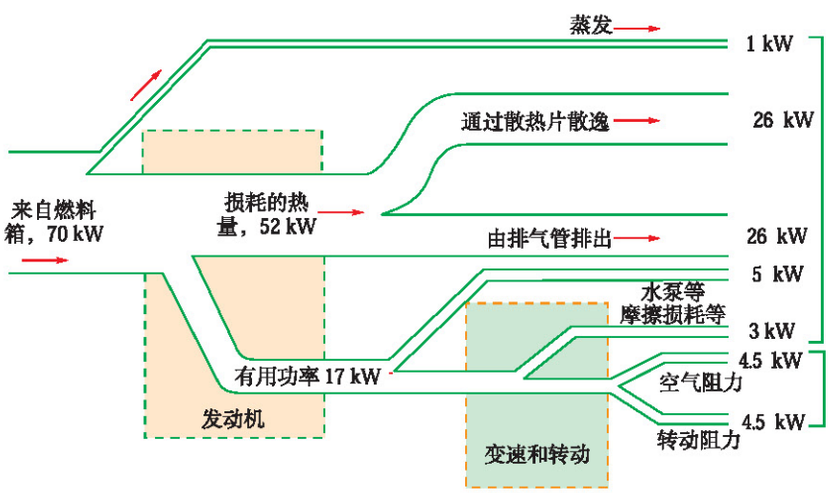


图 5-3-2 一辆在高速公路上匀速行驶的小汽车能量的转换情况（以功率的转换情况表示）

可持续发展

发展是人类社会不断前进的永恒主题，可持续发展战略已成为全世界的共识.

可持续发展战略是一个全新的理论体系，正在逐步形成和完善，其内涵与特征也引起了全球范围内的广泛关注和深刻探讨. 各个学科从各自的角度对可持续发展进行了不同的阐述.

一般认为，可持续发展是指：“既满足当代人的需求，又不对后代人满足其自身需求的能力构成危害的发展.”这里包含了两个重要概念：一是人类要发展，要满足人类的

微信公众号：电子课本大全

发展需求；二是不能损害自然界支持当代人和后代人生存的能力.

可持续发展战略的基本思想包括三方面：一是鼓励经济增长，但要改变传统的以“高投入、高消耗、高污染”为特征的生产模式和消费模式；二是利用科学技术及社会力量，节约资源（含能源），大力发展资源的循环使用；三是利用科学技术，寻找新的能源及开拓新的资源.

可持续发展战略的核心思想是以人为本，建立自然—经济—社会相互协调的体系，以求得社会全面、持续、稳定、健康地发展.

我们应该深刻地理解可持续发展战略的重大意义，树立可持续发展的社会责任感.

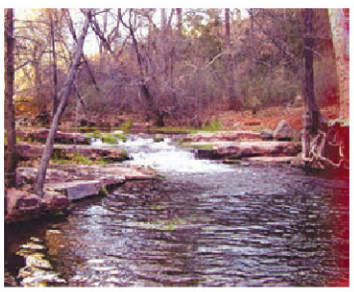


图 5-3-3　工厂污水对环境的危害

讨论交流

我国的国情是人口多，人均资源少，经济和技术落后，环境破坏严重. 我们必须处理好人口、资源、环境和经济快速发展之间的关系，走可持续发展的道路. 对此谈谈你的认识.

● 节约资源 · 自然资源的循环使用

在可持续发展战略中，包含着“节流”和“开源”两个方面. 节流指的是节约与保护各种自然资源（包括能源）.

讨论交流

随着全球人口的急剧增长和经济的快速发展，资源消耗与日俱增，人类正受到某些资源短缺和耗竭的挑战. 这些资源包括水资源、土地资源、矿产资源、能源等. 了解你所在地区对这些资源的消耗情况. 讨论交流如何面对目前的现状，以及对可持续发展的思考.

