经全国中小学教材审定委员会 2004 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理 选修 1-2

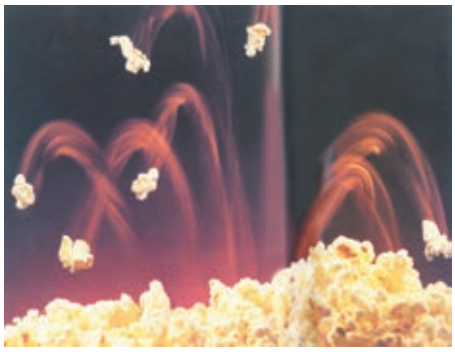
PHYSICS

主编 束炳如 何润伟



上海科技教育出版社

亲爱的同学：



欢迎你继续高中物理选修系列 1 的学习！

本书将紧接着《物理 1–1》的内容，向你展示物理学中有关热现象及能源的研究。我们将引领你沿着历史的长河，考察人类是怎样逐步认识热的本质的，又是怎样把总结出的关于热现象的规律用于生活、生产和科学研究的。热能和电能的应用催生了两次工业革命，你将感受到科学技术对社会发展产生了多么深刻的影响。当我们享受着现代化的物质文明时，能源问题、环境问题又是多么地严峻……

为适应你选择的发展方向，本书将引导你采用一种以观察实验现象、定性诠释原理、分析相互关系、探讨社会影响为主的学习方法。你将亲历过程，探究热力学的基础知识和重要规律，体验物理学的基本观点和研究方法，享受科学给你带来的乐趣。

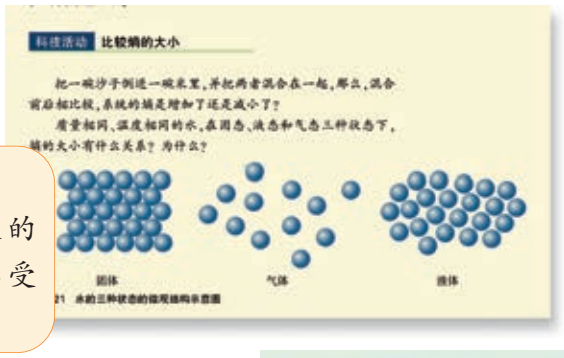
我们为你的学习精心营造了一个良好的氛围，构筑了一个帮助你理解、扩展你视野、锻炼你能力、使你能充分展示才华的平台。

著名的物理学家、诺贝尔奖获得者李政道博士说过：“科学和艺术的共同基础是人类的创造力，它们追求的目标都是普遍的真理。”物理学的成就和方法是人类智慧的结晶，是世界文化的瑰宝。物理学的丰硕成果会直接引发人们的思维方式、生产方式和生活方式上的变革。全社会的每一个成员都能从物理学中汲取到有益的营养。物理学的许多研究方法早已被移植到社会科学领域，并已开花结果。“文科”与“理科”间的鸿沟正被逐渐填平。未来的社会栋梁，不但要知道奥赛罗、红楼梦，也要知道宇宙大爆炸、黑洞；不仅要会欣赏毕加索、徐悲鸿，也要会欣赏爱因斯坦、霍金。

人们称诗歌(Poetry)和物理学(Physics)是代表人类智慧的两个伟大的 P，它们在人类文明的进程中都有着重要的影响。我们相信，它们必将在未来的社会栋梁身上得到更完美的体现，而这，正是本书追求的宗旨。

亲爱的同学，让我们共同努力吧！





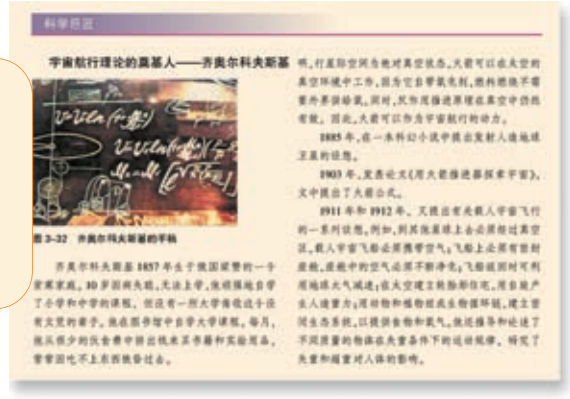
科技活动

这里为你安排了一些有趣的实验和活动，你将亲历过程，感受科学给你带来的乐趣。



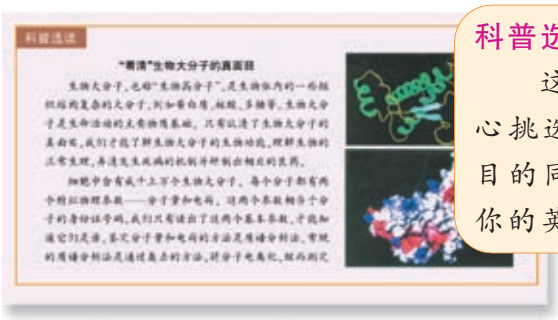
信息浏览

这里既是相关知识的链接点，又是浏览物理世界大好风光的窗口。在休闲式的阅读中，你的知识贮藏将逐渐丰富。



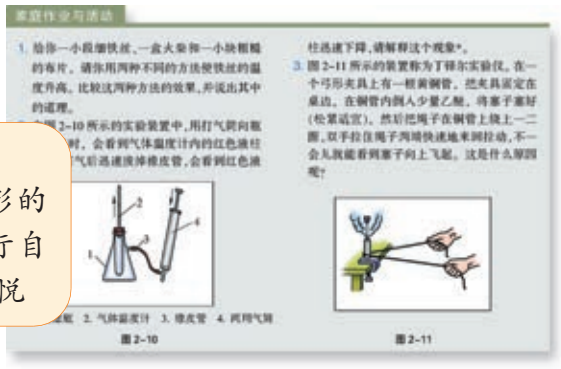
科技巨匠

这里有科学家的风采，这里有发明家的胸怀。科学探索之路上的一座座丰碑，永远激励着青年一代。



科普选读

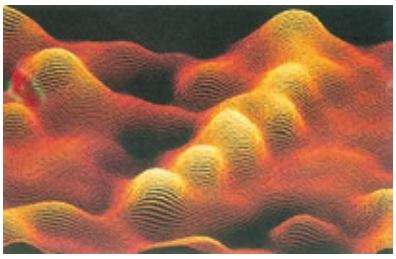
这里从中英文科普作品中为你精心挑选了一些美文。在你感到赏心悦目的同时，你的科学素养得到了提升，你的英语能力得到了锻炼。



家庭作业与活动

这里为你提供了丰富多彩的学习活动，让你通过回顾进行自我评价，使你体验到成功的喜悦

目 录



第 1 章　人类对热现象的探索　6

1.1 关于热本质的争议　7

1.2 走进分子世界　11

1.3 研究分子运动的新方法　17

第 2 章　热力学定律与能量守恒　22

2.1 揭开温度与内能之迷　23

2.2 热力学第一定律　26

2.3 伟大的守恒定律　29

2.4 热力学第二定律　熵　36

第 3 章　热机与第一次工业革命　42

3.1 一项推动大生产的发明　43

3.2 蒸汽机与社会发展　49

3.3 热机发展之路　56







第4章 热与生活 64

4.1 内能的利用 65

4.2 营造一个四季如春的居室 68

4.3 打开太阳能的宝库 73



第5章 电能与第二次工业革命 78

5.1 怎样将电能输送到千家万户 79

5.2 辉煌的电气化时代 85

5.3 改变世界的工业革命 90

第6章 能源与可持续发展 96

6.1 神秘的射线 97

6.2 一把双刃剑——放射性的应用与防护 102

6.3 核反应与核能 106

6.4 重核裂变 109

6.5 轻核聚变 113

6.6 能源利用与可持续发展 115



总结与评价 科学讨论会 118

研究课题示例 118

评价表 119

撩起冷热的面纱
走出困惑与迷茫
让人们亲近分子
把概率迎进殿堂
布朗的小颗粒
多么神奇风光



图 1–1　用扫描隧道显微镜在一个遗传分子上描绘出的形状

第 1 章
人类对热现象的探索

热与冷，每天伴随着人们。在 3000 多年前，我们的祖先已开始关注热现象，可是直到蒸汽机的轰鸣声隆隆响起，在热现象和相关的许多问题上，依然迷雾重重。

热究竟是什么？

怎样知道物质分子的大小？

布朗运动是怎么一回事？

分子间相互作用有什么规律？

如何研究大量分子杂乱无章的运动？

……

本章将承接初中物理对热现象和分子运动的初步认识，引领你沿着历史的长河，追溯思想家、科学家对热本质的探索，了解科学史上影响深远的两种学说。接着，我们将走进分子世界，从分子之小、运动之乱到其相互作用之复杂，进一步认识分子动理论的基本要点及其实验基础。最后，通过实例，引入统计观念，用统计观念解释气体的压强，介绍统计规律的特点以及统计方法在经济建设、科学研究等方面的应用。

1.1 关于热本质的争议

热与冷，跟人们的生活有着密切的关系。很早人们就从自身的感受和直接的观察中，形成了对热现象的一些初步认识。

热学这一门科学源于人类对于热与冷现象本质的追求。

——王竹溪

对热现象的早期认识

据记载，早在我国西周初期，人们就已经知道较冷和较热物体之间的区别，懂得冷热不同的物体相接触会发生热传递现象。

春秋战国时期的《考工记》中，记载着用焰色判断冶炼进程的方法："凡铸金之状，金（即铜）与锡，黑浊之气竭，黄白次之；黄白之气竭，青白次之；青白之气竭，青气次之。然后可铸也。"也就是说，必须达到"炉火纯青"的地步，才有足够的高温可以进行冶炼。这完全符合现代用焰色判断温度高低的原理。

秦汉之际的《淮南子》中，记载着结冰与温度高低的联系："是故处于堂上之阴，而知日月之次序；见瓶中之冰，而知天下之寒暑。"

南北朝之后，人们已认识到人的体温近乎恒定，知道用体温为标准比较温度的高低。

……

科技活动　**欣赏古诗，剖析原理**

宋代著名诗人苏东坡在《惠崇春江晚景》一诗中写道：

竹外桃花三两枝　春江水暖鸭先知
蒌蒿满地芦芽短　正是河豚欲上时

请讨论一下：其中"春江水暖鸭先知"符合什么物理原理？



图 1-2　春江水暖鸭先知

我国许多古籍中对温度和热传递等现象都有着丰富的记载。古人们在对热现象进行观察的同时，也思考着热的本质。从早期

把热看作一种物质的实体，到唐代的柳宗元认为热是一种元气的运动，在观念上有了很大的进步；而把热跟运动联系起来，可说是关于热的运动理论思想的可贵萌芽。

我国古代学者对热现象有着丰富的记录和一定深度的思考，但为什么没有总结出有关热现象的一些规律？

关于热本质的两种学说

热究竟是什么？东西方先哲们思考过的这个问题，到 17 世纪又引起了人们的兴趣。对于热的本质，在科学史上曾经流传着两种最有影响的学说。

科学好像一座金字塔，它的唯一基础是历史和经验。

——罗杰尔·培根

一种是热的唯动说。早在 16 世纪，英国哲学家弗兰西斯·培根(F. Bacon)根据摩擦生热等现象，明确提出热是一种运动。

培根在《新工具论》一书中写道："……就是说，热本身，它的本质是运动，而不是别的什么……"。

培根的观点对 17 世纪的科学家产生了普遍的影响。玻意耳(R. Boyle)及其助手胡克(R. Hooke)，还有笛卡儿(R. Descartes)、牛顿(I. Newton)等许多著名科学家都认为热是组成物体的微粒的运动。至 18 世纪 40 年代，俄国科学家罗蒙诺索夫(М. В. Ломоносов)进一步明确指出：物体是由肉眼看不见的微粒组成的，热无非就是这些微粒的运动而已；……热由高温物体传给低温物体的原因，是高温物体中的微粒把运动传给了低温物体中的微粒……

这些论述包含着相当深刻的见解，可惜大多只是一些定性的猜测，缺乏坚实的实验基础，因而未能形成科学的理论。

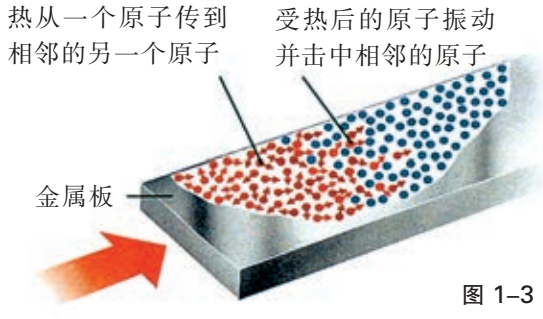


图 1–3　对热传递的解释

另一种是热质说。它是随着温度计的制作和量热学的建立，由英国化学家布莱克(J. Black)倡导的。

从量热学的实验知道，把两个温度不同的物体放在一起，它们最后的温度必定介于两者初始温度之间。布莱克由此联想到，

两个物体之间必定传递着某种“热的东西”,而且这种“东西”的传递和流动不会改变原来物体的质量,因此,它应该是一种特殊的、没有质量的、充满整个物体的流体。布莱克的观点后来被法国著名化学家拉瓦锡(A. L. Lavoisier)采纳,他把这种“东西”称为“热质”,予以论述,从而发展出一个完整的学说。

用热质说可以很直观地解释当时已知的大部分热现象。因此,在 17、18 世纪关于热本质的争论中,热质说赢得了更多的拥护者,并在科学界占据了统治地位。

伦福德和戴维的攻坚战

“热质”简直是一个“幽灵”!它是物质又没有质量,它充满整个物体又没有体积,它无处不在又隐身不现,真让人难以捉摸。物体中到底存在不存在这种“热质”呢?

