

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 1-2

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心



普通高中课程标准实验教科书

物 理

选修1-2

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心 编著

•

人民教育出版社出版发行

(北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081)

网址：<http://www.pep.com.cn>

××××印刷厂印装 全国新华书店经销

•

开本：890毫米×1240毫米 1/16 印张：6.25 字数：140 000

2007年4月第2版 年 月第 次印刷

印数：00 001~000 000册

ISBN 978-7-107-18448-2

G·11537(课) 定价： 元

著作权所有，请勿擅用本书制作各类出版物，违者必究
如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换。

总主编：张大昌

副总主编：彭前程

主 编：申先甲

副主编：杜 敏

执笔人员：谷雅慧 刘树勇 申先甲 王士平

绘 图：王凌波 张 良

责任编辑：谷雅慧 苗元秀

版式设计：张万红

审 读：王存志

目

录

致 同 学 们 1

第一章 分子动理论 内能



一、分子及其热运动 2
二、物体的内能 7
三、固体和液体 10
四、气体 16

第二章 能量的守恒与耗散



一、能量守恒定律 21
二、热力学第一定律 25
三、热机的工作原理 27
四、热力学第二定律 32
五、有序、无序和熵 34
六、课题研究：家庭中的热机 38

第三章 核能



一、放射性的发现 42
二、原子与原子核的结构 47
三、放射性衰变 50
四、裂变和聚变 54
五、核能的利用 57

第四章 能源的开发与利用



一、热机的发展与应用 64
二、电力和电信的发展与应用 69
三、新能源的开发 75
四、能源与可持续发展 80
五、课题研究：太阳能综合利用的研究 86

致 同 学 们

同学们！在学完共同必修模块后，你们已经领略了物理学冰山的一角。选修1系列的两个模块将继续向你们展示物理学的其他有趣的内容。在这个系列里我们将侧重物理学与社会科学和人文学科的融合，强调物理学对人类文明的影响。希望你们在本书的学习中，能主动地、生动活泼和富有个性地学习物理知识与技能，提高科学思维能力，发扬创新精神，为你们的终身发展及科学世界观、科学价值观的形成打下基础。

结合本教材的特点，先和同学们谈几个有关的话题。

物理学与人类文明

几千年的历史表明，物理学是人类文明的重要源泉。从茹毛饮血的原始社会到高度文明的现代社会，人类是伴随着包括物理学在内的科学技术的一次次突破，一步步地走过来的。在远古蛮荒的文明之初，投掷、尖劈、杠杆等知识帮助原始人群度过了漫长的旧石器时代。由于能力的低下，人类创造了听命于自然的图腾文化。弓箭、钻木取火的发明，是最早的技术革命，它催生了畜牧业以及制陶和冶金技术。金属农具的普遍使用，使人类进入到农业社会，产生了具有田园意趣、以自然启示人格和艺术的人文文化。

从近代欧洲的文艺复兴开始，科学实验开辟了科学革命的道路，理性精神深深地渗透到文化当中，把人类推进到科学文化的时代。17世纪的牛顿力学和18世纪中叶的量热学，导致了蒸汽动力的普遍应用，推动了近代第一次产业革命，人类进入到“蒸汽时代”，产生了资本主义的工业文明。19世纪40~60年代，能量转化和守恒定律的建立及电磁场理论的发展促进了“蒸汽时代”向“电气化时代”的转变。20世纪以来，以相对论和量子力学为理论支柱的微观物理学的发展



元代耕织图



铁路通车典礼

致 同 学 们

展,引发了现代科学革命,推动了今日高科技社会的诞生。科学技术的高速发展,使人类改造自然的能力空前增强。

在古典神话小说《封神演义》中,作者幻想了许多超人的能力:雷震子肋生双翅翱翔长空,土行孙缩身入地日行千里,哼哈二将怒射白光杀敌制胜,千里眼顺风耳探事千里之外。今天,飞机、地铁、激光、电视、互联网等技术已经使这些幻想变为现实。



全球定位系统接收器能够显示经度、纬度和海拔高度,能够引导飞机和船只辨别它们的确切位置。

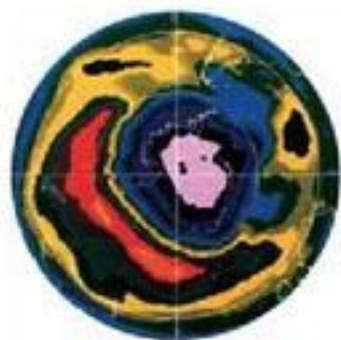


实现飞行的梦想

上天入地、腾空泛海、生光驭电、变幻万物,人类几乎达到了无所不能的地步。而这一切成就,都是基于科学技术的进展,可以说,物理学与其他学科一起创造了现代文明。

但是,一切技术应用,既可以成为打开自然宝库的钥匙,也可以成为对自然肆意施虐和毁灭人类文明的魔剑。今天,人们在惊叹高科技的辉煌成就的同时,似乎又听到了英国作家狄更斯(Charles Dickens, 1812—1870)在《双城记》中发出的警世哲言:

这是最好的时候,这是最坏的时候;
这是智慧的年代,这是愚蠢的年代;
这是信仰的新纪元,这是怀疑的新纪元;
这是光明的季节,这是黑暗的季节;
这是希望之春,这是失望之冬;
我们将拥有一切,我们将一无所有;
……



环境污染造成大气上层的臭氧空洞

今天,环境污染,生态破坏,新疾病不断发生,自然资源匮乏,人口爆炸……如果这些问题得不到控制,人类的前途就会陷入困境。

人是有理智、有感情的。在这种危机面前,我们必须重新思考人与自然的关系,重新评估科学技术的社会功能,重新规划科技发展的路线图,更多地考虑自然与人的关系,从人类文明史的经验教训和社会发展的未来出发,把自然文化、人文文化和科学文化整合起来,创造出人、社会与自然生态共荣,和谐发展的新的文化模式。

物理学之美

在一些人的心目中,物理学是那样枯燥,那样难懂,哪有什么“美”可言?事实并非如此。

美的源泉是大自然。美为什么会在物理学中泄露芳容呢?那是因为物理学之美源于自然美。



大自然——美的源泉

大自然拥有丰富多彩、十分绚丽的环境，有色彩之美、风格之美、对称之美、音韵之美、奇特之美、奥秘之美。物理学研究的对象，正是这样一个自然界。自然界所拥有的各种美的品格，当然会在物理学的内容和理论形式中反映出来。

简单、普适、和谐、统一是物理学之美的最普遍特征。尽管自然万物五彩缤纷、斑驳陆离、瞬息万变，然而它们的存在状态和变化却遵从一定的规律。为数不多的规律支配着自然界的一切，体现了自然界质朴的统一与和谐之美，赋予了科学理论的审美价值。爱因斯坦说：“从那些看来同直接真理十分不同的各种复杂现象中认识到它们的统一性，那是一种壮丽的感觉。”牛顿定律、万有引力定律、库仑定律、熵增加原理等，都以其简洁性、普适性与和谐性给人以美的震撼。它们既向人们展示出一个个未知王国如何在杂乱中包含有序、在繁杂中包含简单、在对立中包含统一，又给人们一种美的冲动，启迪人们的灵感和智慧，去创造更为壮丽的科学杰作。

自然界存在多种多样的对称美。对称性不仅体现在绘画、建筑、园林、城市规划中，物理学中同样反映出大自然的这种对称性。很多物理学理论都有一种赏心悦目的对称美，本书中，我们可以通过电与磁的规律领略一二，而在微观领域，还将看到更多、更深刻的对称性。

物理学中美的特点，在绘画、音乐，甚至诗歌、舞蹈等各种艺术中都有相似的对应物。物理学中那种看不见、摸不着、充满智慧的理性之美，正是艺术中那种见得着、听得到的感性之美的相似物，物理学家和艺术家通过不同途径追求的正是相同的目标。



京剧脸谱中的对称美

物理学与科学文化素养

有一个看法：如果一个人没有读过唐诗宋词、《红楼梦》和莎士比亚的作品，会被认为文化素养不高；但是一个人不知道牛顿、爱因斯坦的理论，却不被看做缺少文化。20世纪下半叶波澜壮阔的现代科技革命，极大地冲击了这种偏见。物理学家拉比(L. I. Rabi, 1898—1988)指出：“只有把科学和人文学科融为一体，我们才能期望达到与我们时代相称的智慧的顶点。”

或许你将来从事与物理学没有直接关系的工作，但是也应该对物理学有一定的认识。这不是要求你死记硬背物理定律和公式，而是要求你了解一些重要概念和规律的科学实质，经历一些物理学的探索过程，体会一些物理学的思维方式和研究方法，知道一些与物理学相关的基本知识。这对你分析和处理问题能力的提高，甚至你的日常生活，都是十分重要的。今天，物理学已经深入到社会生活的各个方面，无论你从事何种职业，都离不开与物理学相关的技术和产品。汽车、飞机、电视、空调、电脑、网络、手机、磁卡……不具备基本的物理学知识和技能，如何能更好地适应这种现代生活呢？

当代物理学发展的特点之一，是它与社会科学之间的沟通与渗透。人类生活在大自然中，人类社会的发展不能不受制于自然的法则，因而社会领域的许多问题，也可以借用物理学的概念、规律、思想和方法来研究和处理。近年来，在社会科学中广泛采用了自然科学的研究方法，我们必须造就具有较高自然科学素养的一代公民。

假如在一次浩劫中所有的科学知识都被摧毁，只剩下一句话留给后代，什么语句包含最多的信息？我相信，这是原子假说，即万物由原子（微小粒子）组成，它们永恒地运动着，并在一定距离以外互相吸引，而被挤压在一起时则互相排斥。在这句话里包含了有关这世界巨大数量的信息。

——费恩曼^①

第一章 分子动理论 内能



正在融化的浮冰

春天到来，冰雪消融，大地复苏。残雪、浮冰、春水，还有看不见的水汽，形成一幅美丽的画卷。

水，为什么会以如此不同的形式存在？壮丽的大自然背后隐藏着什么秘密呢？

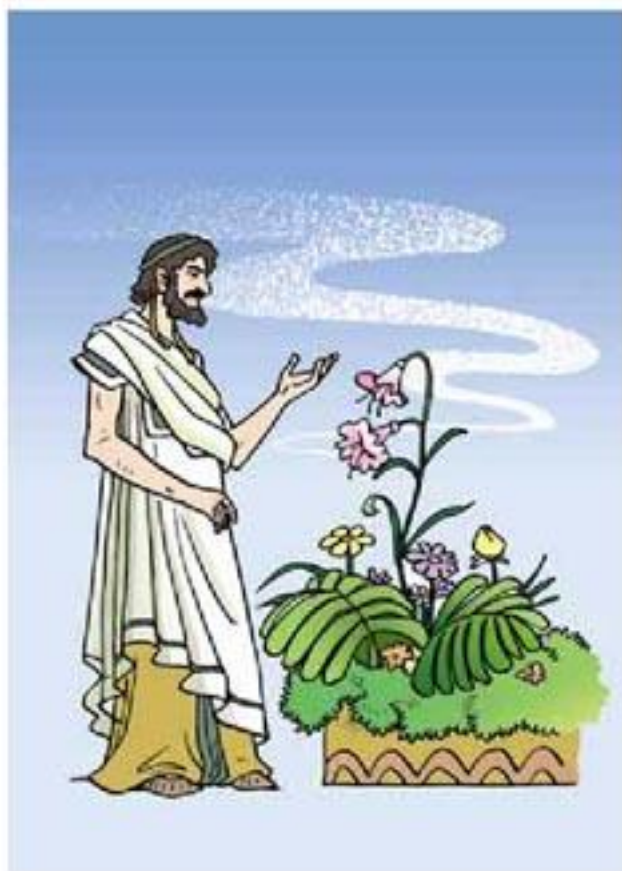
^① 费恩曼 (Richard Phillips Feynman, 1918—1988), 美国物理学家, 杰出的物理教育家, 由于在量子电动力学方面的贡献而获 1965 年诺贝尔物理学奖。

一、分子及其热运动

自古以来，人们就不断地探索物质组成的秘密。两千多年以前，古希腊的著名思想家德谟克利特(Democritus，约前460—前370)认为，万物都是由极小的不可分的微粒构成的，并把这种微粒叫做原子^①。在古希腊学者提出古原子论观点的同一时期，我国古代的墨家学派也曾提出原子的观点，认为对物质进行分割时，分割到“端”就不能再分割下去了。这些古代的学说虽然没有实验根据，却包含着原子理论的萌芽。

科学技术发展到今天，人们逐渐揭开了物质组成的秘密。现在，原子的存在早已得到实验的证实。科学研究还表明，一方面，原子也不是不可再分的；另一方面，原子还能够结合成分子，分子是具有一定化学性质的最小物质微粒。

实际上，构成物质的单元是多种多样的；或是原子(如金属)，或是离子(如盐类)，或是分子(如有机物)。在热学中，由于这些微粒做热运动时遵从相同的规律，所以在这里把它们统称为分子(molecule)。



虽然古希腊人不可能直接观察到原子，但是德谟克利特有他的思考。他认为人可以闻到花香，那是因为花的原子飘到人的鼻子里的缘故。

分子的大小 分子是很小的，不但用肉眼不能直接看到它们，就是在光学显微镜下也看不到。现在有了能放大几亿倍的扫描隧道显微镜，我们已经能用它观察到物质表面的分子。图1.1-1是我国科学家用扫描隧道显微镜拍摄的石墨表面原子的照片，图中每个亮斑都是一个碳原子。

怎样才能知道分子的大小呢？下面介绍一种粗略测定分子大小的方法。

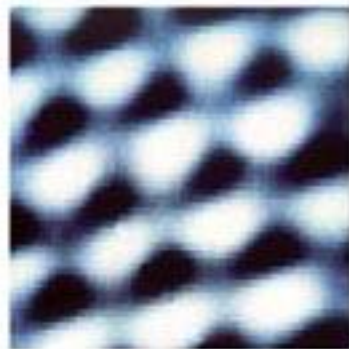


图1.1-1 扫描隧道显微镜拍摄的石墨表面的原子

^① 古代学者所说的原子与现代物理学中的原子不同，现代物理学中的原子是有结构的。

实验

用油膜法估测分子的大小

1. 选择油酸分子为估测对象

把很小体积的油酸滴在水面上时，水面上会形成一层油酸薄膜，薄膜是由单层油酸分子组成的^①，其示意图如图1.1-2所示。粗略地把油酸分子看做球状，测出油膜的厚度 d ，就是油酸分子的直径。

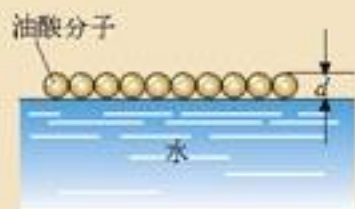


图1.1-2 水面上单分子油膜的示意图

油膜的厚度等于水面上这一小滴油酸的体积跟它在水面上摊开的面积之比，因此，要估测油酸分子的直径，就要解决两个问题：一是获得极小的一滴油酸并测量其体积，二是测量这滴油酸在水面上形成的油膜面积。

2. 如何获得极小的一滴油酸并测量它的体积

配制好一定浓度的油酸酒精溶液（例如1 mL油酸加酒精至200 mL）。用注射器吸入一定体积的这种溶液，把它一滴一滴地滴入小量筒中，记下液滴的总滴数，便知道每1滴溶液的体积。由此，便可以计算出每1滴这种溶液中所含纯油酸的体积。

如果把1滴这样的溶液滴入水面，溶液中的酒精将很快挥发，水面上的油膜便是这滴溶液中的纯油酸所形成的。

3. 如何测量油膜的面积

先往边长30~40 cm的浅盘里倒入约2 cm深的水，然后将痱子粉或石膏粉均匀地撒在水面上。用注射器向水面滴入1滴油酸酒精溶液，油酸立即在水面散开，形成一块薄膜（图1.1-3）。待薄膜形状稳定后，在浅盘上放一块玻璃板，将油酸膜的形状用彩笔描在玻璃板上。



图1.1-3 水面上形成一块油膜

将画有油酸薄膜轮廓的玻璃板放在坐标纸上，计算轮廓范围内正方形的个数（不足半个的舍去，多于半个的算一个）。这个数目乘以单个正方形的面积就得到油膜的面积，这样，根据1滴油酸的体积 V 和油膜面积 S ，就可以算出油膜的厚度 $d = \frac{V}{S}$ ，即油酸分子的直径。

物理学中测定分子大小的方法有许多种。用不同方法测出的分子大小并不完全相同，但数量级是一致的。测定结果表明，除了一些有机物质的大分子外，一般物质分子直径的数量级为 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。

^① 油酸的分子式为 $C_{17}H_{33}COOH$ 。它的一部分是羧基 $-COOH$ ，对水有很强的亲和力而与水分子结合，另一部分 $C_{17}H_{33}$ ，对水没有亲和力，要冒出水面，因此油酸分子就一个个直立在水面上形成单分子厚度的油膜。

阿伏加德罗常数 我们在化学课中已经学过, 1 mol 的任何物质都含有相同的粒子数, 这个数目用阿伏加德罗常数(Avogadro constant) N_A 来表示。1986 年用 X 射线法测得的阿伏加德罗常数是

$$N_A = 6.022\ 136\ 7 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$$

通常可取

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

分子很小很小, 所以常见物体中所含的分子数很多很多。1 cm³ 水中含有的分子数约为 3.3×10^{22} 个, 假如全世界 60 亿人不分男女老少都来数这些分子, 每人每秒数 1 个, 也需要 17 万年左右的时间才能数完。把 1 g 酒精倒入贮存 100 亿立方米水的水库中, 酒精分子均匀分布在水中以后, 每 1 cm³ 水中的酒精分子仍然在 100 万个以上!



把分子看做小球, 是对分子做出的简化模型。实际上, 分子并不真的都是小球, 分子还有复杂的内部结构。

说到分子的大小, 一般情况下知道分子直径的数量级就可以了。分子直径的数量级可以使我们了解分子是多么微小。

分子的热运动 我们在初中已经学过, 一切物质的分子都在不停地做无规则的运动。随处可见的扩散现象, 就是物质分子永不停息地做无规则运动的证明。



思考与讨论

扩散现象

什么是扩散现象? 如果记不清楚了可以看看初中的物理课本。通过扩散现象, 我们可以对分子的运动做出什么猜测?



甲 把空的广口瓶扣在装有棕色二氧化氮的瓶子上面的玻璃板上, 抽去玻璃板, 过一会儿上面的瓶中也出现了棕色气体。



乙 蓝色的硫酸铜溶液逐渐扩散到无色的清水中

图 1.1-4 这些现象说明了什么?

温度越高, 扩散进行得越快。这表示温度越高, 分子的无规则运动就越剧烈。正因为分子的无规则运动跟温度有关系, 所以通常把分子的这种运动叫做**热运动(thermal motion)**。制造晶体管和集成电路时, 要在某些纯净物质中掺入其他元素, 这样的工艺就是在高温条件下通过扩散完成的。

布朗运动 1827年英国植物学家布朗(R. Brown, 1773—1858)在研究植物授粉的过程中,无意间在显微镜下发现,悬浮在水中的花粉在不停地做无规则的运动。这是不是因为植物有生命而造成的?布朗用当时保存了上百年的植物标本,取其微粒进行实验,并另取一些没有生命的无机物粉末进行实验。布朗发现,不管什么微粒,只要足够小,就会发生这种运动,而且微粒越小,运动就越明显。这说明这种运动不是生命现象。为了纪念布朗的这个发现,人们把液体或气体中悬浮微粒的无规则运动叫做**布朗运动(Brown motion)**。

实验

观察布朗运动

把墨汁用水稀释后取出一滴放在显微镜下观察(图1.1-5),可以看到悬浮在液体中的小炭粒在不停地做无规则运动,炭粒越小,这种运动越明显。

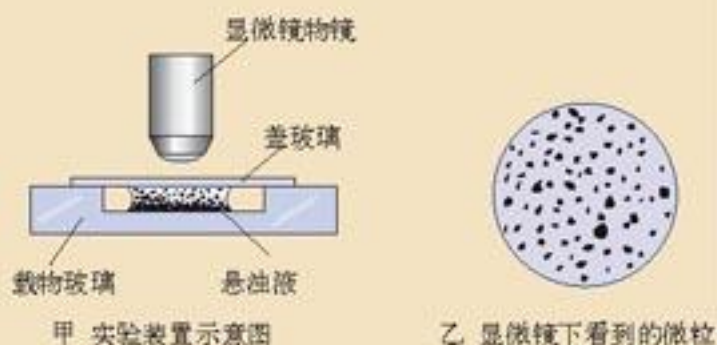


图1.1-5 观察布朗运动

在显微镜下追踪一个小炭粒的运动,每隔30 s记录一次炭粒的位置,然后用直线把这些位置依次连接起来,就得到类似图1.1-6所示的炭粒位置的连线。可以看出,炭粒的运动是无规则的。实际上,就是在短短的30 s内,炭粒的运动也是极不规则的。

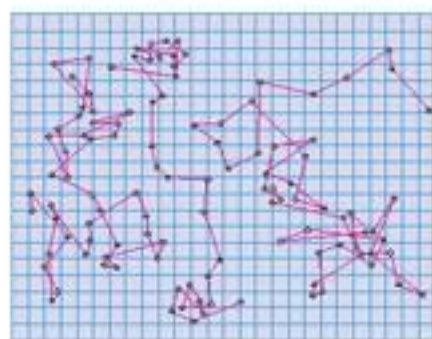


图1.1-6 显微镜下看到的三个微粒运动位置的连线

思考与讨论

布朗运动的原因

图1.1-6中所示的几个小颗粒的运动情况并不相同。想想看,布朗运动产生的原因可能是什么?

起初,人们认为布朗运动是由外界影响,如振动、液体的对流等引起的。但实验表明,在尽量排除外界影响的情况下,布朗运动仍然存在,只要微粒足够小,在任何悬浊液中都可以观察到布朗运动,而且可以连续观察许多天甚至几个月,这种运动也不会停下来。可见布朗运动

的原因不在外界，而在液体内部。

液体（或气体）是由许许多多分子组成的。分子不停地做无规则的运动，不断地撞击悬浮于其中的微粒。图1.1-7描绘了一颗微粒受到分子撞击的情景。微粒足够小时，来自各个方向的液体分子的撞击作用是不平衡的。在某一瞬间，微粒在某个方向受到的撞击作用较强，致使微粒开始沿这个方向运动；在下一瞬间，微粒在另一方向受到的撞击作用较强，致使微粒又开始向其他方向运动。这样，就引起了微粒的布朗运动。

可见，液体（或气体）分子永不停息的无规则运动是产生布朗运动的原因。做布朗运动的微粒不是单个分子，它是由成千上万个分子组成的。微粒的布朗运动并不是单个分子的运动。但是，微粒的布朗运动的无规则性，却反映了液体内部分子运动的无规则性。

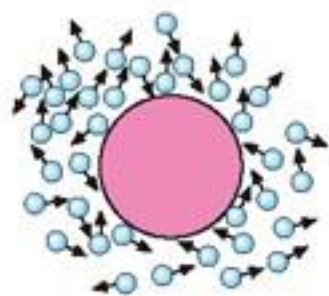


图1.1-7 液体分子对微粒撞击的不平衡性引起了布朗运动



科学漫步

嗅 觉

嗅觉是人体感受气味的器官在接触气体分子后产生的感觉。我们依靠嗅觉可以随时感知环境中的某些物质。

人类嗅觉的敏感性和分辨能力都相当高。一般人可以嗅出每升空气中 4×10^{-5} mg的人造麝香，能够辨别约一万种不同物质的气味。某些疾病，如感冒，会降低嗅觉的敏感性。

动物的嗅觉与觅食行为、性行为、攻击行为、定向活动以及各种通讯行为关系密切。许多动物的嗅觉感受器同视觉、听觉感受器一样，属于远程感受器。如狼根据气味捕食，被捕食者也常通过辨认气味而躲避捕食者。哺乳动物母子间的辨认也依靠嗅觉。母畜凭借特殊的气味辨认、照料幼畜，幼畜也借助气味将其生母与其他雌畜相区别。实验表明，切除某些雌性动物的嗅觉器官会导致它们残害自己的后代。而把雌狗的尿液涂在刚出生的虎仔身上时，雌狗便会给它们喂奶。由此可知，嗅觉器官在许多动物的生活中具有重要的作用。

关于嗅觉，你还知道哪些事情？

问题和练习



1. 如果能够把分子一个挨一个地排列起来，大约需要多少个分子才能排到1 m的长度？
2. 在8 g氧气中有多少个氧分子？
3. 为什么悬浮在液体中的颗粒越小，它的布朗运动越明显？
4. 为什么说布朗运动的无规则性反映了液体内部分子运动的无规则性？设想液体分子的运动是有规则的，例如在任何时刻所有分子都向某个方向运动，下一时刻又一起向另一个方向运动，这样还会产生布朗运动吗？

二、物体的内能

分子的动能 温度 像一切运动着的物体一样，做热运动的分子也具有动能。组成物体的分子是大量的，在同一温度下，物体里各个分子运动的速率是不同的，有的大，有的小，即使相同物质中的分子，它们的动能也不相同。由于分子在不停地做无规则的运动，它们会相互碰撞。发生碰撞的分子，它们的动能还会变化。因此，在热现象的研究中，我们所关心的不是每个分子的动能，而是物体里所有分子的动能的平均值。这个平均值叫做分子热运动的平均动能。

温度升高，物体分子的热运动加剧，分子热运动的平均动能也增加。温度越高，分子热运动的平均动能越大。温度越低，分子热运动的平均动能越小。温度是物体分子热运动平均动能的标志。

我们在前面讲述分子的大小时，认为固体分子和液体分子是一个挨一个地排列的，那只是为估算分子大小的数量级而做的设想。

分子间的相互作用 扩散现象和布朗运动不但说明分子在不停地做无规则的运动，同时也说明分子间是有空隙的，否则分子便不能运动了。气体容易被压缩，水和酒精混合后的体积小于两者原来体积之和(图1.2-1)，也说明了各种物质的分子之间都有空隙。

分子间虽然有空隙，大量分子却能聚集在一起形成固体或液体，说明分子之间存在着引力。用力拉伸物体，物体内部要产生反抗拉伸的弹力，就是因为分子间存在着引力。把两块纯净的铅压紧，由于分子间的引力，两块铅就合在一起，甚至下面吊一个重物也不能把它们拉开。将两块光学玻璃的表面磨得非常光滑，施加一定的压力它们就可以黏合在一起，这也是利用了分子间的引力。

分子间有引力，而分子间又有空隙，这说明分子间还存在着斥力，正是这种斥力使相邻的分子不会直接“接触”。分子间斥力的作用距离很小，只有当分子十分靠近时才表现出来。用力压缩物体，物体内部要产生反抗压缩的弹力，这种弹力就是物体内部大量分子间的斥力的宏观表现。