微信公众号：电子课本大全

在众多的资源中，水是最重要的资源之一，更是生命的基本要素．地球上水的总量并不少，但与人类生活和生产活动密切相关又比较容易开发利用的淡水储量仅约为 $3.5 \times 10^{16}\ m^3$，只占全球总水量的 0.3%．

节约用水，保护水资源已迫在眉睫．

面对水资源短缺的问题，在工业生产上，要调整工业结构，限制发展能耗大、用水多、污染严重的工业．在工业企业的内部推行清洁生产，尽量减少水污染．



图 5-3-4　农田喷灌

在农业生产上要发展节水型农业．我国农业年用水量约占全国用水量的80%，发展节水型农业不仅可以减少农业用水量，还可减少农药、化肥随排灌水的流失．这样既减少了对水环境的污染，又节约了肥料和农药．如推行喷灌、滴灌等节水灌溉技术，实行科学灌溉，提高水的利用率等．

自然资源的循环使用是节约与保护资源的一种重要手段．所谓循环使用指的是将经过改造和使用的自然物和各种废弃物还给自然界，使它们又进入自然界参与物质循环和能量流动过程．

在生产中，我们应该提高工业用水的重复利用率，减少工业新鲜用水量，减少排污量．目前我国大部分工厂水的浪费十分严重．如钢铁行业，国外先进水平的吨钢耗水量一般为 $3 \sim 5\ m^3$，我国的平均水平为 $70 \sim 100\ m^3$；石油炼制行业，国外先进水平为 $0.2\ m^3/t$，我国一般为 $5 \sim 6\ m^3/t$．可以说提高水的重复利用和循环利用水平，减少工业用水量，已是十分迫切的任务．

节能新技术

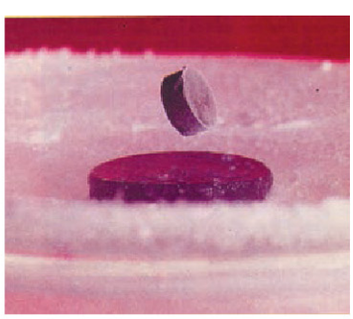


图 5-3-5　磁铁漂浮在用液氮冷却的超导体上

减少能耗的各种措施，既包括提高效率以节省能量而提供相同服务，也包括服务质量的改变．

利用物理学原理开创节能新技术的内容很多，这里简要介绍几种．

三束技术　三束技术指离子束、电子束和激光束的技术．利用三束技术引发气体、液体和固体表面的化学反应，不仅可以合成高品位的各种超微颗粒，同时可以大大减少不必要加热的空间或表面的体积，提高能源的利用率，达到节能的目的．

微信公众号：电子课本大全

超导技术　利用超导技术输电不产生焦耳热，因此无电能损耗．超导储能明显优于其他储能方式，如电场、磁场、蓄电池等．超导磁悬浮可应用于磁悬浮列车、超导悬浮无摩擦轴承等，前景十分广阔．

燃料节能　在燃烧形成的火焰中，物质的形态是等离子体，离子化的粒子会受到电场的影响．用静电场直接处理燃料与空气的组分，可以增加带电粒子的数量，显著提高燃料的燃烧效率．在火焰处加上适当的电场，可以控制火焰的分布，改善燃烧性能，从而充分利用燃料．

将固体燃料转化为流体燃料，可大大提高燃料热效率．向燃油中添加燃烧助剂，或加入磁性超微颗粒，也可以明显提高燃烧效率，达到节能的目的．

开发新能源

在可持续发展战略中，除了节流外，另一个方面就是开源，特别是要研究与开发新能源，以解决传统能源日渐枯竭的危机．目前正在开发利用的新能源有太阳能、海洋能、地热能、风能以及核聚变能等．

太阳能　每年投射到地球上的太阳能为 5.29×10^{24} J，比现在每年人类消耗的总能量大10^4倍．目前太阳能开发利用率相当低，太阳能的开发利用具有巨大的潜力．