1798 年伦福德(C. Rumford)在慕尼黑兵工厂视察炮筒钻孔后,做了一个著名的实验。他把炮筒固定在水里,用几匹马带动一个很钝的钻头,在炮筒内钻孔。经过 2 h 45 min,切削下来的铁屑仅 50 多克,却使约 6.72kg 水由 0 ℃上升到沸点;而且,只要钻头不停地运动,热就可以源源不断地产生。

伦福德的实验中产生的热似乎是无穷无尽的,这使人难以理解。伦福德在报告中写道:“……那些旁观者的面目上表现出的惊讶诧异是难以形容的,……而我也坦率承认,它使我感到孩童般的喜悦……”。

这些热是从哪里来的呢?

后来,伦福德又设计了一系列钻孔实验。他设法将仪器与

伦福德坚信热质说是不正确的。他在 1804 年给朋友的信中说道:“我相信,我将活到足够长的时间,直到高兴地看到热质说与燃素说一起埋葬在同一坟墓之中。”

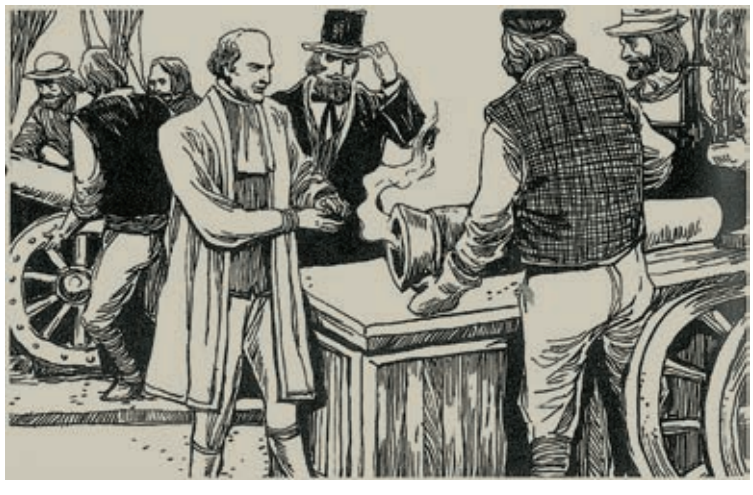


图 1–4　伦福德的实验



戴维 (H. Davy,1778—1829),英国化学家。1797 年开始致力于科学研究。1799 年发现氧化亚氮的麻醉性。1801 年开始研究电化学，先后制得钾、钠、钡、镁、钙、锶等金属。

外界绝热,测出钻孔前后金属的比热容。实验结果表明,炮筒和碎屑的比热容一样,都没有发生变化。伦福德的结论是:“不待说,任何与外界隔绝的一个物体或一系列物体所能无限地连续供给的任何东西决不能是具体的物质。并且,如果不是十分不可能的话,凡是能够和这些实验中的热一样地激发和传播的东西,除了只能把它认为是‘运动’以外,我似乎很难构成把它看作为其他东西的任何明确的观念。”

1799 年,戴维也做了一个精彩的实验:他利用钟摆装置使放在真空玻璃罩内的金属轮子和盘子发生摩擦,在 0 ℃的温度下,盘子上事先涂上的蜡被熔化了。他还将两块–2 ℃的冰放在真空玻璃罩内摩擦,结果冰逐渐熔化,变成 2 ℃的水。戴维认为,“摩擦引起了物质微粒的振动,这种振动就是热。”

热本质真相大白

伦福德和戴维的实验,虽然使热质说受到致命的打击,但并没有动摇热质说的统治地位。直到 19 世纪 40 年代,由于迈尔(J. R. Mayer)、焦耳(J. P. Joule)等人的工作——热功当量的测定、能量转化与守恒定律的确立,才彻底把热质说送进了坟墓,热的唯动说取得了最后的胜利。

从此,“热是运动”的观点得到普遍的承认,物理学家开始从物质微观粒子的层次上去探求热的本质。随着分子动理论的建立,人们终于揭示了热的本质——热是大量分子无规则运动的宏观表现。

1.2 走进分子世界

热学的发展经过了一场论战后，热质说日渐没落，早期提出的分子运动的理论又重新活跃起来，并为统计思想进入物理学找到了入口。

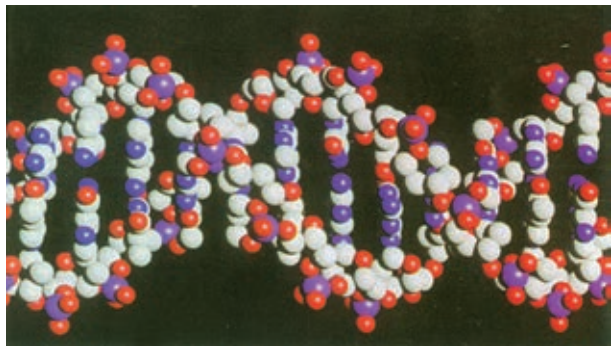


图 1–5　DNA 大分子的结构

分子何其小

我们知道，任何物体都是由许多很小的分子组成的。那么，分子究竟有多小呢？

为了解决这个问题，首先要建立一个简化的分子模型。我们设想，组成物质的分子是球形的，同种物质的分子都是一个个大小相同的小球。如果设法把某一部分物质的分子一个紧挨一个地铺展开来，形成一个“分子地毯”，那么，只需要知道这部分物质的体积(V)和铺展开来的面积(S)，就可以估算出分子的直径及其大小。即

建立分子的这种球模型，是为了便于研究。实际的分子有着复杂的内部结构。

$$\text{分子直径}\quad D=\frac{V}{S}$$

$$\text{分子体积}\quad V_1=\frac{1}{6}\pi D^3=\frac{1}{6}\pi\left(\frac{V}{S}\right)^3$$

科技活动　估测油酸分子的直径

根据上面的思路，我们可以用油膜法估测分子的直径。

在一个边长 30~40 cm 的浅盘里倒入约 2 cm 深的水，将痱子粉或石膏粉均匀地撒在水面上。再用注射器或滴管将油酸酒精溶液(事先配制好)滴上一滴，水面上很快会形成一层单分子油酸薄

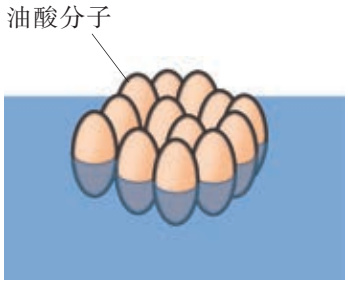


图 1–6　油酸分子形成单分子层

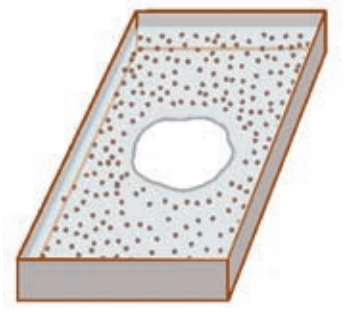


图 1–7　油酸薄膜的形状

膜(图 1–6、图 1–7)。用事先准备好的玻璃板盖在浅盘上,再在玻璃板上覆一张半透明的坐标纸,将油膜形状画在坐标纸上。

根据配制的油酸酒精溶液的浓度和事先测定好的一滴溶液的体积,算出坐标纸上油膜形状的面积,就可以估算出油酸分子的直径。

研究表明,一般分子直径的数量级在 10^{-10} m。例如,水分子的直径约为 4×10^{-10} m,氢分子的直径约为 2.3×10^{-10} m。

现在,我们已经可以用扫描隧道显微镜(STM)观察物体表面的分子(或原子)排列了。

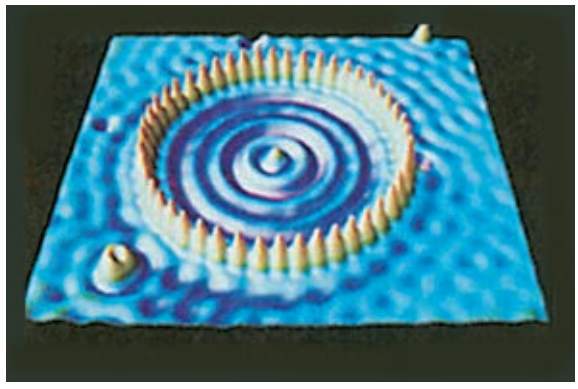


图 1–8　用扫描隧道显微镜显示的原子排列

科技活动　估算分子的直径

知道水的摩尔体积，结合化学中已学过的 1 mol 物质中所包含的粒子数(阿伏加德罗常数),你能否根据分子的球模型推算出水分子的直径?

运动何其乱



图 1–9　利用分子的运动,对驾车者进行酒精检测

在初中物理中，我们已用扩散现象证明了分子在不停地运动。

那么，还有什么实验事实能够更直接地说明分子的运动情况呢?