研究表明，分子间同时存在着引力和斥力，它们的大小都跟分子间的距离有关。图1.2-3的两条虚线分别表示两个分子间的引力和斥力随距离变化的情形。实线表示引力和斥力的合力，即实际表现出来的分子间的作用力随距离变化的情形。

我们看到，分子间的引力和斥力都随着分子间距离的增大而减小。当两

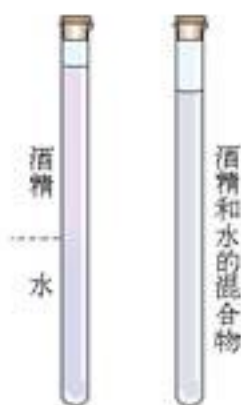


图1.2-1 水和酒精混合后的体积变小



图1.2-2 分子之间有引力

分子间的距离等于某值 r_0 时，分子间的引力与斥力相互平衡，分子间的作用力为0。 r_0 的数量级约为 10^{-10} m。某分子与相邻分子的距离为 r_0 时，它所处的位置叫做平衡位置。当分子间的距离小于 r_0 时，引力和斥力虽然都随着距离的减小而增大，但是斥力增大得更快，因而分子间的作用力表现为斥力。当分子间的距离大于 r_0 时，引力和斥力虽然都随着距离的增大而减小，但是斥力减小得更快，因而分子间的作用力表现为引力。当分子间距离的数量级大于 10^{-9} m时，引力和斥力都变得很小，分子力已经可以忽略。

分子由原子组成，原子内部有带正电的原子核和带负电的电子。分子间复杂的作用力就是由这些带电粒子的相互作用引起的。

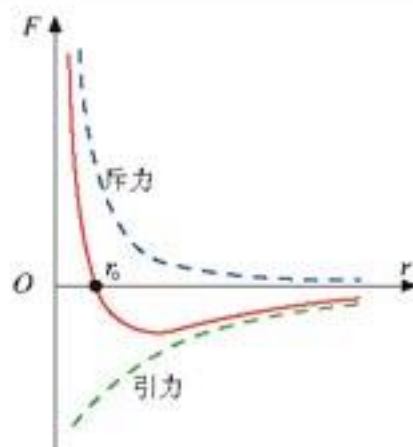


图1.2-3 分子间作用力跟距离的关系。习惯上引力用负值表示，所以代表引力的曲线画在横轴的下方。

分子势能

地面上的物体受到地球的吸引，它们之间有重力势能。分子之间也存在相互作用力，它们之间也有势能，这就是分子势能。

重力势能的大小与物体的高度有关系，同样，分子势能与分子间的距离有关系。分子间距离的变化在宏观上表现为物体体积的变化，一般说来，物体的体积发生变化时，其内部分子势能随着发生变化。气体的情况有所不同，气体分子间的距离比较大，分子间的作用力很小，在本书中这种作用力忽略不计。因此，本书不考虑气体的分子势能。

内能

物体中所有分子做热运动的动能和分子势能的总和叫做物体的内能 (internal energy)。一切物体都是由不停地做无规则热运动并且相互作用着的分子组成的，因此任何物体都具有内能。分子热运动的平均动能与温度有关系，温度升高时，分子的动能增加，因而物体的内能增加；分子势能跟体积有关系，体积变化，分子势能随之变化。总之，物体的内能与物体的温度和体积都有关系。

通过前面的分析我们知道：物体是由大量分子组成的。分子永不停息地做无规则热运动。分子之间存在着相互作用力。分子的热运动和分子间的相互作用决定了物质的热学性质。这就是分子动理论的基本内容。



科学足迹

热的本质是什么？

热学起源于人类对于冷热现象的本质的探索。热学中最核心的概念是温度，另一个重要概念是热量。在人类认识热现象的初期，这些基本概念是模糊不清的，直到近代才得到明确的区分。

很早人们就提出：热的本质是什么？自古以来，关于热的本质大体上有两种看法：热质说和热功说。热质说认为：热是一种特殊的物质，称为“热质 (caloric)”。热质由没有质量的微小粒子组

成，可以从一个物体流向另一个物体，其数量是守恒的。温度升高时，热质粒子互相排斥，从而使受热物体膨胀。热质说则认为：热是组成物质的微观粒子（分子）运动的表现，它可由物体的机械运动转化而来。

英国的伦福德伯爵（Count Rumford，原名 B. Thompson）1797年到慕尼黑兵工厂监制大炮镗孔工作，在这期间深入思考了做功与生热的关系。1798年1月25日他在英国皇家学会做报告说：“……我发现，铜炮在钻了很短一段时间后，就会产生大量的热，而被钻头从大炮上刮削下来的铜屑更热。像我用实验所证实的，它们比沸水还要热。”他指出，只要机械不停止做功，热就不断地产生。这些经历，使他形成这样的思想：热是物质运动的一种形式，是粒子运动的宏观表现，因此热的本质是粒子的运动。

1799年，戴维（H. Davy，1778—1829）在一个同周围环境隔离的真空容器中使两块冰互相摩擦，冰在摩擦中慢慢融化为水。在此过程中“热质”并不守恒，但不可能是从外边跑进去的。戴维由此断言：“热质并不存在”，“热现象的直接原因是运动”。

尽管伦福德和戴维由实验事实提出的论据如此充分，但他们的观点并没有被同时代的多数人所接受。直到半个世纪以后焦耳重复这类实验，并发表了他测得的热功当量的精确结果，随后科学界建立起了能量守恒定律，这时热质说才衰落下去。



伦福德伯爵（1753—1814）



温度与人类的生存环境

恒温动物要保持几乎不变的体温，必须用各种方法使自己的体温不受周围环境的影响。人吃的食物在氧化时产生热量，但人体没有毛皮遮身，更无法隔离变化不定的环境。人体是靠自身的许多机制来调节体温的，这样才能维持体温约 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

人类生活环境的温度起伏大约几十摄氏度。地球表面的平均温度约为 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，为生命的存在提供了舒适的温床。居住房屋的室温通常在 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围。

20世纪70年代，科学家在金星、火星上寻找生命的愿望未果时，提出了一个“盖娅假说（Gaia hypothesis）”^①。地球上的生物圈和它的环境构成一个统一的整体，是生物圈通过自己的影响使地球的气候长期保持在适合自己生存的“稳态”上。什么是稳态？举例来说，人类的体温总保持在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 上下，热了出汗，冷了颤抖，血液流动快慢也随着温度而变化……许多机制调节着体温，使人的体温基本不变，这便是一种稳态现象。按照“盖娅假说”，环境对于生物圈犹如貂的毛皮和蚌的外壳一样，是有机体的一个组成部分，这一有机体不仅被动地适应外界的变化，而且通过自己的“生理机能”进行主动调节，使环境处于稳态。有人说，盖娅是人与自然和平共处的象征，“盖娅假说”是20世纪最伟大的发现之一，它确立了人与自然的联系。“盖娅假说”所代表的新自然观应当成为21世纪人类活动的共同规范。

^① 在古希腊神话中，卡奥斯（Chaos，意思是“混沌”）和埃若丝（Eros）结婚生了两个孩子，男孩叫乌朗诺斯（Uranos，意思是“天”），女孩叫盖娅（Gaia，意思是“地”），所以盖娅象征地球女神或大地母亲。科学家把拟人化的美丽名字“盖娅”给了地球生物圈和它的环境所构成的统一体。于是，文中的假说就称为盖娅假说。

虽然生活环境温度的起伏，上下不过几十摄氏度，然而，在地球发展史上多次的冰河期里，平均温度仅降 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右，就使大批物种灭绝。如果大气里 CO_2 的含量加倍，失控的温室效应使平均气温升高 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的话，海平面将上涨 $2\sim 5\text{ m}$ ，它将淹没的肥沃土地，使农业减产 25% ，迫使 10 亿人背井离乡。

可见，人类安乐的家園——地球生物圈，在温度变化面前是何等的脆弱，地球公民应该爱护这个美丽家園。

问题和练习



1. 为什么说酒精和水混合后，体积变小的现象可以说明分子之间有空隙？说明你的理由。
2. 为什么说温度是物体分子热运动的平均动能的标志？
3. 一颗炮弹在高空以某一速度 v 飞行。有人说：由于炮弹中所有分子都具有这一速度，所以分子具有动能；又由于所有分子都在高处，所以分子又具有势能；所有分子的上述动能和势能的总和就是炮弹的内能。这种说法是否正确？为什么？
4. 把充满气体的气球放在火炉附近会爆炸。爆炸前后气球中气体的内能发生怎样的变化？

三、固体和液体

分子力的作用使分子聚集在一起，分子的无规则运动又使它们分散开来。这两种相反的因素决定了分子的三种不同的聚集状态：固态、液态和气态。物理学把固态和液态统称为凝聚态。凝聚态物理学是当前物理学中发展最迅速的分支学科之一。

固体和液体具有一个共同的特点：分子间的距离与分子本身的大小具有相同的数量级，因而分子间有较强的相互作用。这使得固体和液体都不易压缩，在微观结构上不像气体那样无序。

固体 固体可以分成晶体 (crystal) 和非晶体两类。在常见的固态物质中，石英、云母、明矾、食盐、硫酸铜、糖、味精等都是晶体，玻璃、蜂蜡、松香、沥青、橡胶等都是非晶体。晶体和非晶体在外形上、物理性质上都有很大区别。

食盐的晶体呈立方体形状，明矾的晶体呈八面体形状，石英晶体（透明的石英晶体叫水晶）的中间是一个六棱柱、两端是六棱锥（图 1.3-1），冬季的雪花，是水蒸气在空气中凝华时形成的晶体，它们的形状虽然不同，但都是六角形的规则图案。

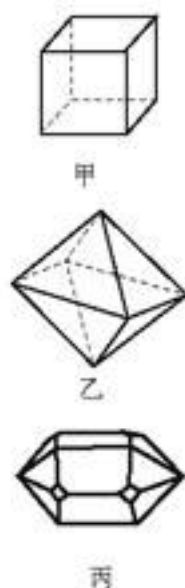


图 1.3-1 几种晶体的形状

非晶体没有规则的几何形状。

晶体和非晶体在物理性质上也有所不同。例如，我们在初中已经学过，晶体有确定的熔点，非晶体没有确定的熔点。

下面，我们来探讨晶体和非晶体还有哪些不同的物理性质。

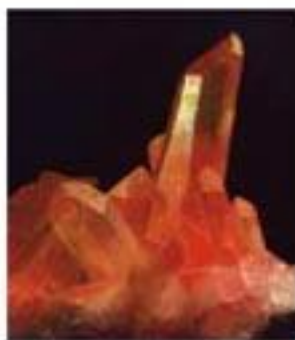


图1.3-2 漂亮的黄水晶

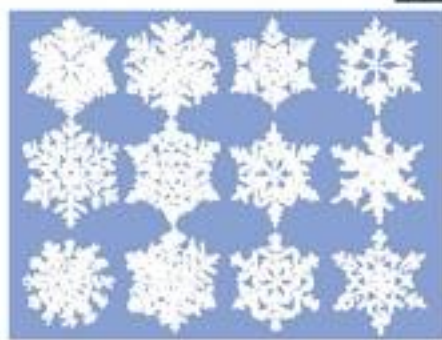


图1.3-3 各种形状的雪花

演示

取一张薄云母片，在上面涂一层很薄的石蜡，用烧热的钢针去接触云母片的另一面。观察接触点周围的石蜡熔化后所成的形状。然后再在玻璃片上做同样的实验，比较观察的结果。

从实验中我们看到，熔化了的石蜡在云母片上呈椭圆形(图1.3-4甲)，而在玻璃片上呈圆形(图1.3-4乙)。

这个实验表明，云母晶体在各个方向上的导热性能不同，而玻璃(非晶体)在各个方向上的导热性能相同。

晶体在不同的方向上不仅导热性能可能不同，而且机械强度、导电性能等其他物理性质也可能不一样。也就是说，晶体的物理性质可能与方向有关，这种特性叫做各向异性(anisotropy)。非晶体的各种物理性质，在各个方向上都是相同的，所以是各向同性(isotropy)的。



甲 云母片上熔化了的石蜡



乙 玻璃片上熔化了的石蜡

图1.3-4 云母片的导热性能是各向异性的

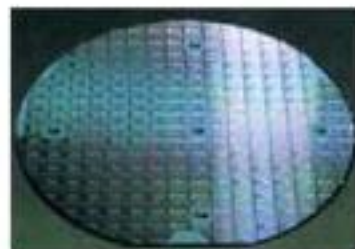
一片雪花、一颗盐粒就是一个晶体，我们把它叫做单晶体。某些单晶体是制造高科技产品的重要原料，在制造集成电路时，要用纯度很高的单晶硅或单晶锗。

我们在生活中看到，大盐块常常是由许多小盐粒粘在一起组成的，每个小盐粒都是一个单晶体，它们杂乱无章地排列着，形成的大盐块就是多晶体。平常见到的各种金属材料，都是多晶体，如果把铁块放到金相显微镜下观察，可以看到它是由许许多多晶粒组成的。多晶体没有规则的几何形状，也不呈现各向异性，但是同单晶体一样，仍然有确定的熔点。

一种物质可能以晶体和非晶体两种不同的形态出现，也就是说，一种物质是晶体还是非晶体，并不是绝对的。例如，天然水晶是晶体，而熔化以后再凝结的水晶——石英玻璃，就是



甲 单晶硅在生长炉中成长的情形



乙 用晶片制作的集成电路(尚未切割)

图1.3-5

非晶体。有的物质能够生成几种不同的晶体，例如碳原子可以形成层状结构的晶体——松软的石墨，也可以形成正八面体结构的晶体——坚硬的金金刚石。有些非晶体在一定条件下可以转化为晶体。例如，古老建筑的窗玻璃会出现局部结晶状态。人们在研究中还发现，在冷却得足够快、温度足够低时，几乎所有的材料都能成为非晶体。



是晶体，还是非晶体？

找来较大的蔗糖颗粒，在放大镜下观察。观察时，要用针翻动晶体，仔细看清晶体各个面的形状。描述这种晶体的外形。

把大糖粒弄碎，再在放大镜下观察。小颗粒的外形与大颗粒的相同吗？

把蔗糖放到锅里加热，熔化后再凝固，形成糖块。块状的糖是晶体还是非晶体？设计一个实验进行研究，并阐述你的结论。



图 1.3-6 糖葫芦上的糖是晶体还是非晶体？

液体

液体的宏观性质介于气体和固体之间。它一方面像固体，具有一定的体积，不易压缩；另一方面又像气体，没有一定的形状，具有流动性。液体的这些性质是由它的微观结构决定的。

液体在汽化时，体积会增加上千倍；而在凝固时，体积改变只有约10%。这表明，液体分子的间距更接近于固体，液体分子也是密集在一起的，因而液体具有一定的体积，不易压缩。但是，液体分子之间的相互作用不像固体中的微粒那样强，液体分子只在很小的区域内呈较规则的排列，这种区域是暂时的，边界和大小随时改变，有时瓦解，有时又重新形成。液体由大量暂时形成的小区域构成，这种小区域杂乱无章地分布着，因而液体表现出各向同性。

与气体相比，液体分子间的距离小，相互作用力大。液体分子的热运动与固体类似，主要表现为在平衡位置附近的微小振动。与固体不同的是，液体分子没有固定的平衡位置，在振动的同时它的平衡位置也在变化，也就是说，液体分子可以在液体中移动。

液体中的扩散现象是由液体分子的热运动产生的。在相同温度下，液体里分子的移动比在固体中容易，所以发生在液体中的扩散比在固体中快得多。

非晶体的微观结构跟液体非常类似，可以看作是黏滞性极大的液体。所以严格说来，只有晶体才能叫做真正的固体。

液体的表面张力

叶面上的露珠、玻璃板上的小水银滴，总是球形的；滴管缓慢滴出的液体不是连续的液流而是一连串的液滴；一些昆虫可以停在水面上而不致沉入水里……这是

为什么？

通过下面的实验和分析，我们就会明白其中的道理。

实验

把一根棉线的两端系在铁丝环上（棉线不要绷紧），然后把环浸入肥皂水里，再拿出来，环上就布满了肥皂水的薄膜。这时薄膜上的棉线是松弛的（图1.3-8甲）。用热针刺破棉线右侧的薄膜，观察薄膜和棉线发生的变化。重做这个实验，这时用热针刺破棉线左侧的薄膜，观察薄膜和棉线发生的变化。



图1.3-7 水龟(音mǐ)可以停在水面上

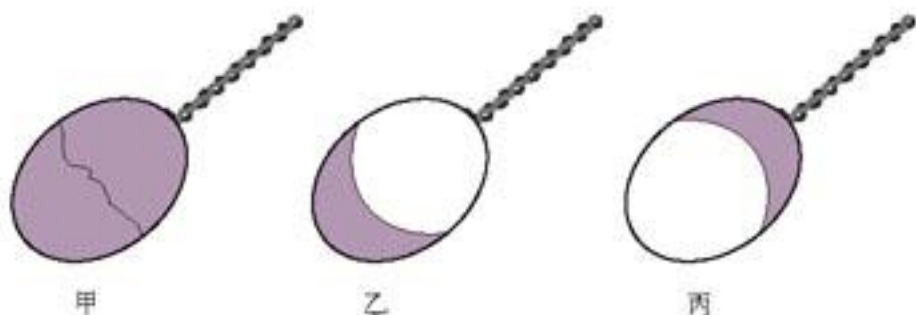


图1.3-8 观察肥皂膜的变化

实验中可以看到，刺破棉线右侧的薄膜，左侧的薄膜就会收缩（图1.3-8乙）；刺破棉线左侧的薄膜，右侧的薄膜就会收缩（图1.3-8丙）。

下面再做一个实验。

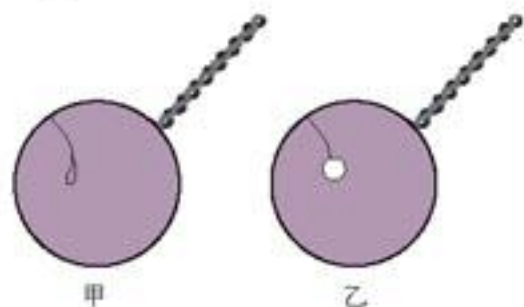


图1.3-9 观察棉线圈的变化

实验

把一个棉线圈系在铁丝环上，使环上布满肥皂水的薄膜，这时膜上的棉线圈是松弛的（图1.3-9甲）。用热针刺破棉线圈里的肥皂膜，观察棉线圈外的薄膜和棉线圈有什么变化。

实验中可以看到，刺破棉线圈里的肥皂膜后，棉线圈外的肥皂膜就会收缩（图1.3-9乙）。这些实验表明：液体的表面就好像张紧的橡皮膜一样，具有收缩的趋势。

为什么液体表面具有收缩的趋势呢？原来，液体跟气体接触的表面存在一个薄层，叫做表面层，表面层里的分子要比液体内部的分子稀疏些，也就是分子间的距离要比液体内部分子间的距离大些。图1.3-10显示出液体表面附近分子分布的大致情况。在液体内部，分子间既存在着引力，又存在着斥力，引力和斥力的大小相等，处于平衡状态。在表面层里，分子间的距离

比较大，分子间的相互作用表现为引力。如果在液面上画一条分界线MN(图1.3-11)，把液面分为(1)和(2)两部分，那么，由于表面层中分子间的引力，液面(1)对液面(2)有引力 F_1 的作用，液面(2)对液面(1)有引力 F_2 的作用， F_1 与 F_2 大小相等、方向相反。液面各部分间这种相互吸引的力，叫做表面张力

(surface tension)。液体的表面张力使液面具有收缩的趋势。在体积相等的各种形状的物体中，球形物体的表面积最小，所以草叶上的露珠，小水银滴等，都因表面张力而呈球形。

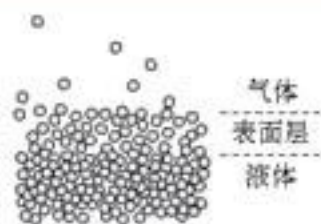


图1.3-10

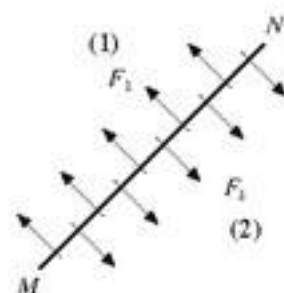


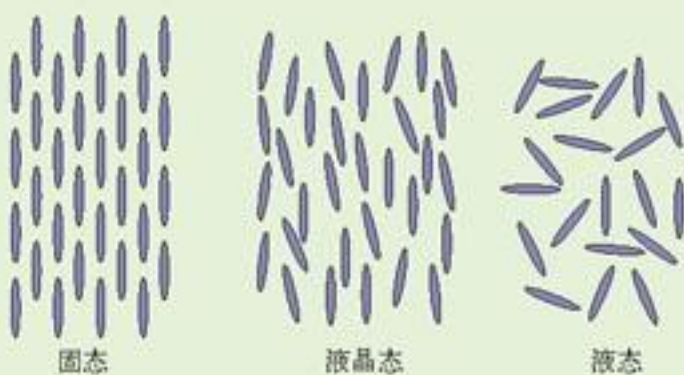
图1.3-11



科学漫步

液晶

物质通常呈固态、液态和气态。但是，许多有机化合物可以呈现介于晶体和液体之间的状态。在这种状态下的物质，一方面像液体一样具有流动性，另一方面又像晶体，分子在特定方向排列得比较整齐，具有各向异性。人们把物质的这种状态叫做液晶态，把处于这种状态的物质叫做液晶(liquid crystal)。液晶态是介于固态和液态之间的中间态(图1.3-12)。



1.3-12 固态、液晶态及液态的分子排列示意图

现在已发现几千种有机化合物具有液晶态。天然存在的液晶不多，大多数的液晶是人工合成的。液晶分子的排列是不稳定的，外界条件的微小变化，例如温度、压力、摩擦、电磁作用、容器表面的差异等，都会引起液晶分子排列的变化，因而改变液晶的某些性质。

有一种液晶，夹在两片叫做“偏振片”的特殊塑料片中，液晶的上下两面安装着电极。在电极间施加电压时，液晶透光的性质发生变化，这样就能依电极的形状显示出各种字符和图案。利用液晶的这一特性可以制作显示元件。这种显示方法广泛用于电子手表、电子计算器等仪器中。

有一种液晶，随着温度的升高，它的颜色会按红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫的顺序改变，温度降低，又按相反顺序变化。液晶的这种性质，可以用来探测温度。例如，在医学上可以用来检查肿瘤：在皮肤表面涂一层液晶，由于肿瘤部分的温度与周围正常组织的温度不一样，液晶会显示出不同的颜色。利用这种液晶还可以检查电路中的短路点：把液晶涂在印刷电路板上，由于短路位置的温度升高，这个地方液晶显示的颜色就与其他地方不同。



1.3-13 液晶显示器

从19世纪80年代发现液晶开始，科学家对它进行了80多年的研究，为它在技术应用上的突破做了准备。20世纪80年代，随着电子技术的迅速发展，人们将液晶应用于显示技术，于是它在电子工业、航空工业、生物、医学等领域内获得了广泛的应用。近年来，液晶的理论又在细胞生物学和分子生物学中得到了发展。随着科学技术的发展，液晶的理论和技术应用有着广阔的前途。



材料与人类社会的发展

大约 100 万年前，人类开始把石头当做工具：用带尖的石头打击野兽，细长的石头挖掘食物，石刃锋利的切割食物……石制工具的应用拉开了旧石器时代的序幕。这个时代占据整个人类历史的 99%。直到约 1 万年前，人类才把石头加工成更为精致的器皿和工具，进入了新石器时代。

从利用天然火到摩擦取火，神圣的火加速了人类生产新材料、新工具的进程。火不仅使人类吃到熟食，而且使人类发明了用黏土成型、火烧固化做成的陶器，从而迈进陶器时代。在烧陶过程中，某些石头还原出了铜和锡，凝固后便成为一种合金。于是有了青铜器，人类也进一步迈入青铜器时代。欧洲的青铜器时代始于公元前 800 年，我国黄河流域在公元前 2000 年进入青铜器时代，商朝已是青铜器时代的鼎盛时期。



大地湾出土的仰韶文化陶器

铁器对人类的影响更大。公元前 8 世纪，北非各地相继进入铁器时代，中国在春秋末期（公元前 6 世纪）冶铁技术也达到了很高水平。从古代的金属兵器和生活器具，到近代的火车巨龙，钢铁一直扮演着人类材料史上“元帅”的角色。

近百年来，特别是近三四十年来，随着科学的发展，制备材料的工艺有了突飞猛进的进步，对材料内部结构更加深入的研究，形成了一门新兴的学科——材料科学。人类利用材料科学的研究成果，得到了超纯的锗和硅，才有了今天的半导体，得到了比现有大块金属强度高 100 多倍的晶须。现在用等离子气相沉积的方法，可以在工具表面加上一层硬度跟



非晶态合金

金刚石差不多的薄膜，采用骤冷的办法可以使某些金属生成用途广泛的玻璃态金属（即非晶态金属）……

今天，材料的概念已经发生了变化，人们不再单纯地利用天然存在的物质，而是根据需要去设计新材料。各种各样的生物材料、智能材料、纳米材料正源源不断地涌现。



旧石器时代的丁村人制作的石器



西周晚期的青铜器——毛公鼎

问题和练习

- 1 晶体和非晶体的物理性质有哪些不同？可以用哪些方法分辨它们？
- 2 把一根缝衣针放在一张吸水的纸上，用纸托着缝衣针平放在水面（图1.3-14）。纸湿透后沉入水底，缝衣针会浮在水面上。

做这个实验。你能说明为什么缝衣针会被水的表面托住吗？

- 3 液体表面张力的大小跟液体的成分有关。肥皂水的表面张力比清水小。利用液体表面张力的这个性质，我们可以做个有趣的实验。

把一片长约1 cm、宽0.5 cm的薄塑料片剪成小船的形状，船尾夹一片肥皂，放到静止的水面上。过一会儿，小船就能向前行驶了（图1.3-15）。

做这个实验，相信你一定会成功！什么力使小船向前行驶？

- 4 为什么严格说来，只有晶体才能叫做真正的固体？



图1.3-14 缝衣针浮在水面上



图1.3-15 肥皂船

四、气体

气体分子运动的特点

与固体、液体相比，气体是很容易压缩的，这说明气体分子不像固体分子或液体分子那样距离很近，气体分子之间有很大的空隙。气体能够充满整个容器，表明气体分子除了在相互碰撞的短暂时间外，相互作用力十分微弱，气体分子可以自由地运动。实际上，气体分子运动的速率很大，常温下多数气体分子的速率都达到数百米每秒——这在数量级上相当于子弹的速率。