太阳能的开发与利用目前主要有：太阳能聚光装置、太阳能热水器、太阳能农用温室等．



图 5-3-6　太阳能聚光装置

地热能　据估计，全球地热储量相当于 3.57×10^6 t标准煤，有非常广阔的开发前景，目前地热能已用在发电、供暖、洗浴等方面．



图 5-3-7　地热发电厂

海洋能　海洋是一个可供利用的大能源库．目前海洋能开发与利用的主要形式有潮汐发电、温差发电、波浪发电等．

风能　风具有巨大的能量，单位时间流过某截面的风能，可用风能公式计算

$$P = \frac{1}{2}\rho v^3 S$$

其中，P为功率，ρ为空气密度，v为风速，S为受风截面积．据粗略估计，在离地面 100 m 以内的上空，陆地风机可吸收的能量每年约 1.3×10^{12} kW，相当于全世界水力发

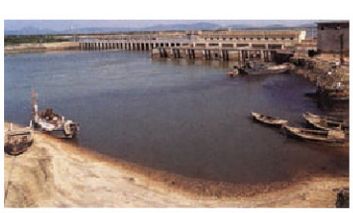


图 5-3-8　潮汐发电厂

微信公众号：电子课本大全



图 5-3-9　风力发电厂

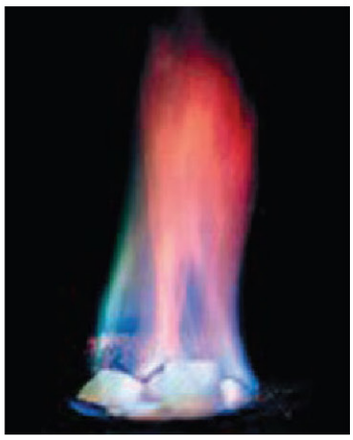


图 5-3-10　可燃冰

电的总量.

利用风力机可将风能转化成电能、机械能、内能等.

生物质能　生物质能是指植物经过光合作用后为人类生活和生产储存在植物体内的太阳能. 陆地上的树木、草类、农作物秸秆、稻壳，江河湖海中的水生植物，城市里的垃圾及工业生产中的有机废物等都是可以利用的生物质能.

可燃冰　可燃冰是甲烷类水合物凝结而成的，存在于低温（低于 0℃ ~ 10℃）高压（高于 10 MPa）环境中. 其外观与普通冰一样. 根据估计，全球可燃冰中甲烷的总量约为 1.8×10^{16} m^3，相当于当前已探明的化石燃料（煤、石油、天然气）总含碳量的 2 倍. 我国目前正在派科学家深入南海海域，勘探海底的可燃冰蕴藏情况.

氢能源　氢能源因其质量轻、无污染、热值高、应用广等优点，将成为 21 世纪的理想能源. 液氢作为飞机、汽车的动力已获成功. 设计新型的氢燃料电池将是人类利用氢能过程中一个新的里程碑.

在氢能源的使用中，重要的是如何得到廉价的氢. 目前，已有生物制氢，化学催化剂分解水制氢，细菌分解产生氢气，等等.

核聚变能　核能分为核裂变能及核聚变能. 目前，核电站利用的均为核裂变能，如何利用核聚变能正在研究之中. 据估计，20 ~ 30 年内有可能实现核聚变能发电. 核聚变能的原料在海水中的含量有 40 万亿吨，可满足人类数十亿年的能量需要.

练习与评价

1. 为了节约有限的不可再生能源，现在人们正在大力提倡研究开发新能源，并且尽可能地变废为宝. 如杭州天子岭建成高科技垃圾发电厂，把垃圾转变成可利用的电能已成为现实. 你还知道哪些重新利用废弃物的事例？并谈谈这样做的好处.

2. 太阳能的储存是解决能源危机的一个重大课题. 请提出一种能储存太阳能的可能的设想.

3. 什么叫可持续发展？它有什么特点？根据我国能源、环境等现实，谈谈我国如何走可持续发展之路.

微信公众号：电子课本大全

发展空间

走向社会

长江三峡工程位于长江西陵峡中段，坝址在湖北省宜昌市三斗坪. 三峡工程是一座具有防洪、发电、航运及养殖和供水等综合利用效益的特大型水利水电工程. 其主要数据见表5-3-1、表5-3-2 所示.