科技活动　观察布朗运动

实验装置如图 1–10 所示。将封有悬浊液的载玻片置于显微镜上,调节镜筒,使在目镜中能清楚地观察到悬浊液中小颗粒的

运动。

如果追踪其中的一个小颗粒，每隔一定时间（如 30 s）记下它的位置，然后用线段把这些位置依次连接起来，可以看到，连成的折线曲曲折折，错综复杂。这说明，这个小颗粒在不停地改变着它的运动方向，它做的是一种极其不规则的运动（图 1–11）。

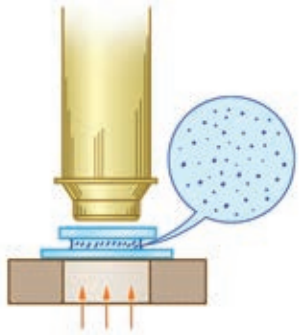
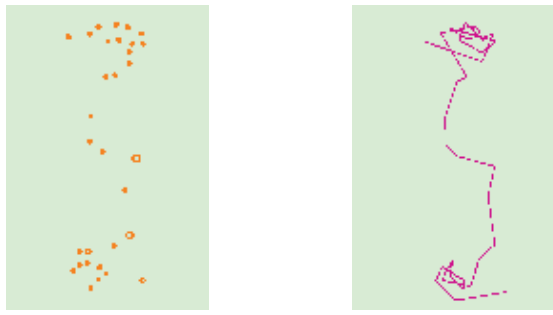


图 1–10　观察布朗运动



a 认定一个小颗粒进行观察所得到的一系列位置

b 把这些连续位置依次连接得到的运动示意图

图 1–11　布朗运动

布朗运动是怎样产生的呢？

植物学家布朗的发现引起了当时物理学家的浓厚兴趣，但他们全都感到棘手。牛顿力学能预言未知天体的运动位置，却对这个小小的布朗颗粒束手无策。

30 年后，有人指出，布朗运动是因液体分子的碰撞产生的。

1905 年，爱因斯坦（A. Einstein）和波兰物理学家斯莫卢霍夫斯基（M. Smoluchowski）发表了他们对布朗运动的理论研究结果。他们证明：小颗粒的布朗运动是液体分子从四面八方对它的撞击引起的。对于尺度很小的固体颗粒，来自不同方向的撞击作用一般地说不会完全抵消。在某个瞬间，如果小颗粒受到的撞击力在某个方向上较强，它就沿这个方向运动；在另一个瞬间，如果小颗粒受到的撞击力在另一个方向上较强，它就沿另一个方向运动。由于液体分子对小颗粒撞击的不规则性和偶然性，小颗粒不断地改变着运动方向，踉踉跄跄，做着毫无规则的运动。

1908年至 1910 年间，法国物理学家佩兰（J. B. Perrin）通过艰苦卓绝的努力，出色地完成了对悬浮固体颗粒运动的测量，显示了爱因斯坦的理论与实验结果的一致性。佩兰通过对布朗运动的研究，用实验直接证实了分子存在的真实性，从此，分子得到人们真正的确认。小颗粒的布朗运动对人们认识物质结构起了重要的作用。

1827年，英国植物学家布朗（R. Brown）用显微镜观察悬浮在水中的花粉颗粒时，发现这些花粉颗粒在不停地做着毫无规则的运动，而且会长期地这样运动下去。后来，人们把小颗粒的这种无规则运动叫做布朗运动。

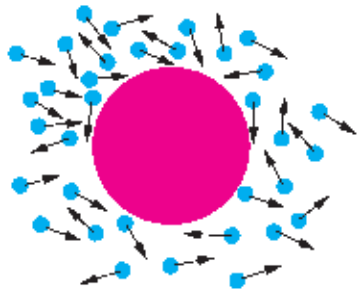


图 1–12　布朗运动的原因

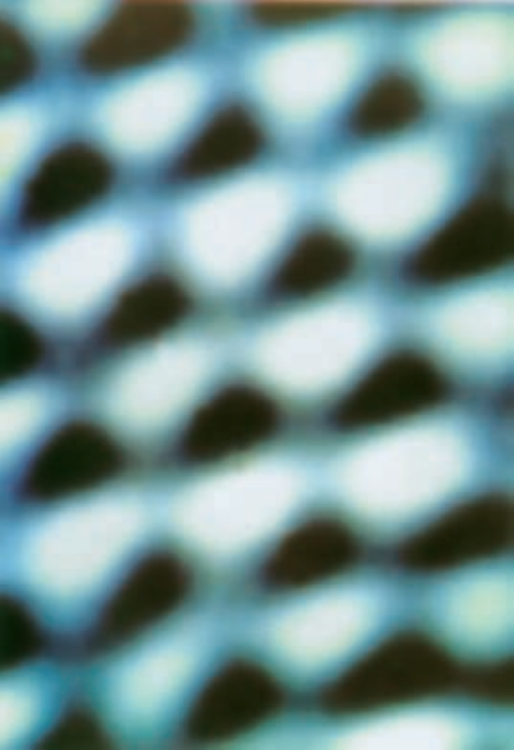


图 1–13　扫描隧道显微镜拍摄的石墨表面原子排列情况

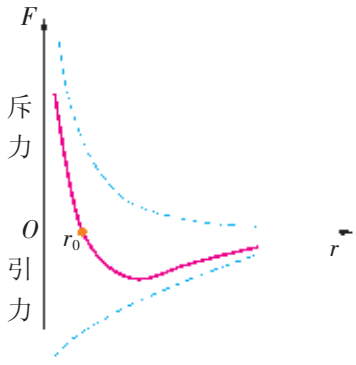


图 1–14　分子力与分子间距的关系，图中蓝线表示分子斥力和分子引力随间距的变化关系；红线表示它们的合力随间距的变化关系

科技活动　讨论布朗运动

悬浮在液体中的固体颗粒的运动，是不是就是分子的运动？

结合布朗运动的原因猜想一下，悬浮固体颗粒运动的剧烈程度跟哪些因素有关？

作用何其复杂

扩散现象和布朗运动，不仅说明组成物质的分子在永不停息地运动，而且说明物质分子不是紧紧地挤在一起的，分子之间是有空隙的。

图 1–13 是用扫描隧道显微镜拍摄的石墨表面原子的排列情况，形状相似的碳原子亮点分布在暗背景之间，显示出原子间的空隙。

分子间存在着空隙，而固体能保持一定的形状，从中你可以得到什么启示？你能提出一些实验事实说明你的看法吗？

研究表明，分子之间同时存在着引力和斥力，并且它们都跟分子之间的距离有关。分子之间的引力与斥力及其合力随距离变化的关系如图 1–14 所示。

由图可知，分子之间的引力和斥力都随着分子间距离的增大而减小。当两分子间的距离等于 r_0 时，分子间的引力和斥力相互平衡。r_0 的数量级约为 10^{-10} m。分子间距等于 r_0 的位置，叫做平衡位置。

科技活动　讨论分子动理论

从图 1–14 中，你能得到哪些信息？请跟同学们相互交流。

通过本节的学习，结合初中物理中学过的有关内容，请对分子动理论的基本内容及其相应的实验基础进行整理。与初中所学的分子动理论相比，你在哪些方面有了更深刻的认识？

信息浏览

分子概念的确定

古代东西方的学者，都对物质的本原做过许多猜测。我国古代提出过“五行说”、“元气说”，古希腊也有“四元素说”(图 1–15)。这些学说都只用一种或几种有形物质作为物质的本原，它们都无法说明复杂多样的物质世界。

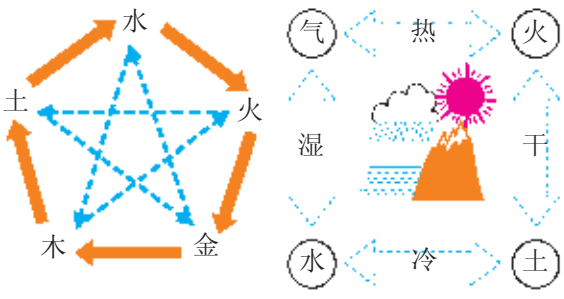


图 1–15　古代关于物质本原的学说

公元前约 400~500 年，古希腊的留基伯(Leucippcus)创立了“原子论”。德谟克利特(Democritus)是留基伯的学生，他接受并进一步发展了留基伯的古原子论思想。他认为：宇宙间万物都是由原子构成的；原子是不可分割的极小的物质单元；原子不是单一的，构成物质的各种各样的原子在外形、大小等性质上不同。德谟克利特还对不同物质的原子赋以不同的形象。如水的原子是圆的，因此水具有流动性，并且没有固定的形状；火的原子是多刺的，因此火会灼伤人；土的原子是毛糙的，因此它形成的物质很固定；如此等等。他还认为，自然界物质的变化不过是原子的聚集、排列和分散而已。他的理论当时人们无法理解，但很有趣，于是人们给德谟克利特起了一个“会讲笑话的哲学家”的绰号。

古代哲人的学说，不过是一种哲学思辨，或者是在观察基础上得出的猜测，缺乏实验的检验。时间的脚步走过了 2000 多年，由于化学上的一系列发现，1811 年意大利科学家阿伏加德罗(A. Avogadro)首先引入“分子”的概念。阿伏加德罗认为：一切物质，无论是单质还是化合物，都是由分子组成的；分子则是由原子组成的。单质分子由相同的原子组成，化合物分子则由不同的原子组成。分子是保持物质化学性质的能独立存在的最小颗粒。他还假设，在同温同压的条件下，相同体积的任何气体都含有相同的分子数。遗憾的是，阿伏加德罗这些对物质结构理论的重大贡献，却不被当时的科学界所接受，被整整冷落了 50 年后，才得到普遍的认同。

科普选读

“看清”生物大分子的真面目

生物大分子，也称“生物高分子”，是生物体内的一些组织结构复杂的大分子，例如蛋白质、核酸、多糖等。生物大分子是生命活动的主要物质基础，只有认清了生物大分子的真面目，我们才能了解生物大分子的生物功能，理解生物的正常生理，弄清发生疾病的机制并研制出相应的良药。

细胞中含有成千上万个生物大分子，每个分子都有两个特征物理参数——分子量和电荷，这两个参数相当于分子的身份证号码，我们只有读出了这两个基本参数，才能知道它们是谁。鉴定分子量和电荷的方法是质谱分析法。常规的质谱分析法是通过轰击的方法，将分子电离化，继而测定其质量与电荷之比，从而推断出它的分子量。

然而，用轰击导致分子电离化这一做法，只对小分子有效，对生物大分子是不行的，因为生物大分子比较脆弱，轰击很容易破坏它们原有的结构。为解决这一难题，美国科学家芬恩(J. B.

Fenn)和日本科学家田中耕一分别发明了一种不同的方法。这两种方法都能成功地解析和电离生物大分子。

细胞中某种生物大分子的身份被鉴定出来之后,人们很自然地想知道这种生物大分子“长得是个什么样子”,也就是要分析它们的立体结构。

以前,X 射线晶体学是解析生物大分子空间结构的唯一有效的方法。20世纪 80 年代,瑞士科学家维特里希(K. Wüthrich)改进了传统的核磁共振技术,使得它能测定溶液中生物大分子的空间结构。通过计算机处理,我们就能“看清”生物大分子的模样了。

由于在生物大分子的鉴定和结构分析方面的杰出贡献,芬恩、田中耕一和维特里希一起荣获 2002 年度的诺贝尔化学奖。

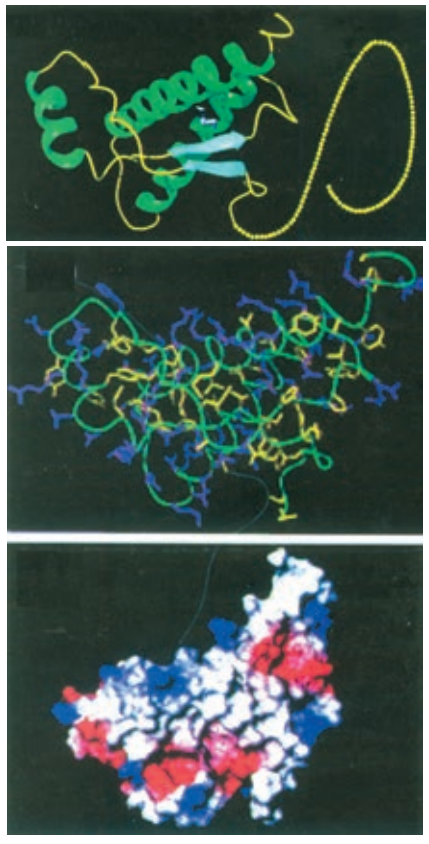


图 1–16　一些生物大分子的立体结构示意图

家庭作业与活动

1. 一个热水瓶内水的质量约为 2.2 kg,它含有的水分子数约为多少?
2. 当你走进教室时,教室中的一部分空气将被你挤出室外。估算一下,你挤出了多少个空气分子?
3. 结合本节的内容,请提出一个测定阿伏加德罗常数的方法。

1.3 研究分子运动的新方法

布朗运动的发现，向人们提出了新的挑战，一个由小颗粒引起的挑战——应该用什么方法研究大量分子的无规则运动？从这种无序的运动中能否找出有序的规律？

从降水概率谈起

气象台的天气预报，除了报告天气状况、气温变化外，还有“降水概率”。这个“降水概率”表示什么意思呢？

“降水概率”是气象的专业用语，它表示下雨可能性的大小。如果在以往的气象记录中，有 100 天的天气变化跟今天相似，而且通过计算机运算，又发现这 100 天中有 70 天的次日会下雨，于是气象台预报说：“明天的降水概率是 70%。”这意味着明天有七成可能会下雨。