气体的压强

我们已经知道，大气对物体的表面会产生压强。密封容器中的气体对器壁是不是也有压强？

演示

在玻璃罩内放一个充气不多的气球（图1.4-1），球皮是否受到球内气体的压强？用抽气机把玻璃罩内的空气抽去，抽气的过程中会看到什么现象？

抽气的过程中气球在膨胀。这说明球内的气体确实对球皮具有由内向外的压强，只是由于大气对于气球还有由外向内的压强，所以平时气球才不会胀破。

我们所说气体的压强，指的就是气体对于容器器壁的压强。

在国际单位制中，压强的单位是帕斯卡（pascal），简称帕，符号是Pa。

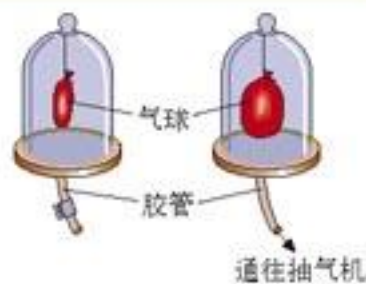


图1.4-1 抽气时，气球发生变化。

气体压强的微观意义 从分子动理论的观点来看，气体的压强是大量气体分子频繁地碰撞器壁而产生的。我们知道，雨滴打在雨伞上会使伞面受到冲击力，单个雨滴对伞面的作用力是微小的、短暂的，但是大量密集的雨滴接连不断地打在伞面上，就对伞面形成压力(图1.4-2)。同样，单个分子碰撞器壁的作用力是微小的、短暂的，但是大量分子频繁地碰撞器壁，就对器壁产生持续、均匀的压力。所以从分子动理论的观点来看，气体的压强就是大量气体分子作用在器壁单位面积上的平均作用力。在标准状况下，每摩尔气体的体积是22.4 L，因此 1 cm^3 气体中大约含有 2.7×10^{19} 个分子。不难想像，每秒撞击单位面积器壁分子是极多的。大量的分子不断地撞击器壁，对器壁能产生持续的压力，就不足为奇了。

气体压强的产生可以用实验来模拟。



图1.4-2 大量雨滴的连续打击形成对伞面的压力

演示

模拟气体的压强

用小钢珠当做空气的分子。把装有钢珠的杯子拿到秤盘上方5 cm处，使1粒钢珠落在秤盘上，秤的指针会摆动一下。再在相同的高度把100粒或者更多的钢珠连续快速地倒在秤盘上(图1.4-3)，秤的指针会在一个位置附近摆动。这说明大量钢珠撞击秤盘，对秤盘产生了持续的压力。在一定的时间内，碰撞的钢珠越多，对秤盘产生的压力越大。

如果使这些钢珠从更高的位置落在秤盘上，可以看到秤盘所受的压力更大。这表明，钢珠的动能越大，对秤盘产生的压力越大。



图1.4-3 钢珠的连续打击对秤盘产生了持续的压力

可以想见，从微观角度来看，气体压强的大小与两个因素有关：一个是气体分子的平均动能，一个是分子的密集程度。

气体分子的平均动能越大，分子撞击器壁时对器壁产生的作用力越大，气体的压强就越大；而温度是分子平均动能的标志，所以气体的压强跟温度有关。按照分子动理论，温度升高时，分子的热运动变得剧烈，分子的平均动能增大，撞击器壁时对器壁的作用力变大，所以气体的压强增大。在炎热的夏天，打足了气的自行车行驶在滚烫的路面上，有时会爆胎，这是轮胎中气体温度升高，压强增大造成的。汽车、拖拉机的内燃机，利用气体的压强与温度有关的道理，当燃油燃烧使得汽缸内气体的温度急剧升高、压强增大时，推动活塞做功。相反地，为了防止气体受热时压强加大造成安全事故，在储存压缩气体的容器上，都有明显的标示，提醒人们不要把气瓶放在高温环境中。

气体分子越密集，每秒撞击器壁单位面积的分子越多，气体的压强就越大。一定质量的气体，体积越小，分子越密集。可见，气体的压强还与体积有关。

气体分子速率的分布和统计规律 常温下，大多数气体分子运动的速率是很大的。图1.4-4给出了在0℃和100℃时具有各种速率的氧气分子所占的百分比。例如，0℃时速率在300~400 m/s之间的氧气分子占21.4%。

比较0℃和100℃时氧气分子的速率分布就会看到，温度较高时，速率较大的分子所占的比例大些，速率较小的分子所占的比例小些。我们说“温度越高，分子的热运动越剧烈”，就是这个意思。

我们也要看到，即使温度较高，也有少数分子的速率在100 m/s以下。至于哪个分子在什么时刻具有多大的速率，这完全是偶然的。但是，对于一定种类的大量分子来说，在一定温度时，处于一定速率范围内的分子数所占的百分比是确定的，呈现出一定的规律性，这种规律是一种统计规律(statistical law)。

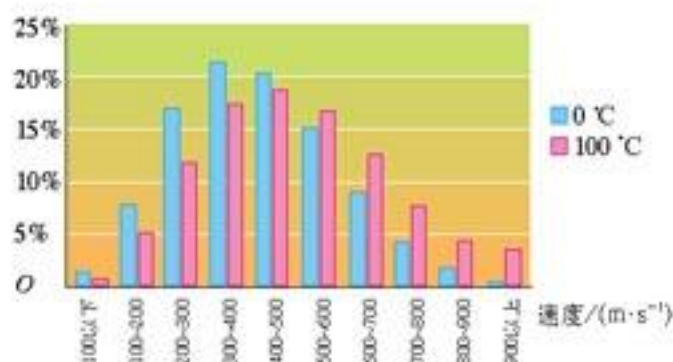


图1.4-4 氧气分子速率的分布。一组柱的高度表示在0℃时速率在相应数值范围内的分子数所占的百分比，另一组柱表示100℃时所占的百分比。

演示

伽耳顿板实验

如图1.4-5所示，在一块竖直放置的木板上均匀地钉着许多铁钉，下部用隔板分割成许多等宽的竖直狭槽。这种实验装置叫做伽耳顿板。

从伽耳顿板顶部漏斗形入口投入一个小球，小球在下落时会与许多铁钉相碰，最后落入某一个狭槽内。重复几次实验，可以发现，小球每次落入的狭槽不一定相同。这表示，对单个小球的一次下落来说，落入哪个狭槽具有偶然性。



图1.4-6 伽耳顿板实验



图1.4-5 伽耳顿板

向入口投入大量小球，观察这些小球落下后在狭槽内的分布(图1.4-6)。用数量不同的小球反复做伽耳顿板实验，还可以观察到：当小球总数较少时，各次实验得到的分布情况有明显差别；当小球的总数很多时，每次得到的分布情况几乎都相同。



实验表明,虽然单个小球落入哪个狭槽具有偶然性,但大量小球在狭槽内的分布却具有一定的规律性。这就是大量偶然事件在整体上表现出来的统计规律。

在气体中,大量分子做无规则的热运动,分子以不同的速率沿着各个方向运动。分子间频繁的碰撞,使每个分子速度的大小和方向频繁地发生改变。一个分子在某一时刻的速度具有怎样的大小和方向,完全是偶然的。我们不可能跟踪每个分子的运动,也没有必要知道每个分子在某一时刻的运动状态,需要知道的是大量分子整体上所遵循的统计规律,因此,统计规律在研究热现象时具有重要的作用。

在生活中这种现象也很普遍,例如人群中各个年龄段的人数所占的百分比的分布、拥有不同数量的财产的人数在人群中所占的百分比的分布、具有某种不同健康指数的人数所占的百分比的分布,等等。这种统计规律,对医学、社会学的研究也很有意义。

大家谈

测量全班同学的身高,分别统计身高 158~160 cm、161~163 cm、164~166 cm……的人数,然后以身高为横坐标、人数为纵坐标作出直方图,看看有什么规律。还可以男女生分别统计,看看身高与年龄的关系有什么性别差异。

统计规律是对大量偶然事件整体上起作用的规律,它表现了这些事物的整体特征和必然联系,在这里,个别事物的特征和偶然联系退居次要地位。在研究气体时,尽管我们认为每个粒子的运动仍然遵循力学的规律,但当体系中所包含的粒子数目极多时,就导致全新规律的出现,在这里发生了从量变到质变的飞跃。

问题和练习



- 要使汽车轮胎内空气的压强相同,冬天和夏天相比,打入胎内的空气质量相同吗?何时打入的空气质量较大?
- 用气体分子热运动的观点解释以下现象:
 - 一定质量的气体,如果保持气体的温度不变,体积越小,压强越大;
 - 一定质量的气体,如果保持气体的体积不变,温度越高,压强越大。
- 在失重的情况下气体对于器壁是否还有压强?你是根据什么道理得出结论的?有什么现象或实验可以证实你的结论?
- 用生活中的事例说明,大量出现的某类事件会表现出统计规律。

人们在1800年后的头几十年中多次出现这样一种预感，即存在着一种“力”，这种“力”按照各种情况分别以机械运动、化学亲和性、电、光、热或者磁的形式出现，所有这些形式的现象中的任何一种都可以转化成其他一种。

—— 劳厄^①

第二章 能量的守恒与耗散



发射中的火箭

“长征”火箭在震天撼地的轰鸣中腾空而起，带着中华民族的希望飞向太空。回顾历史，我们会因祖先发明的走马灯和火箭而骄傲，这是世界上最早的燃气动力技术。近代热机的发明和发展大大促进了文明的发展。现代热机技术会更加完善，为人类实现更多的梦想。

^① 劳厄 (Max von Laue, 1879—1960) 德国物理学家，因发现X射线在晶体中的衍射现象而获得1914年的诺贝尔物理学奖。

一、能量守恒定律

能量的转化 自然界中的物质做着各种形式的运动，例如物体的机械运动、分子的热运动、电磁运动，等等。每一种运动都有一种形式的能与它对应，因此，有各种形式的能：与机械运动对应的是机械能，与物体中分子热运动对应的是内能，与电磁运动对应的是电磁能……

热现象是司空见惯的现象。人们从实践中逐渐认识到，热运动与机械运动、电磁运动等其他运动都有联系，各种运动都可以转化为热运动。

各种形式的能都可以相互转化。用金属钻头钻铁时，金属钻头变热，铁屑烫手，这使人认识到，机械能可以转化为内能。用电器烧水，水温升高是电能转化为内能；燃料燃烧产生热，是燃料的化学能转化成内能；炽热的灯丝发光，是内能转化成光能……

我们用实验来探究，下面的事例中发生了哪些能的转化。

实验

探究能量的转化

● **使手电筒发光** 这是一个特殊的手电筒，里面没有干电池。它的结构如图2.1-1所示。阅读说明书。你能否使手电筒发出光来？

● **弯折金属丝** 找来一根比较粗的铁丝，迅速反复地弯折它，用手感觉它的温度变化。

你还能举出什么例子，说明各种能量可以相互转化？



图2.1-1 一种环保手电筒

探究项目	实验结果	发生哪些能量的转化
使手电筒发光		
弯折金属丝		

下面我们再来观察一个有趣的现象。

演示

温差电现象

将长约30 cm的一条铜线和一条铁线的两端分别连接起来，形成一个环，然后把铜线剪断，接入一只灵敏电流表(图2.1-2)。

将铜线与铁线相连的一个接头放在酒精灯上加热，两条导线的另一个接头放入冷水中，观察电流表指针的变化。

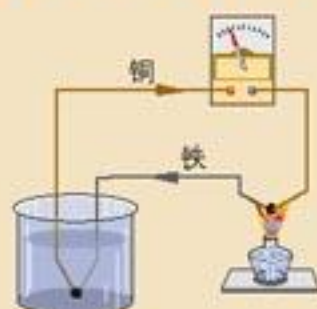


图2.1-2 温差电现象

由于两种金属的两个连接点存在温度差而产生了电流，这种现象叫做温差电现象。在上面的实验中发生了内能与电能之间的转化。

进入19世纪以后，人们相继发现了许多反映物质运动形式相互联系与转化的现象。下面是那个时代的一些发现。

年代	发现与发明
1800年	伏打发明电池
1820年	奥斯特发现电流的磁效应
1821年	塞贝克发现温差电现象
1831年	法拉第发现电磁感应现象
1841年	李比希认识到，生物体的热量和生命的活力是由体内食物氧化所产生的热量提供的。
1842年	迈尔提出建立不同能量之间的当量关系
1847年	焦耳发表热功当量的论文
1847年	亥姆霍兹提出能量转化与守恒的观点

同时期人们还发明了照相术，实现了光能与化学能转化的应用……



图2.1-3 自然界的各种运动都与相关的能量相对应，各种能量是可以相互转化的。当一种运动形式(能量种类)消失时，一定代之有另一种运动形式(能量种类)出现。你能举出更多的例子吗?

这些事实说明，近代科学的发展使人们对自然界各种运动形式间的联系获得了较全面的认识(图2.1-3)。人们意识到，在自然现象复杂的变化

中，存在着一个物理量，它可以作为各种运动的量度，并反映各种运动形式的内在联系。

能量守恒定律 通过力学的学习我们已经知道，在只有重力做功的情形下，物体的动能与重力势能可以相互转化，机械能的总量保持不变。但是许多情况下机械能总量会减少：单摆摆动时振幅逐渐减小，最后停止摆动；汽车行驶时如果关闭了发动机，也会逐渐停下来……它们并不能永远运动下去。这些过程中总能量守恒吗？

实际上，上面两个过程中都产生了热。由于发生了机械能向内能的转化，所以机械能会减少，它们的机械运动会停下来。

对应于任何一种形式的运动，都有一种形式的能量。在不同运动的转化中，不同形式的能量之间发生着转化。例如，汽车汽缸里的汽油燃烧时，储存在汽油中的化学能转化为汽车运动的机械能，如果汽车刹车，这部分能量又转化为摩擦产生的内能，等等。

大量事实表明：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别的物体，在转化和转移过程中其总量保持不变。这就是能量守恒定律(law of conservation of energy)。

能量守恒定律是许多科学家经过长期探索，于19世纪中叶确立的。它是科学史上最重大的发现之一。这个定律把各种自然现象统一起来，描绘出一幅自然界普遍联系的清晰图景。恩格斯曾经把这个定律称为“伟大的运动基本定律”，称它是19世纪自然科学的三大发现之一。

永动机 历史上不少人有过这样美好的愿望：制造一种不需要动力的机器，它可以源源不断地对外做功，这样就可以无中生有地创造出巨大的财富来。人们把这种机器叫做永动机(perpetual motion machine)。历史上曾有许多永动机的设计方案，下面是其中的一例。

? 思考与讨论

13世纪，法国人奥恩库尔(Villard de Honnecourt)提出了一种“永动机”方案(图2.1-4)：在一个轮子的齿形边缘等距地安装12个活动的短杆，在杆端安上重球。当轮子转起来时，左边的球离轴心近些，右边的球离轴心远些。奥恩库尔认为，右边球的作用更大些，这就迫使轮子沿着顺时针方向旋转下去，并且不会停下来。

请你分析，这套装置能永久运动下去吗？

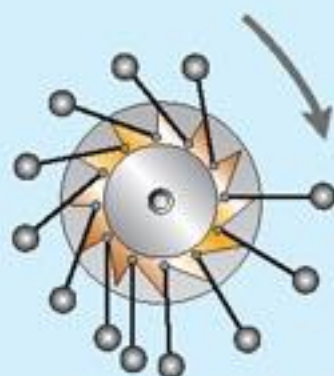


图2.1-4 一个永动机方案

在科学技术发展的历史上，从来没有一种永动机成功过。能量守恒定律的发现，使人们认识到：任何一部机器，只能使能量从一种形式转化为另一种形式，而不能无中生有地制造能量。因此，根本不能造出永动机。



科学足迹

能量守恒定律的建立

能量守恒定律是建立在自然科学发展的基础上的。在16~18世纪,经过伽利略、牛顿、惠更斯、莱布尼兹、伯努利等许多物理学家的研究,动力学得到了较大的发展。机械能的转化和守恒的思想,在这一时期已经萌发。到了18世纪末和19世纪初,更多自然现象之间的联系相继被发现。

戴维的摩擦生热实验否定了热质说,把物体内能的变化与机械运动联系起来。1800年伏打发明电池之后不久,人们又发现了电流的热效应、磁效应和其他一些电磁现象。这个时期,电流的化学效应也被发现,并被用来进行电镀。在生命科学领域里,人们发现动物维持体温和进行活动的能量与它摄取的食物有关。自然科学的这些成就,为建立能量守恒定律做了必要的准备。

能量守恒定律的最后确立,是在19世纪中叶由迈尔、焦耳和亥姆霍兹等人完成的。

德国医生迈尔(R. Mayer, 1814—1878)是从生理学开始对能量进行研究的。1842年,他从“无中生有,有不变无”的哲学观念出发,表达了能量转化和守恒的思想。他分析了25种能量的转化和守恒的现象,成为首先阐述能量守恒思想的人。

英国物理学家焦耳从1840~1878年的近40年时间里,研究了电流的热效应,研究了空气压缩时温度的升高以及电、化学和机械作用之间的联系。他做了400多次实验,用各种方法测定了热与功之间的当量关系^①,为能量守恒定律的确立奠定了定量的实验基础。

在1847年,当焦耳宣布他的能量观点的时候,德国学者亥姆霍兹在柏林也宣读了同样课题的论文。在这篇论文中,他分析了化学能、机械能、电磁能、光能等不同形式能量的转化和守恒,并且把这个结果跟永动机不可能制成联系起来。他认为机器只能转化能量,不能创造和消灭能量,因此不可能无中生有地创造一种永久的推动力。亥姆霍兹在论文里对能量守恒定律做了清晰、全面的概括性论述,使这一定律被人们广泛接受。

在19世纪中叶,还有一些人也致力于能量守恒的研究。他们从不同的角度出发,彼此独立地进行研究,却几乎同时发现了这一伟大的定律。因此,能量守恒定律的发现是科学发展的必然结果。

问题和练习



1. 太阳能到达地球后会变成哪些能量? 这些能还可能变成什么能?
2. 收集绿草或庄稼收获后剩下的秸秆,堆积成堆,底面直径约40 cm、高约30 cm,最好在上午堆起来。记下它内部的温度,以后每隔1 h测量温度一次。将测量的温度制表列出。草堆温度发生了什么变化? 这个过程中什么能转化为什么能?
3. 一个自由摆动的秋千,摆动的幅度越来越小。下列说法正确的是()。
 - A. 机械能守恒
 - B. 能量正在消失
 - C. 机械能正在转化为内能
4. 登录一个具有搜索功能的网站,键入“永动机”一词,按照网页的提示,你能得到很多有关永动机的资料。利用这些资料,结合自己的体会,写一篇与永动机相关的小论文。

^① 热量的单位原来是卡路里(calorie),简称卡,符号为cal,现已停用。在国际单位制中热量的单位是焦耳。热功当量为1卡=4.2焦耳。

二、热力学第一定律

热力学第一定律是与能量守恒定律在同一时代建立的。它阐述了与热现象有关的宏观过程中的能量关系，它是在热运动与机械运动相互转化的研究中提出来的。

我们已经在初中物理中学过，要使容器中的水温升高有两种办法，一方面可以直接对水加热，另一方面也可以对水做功。这表明，改变物体内能的途径有两个：外界与物体进行热交换或外界对物体做功。

一个物体，如果没有从外界吸收热量，也没有向外界放出热量，外界对它做多少功，它的内能就增加多少。如果用 W 表示外界对物体做的功，用 U_1 和 U_2 分别表示外界对它做功前与做功后的内能，那么，上述关系可以写为

$$U_2 - U_1 = W$$

一个物体，如果没有其他物体对它做功，也没有对其他物体做功，它从外界吸收多少热量，它的内能就增加多少。如果用 Q 表示物体从外界吸收的热量，分别用 U_1 和 U_2 表示物体与外界进行热交换前后的内能，那么，这个关系可以表示为

$$U_2 - U_1 = Q$$

如果外界既向物体传热，又对物体做功，那么物体内能的增量就等于物体吸收的热量 Q 与外界对物体所做功 W 的总和，即

$$U_2 - U_1 = Q + W$$

通常以 ΔU 表示内能的增量 $U_2 - U_1$ ，于是有

$$\Delta U = Q + W$$

这表明：物体内能的增加等于物体从外界吸收的热量与外界对物体所做的功的总和。这就是热力学第一定律 (first law of thermodynamics)。

热力学第一定律是能量守恒定律在涉及热现象的宏观过程中的具体表述。



科学足迹

一、古代热力技术应用事例

古人很早就发现热可以用于产生动力，渐渐地开始利用这种动力。下面列举其中的几例，略展古代利用热力的风采。

希罗 (Hero, 约公元 62—约公元 150) 是古希腊的一位工程师。他研究过车轮、杠杆、滑轮、螺旋、劈等简单机械。在他众多的发明中，最有名的当属“小涡轮”。当时的人们把“小涡轮”用于孩子的玩具，或在寺庙中用于转动神像，以引起信徒们的惊奇。

第二章 能量的守恒与耗散

“小涡轮”是利用蒸汽使空心圆球转动的装置。空心圆球安装在架子上。球上安装着两个弯管(见图2.2-1)。当蒸汽经空心轴输送到球内,并经喷嘴喷出时,球体便绕轴转动。这是最早用蒸汽产生动力的装置。



图2.2-1 希罗的蒸汽小涡轮



图2.2-2 走马灯

“走马灯”发明于我国北宋时期,往往在元宵节时展示。当蜡烛燃烧时热空气上升,推动涡轮转动,涡轮带动轴上的纸人、纸马一起转动。古人描述它的结构和工作情况是:“走马灯者,剪纸为轮,以烛嘘之,则车驰马骤,团团不休,烛灭则顿止矣”。从原理上看,它完全可以看做现代燃气轮机的始祖。

二、焦耳的热功当量实验

焦耳一生的研究大都与实验有关,而最重要的贡献是热功当量的测量。1840年,焦耳定量研究了电流的热效应,并建立了焦耳定律。1843年,焦耳认识到,应把热看做一种运动的效应,在机械功与热之间应该存在一定的当量关系。他经过测量得到这个当量关系,当时是用英制单位表示的,用我们现在通用的单位来表示是 $1 \text{卡} = 4.187 \text{J}$ 。1847年,焦耳发表了全面叙述能量守恒定律的文章,但并未被大多数科学家接受。几个月后,当在一个会议上讨论他的论文时,由于一些科学家的质疑才引起了人们的注意。1849年,在法拉第的亲自主持下,焦耳在皇家学会宣读了他的论文。次年焦耳当选为皇家学会会员,表明他的工作得到了承认。



焦耳(J. P. Joule,
1818—1889)

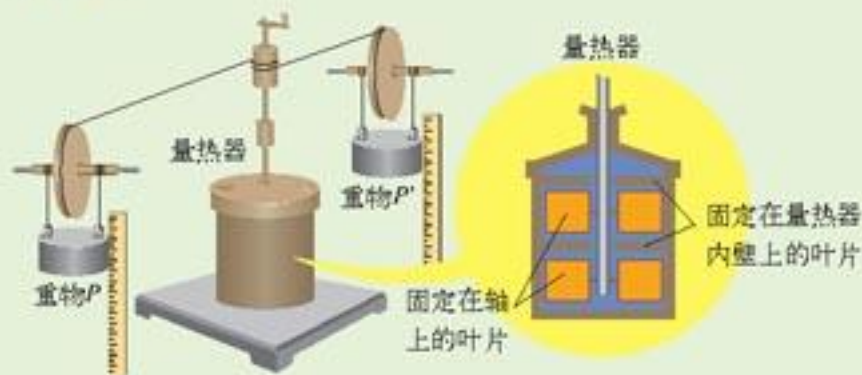


图2.2-3 焦耳热功当量实验的装置

焦耳最初的实验是用搅拌的方法,将机械能转化为水的内能(图2.2-3)。他用热绝缘材料将量热器包起来,使外界不能通过热传导来影响水的温度。然后借助两个砝码的下落,通过做功带动叶轮来搅动水,使水温升高。测量所做的功及水所获得的热量,就可以得出热功当量的值。

除了上述方法外,焦耳还利用砝码的下落带动发电机发电,让电流通过放在水中的电阻器发热而使水温升高。他认为,水温的变化归根结蒂仍然来自砝码下落所做的机械功,所以由这个实验也可得到热功当量。

焦耳还使用气体或固体来代替水进行实验,也计算出了热功当量。

从1840~1878年的近40年中,焦耳共进行了400多次实验。焦耳把毕生精力贡献给了科学事

业。

业，堪称后人的楷模。

今天，尽管已经统一使用国际单位制中的焦耳来表示各种能量的大小，但热与功的当量关系并非只是一种历史陈述来供我们欣赏。焦耳当年以实验说明了热运动与机械运动的等价性，他以精确的数值无可辩驳地为热力学第一定律和能量守恒定律奠定了实验基础。



探索者

制作走马灯

如图2.2-2，在灯笼的中轴线上插一根较粗的铁丝做轴，轴的上方横梁一个叶轮，叶轮上安装一些叶片，很像儿童玩的风车。叶轮下面安装一个蜡烛座。当蜡烛点燃后，上升的燃气可以驱动叶轮转动。

在立轴中央，沿水平方向横装几根细铁丝，每根铁丝外端都粘上人物或奔马的剪纸，也可将带有故事情节的图案画在纸上。晚间点燃蜡烛，人物或奔马便会转动起来，十分动人。

问题和练习



1. 关于古代的热力技术，你还知道什么事例？
2. 活塞压缩汽缸里的空气，外界对空气做了900 J的功，同时汽缸向外散热210 J。汽缸中空气的内能改变了多少？
3. 空气压缩机在一次压缩中，活塞对空气做功 2.0×10^5 J，同时空气的内能增加 1.5×10^5 J。这个过程中，空气向外传递了多少热量？

三、热机的工作原理

从能量的角度看，蒸汽机、内燃机等的工作都是通过燃烧使燃料中的化学能变成工作物质的内能，再消耗工作物质的内能而对外做功。我们把这些动力机械叫做热机。

蒸汽机和蒸汽轮机 蒸汽机是第一种广泛用于工业、农业和运输业的热力机械。在蒸汽机的发展中，英国人纽可门(T. Newcomen, 1663—1729)和瓦特(J. Watt, 1736—1819)先后研制和改进过蒸汽机(图2.3-1)，使蒸

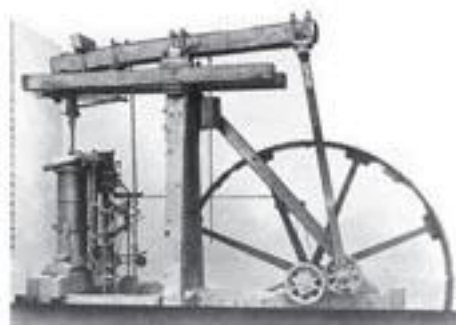


图2.3-1 早期的蒸汽机

第二章 能量的守恒与耗散

汽机成为可以普遍应用的动力机械。

如图2.3-2所示，蒸汽机的工作原理是：锅炉中的水受热变成水蒸气，水蒸气经管道E进入汽室D，通过滑动阀S控制，蒸汽轮流着从汽路e和汽路g进入汽缸C，驱动活塞往复运动，对外做功。