图 5-3-11　长江三峡水电站效果图

表 5-3-1

大坝	坝高 /m	185
	坝长 /m	2 335
	最大蓄水位 /m	175
水库	总库容量 /m^3	3.930×10^{10}
	防洪库容量 /m^3	2.215×10^{10}
	平均年流量 /m^3	4.510×10^{11}

表 5-3-2

电站	总装机数 / 台	26
	装机总容量 /kW	1.820×10^{7}
	平均年发电量 /kW · h	8.468×10^{10}
通航	万吨级双线 5 级船闸 / 座	1
	3 000 t 级单线垂直升船机 / 座	1
	年单向通航能力 /t	5×10^{7}

三峡拥有丰富的水利资源，请根据表 5-3-1、表 5-3-2 的有关数据作适当的简化或假定，完成下列问题.

（1）年平均消耗水能为_____，转化为电能的百分比为_____.

（2）若 26 台发电机组全部建成并发电，按设计要求，要达到年发电量，每年发电时间至少需要多少天?

微信公众号：电子课本大全

本章小结

1．**能源的重要性**　能源与人类文明的发展密切相关．今天，能源不仅是动力来源，而且还是国民经济的重要基础．

2．**能源利用与环境问题**　能源的开发和利用对环境产生了影响，如温室效应、酸雨、大气臭氧层变薄、放射性污染等．人类必须保护环境．

3．**新能源开发**　人类对能源的需求与日俱增，但地球上非再生能源的储量是有限的，因此，需要节约能源，并积极开发新能源．

4．**可持续发展**　人类必须走可持续发展的道路，可持续发展已成为全世界的共识．

习　题

1．下列关于能源的说法中，正确的是（　　）．

A．由于能量是守恒的，因此能源是取之不尽，用之不竭的

B．煤、石油、天然气等燃料的最初来源可追溯到太阳能

C．汽油是一种清洁能源

D．水能是不可再生能源

2．下列叙述中不正确的是（　　）．

A．煤和石油是非再生能源

B．酸雨的形成与煤燃烧时所排放的污染物有关

C．核废料非常危险

D．核能的利用会造成空气污染

3．下列叙述中不是以发展新能源为目的的是（　　）．

A．降低长途运输中能源使用的成本

B．增加对化石燃料的开采

C．解决能源短缺的问题

D．减少环境问题

4．什么是可再生能源，什么是不可再生能源？分别主要有哪几种？目前所指的新能源主要有哪些？

5．了解当前我国经济、社会发展以及人口增长状况，关注我国的资源、能源消耗及环境破坏情况，并以此为题材撰写小论文．了解我国当前几个大的能源工程和生态环境保护工程．

微信公众号：电子课本大全

附 录

中英文索引

（名词后面的数字是它第一次出现的页码）

A

阿伏伽德罗常量 Avogadro constant 3

B

半导体 semiconductor 46
饱和汽 saturated vapor 55
饱和汽压 saturated vapor pressure 55
表面张力 surface tension 53
玻意耳定律 Boyle law 28
不可逆过程 irreversible process 74
布朗运动 Brown motion 9

C

查理定律 Charles law 29

D

单晶体 monocrystal 43
多晶体 polycrystal 43

E

二极管 diode 47

F

发光二极管 light-emitting diode 48
非晶体 noncrystal 42

G

盖吕萨克定律 Gay-Lussac law 29
各向同性 isotropy 43
各向异性 anisotropy 43
光敏电阻 photoresistor 47

J

集成电路 integrated circuit 47
晶体 crystal 42
绝对湿度 absolute humidity 56

K

扩散 diffusion 8

L

理想气体 ideal gas 36

N

内能 internal energy 24
能量守恒定律 law of conservation of energy 65
能源 energy sources 88

R

热传递 thermal transmission 68
热力学第二定律
second law of thermodynamics 76
热力学第一定律
first law of thermodynamics 68
热力学温度 thermodynamic temperature 27
热量 heat 68
热敏电阻 thermistor 47

S

三极管 triode 47
熵 entropy 79
熵增原理 principle of entropy increase 81

T

体积 volume 26

W

未饱和汽 unsaturated vapor 55
温度 temperature 23

X

相对湿度 relative humidity 57

Y

压强 pressure 26
液晶 liquid crystal 50

微信公众号：电子课本大全