概率反映的不是一种必然结果，它是在大量资料的基础上，对不确定事件做出的一种估计，资料越丰富、越全面，估计就越可靠。

有些同学常会说：“老师明天八成会提问我这道题的解法。”我们也常说某件事“十有八九会成功”。雅典奥运会之前，许多人估计射击老将王义夫有 90%能拿到金牌……。这些说法里都包含着什么概念？

在数学上，把发生某一随机事件的可能性的大小定义为概率。例如，在 N 次事件中，如果出现事件 A 的次数为 Δn，则当 N 足够大时，$\frac{\Delta n}{N}$ 即为事件 A 的概率。



图 1-17　电视台在播出天气预报

科技活动　投掷硬币的游戏

我们把硬币有国徽的一面称为正面，另一面称为反面。用一枚硬币随意投掷，落地时不是出现正面就是出现反面。你投掷 2 次、3 次，或者 5 次，有可能都出现正面或反面，完全没有规律可言。

如果投掷很多次，情况会怎样呢？

法国的著名数学家、力学家拉普拉斯(P. S. M. de Laplace)于 1812 年出版了一本对统计理论有重大贡献的论著《概率论》，书中意味深长地指出：“非常值得注意的是，与游戏中机遇有关的科学知识，将会成为人类知识中一门重要的学科。”

请你做一个实验，用一枚硬币随意投掷 10 次和 100 次，并分别做出统计结果：

投掷次数 N	出现正面的次数 N_1	出现反面的次数 N_2
10		
100		



图 1–18　投掷硬币的游戏

计算出现正面和反面的次数占总投掷次数的百分比。

从这次活动中，你能悟出什么规律吗？

统计方法及其特点

在投掷硬币的活动中，硬币的每一次投掷，都是个别的独立事件，即这次的投掷结果同那次的投掷结果没有关系。在投掷次数较少时，出现正面或反面都是偶然的。但如果投掷的次数很多，就可以发现，出现正面和反面的次数占总投掷次数的比例都接近 50%。投掷次数越多，接近程度越好。这就意味着，在大量的偶然事件中蕴含着一种规律，这种规律是通过收集大量资料，并对之加以整理分析后显示出来的。

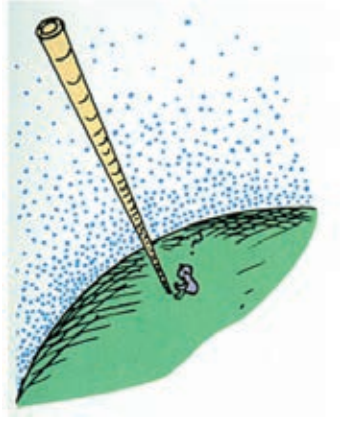


图 1–19　“大气海洋”的底层

这种研究大量事件所采用的方法叫做统计方法。它所揭示的是大量事件在整体上的本质和必然的联系，是一种必须用“概率”来描述的统计规律，而不是个别事件的特性或偶然联系。这种方法的可靠性跟统计事件的数量有关，事件数量越多，呈现的规律性越稳定，越明显。

对于大量分子的集合体（气体、液体或固体）的行为，必须使用这种统计方法，才能对有关的物理现象做出正确的解释，并找出其中的规律。

气体压强的统计解释

研究大气压强的时候，有一个问题常使人迷惑不解：在“大气

海洋”底层的物体(包括人体)，受到上方厚厚的大气所产生的压强，这个压强为什么会跟地面附近一小瓶气体所产生的压强一样呢?

根据分子动理论,运用统计的观点,就很容易给出回答。

气体分子可以看成是一群弹性小球。分子撞击器壁的运动就像乒乓球对坚硬墙壁的碰撞，每次撞击都会给器壁一定的压力。大量分子频繁地碰撞,会对器壁形成一个持续稳定的压力,从而形成对器壁的压强。可见气体压强的产生就是一种统计平均的结果,而不是个别分子的行为。

在地面附近的大气中,瓶内外每单位体积空气的分子数可认为相等,而且由于分子间频繁地碰撞,空气分子向各个方向运动的概率都相等,它们的平均速率也相等。因此,大气中的空气分子冲撞物体表面(单位面积)和一个小瓶子中的空气分子冲撞器壁表面的统计效果是相等的,所以它们的压强也相等。

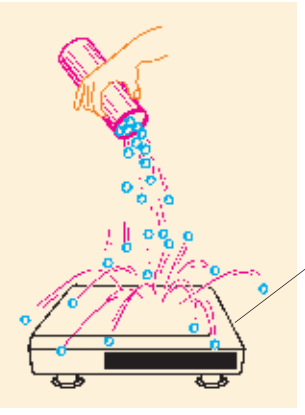


图 1–20　小钢珠持续快速地落在秤盘上，会对秤盘产生持续均匀的压力

研究表明，在标准状况下,一个空气分子在 1s 内跟其他分子的碰撞竟达 65 亿次之多。

科技活动　用统计观点解释现象

根据分子动理论和统计观点研究一下:

密闭容器内的气体对各处产生的压强为什么总跟器壁垂直,且各处大小相等?

在布朗运动的实验中可以发现,悬浊液中较大的颗粒几乎是不动的,这是为什么?

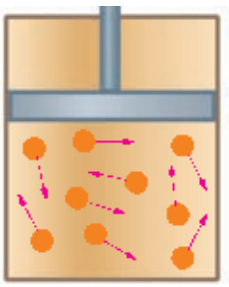


图 1–21　分子碰撞器壁产生压强

统计方法的普遍意义

统计的观点是物理学思想史上一场全新的变革。统计规律与经典力学的规律不同，它不描述某一事件一定发生或一定不发生,而只是说以一定的概率发生。

统计规律不仅普遍存在于自然现象中,也广泛应用于社会现象中。例如,国家经常进行人口普查,对普查资料统计分析,就可计算出人口的增长率,为计划生育、人口控制、入学和就业安排、经济增长等方面提供有价值的依据。又如,为了规划高速公路,就需要对汽车的流量进行统计,为合理选址,确定建造规模、公路等级等提供依据。企业要统计消费者的需求,作为设计新产品的依据。电视台要统计收视率,以了解所播节目受观众的喜爱程度。医

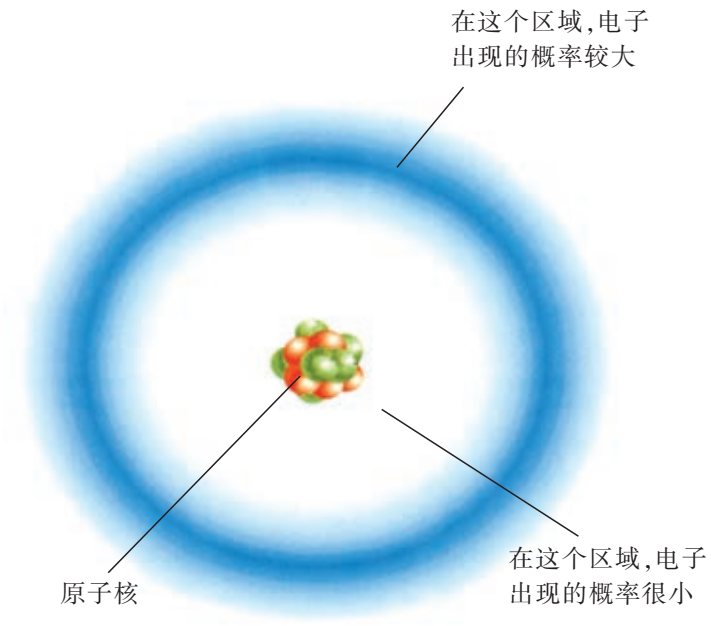


图 1–22　核外电子的概率分布

学上的统计分析指出，抽烟和肺癌有关，一天抽 10 支烟的人患肺癌的概率比不抽烟的人高 5 倍左右。据有关报道，最近日本地震研究人员通过分析历史数据，推测未来东京发生大地震的可能性随着时间推移在逐渐增加：在未来 10 年内，发生里氏 7 级地震的概率只有 30％；在未来 30 年内这一概率达 70％；在未来 50 年内，这一概率上升到 90％……

现代科学研究指出，在原子内部，电子与原子核之间的距离并不是固定不变的，电子可以处于原子核外各个不同的位置上。在离原子核不同的地方出现电子的概率不同，传统观念中的“轨道”已被概率分布所取代(图 1–22)。

总之，统计方法跟我们的日常生活、经济建设、科学研究都有着密切的联系。

科普选读

统计方法步入物理学殿堂

科学家认识自然的观念和进行科学研究的指导思想，从来就跟科学家的哲学思想有着千丝万缕的联系。

近代科学发展初期的许多启蒙大师，基本上是从寻求事物的因果联系起步的。伽利略(G. Galilei)认为，科学研究不能只是简单地描述现象和罗列事实，还必须阐明现象的因果联系和规律。英国哲学家弗兰西斯·培根认为：“真正的知识是根据原因得到的知识。”前辈学者们的这些思考，到牛顿时代便得到了最确切最完美的表现。

牛顿以三大运动定律和万有引力定律为基础，建立了经典力学体系，形成了严格的因果决定关系，使人们在原则上有可能用严格的力学规律对物体的运动做出完善的解释和预言。同时，牛顿还力图把这种“原因”和“结果”的机械决定论模式推广到整个宇宙的一切自然现象中去。

牛顿在他的伟大著作《自然哲学的数学原理》的序中写道：“……哲学的全部任务看来就在于从各种运动现象来研究各种自然的力，尔后用这些力去论证其他的现象。”“……我希望能用同样的推理方法从力学原理中推导出自然界的其他许多现象；因为有许多理由使我猜想，这些现象都是和某些力相联系着的。”

人们根据牛顿力学，准确地预报了哈雷彗星的回归，从笔尖下发现了海王星。以牛顿力学原理为表征的因果律取得的一次次辉煌胜利，引起了人们理念上的一次次巨大震动，人们对机械决

定性因果律的信念大大增强。

法国杰出的数学家、物理学家拉格朗日(J. L. Lagrange)把《自然哲学的数学原理》誉为人类心灵的最高产物,把牛顿看作是人类历史上最伟大也是最幸运的天才,“因为宇宙只有一个,而在世界历史上也只有一个人能做它的定律解释者”。

这种机械论的自然观,到了 19 世纪中叶,更成为统治整个物理学界的普遍信念。

1847 年,德国物理学家亥姆霍兹(H. L. F. von Helmholtz) 在《论力的守恒》中写道,物理学的任务,就在于把物理现象都归结为其强度只与距离有关的引力和斥力,一旦完成这个归结,科学的任务便算终结了。

因此,随着力学理论的形成和发展,这种机械决定论也得到广泛的流传,并影响着对不同物理现象的正确解释,同样也阻碍着统计思想进入物理领域。

但是,统计思想还是渐渐地进了物理学。它首先从大量分子组成的热学系统找到了突破口。

1856年,德国物理学家克勒尼希(A. K. Krönig)在一篇论文里说:“按照概率理论的定律……,我们可以用完全的规律替代完全的不规则性。” 虽然克勒尼希没有具体利用概率理论进行运算,对概率理论在物理学中的重要性也认识不足,但他的话像一道明亮的闪电,照亮了气体分子动理论前进的方向。

1857 年,德国物理学家克劳修斯(R. Clausius)发表了分子动理论的奠基性论文,大胆地将概率思想引入物理学及其计算之中。

接着,在 1859 年,英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell)成功地找出了分子速率分布的函数,明确地向世人宣告:描述分子运动与牛顿力学的描述宏观客体是不一样的,这里需要新的物理思想和方法。描述分子运动必须应用统计规律。

至此,统计方法终于庄严地步入物理学的殿堂。麦克斯韦传记的作者埃弗里特曾指出,麦克斯韦的新方法“标志着物理学新纪元的开始”。

家庭作业与活动

1. 请你在不同的季节对当地气象台天气预报中的“明天降水概率”做连续 10 天或 1 个月的记录,并对照次日的实际天气情况,填入自己设计的表格中, 对气象台不同季节降水预报的准确度进行评价。
2. 请你和同学们一起调查本校 1~2 个年级(或 1~2 个年龄段)的同学喜爱足球、篮球、排球、羽毛球、乒乓球等运动的情况, 列表统计结果,并对照学校目前的设施,对学校的体育发展规划提出相应的建议。
3. 走访校医务室,统计全校不同年龄段的同学患近视眼的情况, 并对怎样预防近视眼提出合理化的建议。