蒸汽机中的工作物质是水蒸气，它从加热器吸收热量，其中部分热量用于推动活塞做功，剩余的热量排入冷凝器。蒸汽机的效率很低，现在已经退出历史舞台。

19世纪80年代出现了采用新型蒸汽技术的
热机——蒸汽轮机，它利用压强高达数千万帕斯卡的高压水蒸气驱动叶轮，带动转子旋转。蒸汽轮机的转速很高，可以输出强大的动力，火力发电站大都采用它。

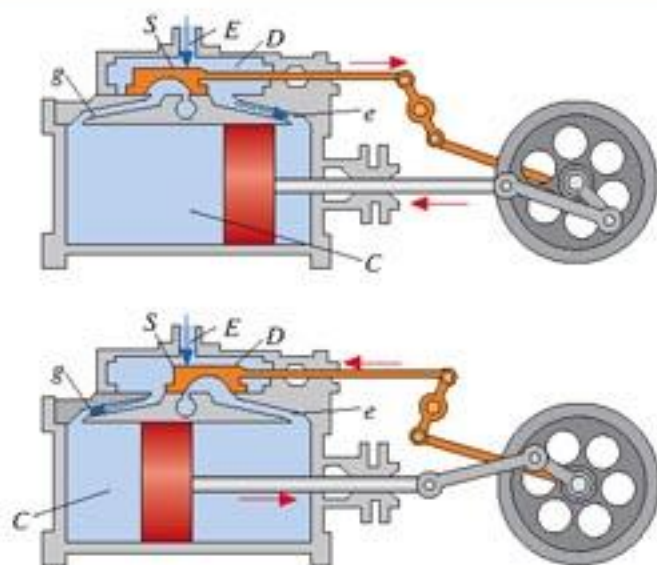


图2.3-2 蒸汽机的工作原理

内燃机和燃气轮机 汽车上的汽油机、柴油机，燃料在汽缸内燃烧，直接利用汽缸内生成的高温高压气体推动活塞做功，所以这样的热机叫做内燃机(internal-combustion engine)。这种燃烧方式可以大大提高热机的效率。

汽油机和柴油机的工作过程大同小异，我们以汽油机为例做简单介绍。

汽油机最初是由德国工程师奥托(N. A. Otto, 1832—1891)设计的，所以又称奥托内燃机。它的工作循环过程包括吸气、压缩、做功和排气共四个冲程。

吸气冲程和压缩冲程：空气进入汽缸，并受到压缩。汽油机在吸气冲程吸入的是汽油与空气的混合物，在压缩冲程结束时由电火花点火。

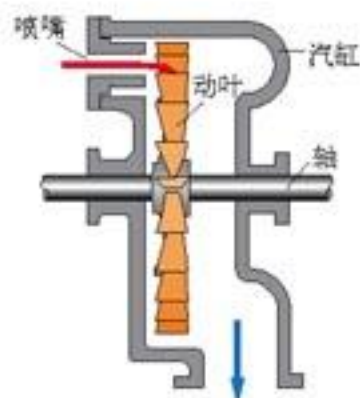


图2.3-3 蒸汽轮机的工作原理

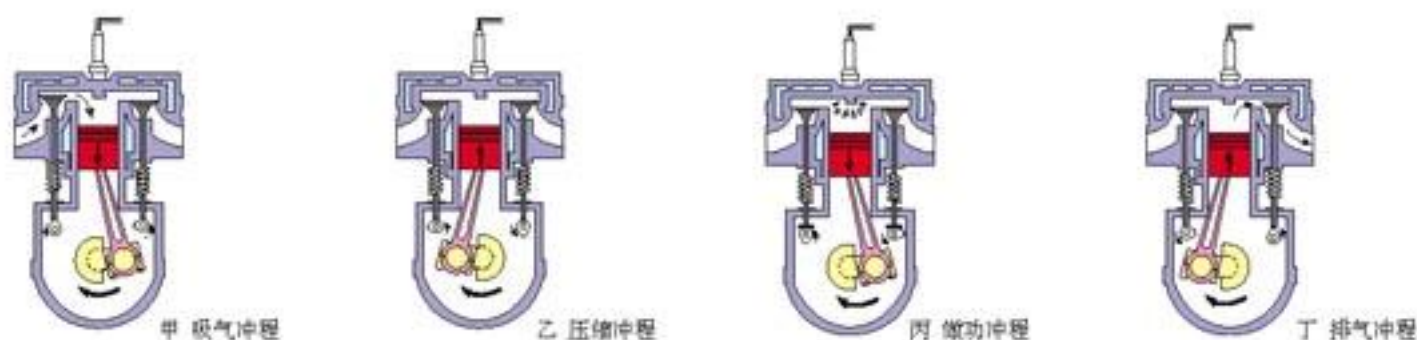


图2.3-4 汽油机的四个冲程

做功冲程 汽油燃烧后形成高温高压气体，推动活塞做功。这一过程中燃气的温度下降，压强减小。

排气冲程 做功之后，飞轮由于惯性继续转动，带动活塞把汽缸中的废气排出，为下一个循环的进气冲程做准备。

柴油机又称狄塞尔内燃机，最初是由德国工程师狄塞尔(R. Diesel, 1858—1913)设计的。柴油机不靠电火花点火，它的压缩冲程比汽油机压缩的程度更大，因而汽缸内的温度更高。压缩之后再喷入柴油，柴油在高温压缩空气中可以自燃。其他冲程的工作情况与汽油机相似。

燃气轮机(图2.3-5)没有汽缸和活塞，工作时燃油被喷入燃烧室，燃烧后产生高温高压燃气，驱动涡轮旋转。燃气轮机的结构简单，易于维护，而且摩擦部件少，效率高达50%~60%。燃气轮机广泛地应用在喷气式飞机中。

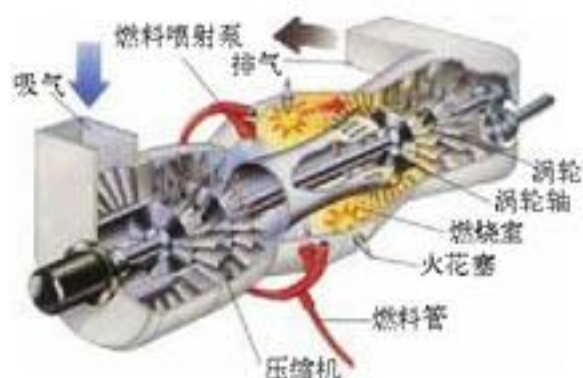


图2.3-5 燃气轮机的工作原理

制冷机 现代社会中的人们正在享受着科学技术带来的恩惠。炎炎的夏季，可以吃到冰箱中的食品，还可以感受到空调送来的习习凉风。冰箱、空调机都是制冷机^①(refrigerator)。

广义地讲，制冷机跟蒸汽机、内燃机一样都属于热机，只是两者的作用正好相反。热机利用吸收的热量的一部分做功，同时将另一部分排放(图2.3-6甲)，而制冷机则利用外界对它所做的功，将待冷却物体中的热量取出，同时向高温物体排放(图2.3-6乙)。

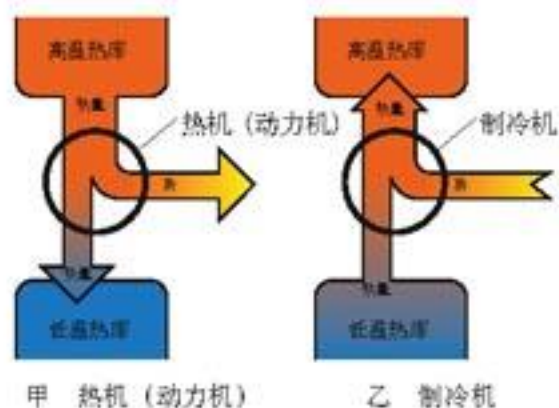


图2.3-6

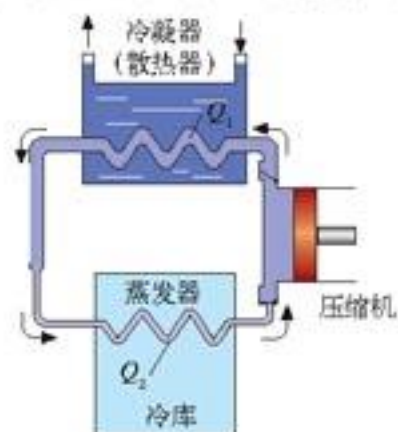


图2.3-7 制冷机的结构和工作原理

制冷机的压缩机在电动机等的带动下做功，将蒸气状的制冷剂压入冷凝器(散热器)，制冷剂在冷凝器(散热器)液化，放出热量；液态的制冷剂进入蒸发区后，通过很细的管道后膨胀、汽化，这个过程中冷库的温度降低。其后再次进入压缩机，准备下一次循环过程。

制冷机可以使用不同的制冷剂。过去常用氟利昂，但是因为氟利昂会破坏大气的臭氧层，现在已改用R134a等其他制冷剂了。

^① 工业上，获得低温的过程称为“制冷”。由于“冷”并非一种物质，所以物理学中这个过程称为“致冷”。这里讨论获得低温的机械，因此沿用工业上的习惯用法。



科学漫步

制冷技术的发展

为了冷藏食品或降低室温，我国在2 000多年前的春秋战国时代，就已经形成了一套收藏天然冰块的方法。贵族成员在天气炎热的时候享用这些冰块。近代的冰箱和空调，则要用到制冷技术。

19世纪初，美国人发明了使乙醚蒸发的制冷方法，50年后，苏格兰人哈里森在澳大利亚成功地将自己制造的制冷机用在一家肉类加工厂里。不久，人们又制成了家用制冷机，可以制出小冰块。

19世纪末，德国工程师林德（C. Linde, 1842—1934）制造和销售了万余台冰箱。这种冰箱使用一个小蒸汽泵，它反复地使氨蒸发和压缩，形成制冷循环。到20世纪20年代，两位瑞典工程师利用电动机取代蒸汽泵来带动压缩机，这已经是真正的“电”冰箱了。由于氨和乙醚对人体有害，20世纪30年代，新型制冷剂氟利昂出现了，逐渐取代了其他制冷剂。

制冷技术的另一项应用是空调机。20世纪20年代，美国人首先制成了家用空调机，先后设计出窗式空调机和分体式空调机。

20世纪80年代，人们发现氟利昂对环境有破坏作用，因此研究出了几种新的制冷剂。目前用得比较多的是R134a。



科学足迹

一、活塞式点火器

在狄塞尔内燃机里，压缩冲程使汽缸内空气的温度升到近千摄氏度，柴油喷入后会自动点燃。据说，这种靠压缩空气取得高温的方法，可能起源于古代中国。

原居于我国云南德宏地区的景颇族，历史悠久。景颇族的祖先发明了一种点火的器物（图2.3-8），它用牛角做套筒，筒中木制推杆的前端粘着艾绒。取火时，一手握住套筒，一手猛推推杆，艾绒点燃。随即将杆拔出，用嘴吹艾绒，可以出现火焰。这种点火器的发明年代已无法考证，但最迟不晚于明代。

据说，这种点火器通过东南亚传到欧洲。法国科学家拉普拉斯（M. de Laplace, 1749—1827）改进了这种点火器，他用玻璃筒代替牛角，玻璃杆代替木质推杆。欧洲人把这个装置称之为“活塞式点火器”。化学家道尔顿（J. Dalton, 1766—1844）得知这种点火方法后进行了研究，于1800年写了一篇论文《论以空气的机械压缩和稀疏产生热和冷》。后来，制冷技术的奠基人、林德在1877年左右按压缩空气的原理制成了香烟打火机。狄塞尔又于1897年制成了柴油发动机。狄塞尔事后称，他正是在这种点火方法的启发下发明了柴油机。因此可以说，通过压缩空气来点火的技术，其祖先也许就是景颇人的点火器。



图2.3-8 景颇人的点火器(模型)

二、火箭的故乡

火药是中国古代的四大发明之一，发明的时间大约是唐代中叶。

火药对武器的发展起到了重大的作用，也促进了人们的娱乐活动。北宋时期已经有了可以飞到



图2.3-9 康熙行乐图

还发明了“一窝蜂”(同时发射几枝或几十枝火箭)和“神火飞鸢”(将几枝火箭一起捆绑在一枚炸弹上,使炸弹飞得更远)。



图2.3-11 火龙出水

后再飞回发射地。这种火箭可以看做返回式火箭的先祖。

相传明代一位叫做万户的人曾做过载人飞行的试验。他在一把椅子的背后绑上47枚火箭,并把自己捆在椅子上,面向前方,两手还各拿着一个大风筝。他想借助火箭的推力、风筝上升的力量,使他飞行。可是,点燃这些大火箭后,随着一声巨响,万户被炸身亡。试验虽然失败了,他的勇气和创新精神令后人敬仰,被西方誉为“第一个企图用火箭做运输工具的人”“第一次企图利用火箭飞行的人”。

现代中国火箭技术的进步令世人瞩目。从20世纪50年代末开始,中国开始研制现代火箭,除了军用火箭之外,相继研制成功“长征”系列火箭。利用这些火箭,自20世纪70年代以来,中国发射了多种人造地球卫星,如“东方红”系列卫星、“风云”系列卫星及多颗通信卫星等。中国研制和发射了“神舟”系列航天器,成为世界上第三个独立研制和发射载人飞船的国家。

登月是中国人的千年梦想,自古以来就有“嫦娥奔月”的美丽传说。我国已经启动了名为“嫦娥工程”的探月计划,我国一定会在深空探测领域占有一席之地。

空中的“起火”和满地飞窜的“地老鼠”。这些是最早的利用反冲技术的玩具。

南宋时期,中国的军事技术人员发明了集束火箭。蒙古军队掌握了这种技术之后,将它用于第二次西征的战争中。明代



图2.3-10 神火飞鸢

发明于明代的“火龙出水”是一种二级火箭。当第一级火箭的燃料燃尽后,第二级火箭点燃,火箭继续前进。它的射程可达1 km。“飞空砂筒”也是一种二级火箭,它的第二级火箭放置得与第一级火箭的方向正相反,因此第二级火箭可以使火箭完成任务



图2.3-12 “长征2F”火箭托举着“神舟五号”载人飞船顺利升空

问题和练习



1. 简述内燃机的结构和工作过程。
2. 找来自行车的打气筒,把气嘴接在一个没有气的篮球上。反复迅速压缩打气筒的活塞,给篮球充气。当篮球充满气后,用手摸一摸打气筒的外壁,它的温度有什么变化?
3. 一艘轮船连续航行了6个昼夜。已知轮船使用的内燃机的功率为50 000 kW,效率为25%,柴

油的燃烧值为 $4.27 \times 10^7 \text{ J/kg}$ 。求这艘轮船至少消耗了多少柴油。

- 4 热机（动力机）和制冷机的工作原理有哪些相同、哪些不同？
- 5 在使用冰箱或空调机时，有哪些小窍门可以节能？

四、热力学第二定律

地球上海水的总量在 $1.4 \times 10^{18} \text{ t}$ 。只要把这些海水的温度降低 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ，就能释放 $5.8 \times 10^{23} \text{ J}$ 的热量，这相当于 1 800 万座功率为 100 万千瓦的核电站一年的发电量。为什么不去开发这种“新能源”呢？

科学家的研究发现，有许多想像中的过程，例如使全部海水降温以获得能量的过程，虽然不违背能量守恒定律，但在自然界却从未自发地出现过。这究竟是怎么回事？

原来，一切自然过程能否发生，还必须受到另一个物理规律——热力学第二定律的制约。

自然过程的方向性 一块煤燃烧后，产生的热量散发到空间，但已经散失的能量却不会自动地聚集起来，恢复那块煤的原貌。一滴墨水滴进水盆，就会逐渐扩散，使整盆水变成均匀的浅蓝色，但这些墨水的分子绝不会自动地重新凝聚成一滴墨水，使这盆水重新变清。山石滚落到平川，经过水冲、风化，变成砾石、泥沙。而相反的过程，泥沙重聚成石块又自动地滚上山顶，却是从未见到过的。姹紫嫣红的鲜花，最终也将“零落成泥碾作尘”，不复枝头重吐艳。

“落叶永离，覆水难收”“死灰不能复燃”……在这些尽人皆知的谚语中，包含着一个客观规律：自然界里的一切变化过程都有方向性，朝某些方向的变化是可以自发发生的，相反方向的变化却是受到限制的。



图 2.4-1 “逝者如斯夫”！



落叶流水不复返

大量事实表明，自然界里自动发生的实际过程，都有方向性。如果要使变化了的事物重新恢复到原来的状态，一定会对外界产生无法消除的影响，这就是自然过程的不可逆性。

热传递过程具有不可逆性。一壶烧开的水，会向周围的空气散热，经过一段时间后，壶水就与环境的温度一样了。如果在水中放入冰块，冰块就会从水中吸热而融化，使水变凉，但过了一段时间，水温还会变得与室温一样。这些现象告诉我们：两个温度不同的物体互相接触，热量总是从高温物体流向低温物体，直到两个物体的温度相等。从来没有发生过热量从低温物体自发地流向高温物体的现象。这个事实，曾使科学家长期感到困惑。

要使热量从低温物体流向高温物体，使两物体的温度差越来越大，并不是完全不可能的，例如电冰箱通电后内外温差就会变大。但是，这个现象是以耗电做功为代价的，它不能自发地进行。

1850年，德国物理学家克劳修斯总结了热传递过程中的这种普遍趋势，他指出：当高温物体和低温物体之间发生热传递时，热总要自发地从高温物体转移到低温物体，直至二者温度相同。对自然界的这种规律，他又从反面概括说：热不可能从冷的物体自发地传向热的物体。

扩散现象也具有不可逆性。两种不同的气体可以自发地进入对方，最后形成一种均匀的混合气体。但是，相反的现象绝对不会发生：容器中均匀的混合气体，自发地分开，成为两种纯净的气体，各处在容器的两侧。当然可以用物理的或化学的手段把混合着的两种气体分开，但是这样做一定会引起其他变化。

图 2.4-2 表示两个可以连通的容器，A 中装着空气，B 是真空。打开阀门 K，A 中的空气会自发地向 B 中膨胀，最后两个容器中都充满空气。谁也没有见过这样的现象：这两个容器充满空气后，空气会自发地从 B 流向 A，最后使 B 变成真空。当然，我们有办法使 B 变成真空，但那要用抽气机把 B 中的空气抽到 A 中。这一定会消耗电能，即“引起别的变化”。



克劳修斯(R. J. E. Clausius, 1822—1888)

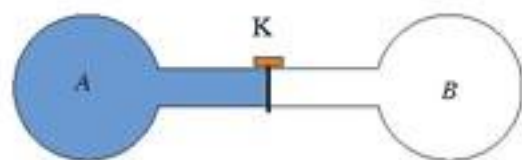


图 2.4-2

热机的效率和第二类永动机

任何一台热机，它的工作物质获得热量并对外做功之后，一定会将剩余的热量排向冷凝器。以内燃机为例，汽缸中的气体得到燃料产生的热量 Q_1 ，推动活塞做功 W ，然后排出废气，同时把热量 Q_2 散发到大气中。根据能量守恒定律，有

$$Q_1 = W + Q_2$$

在物理学中，热机效率(efficiency of heat engine)用 η 表示，定义为热机所做的功与它所吸收的热量的比值，即

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

实际上，热机总要向冷凝器散热，所以不可能把它吸收的热量全部转化为机械能。所以总有

$$Q_1 > W$$

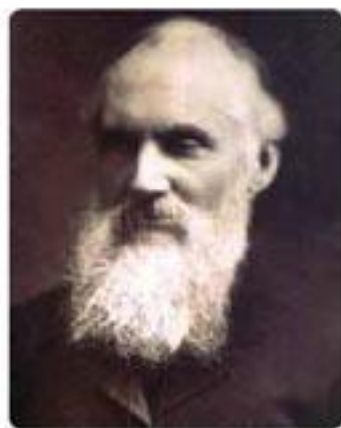
也就是说，热机的效率不可能达到 100%。车用汽油机的效率只有 20%~30%，燃气轮机的效率比较高，也只有 40% 左右。即使是理想热机，没有摩擦，也没有漏气等能量损失，也不可能把吸收的能量的 100% 全部转化为机械能，因为总要有一部分热量散发到冷凝器中。

曾经有人试图设计一类机器，希望它从高温热库（例如锅炉）吸取热量后全部用来做功，不向低温热库排出热量。这种机器的效率不是可以达到 100% 吗？这种机器不违背能量守恒定律，但是都没有成功。人们把这种仅从单一热库吸热，同时不间断地做功的永动机叫做第二类永动机。

第二章 能量的守恒与耗散

1851年，英国物理学家W. 汤姆孙（即开尔文）归纳了所有热机的工作过程，指出：工作物质不可能把吸收的热量全部变成功而不产生其他影响。

第二类永动机不可能制成，表示机械能与内能的转化过程具有方向性：机械能可以全部转化为内能，但是内能却不能全部转化为机械能，而不引起其他变化。



W. 汤姆孙 (W. Thomson, 1824—1907) 曾主持铺设了跨越大西洋的海底通信电缆，1892年被封为开尔文勋爵。汤姆孙提出了绝对温度的概念，人们用“开尔文”命名绝对温度的单位。

热力学第二定律 人们分析了自然现象的不可逆性，总结了第二类永动机不可能制成的事实，确立了热力学第二定律 (second law of thermodynamics)。热力学第二定律有多种表述，常见的两种表述是：

不可能使热量由低温物体传递到高温物体，而不引起其他变化。这是按热传导的方向性来表述的。

不可能从单一热源吸收热量并把它全部用来做功，而不引起其他变化。这是按机械能与内能转化过程的方向性来表述的，它也可以表述为：不可能制成第二类永动机。

这两种表述是等价的。

热力学第二定律揭示了自然界中涉及热现象的宏观过程的方向性，是独立于热力学第一定律的一个重要的自然规律，它对于我们认识自然和利用自然具有重要的指导意义。

问题和练习



- 有人说热力学第二定律的意思就是“热不能全部转化为功”，这个说法对吗？
- 自然界的现象中，哪些过程是自发进行的？举出几例来。
- 酷暑季节，当气温高于人体温度时，人体还是可以通过汗的蒸发将热散发出去。这违反热力学第二定律吗？
- 电能可以比较方便地转化为其他能。了解你家用电的情况，能否想出一些方法，提高电能的使用效率？把你的方法与同学交流。

五、有序、无序和熵

自然界一切涉及热现象的宏观过程都是不可逆的，每一种宏观过程的不可逆性，都可以用来作为热力学第二定律的一种表述，所以热力学第二定律的表述方法是多种多样的。那么，能不能概括所有不可逆过程共同本质，找出一个普遍的物理量作为共同的标准，判断各种不可逆过程的进行方向呢？

能量的耗散与退化 1852年，W. 汤姆孙指出，在自然界发生的种种变化中，能量的总值虽然保持不变（守恒），但是能量可被利用的价值却越来越小，或者说能量的品质在逐步降级。这就是能量的耗散与退化。

对于人类来说，内能不如机械能、电能好用，它只能部分地用于做功，总有一部分内能要散发到温度较低的环境中。可见，内能是一种低品质的能，其他形式的能量通过摩擦、碰撞、燃烧等过程转换成内能，能量的品质就降低了。

由于宏观过程的不可逆性，一个系统的内能一旦增加，这个系统就永远无法依靠自身的作用（自发地）回到原先的状态，除非系统靠外界的帮助；而“外界的帮助”将更多地消耗其他形式的能量，产生出更多的内能来。

当我们使用地球上的能源时，并不会减少地球上的能量，而是将能源中高度有用的能量形式降低为不大可用的能量形式。例如，开汽车时要消耗汽油，把汽油中的化学能转变成内能，而汽车排气管排出的废气带走的内能就不能利用了。



思考与讨论

既然能量是守恒的，我们常说的“节约能源”又是什么意思？你能从日常生活中举出一些能量耗散与退化的例子吗？

绝对零度不可达到 我们在初中学过，宇宙中存在着温度的下限： $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。热力学温度，即绝对温度，就是以这个温度下限为起点的。热力学温度用 T 表示，单位是开尔文 (kelvin)，符号是 K 。

热力学温度 T 与摄氏温度 t （单位是 $^{\circ}\text{C}$ ）之间的换算关系是

$$T = t + 273.15\text{ K}^{\text{①}}$$

下表是我们已经知道的一些温度值。

一些实际的温度值

事件	温度 T/K
氢弹爆炸中心	10^8
实验室获得的最高温度	6×10^7
太阳中心	1.5×10^7
地球中心	4×10^3
乙炔火焰	2.9×10^3
金的熔点	1 337 (1 064 $^{\circ}\text{C}$)
锡的熔点	505 (232 $^{\circ}\text{C}$)
月球的向阳面	400 (127 $^{\circ}\text{C}$)

① 在表示温度的差值时， K 与 $^{\circ}\text{C}$ 的意义相同，因此分别以 K 和 $^{\circ}\text{C}$ 为单位的物理量可以相加减。

续表

地球上出现的最高温度(利比亚)	331 (58 ℃)
地球上出现的最低温度(南极)	185 (-88 ℃)
月球的背阴面	90 (-183 ℃)
氮的沸点	77
氦的沸点	4.2
星际空间	2.7
实验室已获得的最低温度	2.4×10^{-11}

从这个表中我们看到,实验室获得的低温已经非常接近热力学零度(即绝对零度)。随着科学技术的发展,人们可以获得越来越低的温度。在低温世界里,许多物质的性质不同于常温下的性质,人们正在探索低温领域里的物理现象。如何获得低温,是一项重要的研究课题。然而,人们发现,温度越低,降温越困难。对大量事实的研究分析表明,不可能通过有限的过程把物体冷却到绝对零度。这个结论也叫做热力学第三定律(third law of thermodynamics)。

尽管热力学零度不可能达到,但温度总可能降低。人们还在想办法尽可能接近热力学零度。

熵增加原理 1865年,克劳修斯分析了自然界自发过程的共同特征,引进了一个新的物理量熵(entropy)来表述能量耗散过程,通常用 S 表示。他证明了,只要有热从高温物体流向低温物体,或者只要做功产生了热,系统的熵值就要增大。更一般地说,由于自然界发生的任何过程中总会伴随着能量的耗散和退化,所以在一个热学系统发生的任何过程中,系统的熵都会增大。

这样,热力学第二定律又可以表述为:任何孤立系统,它的总熵永远不会减小。或者说,自然界的一切自发过程,总是朝着熵增加的方向进行的。这就是熵增加原理。

这里说的“孤立系统”,指的是与外界没有物质交换、热交换,与外界也没有力的相互作用、电磁相互作用的系统。这就排除了外界的影响,强调了过程的自发性。

“熵”这个概念是比较抽象的。克劳修斯指出,熵字本身就是“转变含量”的意思。一个系统的熵越大,就越接近平衡状态,就越是不易转化。所以,熵表示孤立系统内能量的耗散和退化的程度。熵增加原理所揭示的,就是“自然界中有效能量不断减少”这种不可逆性。

热力学第一定律的基本概念是能量,热力学第二定律的基本概念是熵。熵的概念虽然曾被视为“神秘的幽灵”,然而在回顾一百多年来人类的成败得失时,人们格外感到熵的概念的重要性的熵的理论的无限深邃;它已经在信息论、控制论、宇宙科学、生命科学乃至社会科学领域得到了广泛的应用。

有序向无序的转化 在热传递的过程中,两个物体的温度不同,或一个物体各部分之间的温度不同,这是一种比较“不均匀”的状态。当热传递过程结束时,两物体之间或一个物体的各部分之间的温度相同了,这是一种比较“均匀”的状态。在热传递过程中,系统可以自发

地从比较不均匀的状态变为比较均匀的状态。

一个箱子被隔板分为左右两室，左边有气体，右边是真空。一旦隔板撤去，气体会从左向右膨胀。气体分子集中于一侧的状态，是比较“不均匀”的状态，而气体分子平均地分布在左右两室，这是比较“均匀”的状态。这也是个不可逆过程，过程的方向是从比较不均匀的状态变为比较均匀的状态。

比较不均匀的状态是比较有序的状态。例如图2.5-1中“分子集中于左室，右室没有分子”，这是一种秩序，而所有分子均匀分布在两室，属于没有秩序。这就好像学生做操，按一定规则站队，比较有序，而解散之后的杂乱分布，比较无序。

从微观的角度说，热传递过程也是从比较有序的状态变成比较无序的状态。例如，物体甲的温度比乙高，说明甲的分子的热运动比较剧烈，这是一种秩序。达到热平衡后两者的温度一样了，两个物体的分子的热运动没有区别了，变为无序。

生活中的例子也很多。一座高楼，砖、瓦、钢筋、玻璃的排列整齐有序；爆破后倒塌成一堆废墟就杂乱无序了。一树绿叶，排列有序；秋风一吹，叶落遍地，就乱糟糟无序可循了……

概括以上分析我们认识到，系统自发的过程总是从有序变为无序的。前面已经知道，系统总是从熵比较小的状态变为熵比较大的状态，由此可见，熵是表征系统的无序程度的物理量。熵越大，系统的无序程度越高。

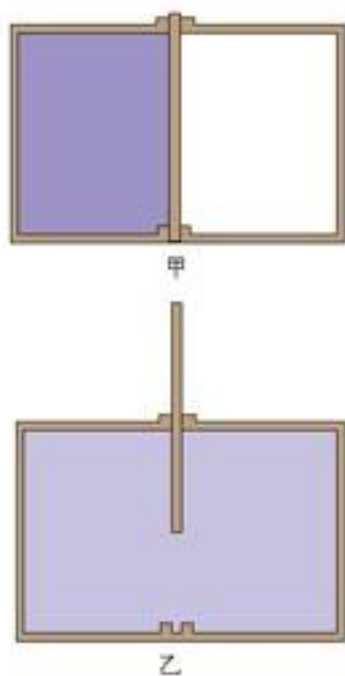


图2.5-1 自由膨胀过程的方向是从比较不均匀的状态变为比较均匀的状态



科学漫步

生命和熵

把水洒在地上，水就会渗到泥土中，把颜料放到水里，它就会均匀地扩散开，这都是符合热力学第二定律的。但是，生物界不少过程却与此相反。例如，生长在干旱田地里的西瓜，水分不仅不会从西瓜渗到泥土里，反而会从泥土里聚集到西瓜中。海带和紫菜也能把分散在海水里的碘集中起来，这就是生物的“聚集现象”。初看起来，这些现象似乎与热力学第二定律不一致。此外，生命体本身就是一个高度有序的系统，它由那么多细胞组成多种组织，形成多种有特定职能的器官和多种生理系统，共同保证着生物的生命活动。而这些居然是从嚼碎的食物变化而来的！

生命系统也是自然界的一部分。如果自然界的自发过程总是从有序走向无序，那么怎么会从中产生高度有序的生命体呢？

1944年，奥地利物理学家薛定谔指出，生命活动必然服从已知的物理学定律，包括热力学的基本原理。他还指出，生命体在其内部时时刻刻都在“制造”着熵，即熵在增加着，这是符合熵增加原理的。的确，生命活动是一个耗散过程。从食物的发酵到人的劳作，都要生热。在能量的耗散过程中，熵要不断增加，即无序性和混乱性增加。对于生命来说，熵达到最大值就是死亡。所以，要活着，生物有机体就必须使自身保持低熵的状态。如何能做到这一点呢？



图2.5-2 摄取“秩序”

薛定谔回答说：“靠吃、喝、呼吸，专门的术语叫‘新陈代谢’。”他还进一步指出：“新陈代谢的本质，就是使有机体成功地消除它自身内部不断产生的熵。”这就是说，通过新陈代谢活动，降低生命有机体的熵，来抵消生命活动中产生的熵的增加，从而使自身维持在一个稳定的低熵状态。所以，薛定谔认为，有机体是依赖熵的减少来生存的。这就是生命的热力学基础。

热力学第二定律告诉我们，一个与外界没有物质和能量交流的封闭系统，它的熵只能增加，不能减少。但是，生命

有机体却是一个开放系统，它不断地吃、喝、呼吸，又不断地排泄，生命体与外界不断有物质和能量的交流。在这种交流中，它一面从外界摄入低熵的物质，一面向外界排出高熵的物质，使有机体维持在低熵状态。一旦生物有机体同他生存所必需的环境隔离开来，成为一个孤立系统，那么机体就会死亡、腐烂，走向无序。

问题和练习



1. 地球上的最高气温和最低气温相差多少摄氏度？
2. 根据你对熵增加原理的理解，举出一些系统从有序变为无序的例子。
3. 自然过程的方向性是从有序状态自发地转向无序状态。如何根据这种理论说明热传递和做功生热两种过程的不可逆性？

六、课题研究：家庭中的热机

（一）课题的提出

电冰箱、空调机等热机已成为许多家庭的生活用品。汽车也开始走进中国人的家庭。各种热机为提高人们的生活质量提供了良好的条件。

（二）研究的方法

调查身边的热机类型和结构，了解它们的工作原理以及正确使用的方法等。可以做一些简单的分析，如分析机器故障的原因、分析某种技术快速发展的原因等。

可以单人进行调查，也可以几个人一起调查；可以对人物进行专访，学习课程之外的知识，也可上网调查，浏览、收集相关的材料；还可以做一些简单的实验。

（三）研究的内容

下面列出了几个可供选择的题目，也可以研究自己喜欢的其他题目。

- 研究某种热机，了解其工作原理、使用时的注意事项，分析发生故障的原因等。
- 对热机的技术发展进行调查，如某些机器的结构的演化、某些人物的生平和贡献。
- 分析某种家庭热机，列出节约能源的方法。

● 对化学反应中和生命活动中的能量交换进行调查和研究,说明它们与机械运动和热运动过程的能量转换的异同。

.....

(四) 研究结果的形式

以书面作业的形式写出调查过程和研究分析的结果,将这些结果在小组或全班进行交流,并展开讨论。

(五) 参考材料

以下材料供教师和同学们参考,教师和同学们应该自己去发掘更多的研究资料。

课题研究参考资料

建议的调查项目

热机名称	主要功能	品牌型号	额定功率	安全性能	其他事项
电冰箱					
小型冰柜					
空调机					
汽车空调					
汽车发动机					
.....					

1. 电冰箱

电冰箱应具备三个功能:制冷、保温和调控。

制冷系统用来在冰箱内产生低温环境。这个系统包括压缩机、冷凝器、蒸发器几部分。电动机带动压缩机使气态制冷剂压缩。由于压缩时温度上升,所以要在冷凝器中降温,把热量散发到空气中,因此冷凝器又叫散热器。制冷剂降温、液化后进入蒸发器。制冷剂在蒸发器中汽化,吸收大量的热,使冰箱内的温度降低。家用电冰箱通过这样的循环可以得到 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温。

保温系统使箱体具有良好的绝热性,可以阻止冰箱内外的热交换,以维持冰箱内的低温环境。

调控系统通过调整电动机电流的通断或转速来改变制冷量,以适应不同的冷藏要求。

使用时要注意以下几点。

● 由于电冰箱是借助电流做功而制冷的,因此安全用电是第一位的。

电冰箱要有专用的插座;在做冰箱内的清洁工作时应拔下电源插头。拔下插头后,再插上时,应至少等待5分钟,以免损坏压缩机。长期不用电冰箱时,应拔下插头。特别是当室内有燃气泄漏时,不要碰冰箱,更不要碰插头,以免产生电火花引燃燃气,引起火灾。

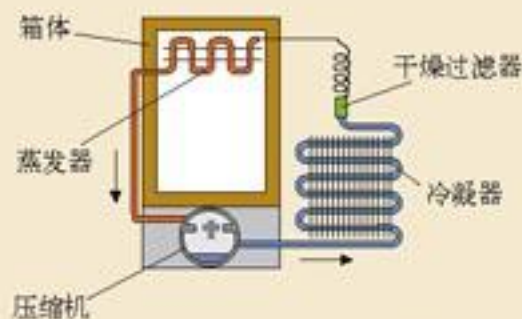


图2.6-1 电冰箱的结构和原理

● 第二章 能量的守恒与耗散

● 不要让酸碱之类的东西接触冰箱，以免造成腐蚀；酒精、液化气等易燃物也要远离冰箱，以免引起火灾。

● 热的食品不要马上放进冰箱，否则会增加耗电量，也会增加电冰箱的工作负担而影响工作寿命。鱼虾等有气味的东西要包装好，以减少箱内的异味。

2. 空调机

空调机分为窗式空调机和分体式空调机，从功能上看又可分为单冷型空调机和冷热两用型空调机。以分体式的两用空调机为例，其结构可以分为四部分：制冷系统、风路系统、控制系统和净化系统。

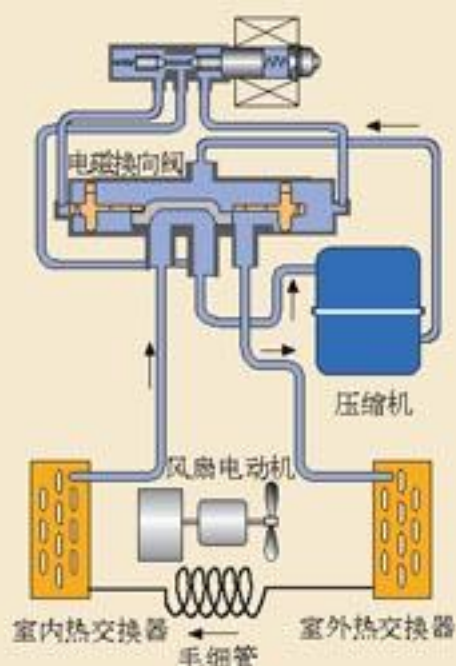


图2.6-2 空调机的结构和原理

空调机制冷系统的结构和工作原理与电冰箱类似。

风路系统由风机、风扇和风道组成，用以协调制冷系统的温度控制。

控制系统可以合理地实现机器工作状态的转换，并可对空调机进行检测和自动保护。

3. 汽车

汽车在20世纪里成为人们的重要的交通工具。

汽车由四个基本部分组成：发动机、底盘、车身和电气设备。

发动机由机体、曲柄连杆机构、配气机构、冷却系统、润滑系统、燃料系统组成；如果采用的是汽油机，还有点火系统。汽油发动机使用的燃料，与空气混合后被吸进汽缸，点燃后产生燃气，膨胀做功。柴油发动机则将柴油喷入汽缸与空气混合，在高温高压下自燃。

汽车的冷却系统包括水泵、散热器、风扇等，用来对机件吸收的热量进行强制发散。以水做冷却剂时，工作水温应在80~90℃之间，过高或过低都会影响发动机的正常工作。现在多数汽车已经不再用水冷却而改用专用的冷却液。

为了提高燃油的利用率，同时降低尾气的污染，现在生产的小型汽车都已经采用了电子控制的燃油喷射系统。它可以根据发动机的工作状态和环境的温度等参数，自动控制燃油喷射的数量和时机，以使燃油充分燃烧。

为了降低汽车尾气的污染，小型汽车还装有“三元催化装置”。所谓“三元”是指碳氢化合物、一氧化碳和氮氧化合物。三元催化装置装在排气管中，对排放前的废气进行催化，使有害物质转化成无害的气体。

底盘可分为几个部分，如传动系统、行驶系统、转向系统和制动系统。这些系统将发动机提供的动力按需要传递到车轮，驱动汽车行进或进行制动。

电器设备包括蓄电池、发电机、启动机、点火器、仪表、照明装置、音响装置、刮水器等。

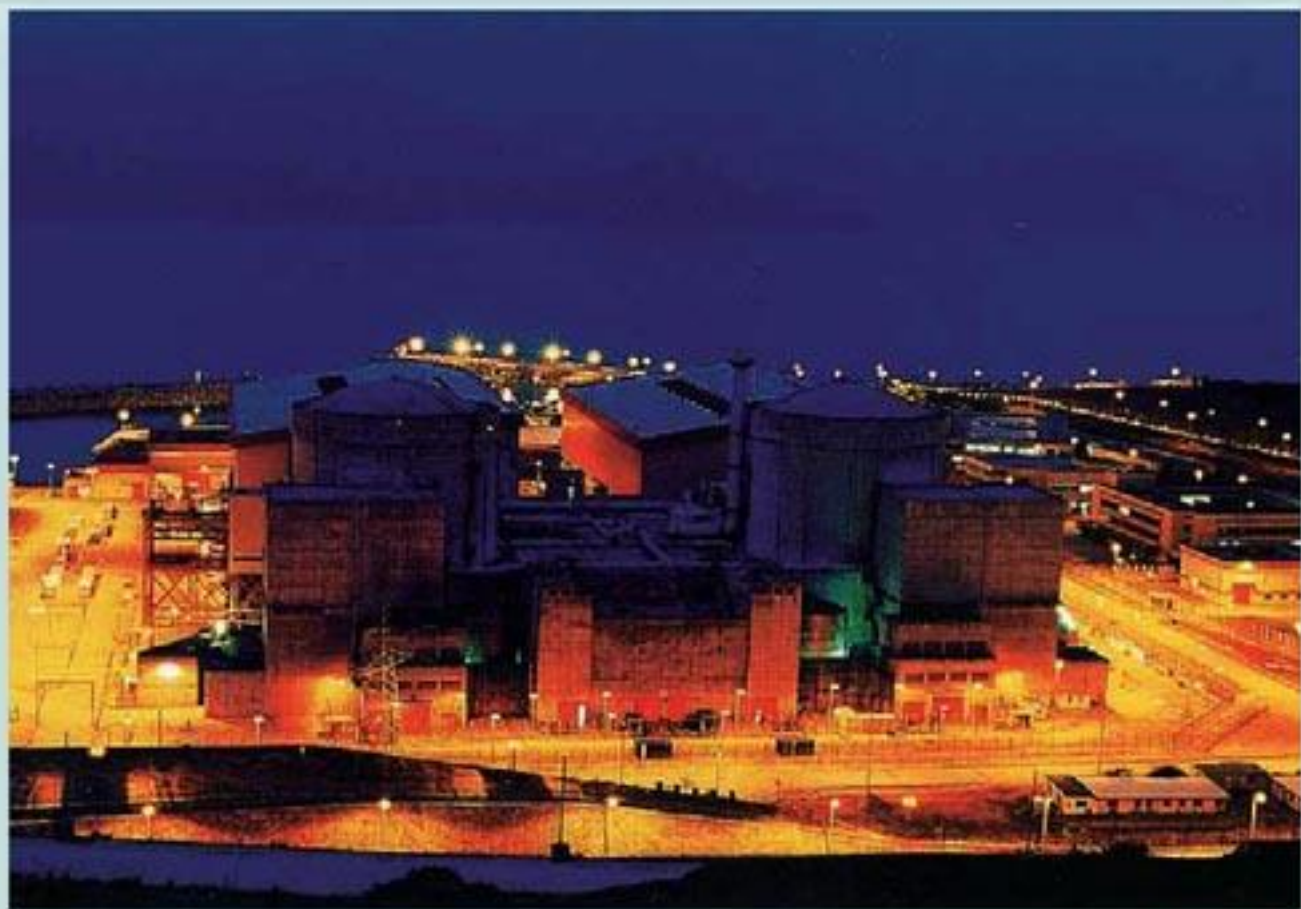


图2.6-3 小汽车

虽然原子核似乎与人类所操心的东西离得很远，但是技术已经开发了原子核的巨大力量。力量永远是既有危险又有机会的，要由我们大家来判定它的使用是否明智。

——阿特·霍布森^①

第三章 核能



大亚湾核电站全景

1942年12月2日下午，由物理学家费米主持建造的世界第一座人工核裂变反应堆，在美国芝加哥大学实现了可控核裂变链式反应。这在人类历史上第一次揭开了利用核能的篇章。

今天，核电站已经成为能源宝库的一颗明珠。

^① 阿特·霍布森(Art Hobson, 1934—)，美国阿肯色大学教授，《物理学：基本概念及其与方方面面的联系》的作者。

古希腊和中国的古代思想家都曾提出，世界上的万物都是由极其微小的原子构成的。但是，原子是什么样的？它有没有内部结构？直到19世纪末以前，仍然是一个不解之谜。

《格列佛游记》^①中有下面这样一段描写。大人国的人们把他们国王的公主称为第一美女，在这些长着硕大眼睛的人们看来，公主的面容光洁润滑，艳若天仙。但是，长着更为精细眼睛的格列佛却看到，粗大可怖的汗毛孔布满公主的面庞。由此人们想到：或许人体的感官与原子相比过于庞大，因此人们只能在想像和理论中谈论原子的存在，而无法瞥见它的真面目？

不过，只要原子是真实存在的，就会以多种方式把自身的信息透露出来，考验着人们破解自然奥秘的智慧。

科学行动了！19世纪末以来，科学帮助人们安装了更加精细的“眼睛”、更加精细的“手臂”，使人能把各种精巧的认知“探针”打入原子的世界，揭开原子的面纱。

1897年，通过阴极射线的实验研究，人们捕捉到了从原子中逸出的电子。进一步的实验和理论研究，终于使人们弄清楚了原子结构的具体景象：带负电的电子在“巨大”的原子空间里围绕着带正电的又小又重的原子核高速运动着。另一方面，以X射线的发现为诱因，人们发现天然放射性，这又使人类认知的探针插入到原子的核心——原子核，并逐渐揭示了原子核的结构和原子核的种种神奇变化。这使人们在从宏观到微观的漫长探究道路上，迈出了极为重要的一步，并把人类社会推进到了核能时代。这是科学的胜利。

核物理学发展起来的时间还不很长，我们沿着历史的脚步来学习原子核的知识是有意义和有趣的。这一章我们来讨论人们用什么方法认识了原子核的结构和原子核变化的规律，还要讨论与现代社会生活密切相关的核技术问题。

一、放射性的发现

X射线的发现 1895年11月8日，德国科学家伦琴在研究阴极射线的实验中发现了一种意想不到的现象。当时，为了防止可见光的影响，他用厚厚的黑纸把放电管包裹起来。在暗室中伦琴发现放电管放电时，距它1 m外的涂有氰亚铂酸钡的荧光屏发出了微弱的荧光。这使他十分惊奇，因为没有办法解释发出可见光的原因。他推断，看到的荧光可能是一种未知的射线引起的。



伦琴(W. K. Röntgen, 1845—1923)，德国物理学家，X射线的发现者。为了纪念伦琴的贡献，人们把这种射线称为伦琴射线。伦琴为此获得了1901年诺贝尔物理学奖，他是第一位获此殊荣的物理学家。

^① 《格列佛游记》是英国作家斯威夫特(J. Swift, 1667—1745)所著讽刺小说，通过主人公格列佛到小人国、大人国等虚构国度的离奇旅行和种种遭遇，反映18世纪初英国社会的不合理现象。

伦琴在进一步研究中发现,这种射线能够穿透上千页书、2~3 cm厚的木板、几厘米厚的橡胶板……只有1.5 cm以上厚度的铅板才能把它挡住,可见,这种射线具有很强的穿透力。

1895年12月28日,伦琴发表了论文,初步总结出新射线的一些性质:直线传播,不被玻璃棱镜反射和折射,也不被电场或磁场偏转;所有物体对新射线几乎都是透明的,能显示放在盒子里的砝码,能显示人手骨骼的轮廓;可使荧光物质发光,可使照相底片感光。



甲 伦琴的实验室



乙 伦琴夫人手指的X光片

图 3.1-1 伦琴连续6个星期吃住在这间实验室里,反复实验,了解了X射线的性质。他是第一个透过人的皮肤和肌肉看到骨头的人。

伦琴无法确定新射线的本

质,就把它称为X射线(X-ray)。直到1912年,才由德国物理学家劳厄判定,X射线是频率极高的电磁波。

X射线发现后,欧洲和美国的一些实验室立即重复了伦琴的实验。当时的科学杂志和报纸发表了大量有关X射线的文章,有的还刊登了伦琴夫人手掌的X光照片。医院里纷纷装配X射线管用来给病人做检查,甚至有些人在客厅安装一台放电管,在客人面前表演X射线透视。可以说,伦琴的发现引起了世界性的狂热。

尽管X射线并非来自原子核的内部,但是X射线的研究导致了天然放射性的发现,为研究微观物质的结构开辟了一个新的时代。



科学漫步

从透视到CT

1895年伦琴发现X射线后,很快就在医疗上得到应用。直到今天,X射线仍被用于身体的透视检查,是医学诊断的重要手段。同时,X射线还被用来治疗某些疾病,如用一定强度的X射线治疗皮肤癌。

用X射线进行的医学诊断可以分为X射线透视与X射线摄影两类。进行透视时,将患者被检查的部位置于X射线管与荧光屏之间,直接通过荧光屏进行观察,还可以使患者转动,从不同的角度进行观察。透视的突出优点是可以立即得到检查结果,缺点则是没有记录结果可供对比,对微小病灶的分辨力也较差。透视时患者所接受的辐射剂量也要比摄影拍片多,医生在检查时也会受到X射线的照射。

近年来X射线透视有了很大的改进。摄像管取代了荧光屏,摄像管得到的信号经加工后在显像管映出。这样,医生可以在其他房间观察,避免受到照射。由于摄像管的灵敏度很高,所用X射线的剂量可以小得多,病人也就避免了大剂量照射可能产生的损伤。还有一个好处,X射线能够透过不太厚的木板、塑料等,可以用这些材料把摄像管包起来,于是病人做透视就不必到黑屋子里去了。

要把透视的情况保存起来,就要用X射线摄影了。记录在胶片上的影像可供以后研究或与过去的情况对比,以了解病情的变化。

不过,严格说来,无论透视还是摄影,得到的都是人体在X射线下所成的“影”。各层组织的影前后重叠,有些被遮挡的病灶无法清晰显示。为了克服这一缺陷,1972年,CT技术问世了。CT是“电子计算机断层成像”的英文名

Computed Tomography的首写字母。进行CT检查时,X射线源和摄像管从多个角度对所摄部位进行拍摄,得到多幅影像,然后由计算机分析这些影像,得到人体的一幅幅断层照片。

需要注意的是,人体组织经X射线照射会产生电离,导致某些蛋白质、酶等发生变化,在细胞水平上引起损伤和病变。所以,接触X射线时必须采取防护措施。一般用铅板、铅玻璃屏蔽X射线,也可采用含铅的橡胶制品做个人防护用具。

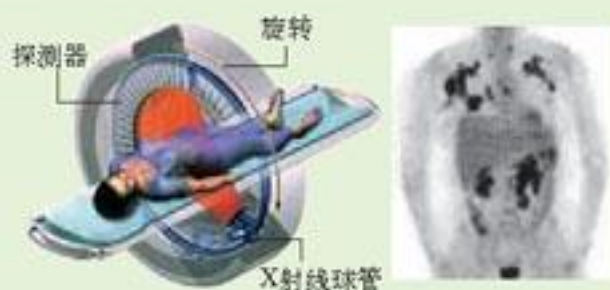


图3.1-2 电子计算机断层成像技术(CT)

天然放射性的发现

X射线的发现打开了一个全新的研究领域,引起许多科学家的兴趣与关注,人们纷纷开展了对这种射线本性的深入研究。

1896年初,法国物理学家贝克勒尔想到X射线可能与荧光有关系,就开始了这方面的研究。他选择了在日光照晒下能发出荧光的铀盐——硫酸钾铀酰做实验材料。他用黑纸把照相底片包住,放到这种铀盐的下面,在阳光下曝晒几个小时,底片显影后,发现了铀盐在底片上的黑色轮廓,表示底片已经感“光”,“光”源就是这种铀盐。由于可见光不能穿透黑纸,贝克勒尔认为,这种铀盐在阳光下除了能够发出荧光外,还能发射X射线,致使底片感光。



亨利·贝克勒尔(A. - H. Becquerel, 1852—1908),法国物理学家。他发现了天然放射现象,获得1903年的诺贝尔物理学奖。他的发现,常常被世人看作是科学史上最典型的偶然发现事例。然而,贝克勒尔自己却不这样看。他喜欢说,在他的实验室里发现放射性是“完全合乎逻辑的”。

他成长在研究荧光的世家中,前辈们注重收集实验资料,尊重客观事实的态度,帮助贝克勒尔面对偶然出现的现象很快做出正确的判断。他成为放射学的先驱,的确不是偶然的。

再次准备实验的时候遇到了几个阴天,贝克勒尔只好把准备好的铀盐和包好的底片一起放进了抽屉。几天以后,贝克勒尔在检查底片时意外发现底片又已经感“光”。这个事实使贝克勒尔认为铀盐本身能够发射一种神秘的射线,正是这种射线导致了底片感光。1896年3月2日,他在法国科学院例会上公布了这一发现。

贝克勒尔进一步用不发荧光的铀化合物进行实验,发现也能使底片感光,铀化合物发出的射线也能像X射线一样穿透多种物质。他还发现,只要有铀元素存在,不论是什么化合物,就一定有这种贯穿本领很强的射线发出。贝克勒尔进一步指出,这种发出射线的能力是铀原子自身的性质。