一串闪光的名字
镌刻在
能量守恒的丰碑上
一个陌生的概念
指引着
宇宙演化的方向

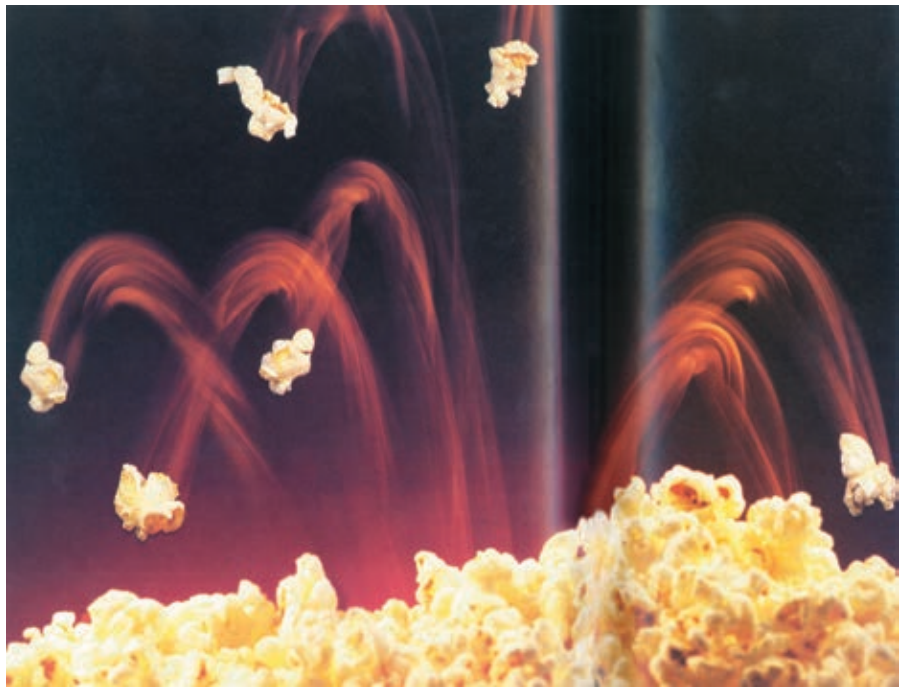


图 2–1　热的杰作(微波炉中的爆米花)

第 2 章
热力学定律与能量守恒

日出月落,斗转星移,我们生活的物质世界在不断地运动变化着。在这纷纭复杂的变化背后,是否存在着某种简单而不变的秩序呢?在《物理 2》中,我们已经知道自然界中有一条最基本、最普遍的规律——能量转化与守恒定律。

你知道能量转化与守恒定律是怎样发现的吗?

这条规律在物体内能变化的过程中是怎样体现的?

能量可以被人们不断地反复使用吗?内能可以全部用来做有用功吗?

热传递和扩散现象中的方向性蕴含着怎样的物理原理?

本章将在分子动理论的基础上,首先引入一种新的能量形式——内能;接着,研究改变内能的两种方式,介绍热力学第一定律;进而以各种运动形式的相互转化为线索,以迈尔、焦耳、亥姆霍兹的工作为重点,较详细地展示能量转化与守恒定律的发现过程及其伟大意义;最后,根据自然过程的方向性,提出热力学第二定律,并以热传递为例,揭示宏观过程方向性的微观实质,由此引入熵的概念,介绍熵的广泛应用。

2.1

揭开温度与内能之谜

从对冷热程度的直接感觉到伽利略制成第一支温度计，人类经历了漫长的岁月。如今，对各种物体的温度已可进行精确的测定，在实验室里能产生的最高温度已达 10^8 K，最低温度则低至 10^{-8} K，相差 16 个数量级。如果把目前已知的温度从小到大依次排列起来，就可以得到一个跨度达 50 个数量级的温度阶梯。

面对这个温度阶梯，很自然地会想到一个问题：温度的物理意义究竟是什么？它跟物体的内能有什么联系呢？

要回答这些问题，必须回到物质的微观结构上。

温度之谜

我们知道，扩散现象和布朗运动都是由于物质分子的运动产生的，而且，它们都跟温度有关。温度越高，扩散得越快，布朗运动越剧烈。由此可见，温度的高低跟物质分子的运动有关。物质分子运动得越剧烈，在宏观上反映出来的温度就越高。

物理学上把分子的无规则运动称为**热运动**(thermal motion)。

理论研究指出，温度的高低联系着分子热运动的平

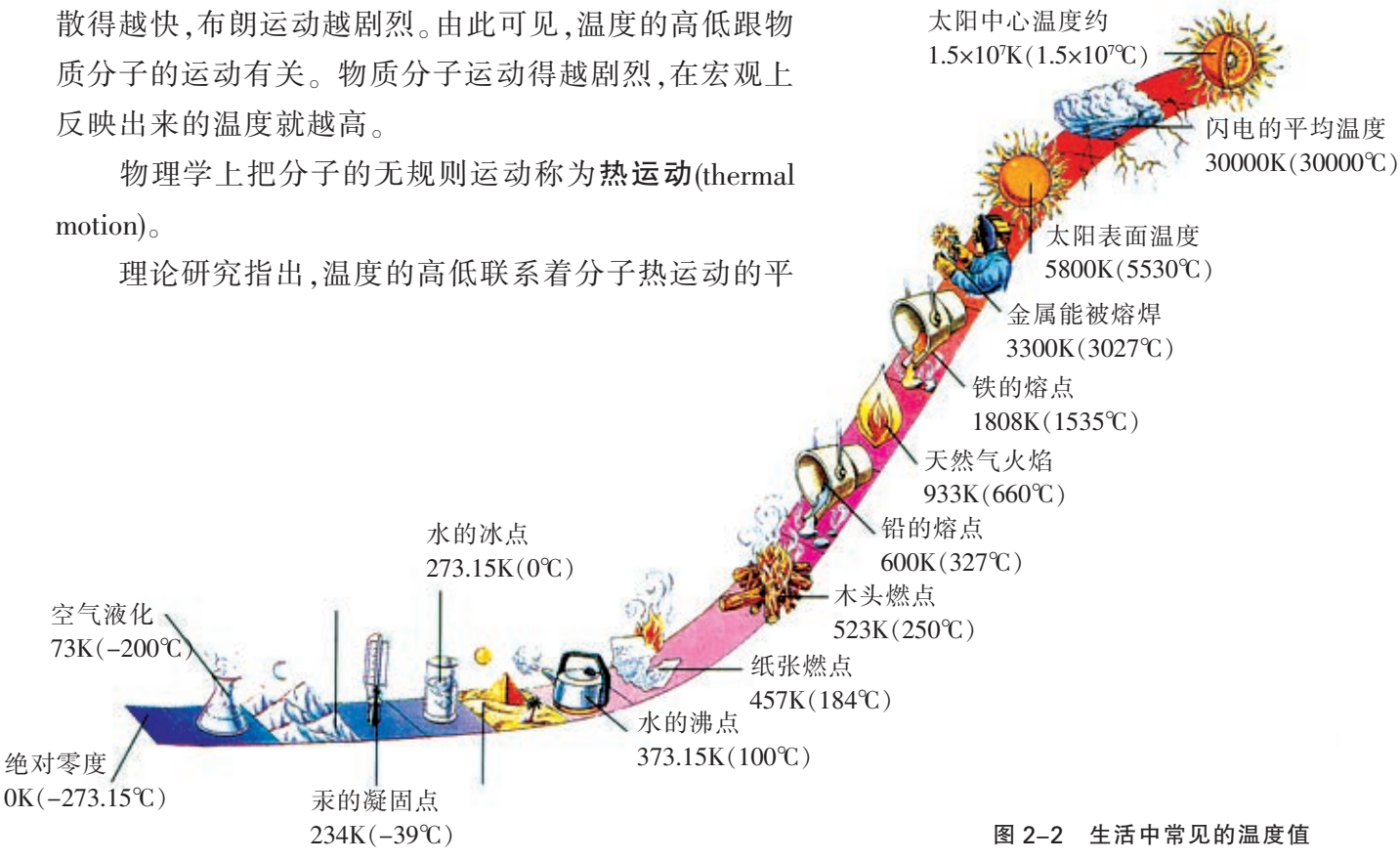


图 2-2　生活中常见的温度值

均动能。物体内分子热运动的平均动能增加，温度升高；物体内分子热运动的平均动能减少，温度降低。因此，从分子动理论的观点看，微观的分子运动决定着宏观的温度。

温度是物体内分子平均动能的标志。

在初中物理中，把温度定义为“物体冷热的程度”，而现在我们根据物质的微观结构，把温度定义为“物体内分子平均动能的标志”。请比较这两种定义的联系与不同。

分子由于热运动而具有动能，那么分子之间是否还存在着相互作用的势能呢？

平均动能就是所有分子动能的平均值，即

$$\overline{E_k} = \frac{1}{n}(E_{k1} + E_{k2} + \cdots)$$

热力学理论证明，它跟温度直接有关。

内能之谜

相互作用的联想

在《物理 2》中已经知道，两个物体间存在着万有引力作用，当物体克服引力做功时，势能增加，反之，则势能减小。

由于地球的万有引力，地面上的物体都具有重力势能。

电荷与电荷间存在着静电相互作用，因此电荷具有电势能。

分子间也有相互作用，因此分子同样具有由这种相互作用所决定的势能，叫做分子势能。

分子间的相互作用是更微观层次上静电作用的一种综合表现，它既包含引力，又包含斥力，而且跟分子间的距离有关。物体内分子间的距离发生了变化，在宏观上就表现为物体的体积发生了变化，所以，分子势能跟物体的体积有关。

现在我们知道，分子不仅有动能，而且有分子势能。物理学中，把物体内所有分子的热运动动能和分子势能的总和，叫做物体的**内能**(internal energy)，又叫热力学能。

科技活动　关于内能的讨论

根据内能的含义可以知道，物体的内能大小由它所包含的分子数的多少、分子运动的剧烈程度及分子间相互作用的情况决定，而分子间的相互作用又跟分子间的距离有关。

你能比较图 2–3 各组中物体内能的大小吗？

你能知道图 2–3 中各物体内能的大小吗？

内能是区别于机械能的另一种形式的能。由于任何物体的分子都在不停地运动，分子间又存在着相互作用，所以任何物体都有内能。但是，某物体在一个确定状态下的内能究竟多大，却无法计算。在处理实际问题时有意义的也不是物体内能的大小，而是内能变化量的大小。

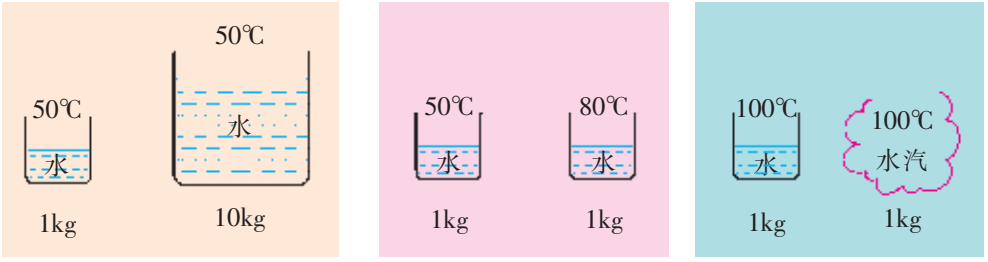


图 2–3　比较内能的大小

家庭作业与活动

1. 许多不同的物体——铁合页、铜电线、塑料刻度尺、木桌椅以及水、空气等，它们同处一室。这些物体内分子的平均动能是否相同？这些物体内分子的平均速度大小是否相同？为什么？
2. 根据温度的微观意义，有人提出以下的说法：
   (1) 物体的温度升高，物体内每一个分子的动能都一定增加；物体的温度降低，物体内每一个分子的动能都一定减少。
   (2) 现有甲、乙两个同种材料构成的物体，若甲的温度比乙的温度高，那么甲物体内每个分子的动能一定都比乙物体内每个分子的动能大。