对天然放射现象研究的下一个重大进展,是居里夫人做出的。1897年,她在撰写博士论文时选择了贝克勒尔发现的射线作为研究课题。居里夫人首先证实了铀盐发出射线的强度只与

化合物中铀的含量成正比,而与化合物的成分无关,也不受光照、加热、通电等因素的影响。由此,她确认这一现象的起因在原子内部,并提出了“放射性”这个词,用来描写这一现象。

居里夫人还提出了一个重要的问题:是否还有其他元素也具有这种性质?她决定检查当时知道的所有元素,结果发现钍也发射类似的射线。

在对铀钍混合物进行测量时,居里夫人发现有的矿石混合物的辐射强度比已测到的铀和钍的放射性强得多,她大胆假定这些矿石中含有当时尚不知晓的放射性元素。



居里夫人(Marie Curie, 1867—1934),波兰人,1891年到法国巴黎求学。居里夫妇和贝克勒尔由于对放射性的研究而共同获得1903年的诺贝尔物理学奖。在发现镭射线的治癌功能后,他们认为这种济世救人之物应该属于全世界,没有为镭的发现申请专利。当镭以昂贵的价格出现在市场上时,他们自己却甘愿过着清贫的生活。在第一次世界大战中,居里夫人带着女儿亲赴战场,积极参加用射线救治伤员的工作。可能是由于长期受到放射性辐射的照射,居里夫人死于白血病。居里夫人在1911年又因镭和钋的发现而获得了诺贝尔化学奖,成为唯一一位两次获得诺贝尔奖的女科学家。

自然现象纷繁复杂,假相与真相交织,现象与本质相异,因而在科学探索过程中,走弯路、犯错误是不可避免的。贝克勒尔从错误的猜想出发,不断通过实验纠正错误而走向真理,这也是科学发现的一种正常的模式。



她和丈夫法国科学家皮埃尔·居里一起开始了一项艰苦的工作:从沥青铀矿中分离这种新元素。1898年7月,他们发现了一种放射性比铀强400倍的新元素,他们把它命名为钋(Polonium),以纪念居里夫人的祖国波兰。同年12月,他们又发现了放射性比铀强百万倍的镭(Radium)。

镭的发现再次轰动了科学界,但是也有人怀疑它的存在。为了排除这一怀疑,居里夫妇经过艰苦繁重的工作,在几万次提炼之后,终于在1902年从8 t沥青铀矿渣中提炼出0.12 g纯净的氯化镭,确证了镭元素的存在。

射线到底是什么

放射性物质发射出的射线到底是什么?这个问题吸引了科学家的注意。发现了天然放射性之后不久,人们就发现,各种放射性元素发出的射线中包括 α 、 β 和 γ 三种射线。

人们让射线通过电场或磁场,观察射线是否由于电场或磁场的作用而偏离原来的方向。这种方法的依据是带电粒子在穿过电场或磁场时会受到力的作用。

把放射源(铀、钋或镭)放入用铅做成的容器中,射线只能从容器的小孔射出。在两块金属板之间加一个电场,实验结果如图3.1-3所示。放出的射线在电场中分解为三束,向左偏转较大的一束叫做 β 射线,中间不偏转的一束叫做 γ 射线,向右偏转较小的一束叫做 α 射线。

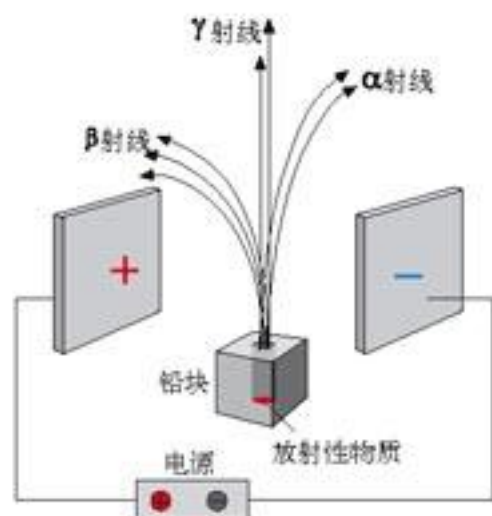


图3.1-3 三种射线在电场中发生不同的偏转



思考与讨论

假定几种射线都是粒子束，根据图3.1-3，你认为组成 α 射线、 β 射线和 γ 射线的粒子可能各带什么电荷？

人们又将三种射线射入磁场，它们的运动也不相同，如图3.1-4所示。

此外，这三种射线穿透物质的能力也不相同。把辐射强度减到初始值一半所需铝板的厚度如下表所示。

射线的种类	铝板的厚度/cm
α 射线	0.0005
β 射线	0.05
γ 射线	8

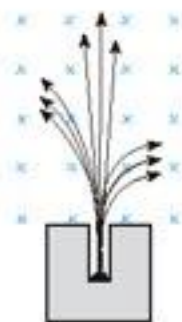


图3.1-4 三种射线在磁场中的运动轨迹不同

可见， α 射线的穿透能力最弱， γ 射线的穿透能力最强。

在多方面研究后确认： α 射线是带正电的高速粒子流，粒子的电荷量是电子的2倍，质量是氢原子的4倍，实际上就是氦原子核。 α 粒子的动能很大，速度可以达到光速的 $\frac{1}{10}$ ，很容易使气体电离，使底片感光的作用也很强。但是由于它跟物质的原子碰撞时很容易损失能量，因此它贯穿物质的能力很弱，在空气中只能前进几厘米，用一张纸就能把它挡住。

β 射线是高速电子流，它的速度更大，可达光速的99%。它的电离作用较弱，贯穿本领较强，很容易穿透黑纸，甚至能穿透几厘米厚的铝板。

γ 射线是能量很高的电磁波，波长很短，在 10^{-10} m以下。它的电离作用更小，贯穿本领更强，甚至能穿透几厘米厚的铅板和几十厘米厚的混凝土。

放射性并不是少数元素才有的。原子序数大于或等于83的元素，都能自发地发出射线，原子序数小于83的元素，有的也具有放射性。元素自发地放出射线的现象，叫做天然放射现象。

如果一种元素具有放射性，那么，无论它是以单质的形式存在，还是以化合物形式存在，都具有放射性，都能发射射线。由此可以断定，射线来自原子核。这说明原子核内部是有结构的。

由于射线会对人体产生伤害，所以在接触和使用射线时，必须有防护措施。



问题和练习

1. X射线具有哪些性质？
2. α 射线、 β 射线和 γ 射线各是什么粒子流？

3. 对于人眼不能看到的射线,在研究它们的电磁性质时可以使用什么方法?
4. 为什么说物体具有放射性表明原子核是有内部结构的?
5. 存在射线的地方,你能看到如图3.1-5所示的标志。你在什么地方看见过这种标志?为了人身安全,在有这样标志的场所,应该注意什么?



图3.1-5 国际通用的放射性物质的标志

二、原子与原子核的结构

原子的核式结构模型 1909~1911年,英国物理学家卢瑟福(E. Rutherford, 1871—1937)和他的助手们进行了 α 粒子散射的实验:用 α 射线照射金箔,由于金原子中的带电微粒对 α 粒子有库仑力的作用,一些 α 粒子穿过金箔后会改变原来运动的方向。卢瑟福希望通过对实验现象的分析,来了解原子内部电荷与质量分布的情形。

实验的结果是,绝大多数 α 粒子穿过金箔后仍大致沿原来的方向前进,但是少数 α 粒子发生了较大的偏转(图3.2-1)。

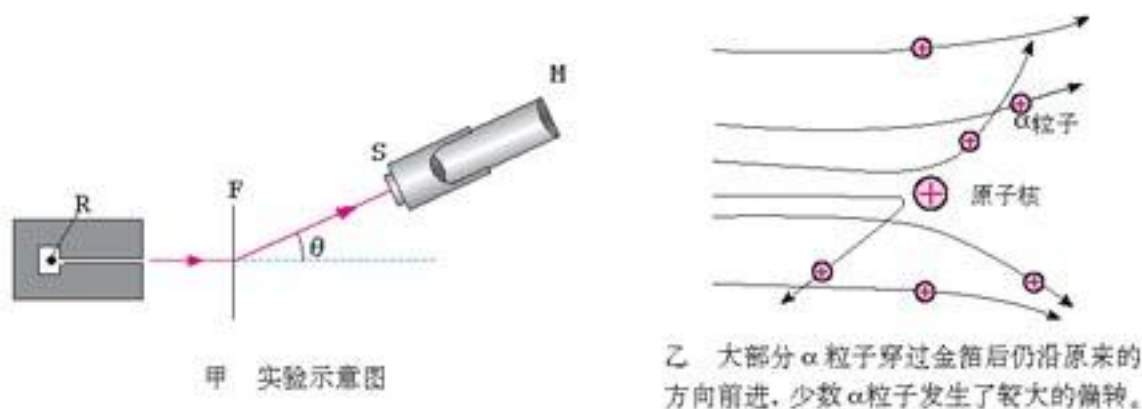


图3.2-1 α 粒子的散射

实验中观察到的大角度散射使卢瑟福感到惊奇。 α 粒子的这种大角度散射,不可能是金箔原子内的电子造成的,因为电子的质量很小。这就像子弹碰到尘埃一样,子弹的方向不会发生什么变化。 α 粒子一定是由于正电荷的作用而散射,而且正电荷的质量一定很大,碰撞时才能使 α 粒子改变运动方向。卢瑟福猜想:原子中的正电荷与原子的质量一定集中在一个很小的核上。

卢瑟福精确统计了向各个方向散射的 α 粒子的数目,在此基础上提出了原子的核式结构模型:在原子的中心有一个很小的核,原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在核内,这个核叫做原子核(atomic nucleus),带负电的电子在核外的空间运动着。

按照原子的核式结构模型,原子内部的空间十分空旷。近代研究表明,原子直径的数量级

为 10^{-10} m，而原子核直径的数量级仅为 10^{-15} m，两者相差十万倍！如果把原子比做直径百米左右的大球，那么原子核只有米粒大小。

原子核的组成 原子核虽然很小，但是也有内部结构。

1919年，卢瑟福用镭放射出的 α 粒子轰击氮原子核，从氮核中打出了一种新的粒子。根据这种粒子在电场和磁场中的偏转，测出了它的质量和电荷，原来它就是氢原子核，叫做质子 (proton)，用 p 表示。以后，人们用同样的方法从氟、钠、铝等原子核中都打出了质子，因而，质子是原子核的组成部分。

质子带正电荷，电荷量与一个电子所带电荷量相等。质子的质量 $m_p = 1.672\ 623\ 1 \times 10^{-27}$ kg。

原子核只由质子组成吗？如果原子核中只有质子，那么任何一种原子核的电荷量与质量之比，都应该与质子的电荷量与质量之比相同。实际并不是这样，绝大多数原子核的电荷量与质量之比都比质子相应的比值要小。卢瑟福猜想：原子核内可能还存在着另一种粒子，它的质量跟质子相同，但是不带电。卢瑟福把这种粒子叫做中子 (neutron)。卢瑟福的这个猜想被他的学生英国物理学家查德威克 (J. Chadwick, 1891—1974) 通过实验证实了。

中子不带电，用符号 n 表示。中子的质量 $m_n = 1.674\ 928\ 6 \times 10^{-27}$ kg，非常接近质子质量，只比质子质量大千分之一左右。

质子和中子除了所带电荷的差异以及质量上的微小差别外，其余性质十分相似，而且都是原子核的组成成分，所以统称核子 (nucleon)。

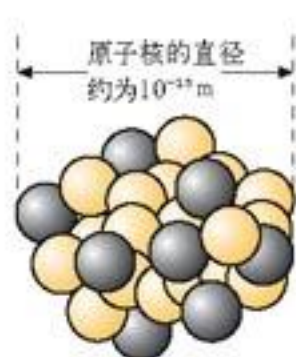


图3.2-3 原子核示意图

由于中子不带电，原子核所带的电荷等于核内质子电荷的总和。原子核所带的电荷总是质子电荷的整数倍，通常用这个整数表示原子核的电荷量，叫做原子核的电荷数，用 Z 表示。原子核的质量几乎等于核内质子和中子的质量的总和，而质子与中子的质量几乎相等，所以原子核的质量几乎等于核子质量的整数倍，这个倍数叫做原子核的质量数，用 A 表示。

原子核的电荷数就是核内的质子数，也就是这种元素的原子序数，而原子核的质量数就是核内的核子数。

原子核常用符号 ${}^A_Z X$ 表示， X 为元素符号，上角标 A 表示核的质量数，下角标 Z 表示核的电荷数 (原子序数)。例如氦核，可以表示为 ${}^4_2\text{He}$ ，它的质量数是 4，电荷数是 2，即氦核内有 2 个质子和 2 个中子。 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 代表铀核，它的质量数为 238，电荷数为 92，即核内质子数为 92，中子数为 146。

原子核的质子数决定了核外电子的数目，也决定了电子在核外分布的情况，进而决定了这种元素的化学性质。因此，同种元素的原子，质子数相同，核外电子数也相同，它们就会具有



图3.2-2 α 粒子轰击氮原子核

相同的化学性质。但是，它们的中子数可能不同。这些具有相同质子数而中子数不同的原子，在元素周期表中处于同一位置，因而互称同位素 (isotope)。例如，氢有三种同位素，分别叫做氢、氘（也叫重氢）、氚，符号是 ${}^1\text{H}$ 、 ${}^2\text{H}$ 、 ${}^3\text{H}$ 。

中子的发现使人们认识到，如果认为原子核是由质子和中子组成的，与原子核组成有关的问题都可以得到圆满的解释，于是这一看法很快得到了公认。

质能方程 如果某种粒子与原子核发生相互作用，导致核的组成或核的状态发生了变化，这样的过程叫做核反应。核反应总会伴随着能量的变化。由于原子核内的核子之间存在着强大的作用力，所以核子结合成原子核或原子核分解为核子时，都伴随着巨大的能量变化。例如，一个质子和一个中子结合成氘核时，要放出 $2.2 \text{ MeV}^{\text{①}}$ 的能量。蕴藏在原子核中的能量称为核能 (nuclear energy)。

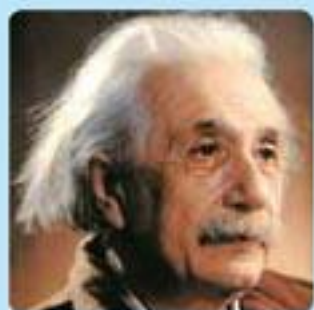
爱因斯坦在建立相对论时指出，物体的能量与质量之间存在着联系，它们之间的关系是

$$E = mc^2$$

这就是著名的爱因斯坦质能方程，式中 E 为物体的能量， m 为物体的质量， c 是光速。这个方程表示，物体具有的能量与它的质量之间存在着简单的正比例关系。

既然物体的质量与它的能量之间存在着联系，原子核在其能量释放的前后，它的组成成分的总质量也会有所不同。精确测定的结果表明，原子核的质量比组成它的所有质子和中子的质量之和要略小一点。例如，氘核虽然是由一个质子和一个中子组成的，但是氘核的质量比一个质子、一个中子质量之和约小 0.12% 。这个现象叫做原子核的质量亏损。

核反应涉及的能量十分巨大。 1 mol 碳完全燃烧过程中释放的能量不过 393.5 kJ ，每个碳原子在燃烧过程中放出的能量不过 4 eV ，而一个质子与一个中子结合成氘核所释放的能量可达 2.2 MeV ，两者相差近百万倍！



爱因斯坦 (Albert Einstein, 1879—1955) 是人类历史上最伟大的物理学家之一。他出生于德国南部的小城乌尔姆，1900年毕业于瑞士联邦工业大学。

1905年，是科学史上值得记取的一年。这一年，爱因斯坦26岁，他在德国《物理学年鉴》上发表了五篇论文，其中的三篇都是划时代的成就。

一篇论文是关于光电效应的。爱因斯坦将普朗克的量子论大胆推广，指出光是由一定能量的光子组成，解释了光电效应。这一工作使他获得了1921年的诺贝尔物理学奖。第二篇论文是关于布朗运动的，爱因斯坦从数学上对微粒的无规则运动给予了解释。最重要的成就是第三篇论文，爱因斯坦提出了狭义相对论。

由于爱因斯坦在这一年发表了改变物理学面貌的几篇论文，后人将1905年称为“爱因斯坦奇迹年”。为了纪念这一奇迹年100周年，2004年6月10日，联合国大会通过了2005年为“国际物理年”的决议。

晚年的爱因斯坦将主要精力投入到统一场论的研究中，希望把引力与电磁力统一起来。同时，他还关心社会问题，反对战争。在谈到科学与战争的关系时，他在一封信中写下了如下的话：“科学是一种强有力的工具。怎样用它，究竟是给人带来幸福还是带来灾难，全取决于人自己，而不取决于工具。刀子在人类生活上是有益的，但是它也能用来杀人。”

① eV是能量的单位，叫做电子伏特，常用在原子物理学和核物理学中。 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。

问题和练习



1. 简要说明原子与原子核的结构。
2. 为什么从 α 粒子发生大角度散射的现象，可以设想原子具有原子核？
3. 下面的说法中正确的是
 - A. 原子核是由质子和中子组成的
 - B. 质子是卢瑟福发现的
 - C. 中子是卢瑟福发现的
 - D. 中子的电荷量与质子的电荷量差不多
4. 什么是原子核的质量亏损？

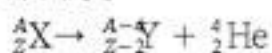
三、放射性衰变

放射性衰变 一些原子序数很高的元素，如铀、钍和镭等，它们的原子核能够自发地放射 α 、 β 、 γ 射线。在放出 α 粒子、 β 粒子后，这些元素的原子核就转变成新的元素的核。这种现象叫做放射性衰变 (radioactive decay)。

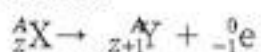
原子核放出 α 粒子的衰变，叫做 α 衰变。当原子核放出一个 α 粒子后，它的原子序数减少 2，质量数减少 4，因此该元素就变为它在元素周期表中前两位的那个元素。例如，铀核在 α 衰变后变成了钍核。

原子核放出 β 粒子的衰变，叫做 β 衰变。原子核在 β 衰变中放出一个电子，因而原子序数增加 1 而质量数保持不变。发生 β 衰变后，这个元素就变成元素周期表中它后一位的元素。

α 衰变表示为



β 衰变表示为



γ 衰变是 α 衰变、 β 衰变的伴生物。 γ 射线的发射只是使原子核的能量状态发生改变，而原子核的电荷数和质量数都保持不变，所以不发生元素种类的改变。

具有放射性的元素称为放射性元素，放射性元素的衰变有的很快，有的比较慢，例如镭 226 衰变时经过 1 620 年有一半的镭原子变为氡 222；铀 238 衰变时则要经过长达 4.5×10^9 年的时间才会有

无论 α 衰变还是 β 衰变，衰变前后质量数和电荷数都是守恒的。



核的相对数
(以最初的原子核数为 1)

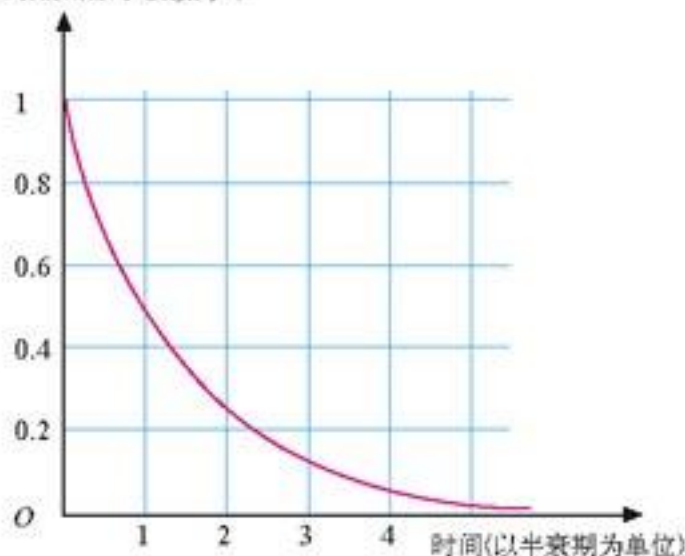


图 3.3-1 放射性元素的放射性衰变曲线图

一半的铀原子衰变为钍234，而钋212衰变时只需 4.5×10^{-7} s就会有一半的钋原子变为铅208。

通常用半衰期(half-life)来表示放射性元素衰变的快慢。半衰期是放射性元素的原子核有一半数量发生衰变所需要的时间。例如氡222经 α 衰变后变成钋218，衰变过程中每经过约3.8天，就有一半的氡发生了衰变，再经过3.8天后，又有一半的氡发生了衰变，只剩下了原来的四分之一，再经过3.8天后，剩下的氡只有原来的八分之一……

放射性元素衰变的快慢是由原子核本身的性质决定的，不论它是以单质的形式还是以化合物的形式存在，或者是对它施加压力、增高温度，都不能改变它的半衰期。

放射性元素的衰变规律是统计规律，半衰期只对大量原子核衰变才有意义，对少数原子核是没有意义的。当放射性原子核的数量少到统计规律不再起作用时，就无法判断原子核的衰变情况了，某一个原子核何时发生衰变是不可知的。

元素的衰变是放射现象研究中最惊人的科学发现，元素不变观念被打破了，科学家们的研究重点转向了原子核。

放射性的应用

有些同位素具有放射性，叫做放射性同位素。放射性同位素在医疗、工业、农业和科学研究等领域都有广泛的应用。

在医疗方面，患了癌症的病人可以接受钴60的放射治疗。为什么射线能够治疗癌症呢？原来人体组织对射线的耐受能力是不同的，细胞分裂越快的组织，它对射线的耐受能力就越弱。像癌细胞那样，不断迅速繁殖的、无法控制的细胞组织，在射线照射下被破坏得比健康细胞快。

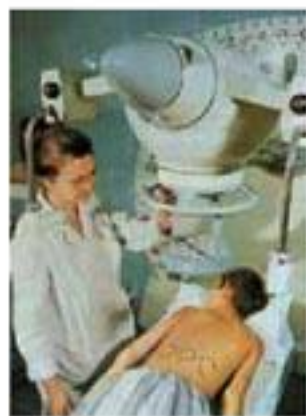


图3.3-2 放射治疗

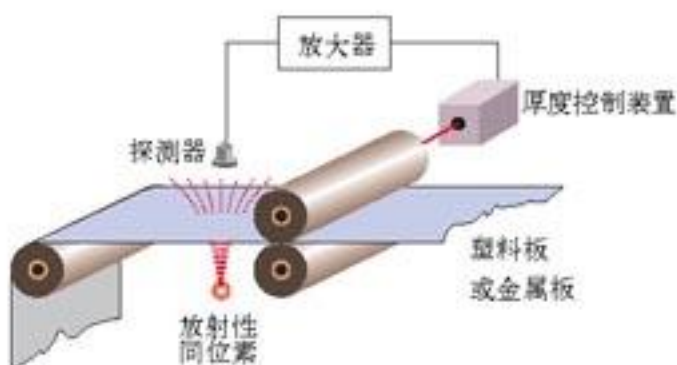


图3.3-3 射线测厚装置

工业部门可以使用射线来测厚度。例如，轧钢厂的热轧机上可以安装射线测厚仪，仪器探测到的 γ 射线强度与钢板的厚度有关，轧出的钢板越厚，透过的射线就越弱。因此，将射线测厚仪接收到的信号输入计算机，就可以对钢板的厚度进行自动控制。

利用 γ 射线照射种子，会使种子发生变异，从而培育出新的优良品种。用 γ 射线照

射食品可以杀死使食物腐败的细菌、抑制蔬菜发芽，延长保存期。

由于放射性元素放出的射线很容易检测，因此可以利用这些射线显示原子的踪迹，这种方法叫做示踪原子法。利用示踪原子，在工业上可以检查输油管道渗漏的情况；在农业上可以了解植物吸收肥料后在体内转移、分布的情况；在医疗上可以帮助医生确定肿瘤的部位和范围，还可以用来研究人体对药物的吸收、排泄等情况。



图3.3-4 射线的照射能延长草莓的保质期

有些办公室、酒店的天花板上，安装着用来报告火警的烟雾报警器。烟雾报警器的盒子分为两个小室，一个是密闭的，另一个是开放的，与室内空气相通。放射源置于盒的中央，它会使两个小室中的空气电离，电离后的空气能够导电。相同的电压加在两个小室上，通过两个小室的电流相等。发生火警时，烟雾进入开放的小室，辐射源使其中的离子浓度增加，导电能力变强，两个小室中的电流就失去平衡，继而引发警铃响起。



图3.3-5 辐射烟雾报警器



放射性年代测定

1972年，湖南长沙马王堆出土了一具古尸。分析墓中的文字，学者们认为这具古尸葬于公元前160年。有没有其他证据来佐证这个结论呢？科学家利用碳14的放射性衰变测出，这具古尸已有2130年的历史，支持了文字考证结果。

1996年开始的“夏商周断代工程”，是我国“九五”计划的重要科研项目，经过200多位专家历时5年的合作研究，标志性成果《夏商周年表》于2000年11月9日正式公布。研究成果将我国的历史纪年由西周晚期的共和元年，即公元前841年，向前延伸了1200多年。夏商周断代工程综合研究不仅利用了历史学、古文献学、古文字学、天文学的研究成果，而且也利用了碳14衰变来进行年代测定。

自然界绝大多数碳原子的质量数是12，少数碳原子的质量数是14，它们分别称为碳12和碳14。碳14是一种放射性同位素，半衰期为5 730年，它是宇宙射线与高层大气层相互作用时产生的。一方面，碳14由于衰变而不断减少，另一方面，由于宇宙线的作用又在不断产生，所以大气中的碳14的浓度保持不变，它与碳12的比例是 $1:10^{12}$ 。大气层中的碳主要以二氧化碳的形式存在。地球上活的生物通过新陈代谢与外界进行物质交换，生物体内碳14与碳12的比例与体外的比例是相同的。生物死亡以后，新陈代谢停止，不再摄入新的碳14，体内的碳14因衰变而减少。像其他放射性物质一样，碳14的衰变极有规律，不受外界温度、压强等影响，因此，死亡的生物体实际上就是无处不在的“时钟”。虽然很多文物本身不是生物体，如陶瓷、青铜器等，但总能在其上找到一些生物体的残留，像烟灰、油脂等，只要探测出这些生物遗迹内的碳14与碳12的比例，就能确定其附着物的年代。这一技术可以确定从几百年到几万年历史时间内的年代。

在经济建设中也会用到碳14测定年代的方法。例如，建设电站、水坝、港口、桥梁和高层建筑时，地质基础的力学性质是工程设计的重要指标。一般说来，沉积物的固结程度与该地层形成的年代相关，形成年代越早，固结程度越高，抗冲击和承压性越好。北京饭店新楼施工时，在地面以下13 m深处发现，有两棵直径达1 m的榆树倒卧在河流砂砾层中。用碳14测定，这两颗树距今为 $29\ 285 \pm 1\ 350$ 年。据此数据，建设部门认为这个地层已经足够古老，可以作为地基，于是停止下挖，从而节约了大量资金。

放射性污染和防护

人类从来就生活在有放射性的环境中。例如，地球上的每个角落都有来自宇宙的射线，我们周围的岩石中也有放射性物质。我们的日常用品中，有的也具有放射性，例如一些夜光表上的发光粉就含有放射性物质。平时吃的食盐和有些水晶眼镜片含有钾

40, 香烟中含有钋²¹⁰, 这些也是放射性同位素。体检透视时还会做 X 射线透视, 这更是剂量比较大的辐射。由于这些辐射都在安全剂量范围之内, 它们对我们没有伤害。

然而过量的射线的确对人体组织有破坏作用。因此, 在使用放射性同位素时, 必须注意人身安全, 同时要防止放射性物质对空气、水源、用具等的污染。



1. 室内环境与放射性

我国南方某地一个村子里有座房屋, 被人们称做“鬼屋”。因为居住此屋的人往往因各种怪病而死, 所以后来没有人敢住。有三个年轻力壮的小伙子, 胆子大, 搬了进去。一年后, 他们全都食欲减少, 面黄肌瘦, 精神萎靡。经医生检查, 原来得了癌症。不久, 他们就都离开了人世。

1984 年, 科学家对此进行了调查研究, 发现“鬼屋”内的空气中含有大量具有放射性的氡。这些致人死亡的氡来自建筑房屋的石头。氡被人吸入肺内, 能诱发肺癌。

现在, “鬼屋”已经不存在了。但是, 随着室内装饰时天然石材的使用, 室内放射性污染的问题越来越引起了人们的关注。

2. “小小钥匙链放倒 13 人” (摘自《北京青年报》2001 年 9 月 6 日)

本报记者赵新培核实报道 昨天下午 3 点, 记者赶到燕山石化职工医院, 在住院处 8 楼的几间病房里, 见到了被射线伤害的四名职工。据高个子小王讲, 9 月 2 日上午 10 点, 维修班副班长李师傅在维修现场捡到一个“钥匙链”: 铅灰色金属链的一端悬着一颗小铅疙瘩, 他以为是个小玩意, 就把它放进裤兜儿, 中午休息的时候和几个同事把玩之后, 随手放进了抽屉里。他们万万没想到, 这个小玩意其实是个大“魔鬼”。

直到下午 5 点半的时候, 有人打电话来问是否见到一段金属链, 他们才知道, 这个“钥匙链”其实是 γ 源: 铯 137。原来燕山石化公司于 9 月 2 日凌晨开始对管线状况进行检查, 使用了 γ 射线探伤仪, 收工后把最关键的放射源落在了工作现场。

小王说, 病情最严重的李师傅, 他的一条腿的裤兜处已经红肿。他和另外三个病情比较严重的人已经被送到了 307 医院。现在因被辐射而住在职工医院的工人有 9 人。据另一位年轻师傅讲, 他们并没有看见那个可怕的“钥匙链”, 但那天下午总是莫名其妙地犯困, 浑身没劲儿。现在他们的主要症状是发烧、恶心、呕吐、头晕、乏力等。

据内科病房副主任医师朱大夫说, 这 9 名症状轻微的受害者估计一个月后体力就会恢复。据他介绍, 如果被过量的 γ 射线辐射, 会造成人体内的细胞被杀死, 染色体断裂等现象。

随后记者又电话采访了北京市疾病预防控制中心放射卫生防护所, 接电话的金先生说, 他们正在对现场人员被辐射的剂量进行估算, 然后制定相应的治疗手段和计划。本报将继续关注此事。



3. 贫铀弹

在 1999 年的科索沃战争中, 贫铀弹被用于战场。以美国为首的北约军队共发射了 31 000 多枚贫铀弹。贫铀弹的使用及其带来的严重后果, 引起了世人的高度关注。

所谓“贫铀”是从天然铀中提取铀 235 后的废料。其主要成分 (99% 以上) 是铀 238。由于它具有低水平的放射性, 故称贫铀。贫铀合金具有高密度、高强度、高韧性的特点, 用它做弹芯可以摧毁坚固的建筑物甚至坦克等装甲目标。贫铀弹爆炸后的残留物会产生一定的放射性, 对人体造成危害。由于残留物分布广泛, 清理困难, 所以贫铀弹的使用造成了重大环境灾难。

问题和练习

- 关于放射性元素的半衰期，下面哪种说法是正确的？
 - 半衰期是原子核全部发生衰变所需时间的一半
 - 温度越高、质量越大的原子核其半衰期越短
 - 10个放射性原子核经过一个半衰期还剩5个未发生衰变
 - 某放射性元素的原子核在9天内衰变了 $\frac{3}{4}$ ，其半衰期是4.5天
- 下列哪些应用是利用了放射性同位素的射线？
 - 用X射线透视人体
 - 肿瘤病人在医院进行放射治疗
 - 利用 α 射线的照射来消除机器运转中产生的静电
 - 用射线照射种子使其发生变异，培育新品种
- 家庭装修用的某些石材具有天然放射性。查阅资料，了解政府防止建筑材料放射性污染的规定和建材市场上不同石材的放射性强度。在家庭装修中，使用天然石材应该注意哪些问题？

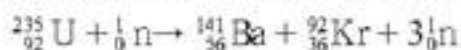
四、裂变和聚变

有的核反应要释放能量，有的要吸收能量。什么样的核反应可以释放能量呢？

核裂变 1938年底，德国物理学家哈恩(O. Hahn, 1879—1968)和他的助手在用中子轰击铀核的实验中，发现生成物中有原子序数为56的钡元素。

奥地利物理学家迈特纳(L. Meitner, 1878—1968)和弗里施(O. R. Frisch, 1904—1979)对此做出了解释：铀核在被中子轰击后分裂成两块质量差不多的碎块。弗里施借用细胞分裂的生物学名词，把这个核反应定名为原子核的裂变(fission)。

铀核裂变的产物是多样的，一种典型的铀核裂变是生成钡和氪，同时放出3个中子，核反应方程是



裂变中放出中子，数目有多有少，也有快有慢。以铀235原子核为例，裂变时产生2~3个中子，如果这些中子继续与其他铀235核发生反应，再引起新的裂变，就能使核裂变反应不断地进行下去。这种由重核裂变产生的中子使裂变反应一代接一代地继续下去的过程，叫做

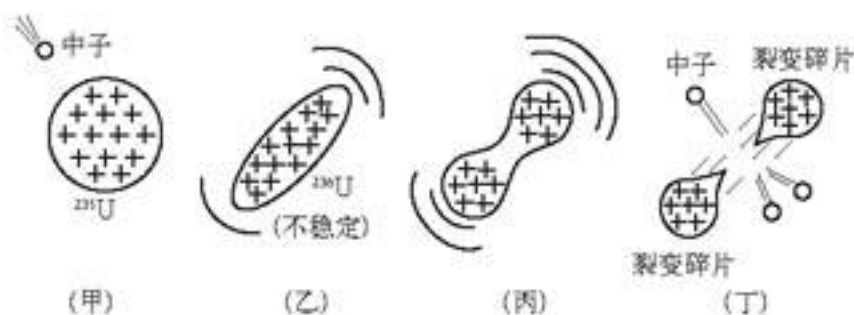


图3.4-1 铀核裂变示意图

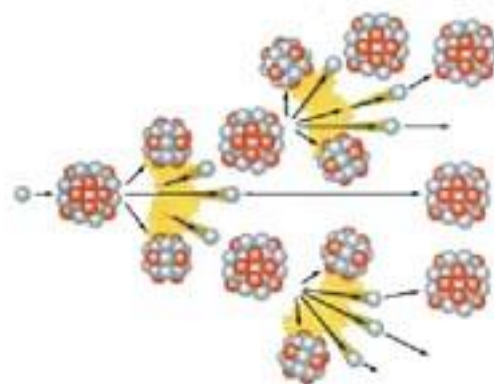


图3.4-2 链式反应示意图

核裂变的链式反应(chain reaction)。

铀块的大小是链式反应能否进行下去的重要因素。原子核的体积非常小,原子内部的空隙很大,如果铀块不够大,中子在铀块中通过时,就有可能碰不到铀核而跑到铀块外面去,链式反应就不能继续。只有当铀块足够大时,核裂变产生的中子才有足够的机会打中铀核,从而使链式反应进行下去。通常把裂变物质能够发生链式反应的最小体积叫做它的临界体积,相应的质量叫做临界质量。

当铀块的体积大于临界体积时,只要有中子击中某个铀核,就会引起铀核的链式反应,在极短的时间内放出巨大的能量,形成猛烈的核爆炸,这就是原子弹。原子弹爆炸时,链式反应的速度是无法控制的,所产生的后果是破坏性的。

如果能够按需要控制核能的释放速度,人们就可以利用核裂变时释放的巨大能量。核电站中的反应堆就是使核燃料在人工控制下产生裂变的装置。



图3.4-3 核电站中的反应堆

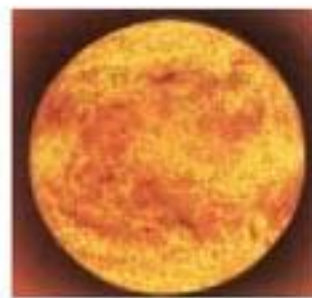
核聚变和受控热核反应 两个轻核结合成质量较大的核,这样的核反应叫做聚变(fusion)。在消耗相同质量的核燃料时,聚变要比裂变释放更多的能量。例如,一个氘核与一个氚核结合成一个氦核时(同时放出一个中子),释放17.6 MeV的能量,平均每个核子放出的能量在3 MeV以上,比裂变反应中平均每个核子放出的能量大3~4倍。这时的核反应方程是



使轻核发生聚变,必须使它们的距离十分近,达到 10^{-15} m的近距离。由于原子核是带正电的,要使它们接近到这种程度,必须克服巨大的库仑斥力。原子核要有很大的动能才会“撞”到一起。什么办法能使大量原子核获得足够的动能来发生聚变呢?有一种办法,就是把它们加热到很高的温度。当物质的温度达到几百万摄氏度时,剧烈的热运动使得一部分原子核具有足够的动能,可以克服库仑斥力,碰撞时十分接近,发生聚变。因此,聚变又叫热核反应。热核反应一旦发生,就不再需要外界给它能量,靠自身产生的热就可以使反应进行下去。

聚变与裂变相比有很多优点。第一,轻核聚变产能效率高。也就是说,相同质量的核燃料,聚变反应中产生的能量比较多。第二,地球上聚变燃料的储量丰富。每升水中就含有0.03 g氘,地球上的河流、湖泊、海洋等有138.6亿亿立方米的水,大约有40多万亿吨氘。反应中所用的氘可以利用锂来制取。地球上锂的储量有2000亿吨,用来制取氘足以满足聚变的需要。第三,轻核聚变更安全、清洁。实现核聚变需要高温,一旦出现故障,高温不能维持,反应就自动终止了。另外,氘和氚聚变反应中产生的氦是没有放射性的,放射性废物主要是泄漏的氘,以及聚变时放出的中子、质子生成的放射性固体废物,比裂变所生成的废物的数量少,容易处理。

实现核聚变的难点在于地球上没有任何容器能够经得住如此高



太阳的巨大能量就是核聚变产生的。几十亿年来,太阳每秒辐射出的能量约为 3.8×10^{26} J,相当于一千亿吨煤燃烧所放出的能量,其中20亿分之一左右的能量被地球接收。

各种能源的产能值

能源	产能值/($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)
煤(燃烧)	3.3×10^7
汽油(燃烧)	4.6×10^7
铀(裂变)	8.2×10^{13}
氘(聚变)	3.5×10^{14}

的温度。在这方面,太阳给了我们启发:太阳在缓缓地释放着聚变能,它靠什么“容器”把轻核约束在一起呢?靠的就是太阳的巨大质量产生的巨大引力。地球上当然没有这样强的引力场,但是可以利用其他场来实现这种约束。

目前科学家设想的实验研究方案,可以分为磁约束聚变和惯性约束聚变两大类。

带电粒子运动时在磁场中会受到洛伦兹力的作用,因此有可能利用磁场来约束参加反应的物质,使其不致飞散。环流器(即Tokamak,音译为托卡马克)是目前性能最好的一种磁约束装置。

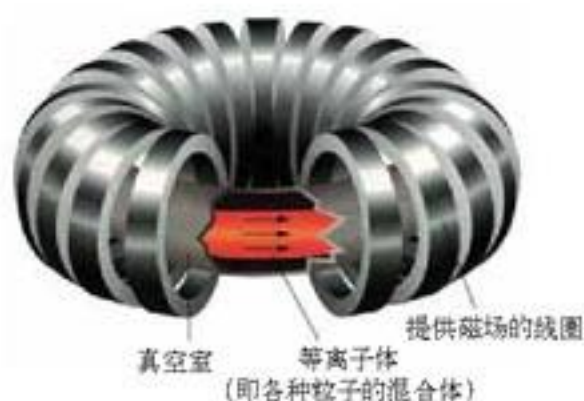


图3.4-4 托卡马克的结构



图3.4-5 中国环流器新一号

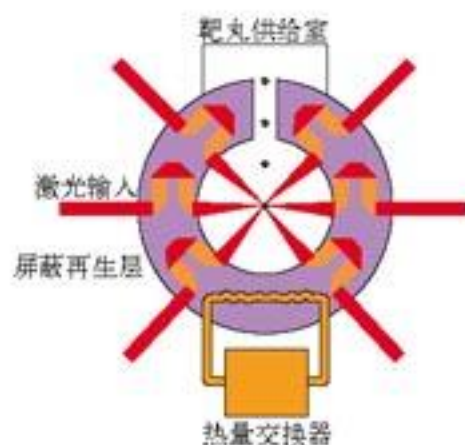


图3.4-6 惯性约束聚变堆示意图



图3.4-7 用激光引爆核聚变

也可以利用聚变物质的惯性进行约束。由于聚变反应的时间非常短,聚变物质因自身的惯性还来不及扩散就完成了核反应。在惯性约束下,可以用激光从各个方向照射参加反应的物质,使它们“挤”在一起发生反应。

总的来说,实现受控核聚变还有一段很长的路要走。一旦能够稳定地输出聚变能,世界上将不再有“能源危机”。



科学漫步

核聚变与晚期恒星

在恒星演化的初期，引力的作用十分重要。在引力的作用下，物质压缩在一起，引力势能转化为物质的内能，温度升高。恒星到了主序星阶段，它的中心部分温度可达 10^7 K，发生由氢至氦的热核反应，放出大量能量。恒星自身的引力与热核反应向外的辐射压力达到平衡时，恒星就进入了稳定阶段。这时，核聚变所产生的能量是它辐射发光的主要来源。当星体核心的大部分氢通过聚变而成为氦的时候，反应慢了下来，辐射压力降低。星体物质在引力作用下向球心收缩，使内部压力和温度进一步升高。于是，紧贴着核心的外层也被加热到发生由氢至氦的热核反应。与核心部分的热核反应不同，较外部分不会受到太大的压力，因此星体反应释放的热量使恒星大大地膨胀起来。随着星体表面积的扩大，表面温度降低了，发出的辐射主要是红光，这时恒星演化成红巨星。

到了红巨星阶段，恒星便进入了晚期。这时，它的核心部分会发生一系列热核反应，氦最终变成了碳。当这些反应完成以后，辐射压力进一步降低，星体又经历一次引力收缩，压力和温度进一步升高，于是会发生从碳至氧和镁的核反应。随着压力和温度的不断升高，热核反应一级接着一级，每级反应生成更重的元素，直到所有的核燃料烧光为止，恒星便走向死亡。

问题和练习



- 核裂变过程中什么产物使链式反应成为可能？
- 一个铀 235 核裂变时，放出 196 MeV 的能量，那么 1 kg 铀 235 完全裂变时，所放出的能量为多少？它相当于多少煤完全燃烧所放出的能量。（煤的燃烧值为 3.3×10^7 J/kg）
- 从“释放能量的原理”“释放能量的多少”“核废料处理难度”“原料蕴藏量”“可控性”等方面讨论重核裂变与轻核聚变的异同。
- 结合核能的利用，讨论两位著名科学家的意见：1903年，皮埃尔·居里提出：“人类从未来的发现中所得到的好处将比坏处更多”；1915年，卢瑟福提出：“我希望人们在学会和平相处之前，不要释放镭的内部能量。”

五、核能的利用

核电站 随着社会的不断进步和发展，人们对于电的需求在迅速增长，人类正在努力建造各种电站，例如：水电站、热电站、风力电站、地热电站，等等。由于不可再生的化石能源日趋珍贵，发展核电是目前人类解决能源危机的一种选择。

核电站是 20 世纪核物理学的一系列重大发现的直接结果。

核电站的反应堆是热源，核电站的主要组成部分是常规岛和核岛。

核电站的常规岛与核岛 核电站利用反应堆产生的热，通过蒸汽轮机做功，带动发电机，由发电机产生电能。核电站发出的电，跟普通电厂一样，也要与电网并网输出。可见，核电站与普通发电厂之间的区别，只是动力源不同而已。由于核电站的发电系统与通常的热电厂相同，所以安装这些设备的区域叫做常规岛。

核电站利用核反应堆(nuclear reactor)来释放核燃料中的核能，安装反应堆的建筑称为核岛。

图3.5-1是一类核电站工作流程的示意图。

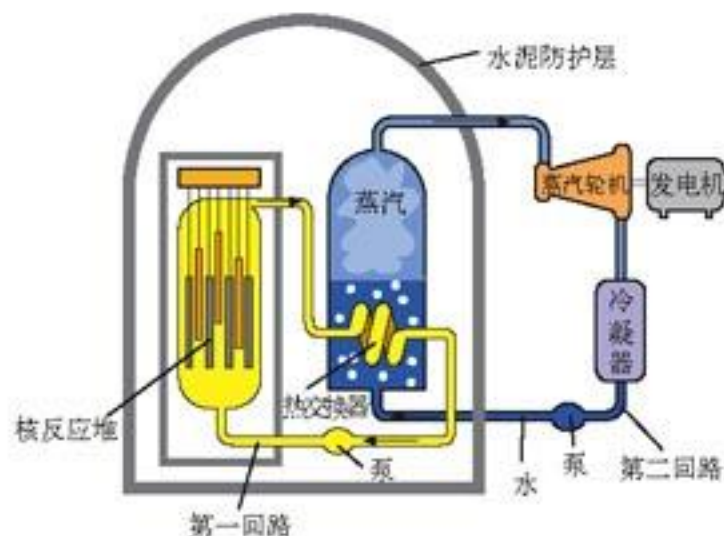


图3.5-1 第一回路中的水被泵压入反应堆，通过堆芯后利用核反应放出的热来增加水的内能，水的温度升高。第一回路的水进入热交换器，把热量传给第二回路的水，以后又被泵压回到反应堆里。在热交换器内，第二回路中的水被加热生成高温高压蒸汽，驱动汽轮机运转。

核电的安全性 核电的安全问题一直受到人们的关注。

首先应该明确的是，核电站反应堆所用的核燃料，浓度比原子弹中的核反应材料低，不可能发生核爆炸。核电引起的安全问题主要在两个方面：一是核反应万一失控，会损坏设备，引起放射性物质外泄；二是放射性废料处理不当会产生环境污染。

历史上曾经出现过两次较大的核电事故。一次是美国三里岛电站二号堆，于1979年3月28日因堆芯失水造成的放射性外逸的事故。这是因为一系列操作与管理上的失误，以及设备上的故障等几方面的因素造成的，这是核电历史上第一次重大事故。

另一次重大事故是苏联的切尔诺贝利核电站（位于乌克兰境内）。1986年4月26日，4号反应堆因违章操作，以及这种堆型的不完善，发生了令世人震惊的事故，造成了重大损失。

为了防止核电站事故的发生，现在的反应堆都有一系列的防护措施。在结构上设有四道安全屏障。第一道屏障是耐高温耐腐蚀的陶瓷体燃料芯块，可以把98%以上的裂变产物滞留在芯块内，不向外释放。第二道屏障是燃料元件包壳，它由优质的锆合金制成，具有良好的密封性。第三道屏障是压力壳，它将燃料棒和一回路的水完全罩住，即使燃料元件包壳有少量射线泄漏也不会扩散到外界。第四道屏障是安全壳，它由1米多厚的钢筋混凝土制成，整个核反应堆都装在安全壳中。

对核电站放射性气态废物和液态废物的处理，主要是采取贮存衰变等方法进行稀释，然后排放到指定的区域。相比起来，核电站固体废物的放射性比较强，它要先在核电站内专用的废物库暂存（我国规定暂存的时间为5年），然后送到人烟稀少、地质稳定、地下水位低又远离

天然水源的处置场永久贮存，一般要存放几百年。

用过的燃料称做乏燃料。人们更为关注的是核电站乏燃料的处置问题。乏燃料还存在剩余的放射性。目前对乏燃料的处理有两种方式，一种是在最终处置前进行处理，把其中剩余的铀资源提取

出来，再用做核电站的燃料，这样做的成本非常高。另外一种是与核电站的放射性固体废物一样直接送到处置场，但问题是处置场难找。原因有两个，一是乏燃料的处置期比较长，对场址的地质、水文、环境等技术条件要求很高；二是大多数居民不愿意把处置场建在自己居住区的附近。这也成为影响一些国家发展核电站的重要因素。从全球看，目前还没有一种令人满意的处理核废料和乏燃料的方法。

英国国家防护局的统计表明，1986年英国居民每年受到的放射剂量中，87%来自天然（室内氡气大约占一半），11.44%来自医疗，0.47%来自核爆炸，0.1%来自包括核电厂在内的各种核设施。由此可见，人类由于核电生产而受到的核辐射，是微不足道的。不但如此，这种比例在两次重大的核事故之后并没有改变。目前，世界上已经有几十座核电站在经历几十年的安全运行后关闭退役。

自从20世纪50年代初在美国和苏联先后建成核电站后，核电的作用已被公认。核电是未来发展的能源之一。在21世纪，随着科学和技术的发展，核电期待着更安全、更经济的核反应堆型的开发和受控核聚变技术的成熟。核电正在给人类带来更多的电力。

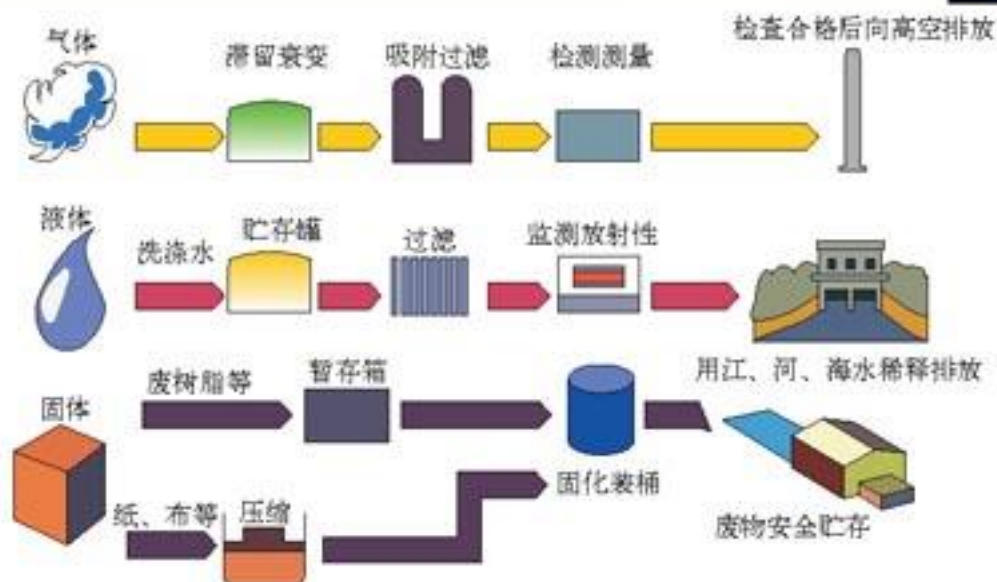


图3.5-2 核电站放射性废物的处理

到2002年底，全世界核电占总电力的比例达到17%，在法国超过70%，韩国从核电站获得超过40%的电力，中国从核电站获得大约1.6%的电力。



三里岛核电站与切尔诺贝利核电站事故

1979年3月28日，在美国三里岛核电站，出现二回路给水泵故障，此时操作人员判断失误，未去排除故障，反而关闭自动启动的安全注射泵，发生了堆芯熔毁的严重事故。由于压水堆有安全保护系统，立即向反应堆自动注水，所以事故没有扩大。最终，放射性物质被安全壳完全限制在反应堆大厅内，没有外泄到周围环境。在核电站下游两个不同地点采集的河

水样品中没有查出异常放射性，核电站周围 30 km 范围内居民最大的个人所受辐射剂量也只相当于一次 X 光医疗照射。

1986 年 4 月 26 日凌晨，苏联的切尔诺贝利核电站 4 号机组由于严重违章操作，反应堆堆芯发生热爆炸和化学爆炸，造成大量放射性物质扩散。苏联西部、东欧和西欧的部分地区大片土地、环境受到严重污染。虽然当时进行了大规模救援工作，出动了 300 架飞机，空投了 5 000 多吨灭火物质来覆盖反应堆，但堆芯物质还是燃烧了近十天，直至全部熔化。这就是举世震惊的切尔诺贝利核电站事故。这次事故当时导致了 31 名核电站工作人员死亡，203 人患急性放射病，前后两次共疏散了 13 万人口，大约 400 万人遭到了低剂量的辐射。切尔诺贝利核电站的反应堆没有安全壳，而且石墨温度高达 700 ℃，易燃，遇水将产生易燃气体，这些都是不安全的隐患。

核能的多种用途 利用核能的主要途径是发电，但是除此以外还有一些其他应用。

在能源结构上，用于供暖等低温用热占总热耗量的 50% 左右。这部分热大多由直接燃煤取得，因而给环境造成严重污染。在我国的能源结构中，将近 70% 的能量是以热的形式消耗的，而其中大约 60% 是 120 ℃ 以下的低温供热。所以 20 世纪 80 年代发展起来的低温堆在供热方面有着重要的意义。我国已经有试验堆在运行。

人类向太空进军，必须解决高效能源问题。核能源可以低功率长期供电，作为航天器的电源。阿波罗飞船登月后，航天员将实验仪器安放在月球表面，这些仪器使用的就是核电池，它使仪器能长时期地向地球发回科学数据。

核动力已经广泛应用于海洋舰艇。1961 年，世界上第一艘核动力航空母舰下水。它进行过总航程为 30 000 km 的无补给环球航行，40 多年也只换过 3 次燃料，累计航程已相当于绕地球 20 多圈。全世界现在已经有核动力潜艇 300 多艘，它续航能力强、水下航速高、隐蔽性好。