   你认为这两种说法对不对？为什么？
3. 根据分子间相互作用与分子间距离的关系，请讨论分子势能与分子间距离的关系。
4. 分析下列说法中，正确的是
   A. 物体的机械能大，它的内能一定也大
   B. 物体可以同时具有内能和机械能
   C. 物体的机械能可以等于零，物体的内能不会等于零
   D. 物体的机械能改变时，它的内能也一定变化；物体的内能改变时，它的机械能也一定变化



图 2–4　原始人钻木取火

2.2

热力学第一定律

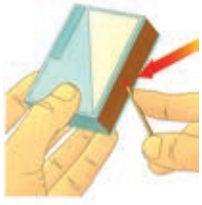




图 2–5　火柴与火柴盒磷皮相擦，内能增加，点燃火柴

据我国古代传说，燧人氏发明钻木取火，使我们的祖先脱离了茹毛饮血的生活。从此，熟食增强了人类的体质，促进了人脑的发育，提高了人类的生存能力，推动了人类进化的步伐。

从物理学的观点看，钻木取火的传说中包含着什么道理？

改变内能的两种方式

做功可以改变物体的内能，这在生活、生产中非常普遍。例如：冬天人们常搓手取暖；用车刀切削金属时，要在刀具和工件上加冷却液，以防止温度过高；用气筒给自行车胎打气，若时间较长，气筒壁会明显发烫；内燃机在压缩冲程中，对汽缸内的气体做功，气体的内能增大，温度升高，而在做功冲程中，高温高压的气体膨胀推动活塞对外做功，气体的内能减小，温度降低。

你还能举出其他通过做功改变物体内能的事例吗？

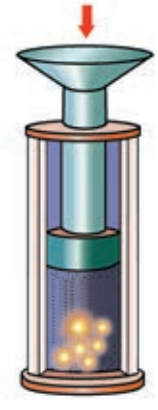


图 2–6　压缩气体使硝化棉燃烧

科技活动　做功改变物体的内能

如图 2–6 所示，在一个厚壁玻璃筒里放一小块硝化棉，用力很快压下活塞，对气体做功，使气体的内能增大，温度升高，硝化棉在瞬间燃烧，发出明亮的火花。

除了通过机械运动对物体做功改变物体内能外，还可以通过

什么方式对物体做功改变内能呢？请你举几个实例。

改变物体内能的另一种方式是热传递。用手摸一块冰，热量从温度较高的手传递给温度较低的冰，冰的内能增加；用手摸一杯热茶，热量从温度较高的杯子传递给温度较低的手，使杯子的内能减少。

1852 年，英国物理学家焦耳和威廉·汤姆生（William Thomson）发现，充分预冷的空气迅速膨胀后，温度会降低。此即“焦耳–汤姆生效应”，它为制冷技术开辟了一条新途径。

你知道热传递有哪几种形式吗？请对每种热传递形式举一个例子，并分别说明它们是怎样改变物体内能的。

人体与周围环境之间时刻发生着热传递，那么，人体是怎样使体温几乎保持不变的呢？

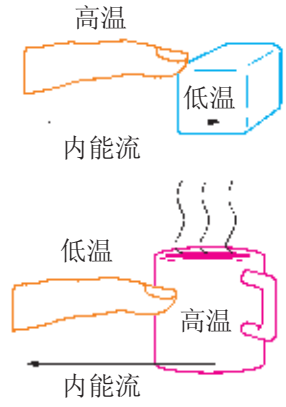


图 2–7　热传递

改变物体内能有两种方式：做功和热传递。

用做功的方式改变物体的内能，实质上是其他形式能量与内能的相互转化；用热传递方式改变物体的内能，只是不同物体之间或同一物体不同部分之间内能的转移，能量的形式并没有改变。做功和热传递是两种不同的物理过程，但它们在改变物体内能上殊途同归，完全等效。

一根金属棒的温度升高了，也就是说它的内能增加了。你能判断出它是通过哪种方式增加内能的吗？为什么？

热力学第一定律

进入 19 世纪后，热机在欧洲大陆的普遍应用，促进了人们对热和功之间关系的研究。

人们认识到，如果一个物体（或热力学系统）跟外界没有热交换，那么外界对它做多少功，它的内能就增加多少；反之，它对外界做多少功，它的内能就减少多少。同样，如果外界不对这个物体做功，物体也不对外做功，那么它吸收多少热量，内能就增加多少；放出多少热量，内能就减少多少。

一般情况下，当外界对一个物体（或热力学系统）做功 W，同时给这个物体传递热量 Q 时，这个物体内能的增加应为两者之和。这就是**热力学第一定律**（first law of thermodynamics）。

1853 年，英国物理学家威廉·汤姆生在焦耳等人研究的基础上，对上述关系做出了精确的表述，并用公式表示为

$$\Delta U = U_2 - U_1 = W + Q$$

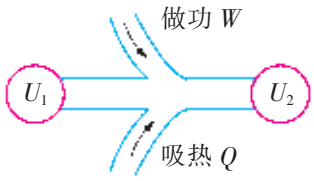


图 2–8　热力学第一定律的能流图

其能流图如图 2–8 所示。

例如，某空气压缩机在一次压缩过程中，活塞对气体做功 2.0×10^5 J，气体向外界放出热量 0.5×10^5 J，其能流图如图 2–9 所示。气体的内能变化可以表示为

$$\Delta U = W - Q = 2.0 \times 10^5\ \text{J} - 0.5 \times 10^5\ \text{J}$$
$$= 1.5 \times 10^5\ \text{J}$$

这说明空气的内能增加了 1.5×10^5 J。

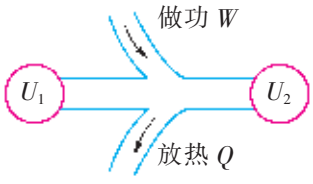


图 2–9　压缩过程中的能流图

科技活动　对热力学第一定律的讨论

1. 请应用热力学第一定律讨论下列情况中的功、内能变化和热量的传递情况：

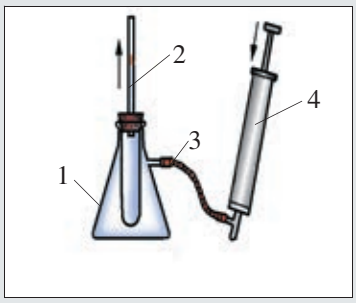
(1) 在水平公路上行驶的汽车，关闭发动机后，速度越来越小，最后停了下来；

(2) 发射枪弹时，火药爆炸产生燃气，子弹从枪膛射出去，射入一个物体后停止运动。

2. 有些人想设计制造一种机器，它不需要吸收任何热量，却能不断地对外做功。你认为这可能吗？为什么？

家庭作业与活动

1. 给你一小段细铁丝、一盒火柴和一小块粗糙的布片，请你用两种不同的方法使铁丝的温度升高。比较这两种方法的效果，并说出其中的道理。
2. 在图 2–10 所示的实验装置中，用打气筒向瓶内打气时，会看到气体温度计内的红色液柱上升；打气后迅速拔掉橡皮管，会看到红色液柱迅速下降，请解释这个现象*。
3. 图 2–11 所示的装置称为丁铎尔实验仪。在一个弓形夹具上有一根黄铜管，把夹具固定在桌边，在铜管内倒入少量乙醚，将塞子塞好（松紧适宜），然后把绳子在铜管上绕上一二圈，双手拉住绳子两端快速地来回拉动，不一会儿就能看到塞子向上飞起。这是什么原因呢？



1. 吸滤瓶　2. 气体温度计　3. 橡皮管　4. 两用气筒

图 2–10

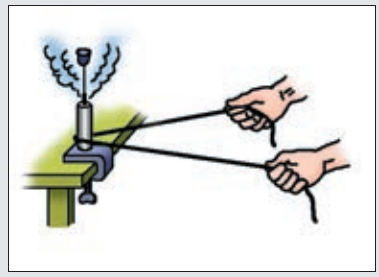


图 2–11

* 要做这个实验，必须在老师指导下进行。

2.3 伟大的守恒定律

热力学第一定律描述了物体的内能变化跟做功和热传递之间的关系。在一般情况下，能量的转化与转移遵循怎样的规律呢？

徒劳的设计

在欧洲的历史上，曾经有一批极富创造才能的人，他们绞尽脑汁，想设计出一种机器，这种机器不需要消耗任何燃料或动力，一经起动，就可以不停地运转。这就是所谓的“永动机”。

请观察图 2–12 和图 2–13 所示的永动机，揣摩一下，设计者当初是怎样想的？他们的设计能成功吗？



图 2–12　法国人亨内考设计的永动机



图 2–13　英国人马尔基斯设计的永动机

除了这两台永动机外，还有许多构思无比巧妙的永动机……

不过，一个个巧妙的永动机设计方案，都像阳光下美丽的肥皂泡一样，很快地破灭了。

然而，人们对永动机的热情依然很高，他们继续锲而不舍地编织着他们那色彩绚丽的美梦……

就在人们仍然热衷于制造永动机的同时，有些科学家已从永动机设计方案的失败中开始觉醒，他们似乎意识到，“天下没有免费的午餐”，自然界也不可能无中生有地奉献。

15、16 世纪的意大利著名科学家、艺术家达·芬奇（Leonardo da Vinci）也设计过永动机。他从自己的失败中似乎领悟到了什么，于是他劝告人们：“永恒运动的幻想家们！你们的探索是何等徒劳无功，还是去做淘金者吧！”

法国科学院在 1775 年郑重地通过一项决议，拒绝审理永动机，并且解释说：“永动机的建造是绝对不可能的，即使中间的摩擦和阻力不致最终破坏原来的动力，这个动力也不能产生等于原因的效果……”

亨内考是 13 世纪的一个法国人，他设计的这台早期著名的永动机，我们已在《物理 2》的第 4 章中做过分析。

马尔基斯是 17 世纪的英国人，他设计的这台永动机，转轮直径达 4.3m，有 40 个质量均为 23kg 的重球。他当时是一个囚犯，据说英国国王查理一世看了他的这台机器，一时高兴，就把他释放了。

无论是达·芬奇的劝告,还是法国科学院的解释,对永动机的判决都显得苍白无力。一些科学家意识到,必须寻觅到永动机不会成功的更本质的原因——他们需要一把达摩斯克剑,来斩断锁住永动机迷们的幻想之链。

但是,剑在何方呢?

先驱者们的贡献

“山雨欲来风满楼”,19 世纪初, 科学技术已发展到相当的水平,发现能量转化与守恒定律的时机即将成熟。

从 1820 年起,“功”的概念开始在工程技术的论著中建立。“能”的概念最早是由英国物理学家托马斯·杨(Thomas Young) 于 1807 年提出的。

在理论上,随着动力学的发展,人们逐渐形成了“功”和“能”的概念。通过对热本质的争论,热质说已受到严厉的批判,热是运动的观点已基本确立。

在实践上,科学技术的发展已开始揭示自然界各种运动的联系与转化。

1800 年,意大利科学家伏打(A. Volta)制成“伏打电堆”,实现了化学运动与电运动的转化。后来,人们又利用它所提供的稳定电流进行电解,实现了电运动向化学运动的转化。

1820 年,丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted)发现了电流磁效应,揭示了电与磁的联系,打开了电能向机械能转化的大门。

1821 年,德国物理学家塞贝克(T. J. Seebeck)首先发现“温差电”现象;1834 年,法国物理学珀耳帖(J. C. A. Peltier)发现了它的逆效应。这样,又实现了内能与电能之间的转化。

1831 年,法拉第(M. Faraday)发现电磁感应现象并制成发电机,实现了机械能与电能的转化。

1840 年和 1842 年,焦耳和楞次(Э. Х. Ленц)分别发现了电热定律,定量论证了电能与内能的转化关系。

……

这些发现,从各个侧面加深了人们对各种自然现象间的联系与转化的认识。

总之,到了 19 世纪 40 年代前后,欧洲科学界已普遍弥漫着一种气氛,认为应该以一种相互联系的观点去认识自然。能量转化与守恒定律,已犹如一轮喷薄欲出的红日。

俗话说:“时势造英雄。”在当时科学和技术发展的推动下,在欧洲的几个不同领域中,出现了几位可敬的先驱者。

第一个对发现能量转化与守恒定律做出重大贡献的是法国

青年工程师卡诺。他通过对热机的研究，于1830年在笔记中明确提出了热的分子动理论和能量转化与守恒定律，得出1cal的热相当于3.63J的功。可惜卡诺英年早逝，他的遗稿被长期搁置，直到1878年才公布于世。这时能量转化与守恒定律已是人们公认的一条基本规律了。

卡诺之后，德国生理学家莫尔(C. F. Mohr)也于1837年在《论热的本质》一文中，表述了类似的思想。

1839年，法国工程学家塞甘(M. Seguin)也算出了热的机械功当量。

1840年，俄国化学家盖斯(Г. И. Гесс)提出了关于化学反应中释放热量的重要定律：在化学反应中释放的能量是一个跟中间过程无关的恒量。这揭示了化学变化过程中的能量守恒。

遗憾的是，这些先驱者的成果，有的没有及时发表，有的发表后没有引起应有的重视。

在科学的攀登道路上，不仅科学家常会遭受巨大的精神打击，科学发现也常会“蒙难”，这是什么原因？你能列举一些其他的事例吗？



卡诺 (S. Carnot, 1796—1832)，法国物理学家、工程师。毕业于巴黎综合工科学校。1824年提出了关于热机的卡诺循环和卡诺定律。

探究能量守恒的三重奏

迈尔的理性思考

在科学史上，第一个发表能量转化与守恒原理的是德国青年医生迈尔。迈尔的研究是从生命运动开始的。1840年，迈尔随船从荷兰驶往东印度。一日，船行至爪哇岛，一些海员不幸生病了。迈尔按照他在德国治疗这种病的办法，在静脉管上扎针放血。偶然间他发现病员的静脉血比在欧洲时更为鲜红，这是为什么呢？经过思考，迈尔从拉瓦锡的氧化燃烧理论中得到启发。他认为，人的体温是靠氧在人体内产生的热来维持的，血液中的红色素是血液中进行氧化反应的产物。在赤道附近，气候炎热，人的体温不需要用许多氧来维持，血液中的氧消耗不多，因此静脉管里的血更为鲜红。

由此，迈尔展开联想：人体的热是怎样产生的呢？是由于心脏的运动吗？他估算了一下，一颗约500 g的心脏，它的运动根本不能维持人的体温。迈尔认为，一定是人体内食物所含的化学能变为内能的缘故。

回国后，迈尔继续进行研究。他在一家纸厂设计了一个实验。



迈尔 (J. R. Mayer, 1814—1878)，德国物理学家，能量转化与守恒定律的发现者之一。1841年提出相当于能量的“力”的概念，认为运动、热、电等都可以归纳为一种“力”。次年证明从热到机械力与从机械力到热的转化，并做出“一切机械运动都能借摩擦转化为热”的判断。

他通过搅拌纸浆，测出纸浆的升温，计算出一定的机械功所产生的热。他还从空气在压强一定时和体积一定时的比热容关系，计算出 1cal 热量相当于 3.58 J 的功(现在公认值是 4.184 J)。他从机械能与内能的关系，扩展到其他现象，逐步形成了一切能量都可以相互转化的思想。

恩格斯对迈尔的观点给出了高度的评价，他称 1842 年是划时代的一年。

1842 年，迈尔从“无不生有，有不变无”的哲学信念出发，在他的论文中明确提出“力 * 是不灭的、能转化的、无重量的客体”的观点。

1845年，迈尔在论文中又进一步指出，“物体的量，守恒不变，这是一条最高自然法则，它既适用于物质，也适用于力。”

迈尔还借助各种机会到处热情洋溢地宣传他的能量转化思想，他充满激情地说道：“你们看，太阳把力洒向地球，地球决不会让这些力浪费掉，就到处布满了植物，它们生长着，吸收着阳光，并生出各种化学物质……”

焦耳的实验测定

如果说迈尔从自然哲学的理性思考走到了一个伟大定律的面前，那么最先用系统的实验为能量转化与守恒定律奠定了坚实基础的，则是酿酒师出身的英国科学家焦耳。

从各种不同现象之间的联系中诞生出来的“转化”概念，并不能等同于“守恒”，仅凭能量转化还不能导致科学家到达能量守恒



图 2–14　植物吸收阳光

* 迈尔在这里所说的力，就是能量的意思。下同。

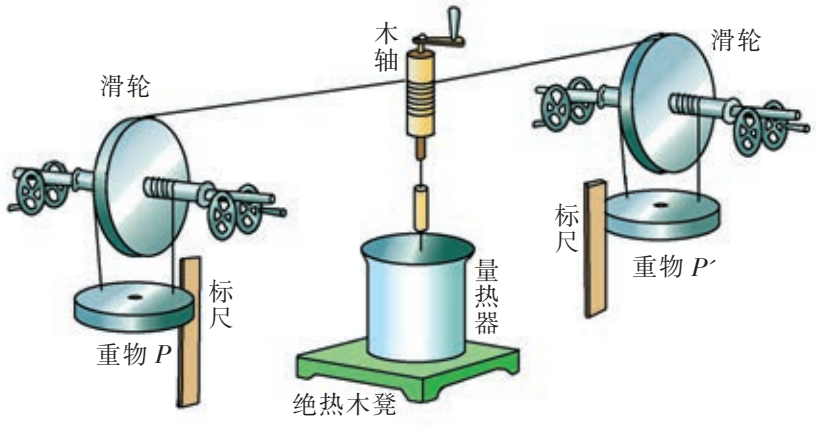


图 2–15　焦耳测定热功当量的实验装置



焦耳　(J. P. Joule, 1818—1889),英国物理学家。测定了热功当量,为建立能量转化与守恒定律做出了贡献。与楞次各自独立地发现了电流通过导体时产生热量的定律,称为“焦耳–楞次定律”。

的彼岸。必须确立各种不同形式能量之间相互转化的当量关系,能量转化与守恒定律才能真正确定起来。

焦耳在研究电流热效应的时候,领悟到一个具有普遍意义的事实:热和机械功可以互相转化,并在转化中遵从一定的当量关系。焦耳说:“在证明热可以用磁电机生成……之后,探求热和得到的或失去的机械功之间是否存在恒定的比值,就成了十分有兴趣的课题。”从此,焦耳踏上了测定热功当量的征程。

1843 年 8 月 21 日,焦耳宣布了关于热功当量的第一次实验测定结果。遗憾的是,焦耳的研究并没有立即引起人们的注意。

接着,焦耳又用多种不同方法进行了测定。其中一个很典型的实验装置如图 2–15 所示。他用重物下落提供的动力使铜制的翼轮转动,让翼轮搅动水,使水升温,确定重力做功与水(包括容器)升温吸热的关系。

1849年,焦耳的实验测定结果为 4.155 J/cal,仅比现在的公认的值约小 7%。对于 100 多年前的实验条件来说,这个结果实属不易。

焦耳的测定实验从 1840 年开始,一直进行到 1878 年。在这将近 40 年的时间里,他先后用各种不同方法做了 400 多次实验,呕心沥血,矢志不移,从一个 20 多岁的小伙子,变成一个 60 多岁的白发老人,为着一个实验——测定热功当量,为着确定能量转换的关系。他以日益精确的数据,无可辩驳地证明了各种形式的能量可以互相转化,并且在转化过程中守恒。

路漫漫其修远兮,吾将上下而求索。

——屈原:《离骚》

亥姆霍兹的数学论证

作为一条伟大的定律,最终还必须给出数学论证。这个工作是由德国物理学家亥姆霍兹完成的。他第一次给出能量守恒定律

的数学表达式，进而证明自然界的各种过程都遵从这个基本定律，并把它演绎到物理学的各个分支，最终使它成为普遍的定律。亥姆霍兹的工作完全是以理论物理的模式展开的，他的工作被认为是对能量守恒定律的第一个最严谨、最全面的论证。

几乎与迈尔、焦耳、亥姆霍兹同时，英国科学家格罗夫(W. R. Grove)、丹麦物理学家科尔丁(L. A. Colding)等人也测出了热功当量。还有德国化学家李比希(J. Liebig)、英国物理学家法拉第等，不同国家、不同领域的多位科学家，按不同的途径研究了这同一个问题，足见能量转化与守恒定律的诞生是历史的必然。在这部激动人心的发现能量原理的鸣奏曲中，迈尔、焦耳和亥姆霍兹奏出的是最强音。历史是不会忘记每一位对此做出贡献的人的，能量转化与守恒定律应该是前辈科学家共同发现的宝贵财富。



亥姆霍兹 (H. L. F. Helmholtz，1821—1894)德国物理学家。对眼睛的光学结构、色觉学说和乐音性质等的研究有许多贡献。1847 年发表关于能量转化与守恒定律的重要论著《论力的守恒》。此外，对热力学和电学也有贡献。

伟大的守恒定律

能量既不能凭空产生，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**能量转化与守恒定律**(law of conservation of energy)。

恩格斯把能量守恒定律、细胞学说、达尔文的生物进化论，称为 19 世纪自然科学的三大发现。

能量转化与守恒定律的发现过程，时间长，曲折多，具有“多人同时发现”的特点。美国科学哲学家托马斯·库恩指出：“能量守恒正是科学家们在 19 世纪前 40 年间在实验室里先后发现的各种能量转化过程的理论概括。”

能量转化与守恒定律是自然界的一条普遍规律，是人类科学宝库中的一件珍品。任何自然过程，不论是物理的、化学的、生物的，也不论是宏观的、微观的，有生命的或无生命的，都得遵循能量转化与守恒定律。

能量转化与守恒定律可以指导人们有效地开发新能源，如太阳能、波浪能、潮汐能、地热能、核能等；也可以指导人们主动地创造条件，实现能量的有目的转化，以达到某种特定的功效。例如红外摄影，就是把目标物发出的能量微弱的红外辐射接收下来，转化为电信号进行放大，再把放大了的电信号转化为光信号。

能量转化与守恒定律可以指导人们对新的物理现象做出解释，建立新的理论，或根据物理现象做出惊人的预言。例如，在关于 β 衰变的“能量失窃案”中，年轻的瑞士籍奥地利物理学家泡利(W. Pauli)根据能量守恒的普遍意义，预言了中微子的存在。这项

成就,已作为能量转化与守恒定律的一次重大胜利而光荣地载入史册。

能量转化与守恒定律也可以用来检验和启迪新的发明。在科学技术史上曾经风靡一时的永动机,无论构思多么巧妙,外表多么华丽,由于违背了能量转化与守恒定律,注定是要失败的。

信息浏览

物理学史上的一桩“能量失窃案”

20世纪初叶的物理实验发现,在放射性元素的β衰变中,元素发出的粒子(电子)的能量总比原子核初态与终态的能量差小,而且β粒子可以有一系列不同的能量值。这些减少的能量到哪里去了?这桩“能量失窃案”难倒了当时的许多物理学家,有些物理学家甚至认为在原子核范围内应该放弃能量守恒定律。年轻的泡利坚信能量守恒的普遍性,他大胆地作出预言:在β衰变中同时还放出另一种极小的中性粒子,是它带走了一部分能量。1933年10月举行的第七届索尔维会议上,泡利正式提出了这个观点。他的想法得到意大利著名物理学家费米(E. Fermi)的赞赏,并建议把这种中性粒子称为“中微子”。后来在1956年,两位美国物理学家用实验证实了中微子的存在。

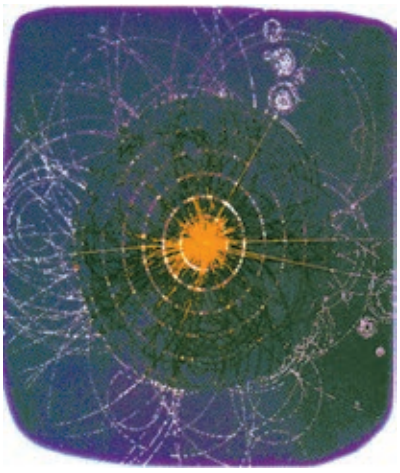


图2-16 1968年,美国布鲁克海文国家实验室宣布观测到中微子

家庭作业与活动

1. 伞兵在空中缓缓下降,重力势能逐渐变小,动能没有增加,那么减少的势能到哪里去了?
2. 一本书从高处落到地板上后处于静止状态,这里发生了怎样的能量转化?
3. 在举重运动员举起杠铃的过程中,发生了怎样的能量转化?
4. 核电站需要把原子核能最终转化为电能,请用方框图表示出其中能量转化的几个环节。
5. 请从互联网上和图书馆中查阅有关能量转化与守恒定律发现过程,以及有关迈尔、焦耳、亥姆霍兹等科学家的资料。你从中受到哪些启迪?有些什么体会?就你感兴趣的问题,写一篇科普小论文。



图 2–17　奔腾的黄河

君不见黄河之水天上来
奔流到海不复回
——李白

2.4 热力学第二定律　熵

自然界中，任何运动变化过程都遵守能量转化与守恒定律。那么，是否所有的能量都能有效地加以利用呢？是否符合能量守恒的过程都能发生呢？热力学第一定律和能量转化与守恒定律都没有回答这些问题。自然界中一定还隐藏着另外的奥秘！

过程的方向性

我们知道，热能够自发地从高温物体传到低温物体，那么，它能不能自发地从低温物体传递到高温物体？为什么看不到热自发地从低温物体传到高温物体呢？

这是因为热传递具有方向性。**在自然界中，一切自发过程都是有方向性的，都是不可逆的。**

河水能自动地从高处流向低处，“奔流到海不复回”，而不会自动地从低处流向高处。

打开一瓶香水，香水分子会自发地向四周散开，却不会自发

一个过程，如果可在相反的方向进行，而不引起外界的其他任何变化，则称此过程为可逆过程；一个过程如果用任何方法都不能使它和外界都恢复到初始状态，则称此过程为不可逆过程。

地从四面八方重新聚集到瓶子里。

一块石块从高处落下，重力势能转化为动能和克服空气阻力所做的功，当石块落到地面最终静止的时候，其动能又转化为内能；但是静止在地面上的石块决不会自动地把内能转化为动能，使自己重新升到空中。



a 怒放的礼花不会自动恢复原状

b 奔腾而下的瀑布和下落的石块不会把内能自动转化为动能，使自己重新飞上去

图 2–18 过程的方向性

过程的方向性具有普遍的意义，请再列举一些事例，并与同学相互交流。



克劳修斯（R. Clausius，1822—1888），德国物理学家，近代分子动理论的创始人之一。他提出统计概念，并推导出气体压强公式。1865 年提出“熵”的概念，使热力学第二定律以定量形式表述出来，其影响和作用遍及各个方面。

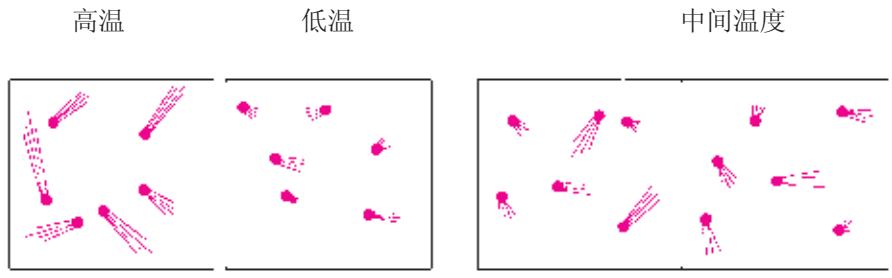
德国物理学家克劳修斯根据热传递的方向性，总结出一条规律：不可能使热量从低温物体传到高温物体，而不引起其他变化。这就是**热力学第二定律**（second law of thermodynamics）的一种表述，称为克劳修斯表述。

有人说，用电冰箱冷藏食品，用空调机制冷，它们都能源源不断地把热从温度较低的地方传到温度较高的地方，这似乎并不遵循热力学第二定律。你的看法怎样？

热力学的研究对象是由大量分子组成的系统。由于分子的无规则运动，它们在整体上表现出来的宏观方向性，必然有其深刻的微观原因。我们以热传递为例进行研究。

图 2–19a 是一盒热空气和一盒冷空气。热空气的温度高，分子平均动能大；冷空气的温度低，分子平均动能小。它们很有序地分居两盒。现把两个盒子相互接触，如图 2–19b 所示。经过一段时间后，由于热从热空气盒子传到冷空气盒子，导致热空气的温度降低，分子平均动能减小，冷空气的温度升高，分子平均动能增

加,最后它们达到同一温度。两个盒子中分子的平均动能都变成一个中间值。运动较快的分子不再跟运动较慢的分子隔开了。热传递的结果使得终态比初态更混乱,显示出更高的无序程度。



a 一盒热空气与一盒冷空气:热空气盒子中的大多数分子快速运动,而冷空气盒子中的大多数分子慢速运动

b 在热空气盒子给冷空气盒子加温一段时间后,左边盒子中有些分子慢了下来,而右边盒子中有些分子快了起来

图 2–19　热传递中几个分子的微观图景

科技活动　对扩散前后无序程度的讨论

如图 2–20 所示，容器中有A、B两种气体（分别用●和○表示),被容器中间的隔板很有序地分隔在左右两方。抽掉隔板后，A、B两种气体还能保持各处一方的状态吗?

设A、B两种气体不发生化学反应，请你用分子动理论的观点,说明它们的无序程度是增大还是减小了。

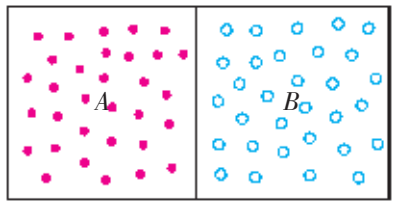


图 2–20　分置左右两方的两种气体

无序程度的描述——熵

在物理学上,为了描述一个系统的无序程度,引进了一个物理量,叫做**熵**(entrophy)。系统的熵高,表示无序程度大,显得“混乱”和“分散”;系统的熵低,表示无序程度小,显得有序、“整齐”和“集中”。

根据系统无序程度的变化,我们可以定性地比较熵的大小。

在上述热传递和气体扩散的事例中，通过热传递和扩散,系

统的熵都增加了。

在希腊语中，熵（εντροπη）表示“转向”的意思，1865年由克劳修斯把它引入物理学。我国物理学家胡刚复根据其含义，新造一字“熵”来表示。

科技活动 比较熵的大小

把一碗沙子倒进一碗米里，并把两者混合在一起，那么，混合前后相比较，系统的熵是增加了还是减小了？

质量相同、温度相同的水，在固态、液态和气态三种状态下，熵的大小有什么关系？为什么？

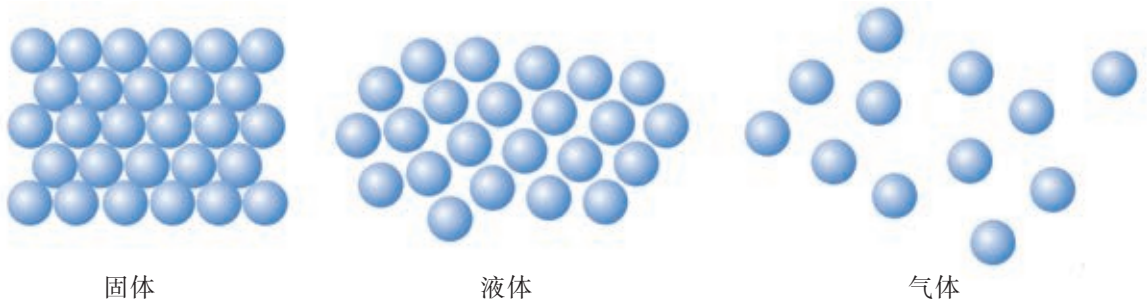


图 2–21 水的三种状态的微观结构示意图

根据大量分子运动对无序程度的影响，热力学第二定律又有一种表述：由大量分子组成的系统自发变化时，总是向着无序程度增加的方向发展，至少无序程度不会减少。这也就是说，任何一个系统自发变化时，系统的熵要么增加，要么不变，但不会减少。

科技活动 讨论功热转化过程中熵的变化

热力学第二定律指出，自然界的一切自发过程都是不可逆的。从能量利用的观点来看，一个可逆过程虽然不“消灭”能量，但总要或多或少地使一部分能量变成不能再做有用功了。

摩擦做的功可以全部转化为热，反之热能够全部转化为有用功吗？请你用熵的观点来说明这个问题。

热机的效率为什么不能达到100%呢？

无处不在的熵

熵的概念非常抽象，却又十分实在，它时时刻刻伴随着我们。无论是一杯水、一块铁，还是厨房里烹饪的菜肴、工厂里运转的机器，任何宏观物质系统，它们都有熵。而且，熵也可以在过程中产

生和传递。

大量事实证明,每一个不可逆过程,都是导致熵产生或增加的根源。

平时常见的热传递、扩散、功转变为热、煤的燃烧、铁在空气中氧化等一切自发的过程,都是不可逆的,都会使熵增加。马路上的摩托车急驶而过,喷出阵阵青烟,严重污染了环境,导致了熵的增大。

熵的概念用于管理科学时,企业管理混乱、经济过热就是熵太大,加强管理就是一种减熵措施。

熵虽然诞生于热力学的研究,但现在已拓展到生物学、化学、经济学、社会学等各个领域。在熵规律的支配下,旧的事物在消亡,新的事物在萌生。我们希望用较低的熵增加来推进社会文明的进一步发展。提倡节约能源,提高能量利用效率和不断开发新的绿色能源就是降低熵增加的措施。人们反对战争,保护环境,有助于抑制全球的熵的增大。提倡个人劳逸结合,修心养性,豁达乐观,同样会抑制熵对生命的摧促,延缓衰老,让有限的生命为社会做出更多的贡献。

能量守恒定律和熵增加定律是自然界中两条普遍的规律,堪称是宇宙的法规,它们一起控制着一切自然过程的发生和发展:任何过程中一切参与者的总能量必定保持不变,总熵必定不减少。

信息浏览

微观可逆与宏观不可逆的一个生动比喻

许多现象表明:一些物理过程在微观上是可逆的,在宏观上却不可逆,只能按一定方向进行。例如,两种原来分居两处的不同气体放到一处,两种气体的分子便混合在一起,微观上必然会有一些气体分子回到原来的地方,但宏观上一种均匀的混合气体决不会自发地分成原来的两种气体。

1986 年 8 月在日本东京举行的国际物理数学研究会上,一位代表对这种过程做了一个形象的比喻:好比有两只狗,一只黑狗身上生满了跳蚤,另一只白狗则是干净的。两只狗靠在一起,跳蚤可以从黑狗身上跳到白狗身上,当然也可以从白狗身上跳回到黑狗身上(图 2–22)。跳蚤跳来跳去的过程相当于一个微观过程,是可逆的。但是最后无论是黑狗还是白狗,都不可能成为干净的狗。也就是说,跳蚤不可能全部从白狗身上跳回黑狗身上,使白狗重新成为干净的狗。这一宏观的过程是不可逆的。

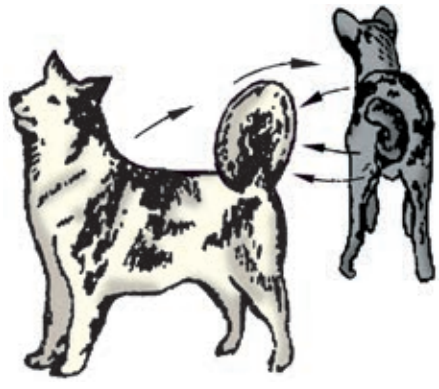


图 2–22　生动的比喻

家庭作业与活动

1. 请整理热力学第二定律的不同表述，并说明它们分别对应着怎样的物理事实。
2. 如图 2–23，将一滴红墨水滴入一杯清水中，红墨水将逐渐扩散到整杯水中，呈均匀分布。试说明这个过程中熵的变化。
3. 一个铁球从高处落下，撞到地面上，最后处于静止状态。试分析这个过程中熵的变化。
4. 据说有一位著名作家说过：不了解热力学第二定律（或者说不了解熵和熵增加原理），与不懂得莎士比亚同样糟糕。你对此有何认识？



图 2–23 红墨水的扩散