图 3.5-3 将来建在空间的反应堆（模型）



科学漫步

中国核能研究与利用的步伐

1958 年，在苏联专家的帮助下，我国制造的第一座实验性重水反应堆在北京建成。

1981 年，我国自行设计制造的第一座核反应堆在西南反应堆工程研究设计院建成，并成功地进行了高功率运行。

1970 年，我国第一艘核潜艇下水，导弹核潜艇也于 1983 年建成。1988 年，我国成功进行了核潜艇向预定海域发射运载火箭的试验，成为世界上第五个拥有潜射战略弹道导弹能力的国家。

1990 年，我国自行研制的第二座脉冲核反应堆在西南反应堆工程研究设计院建成，是世界上继美国之后，第二个掌握这种新堆型设计与制造技术的国家。

1991年，我国自行设计建造的第一座压水堆型核电站——秦山核电站首次并网发电成功。这一年，我国向巴基斯坦出口了一座30万千瓦的压水堆型核电站，使我国跻身国际核电市场，成为世界上第八个核电输出国。

1994年，我国目前最大的核电站——大亚湾核电站投入商业运行。“九五”期间，我国又有4座核电站(3套机组)投入了建设。它们是：秦山二期260万千瓦压水堆核电站，秦山三期270万千瓦重水堆核电站，岭澳两个百万千瓦级压水堆核电站，连云港2100万千瓦压水堆核电站。



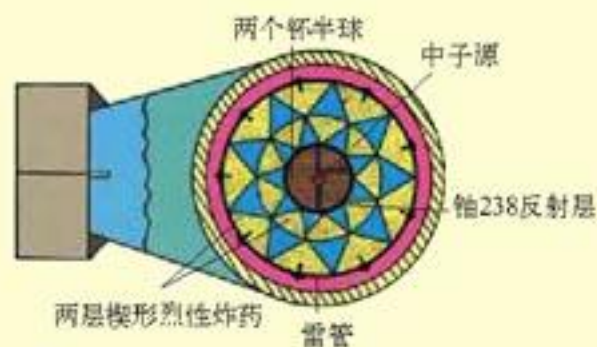
我国出口的第一座核电站——恰希玛核电站



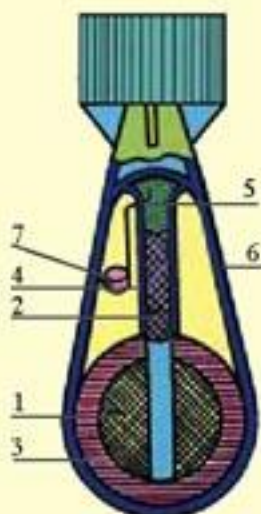
原子弹与科学家的责任

原子弹是利用铀核裂变的链式反应制成的，在极短时间内就会释放大量的核能，发生猛烈爆炸。其装置有“内爆式”和“枪式”两种。

“内爆式”原子弹的构造如右图所示。核燃料一般做成球形，体积小于临界体积。它的外部安放化学炸药，引爆时利用化学炸药爆炸的冲击波将核燃料压缩至高密度的超临界状态。聚心冲击波同时压缩放在核燃料球心的中子源，使它释放中



内爆式原子弹示意图



1. 球形铀块
2. 圆柱形铀块
3. 中子反射层
4. 导向槽
5. 烈性炸药
6. 原子弹外壳
7. 雷管

枪式原子弹示意图

子，引起核燃料的链式反应。为了降低中子逃逸率以减少临界质量，节省核燃料，四周用铀238做成中子反射层，使逸出燃料区的部分中子返回。

“枪式”原子弹的构造如左图，弹壳里分开放置着一块球形和一块圆柱形高浓度铀235。每一块的体积都小于临界体积而大于临界体积的一半，在贮存时不会发生爆炸。这两块铀235彼此隔开一段距离，其中球形的被固定，圆柱形的后面装上普通炸药和引爆装置。当普通炸药爆炸时，两块铀压在一起形成一个整块，其体积超过临界体积，立刻发生链式核反应而猛烈爆炸。

第二次世界大战时核裂变的研究已经成熟。当时法西斯侵略战争在蔓延，一些科学家，特别是那些从法西斯迫害下逃亡出来的科学家，已经预感到制造原子弹的危险，尤其是风传德国正在加紧链式反应的研究，又获悉德国采取了禁止铀矿石出口等措施，更使他们焦虑万分。1939年7月，核物理学家西拉德(L. Szilard)等人一起找到爱因斯坦，想借助他的名声敦促美国赶在德国之前造出原子弹。于是爱因斯坦在1939年8月2日签发了

给美国总统罗斯福的著名信件。罗斯福总统采纳了他们的建议，下令成立了铀顾问委员会，并于1942年7月委任奥本海默（J. R. Oppenheimer, 1904—1987）负责领导代号为“曼哈顿工程”的原子弹研制工作。

1945年7月16日，第一颗原子弹在新墨西哥州的荒漠上爆炸成功，其爆炸力相当于1.8万吨TNT炸药。爆炸时支撑原子弹的钢塔全部熔化，在半径400 m的范围内，沙石都被烧成黄绿色的玻璃状物，半径1 600 m范围内所有动植物全部死亡。

原子弹的巨大威力震惊了世界，也使反对原子武器的呼声空前高涨。舆论不仅谴责下令使用原子弹的人，也要追究科学家的责任。大部分原子弹研制的创议者成了反核战争的积极分子，奥本海默本人则辞去了职务，去进行宇宙线的纯科学研究。

为了打破核大国的核垄断，最终消灭核武器，1964年10月16日我国第一颗原子弹爆炸成功。同时，我国政府郑重宣布：中国在任何时候、任何情况下，都不会首先使用核武器。我国研制成功原子弹，极大地增强了我国的国防力量。



科学漫步

月球 一个核聚变原料宝库

据测算，现在即使在发达国家，每人一生所消耗的能量，也只相当于10克氘聚变时释放的能量，而每500升海水中便含有15克氘。海洋是一个饱含能源的宝库。

但是，氘与氘发生核聚变反应时，要放出大量中子，中子会破坏容器壁，这是受控聚变反应工程中必须解决的一个难题。若利用氘3同位素进行受控聚变反应，不会产生大量中子，所以氘3同位素是更理想的热核动力原料。但地球上氘3同位素的储量不大，而月球的表面尘埃中，却存在着多达百万吨以上的氘3同位素。100吨氘3就能满足全球一年的电力需求，以目前的能源消耗水平计算，月球上的氘3足够人类使用一万年！月球很有可能与海洋一起成为人类未来的能源宝库。



问题和练习



1. 核电厂与热电厂的主要区别是什么？
2. 核电的发展中应该注意哪些安全问题？
3. 利用聚变能的主要困难是什么？

科学是一种在历史上起推动作用的、革命的力量。^①

——恩格斯

第四章 能源的开发与利用



海上钻井平台

冉冉升起的太阳，给人类赖以生存的地球带来了无限生机。太阳能是地球上最主要的能量源泉，无论是人类，还是植物、动物，都不能离开太阳的光和热。我们使用的煤、石油、天然气等也都是由太阳能转换而来的。

^① 《马克思恩格斯选集》第三卷，人民出版社1972年第1版第575页。

东方和西方都有关于火的传说。中国的传说中有个叫做燧人氏的人，他发明了钻木取火，从此人类进入了熟食时代。西方人的传说是：天神普罗米修斯因为从天庭偷来火种给人类，受到了宙斯的惩罚。然而，无论燧人氏还是普罗米修斯，都给人类带来了火种，从此人类迈入消耗能源的时代。从那时开始，人类的生活就再也不能离开能源了。在一百万年来的大多数时间内，人类消耗的能源主要是可以直接利用的一次能源，例如柴薪、煤炭等。直到18世纪，瓦特发明了蒸汽机，才实现了热向机械能的转换。19世纪，人类在二次能源利用方面取得了长足的进展——能够大规模利用电能了。电能是目前人类用得最多的二次能源。由于能源技术的进步，引发了两次工业革命。

能源是人类赖以生存和发展的物质基础，人类社会的进步离不开能源科学的发展。人类利用能源的历史，一方面是不断提高能源使用效率的历史，另一方面是不断开发新能源的历史。

一、热机的发展与应用

从18世纪中叶到19世纪，欧洲经历了一场工业革命。这场革命实现了从手工业到机器工业的转变，改变了欧洲资本主义经济的技术基础。技术革命创造了巨大的生产力，带来了资本主义的经济繁荣，加剧了资本主义的自由竞争，同时也加速了自然科学的发展。历史上，这次工业革命叫做第一次工业革命。

在19世纪的前几十年，被称为“世界的工厂”的英国一直处于世界发展的领先地位，这是为什么？原来，以蒸汽机为标志的第一次工业革命，中心就在英国。

蒸汽机的发明与改进 第一次工业革命缘起英国，这有着深刻的社会原因。16世纪以前，英国还是个农业国家，从16世纪开始，纺织、采矿、冶金业迅速发展起来。17世纪，英国通过武力争得了海上霸权，对外贸易扩大，完成了资本的原始积累。到18世纪，英国人要依靠技术改造和高效率的生产来保持产品在世界市场的竞争能力，进行工业革命的条件已经成熟。

英国的技术发展，是由棉纺业的机械化来推动的。

1733年，英国机械师凯伊发明了飞梭，使织布效率提高，这一发明成为英国技术革命的导火索。使用飞梭后，一个织工需要10个纺纱工提供棉纱，纺纱与织布之间的不平衡推动了纺纱机械的进步。1765年，英国木工哈格里夫斯发明了能带动16~18个锭子的珍妮纺纱机，使纺纱效率提高了十几倍。1785年，英国发明家卡特莱特又发明了水力推动的自动织布机。纺纱与织布的机械化，使得从轧棉脱粒直到漂白、印染各个环节都要使用机械才行。于是净



图4.1-1 珍妮纺纱机

棉机、梳棉机、漂白机、染整机等先后出现了，整个纺织业实现了机械化。

这些机器最初都是由水力推动的，因此工厂只能建在河流旁。以水力做动力还存在其他困难，因此，不受水流、场所等因素限制的新的发动机，就成为迫切的需求。

17世纪末，法国工程师巴本设计了单缸蒸汽机。随后，英国工程师萨弗里发明了蒸汽泵，这是一种实用的蒸汽机，当时叫做“矿工之友”，用于矿井排水。但是，它们的热效率太低。1706年，英国工程师纽可门吸取了这些蒸汽机的优点，造出了一台新蒸汽机。但是，纽可门蒸汽机在工作时需要反复用蒸汽加热汽缸，再用冷水冷却汽缸。

1763年，瓦特(J. Watt, 1736—1819)在格拉斯哥大学做仪器修理工作，他在修理教学用的纽可门蒸汽机时，通过试验和计算，发现仅有四分之一的蒸汽用在做功上，其他部分都浪费掉了。为了解决这个问题，他请教了同一所大学的化学家布莱克(J. Black, 1728—1799)。布莱克曾于1756年首先提出了比热概念，并发现了物质从一种状态转化为另一种状态时需要吸收或放出热量。在布莱克的启发下，瓦特弄清了纽可门机效率低的原因：在每次循环中，都要喷射冷水使汽缸和活塞冷却，并使汽缸中的蒸汽全部凝结，然后再重新把汽缸和活塞加热到蒸汽的温度，这就浪费了大量的热。



传说瓦特看到壶盖被水蒸气推得起起落落，由此发明了蒸汽机。其实，蒸汽机的发明与应用并不是这样简单，人类伟大的发明，很少只是一个人的天才创造。

1763年5月，瓦特找到了一个简单有效的办法：在汽缸外单独加一个冷凝器，将推动活塞做功后的废汽排放到冷凝器中凝结。这样就可以使汽缸和活塞始终保持高温状态，从而大大节省了热量。瓦特的改进，提高了蒸汽机的效率，使蒸汽机成为普遍应用于工业和交通运输业的万能动力机。在蒸汽机的改进中，瓦特有意识地应用了科学理论，他是第一个用科学知识指导技术工作并与工业相结合的人。

蒸汽机利用热来做功，这是人类利用自然力的一次大突破。蒸汽机推动了整个人类的历史。

蒸汽机的广泛应用 蒸汽机的广泛使用促进了机械制造业的快速发展。制造蒸汽机的关键环节是汽缸和活塞的加工精度，而尺寸和形状精确的活塞要用车床加工。机器需用机器来制造，这是近代工业的起点。

机械制造业中最关键的设备是车床，英国工匠莫斯莱在18世纪90年代末把木结构的车床改为铸铁的，增加了机身的稳定和强度；又把脚踏板动力改为蒸汽机通过皮带驱动。1831年，

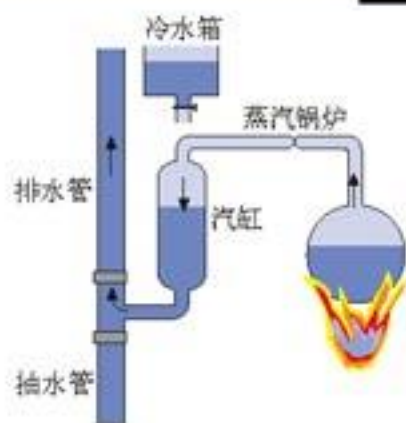


图4.1-2 萨弗里蒸汽泵

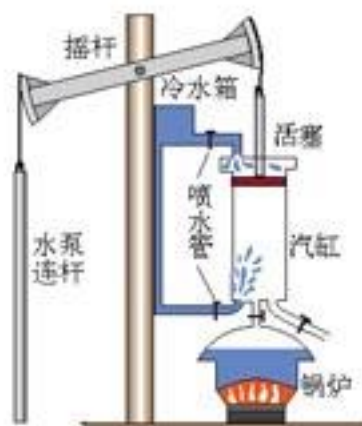


图4.1-3 纽可门蒸汽机

莫斯莱的徒弟惠特沃思制造了可以自动切削螺纹的车床，这标志着机器制造业的成熟。

新型蒸汽机的问世，使单一的工作机变成由动力机、传动机构和工作机三个环节构成的机器体系。于是，以蒸汽机为先导，以机器制造业为关键，它们带动了采矿、冶金、化工、交通运输等行业的技术革命，从而形成了以蒸汽动力为核心的综合技术群。

交通运输业是蒸汽机大显身手的领域。1814年，英国工程师斯蒂芬逊(G. Stephenson, 1781—1848)造出了第一台具有实用价值的蒸汽机车。他又花费十余年时间对机车和轨道做了重要的技术改革，终于使世界认识到铁路运输的巨大优越性。后来，美国、法国、德国于1830年前后相继修建了铁路。铁路作为陆地运输的大动脉，大大加快了各国工业化的进程。隆隆的火车声标志着第一次工业革命的胜利完成。



图4.1-4 斯蒂芬逊设计的蒸汽机车



图4.1-5 富尔顿制造的“克莱蒙特”号轮船

几乎与火车同时出现的是轮船。船是一种历史悠久的水上运输工具，一直是以风力和人力为动力的。19世纪初，美国工程师富尔顿发明了以蒸汽为动力、用桨轮推进的汽船，并于同年在法国塞纳河下水试航。到19世纪50年代，以蒸汽机为动力、以螺旋桨为推进系统、以铁为主要造船材料的汽船，已经成为美国和许多西欧国家内河航运的主要工具。

第一次工业革命的社会影响

蒸汽机实现了内能向机械能的转换，这使人类利用能源的方式发生了变化。技术的革命必然要导致产业的革命，还会引发社会的经济政治变革。

起源于英国的这场工业革命，是从瓦特完成“万能原动机”的技术改进开始的，从18世纪80年代开始，到19世纪中叶基本完成。这场革命使英国成为名副其实的“世界的工厂”，并很快扩展到法国、德国、美国等国，使世界经济出现了惊人的发展。在不到100年的时间内“所创造的生产力，比过去一切世代所创造的全部生产力还要多、还要大。”^①这场工业革命的影响是全球性的，给社会带来的变化是革命性的。

——人类的生活从以农业为基础转变为以工业为基础，自给自足的自然经济转变为生产与消费分离的市场经济。在工业化的国家，工业产值都大大超过农业产值，完成了从农业社会向工业社会的过渡。

——人类生产活动的场所，从以农业和手工业的分散的家庭生产为主转变为以集中的工



图4.1-6 1880年，英国工业达到顶峰时，在伦敦的海德公园举办了一次大型展览。其目的是向全世界显示英国“世界的工厂”的地位。此图来自展览会小册子。

^① 《马克思恩格斯选集》第一卷，人民出版社1972年第1版第256页。

厂生产为主。机器大工业代替了工场手工业，生产方式发生了全面深刻的变革，实现了资本主义制度最终取代封建制度的历史性进步。

——人类的生产、生活从以农村为中心转到以城市为中心，导致了人口的聚居和城市的发展，并产生了服务业。到19世纪中叶，工业化国家出现了百万以上人口的城市，如伦敦、纽约、巴黎等。到1840年，英国的劳动力中，工业占39%，服务业占38%，农业退缩为23%。

——城市的发展促进了科学、技术、教育、文化事业的进步，人类社会进入了工业文明时代。

内燃机的诞生和发展 随着蒸汽机的广泛使用，它的局限性也暴露出来了。蒸汽机是一种“外燃机”，即化学能转变为内能的过程要在另外的锅炉中完成。这就决定了其热效率无法大幅度提高。由于蒸汽机笨重、庞大，安装使用也不方便。这种情况下，内燃机应运而生了。

1876年，德国工程师奥托试制成功了第一台煤气内燃机，其技术指标完全达到了真正的动力机的要求。自此，人类又有了效率更高的热机。

1883年，德国工程师戴姆勒研制成功第一台以汽油为燃料的四冲程往复式内燃机。燃料的革新使内燃机成为一种功率大、体积小、重量轻、转速快、效率高的新式动力机。在这之后，煤油内燃机、柴油内燃机相继问世。

内燃机的出现，引起了陆路运输史上的一场革命。

1885年，戴姆勒与另一名德国工程师本茨(C. Benz, 1844—1929)同时把汽油内燃机用做汽车的发动机，各自独立地发明了以汽油内燃机为动力的三轮汽车。1890年，本茨制成了四轮汽油内燃机汽车。以后，他又建立了自己的汽车公司——奔驰汽车公司。从此，一个新的产业——汽车工业诞生了。

内燃机的出现也引起了海上运输和铁路运输的革命。尤为意义重大的，是由于内燃机的出现，航空运输开始了。1903年，美国工程师莱特兄弟(W. Wright, O. Wright)发明了以汽油内燃机为发动机的飞机。从此，人类实现了飞上蓝天的梦想。



图4.1-7 本茨的世界第一辆汽车



图4.1-8 汽车的发展



思考与讨论

有人说，第一次工业革命是以热机的发明和发展为线索的。怎样解释这种说法？



发明家的故事

在第一次工业革命期间，发生过一些故事。从这些故事中我们可以悟出一些道理来。

1. 蒸汽机的发明

技术发明是一回事，经营和利用发明并使之变为产品，则是另一回事。

瓦特发明冷凝器后，面临着发明家通常遇到的困难。制造符合技术要求的汽缸、活塞以及其他零件需要大量昂贵的金属材料、先进的加工设备、熟练的技术工人，而所有这些条件，瓦特都不具备。

一直关心瓦特发明的布莱克教授将他介绍给工厂主罗巴克，双方订立了合伙经营的合同。罗巴克向瓦特提供研制费，并获得利润的三分之二。这份合同使蒸汽机的研究走出实验室，开始与工业生产相结合。1769年制造出了一台真正能够用于生产的蒸汽机，并于当年申请了专利。

1772年起英国连续2年经济萧条，不少企业倒闭，罗巴克也遭破产，于是瓦特的研究又一次遇到了资金困难。1774年，英国企业家博尔顿购买了罗巴克与瓦特的合伙经营权。博尔顿是18世纪英国的一位财力雄厚、富于开拓精神的企业家。他以企业家的眼光向瓦特做了一些重要的建议。首先，他认为必须在专利的保护下去试验和完善他的发明。因此他建议瓦特申请延长专利期限。其次，博尔顿建议瓦特制造通用式动力机，即各行各业都可以使用的新型的动力机，以便在英国和全世界都能推广。

瓦特最初的蒸汽机是往复直线式运动的，用在纺织机械上没有问题，但在其他机械上应用则有困难。在博尔顿的推动下，瓦特用曲柄连杆机构使往复直线运动转换为旋转运动，从而使蒸汽机在各种行业中得以广泛应用。到19世纪初，博尔顿—瓦特工厂已成为英国最大的机械厂之一，瓦特也从发明家变成了有名的企业家。

2. 莱特兄弟与飞机

飞机是20世纪最重大的发明之一。为了造出飞机，莱特兄弟从滑翔开始，从1900~1902年进行了1000多次滑翔试飞。

成功的滑翔使莱特兄弟对有力度的飞行充满了信心。兄弟两人自己制造了一台水冷四缸活塞发动机，它能产生12马力的动力，通过传动装置带动两副直径为2.95 m的螺旋桨。螺旋桨的转速为350 r/min。1903年12月17日，莱特兄弟驾驶他们制造的飞行器进行了首次有动力、可操纵的飞行。虽然飞行距离只有36 m，时间只有短短的12 s，但它却标志着人类从此进入了在空气中飞行的新时代。



第一架民航客机



瓦特



莱特兄弟的飞机

飞机的发明，深刻地改变了人们的生活。由于有了飞机，远距离旅行的时间大大缩短了。16世纪葡萄牙人麦哲伦率领船队从西班牙出发，足足用了3年时间，才穿越大西洋、太平洋，环绕地球一周。19世纪末，一个法国人以火车为主沿陆路环球一周，也花费了43天的时间。1979年，英国人普斯特只飞行了14小时6分，就环绕地球一周。这对于生活在20世纪以前的人来说，难道不是一个人间奇迹吗？

① 马力为已废除的功率单位，1马力 = 0.735千瓦。

问题和练习

1. 为什么第一次工业革命发生在英国？它使英国发生了哪些变化？
2. 第一次工业革命的主要特征是什么？这次工业革命中的科学技术与物理学的什么内容相关？
3. 内燃机用做汽车的发动机产生了汽车工业。汽车的广泛使用给社会带来了哪些影响？
4. 从网上和其他资料中查询，了解第一次工业革命给世界带来的变化，并与同学交流。

二、电力和电信的发展与应用

当蒸汽机、内燃机的“车轮”带动着人类社会滚滚向前的时候，一种无形的自然力——电力，悄悄地进来了。1800年伏打发明电池之后，人们很快就发现了电的几种效应和它的应用。19世纪，由于电的应用，发生了第二次工业革命。

电能可以方便而有效地产生、传输、分配和使用，它是工业生产中取代蒸汽动力的一种新的动力；电照明彻底改变了人们的生活方式；电通信把在空间分隔着的各种活动及时联系起来。电的广泛应用改变了工业生产乃至整个社会生活的面貌，是第二次工业革命把人类带入了电气化时代。

电力革命的科学基础

1820年，奥斯特关于电流磁效应的发现表明电和磁之间的密切联系。1821年，法拉第的“电动机”向人们展示了电的应用前景。1834年，德国物理学家雅可比用电磁铁做转子，制成了第一台实用的电动机。1838年，他制成了功率更大的电动机，并成功地推动了小船的航行。然而，

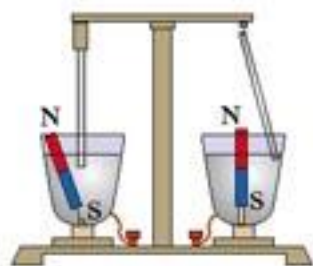


图4.2-1 法拉第的电动机(模型)

尽管这种电动机已经可以实

用，由于它的电流来自伏打电池，所以推广受到了限制。

法拉第电磁感应现象的发现表明，通过磁体的连续运动可以得到持续的电流。1831年10月，法拉第演示了他的铜盘发电机。

奥斯特发现电流的磁效应，奠定了电动机的物理学基础，而法拉第发现的电磁感应定律，则奠定了发电机的物理学基础。



图4.2-2 法拉第的铜盘发电机(模型)

电力技术的发展与应用

历史上不是先有发电机，而是先出现了电动机。但是，伏打电池产生的电流不够强大，费用也很昂贵。直到19世纪50年代，用电的费用仍是使用蒸汽动力

的25倍。于是，人们开始寻找伏打电池之外的电能来源。

发现电磁感应定律之后，人们知道利用磁体也可以产生电流。世界上第一台发电机是由法国电器制造商皮克希在1832年制造的。这台手摇发电机的转子就是永磁铁。由于永磁铁本身磁场不够强，这种发电机不能提供强大的电流。

对发电机的发展起决定作用的是励磁技术的发展。励磁就是用线圈中的电流使铁芯产生强磁场。德国科技企业家西门子(W. von Siemens, 1816—1892)于1866年制出了第一台自激式发电机。这里说的“自激”，指的是将发电机所产生的电流分出一部分作为励磁电流，引到本身的电磁铁上，产生磁场。这项技术使建造大容量发电机成为现实。



图4.2-3 皮克西的磁铁发电机(模型)



思考与讨论

从理论模型到制造出实际电机，你认为需要解决哪些技术问题？

与此同时，电动机的设计制造工作也在不断完善。在1873年的维也纳国际博览会上，一次偶然的错误给电动机带来奇迹般的发展机遇。当博览会开幕的时候，比利时电气工程师格拉姆无意中把两台发电机连接起来。当一台发电机发出的电流进入第二台发电机时，奇迹发生了：第二台发电机的转子竟在这股电流的驱动下，快速地旋转起来。这个现象使得人们联想：这不就是人们梦寐以求的电动力的应用装置吗！工程师们立即动手办起了一个表演：用一个人工瀑布驱动水力发电机，发电机发出的电流带动电动机，电动机又带动喷水池的水泵，喷射出水花。

电力的应用，还必须解决发电站建设、电的远距离输送等技术问题。

集中生产电力的发电厂起始于烧煤的火电厂。火力发电厂通过燃烧煤、石油、天然气等燃料产生水蒸气，再使水蒸气推动汽轮机；汽轮机带动发电机转动，从而发出电来。

由于水能可以再生，发电成本比较低，所以水力发电一直受到人们重视。

早期发电站生产的电力主要用于附近的照明，而不是用做工业动力。当时采用低压输电，它的供电范围小，电能损耗大。为了解决这个问题，法国物理学家德普勒研究设计了高压输电线路。他用一台3马力水轮发电机发电，从始端以1 343 V的电压将电能输送到57 km以外，末端电压为850 V，输送功率近200 W。

德普勒的高压输电装置，曾引起马克思、恩格斯的极大关注，并评论道：“这实际是一次巨大革命，蒸汽机教我们把热变成机械运动，而电的应用将为我们开辟一条道路，使一切形式的能——热、机械运动、电、磁、光——互相转化，并在工业中加以利用。”^①

^① 《马克思恩格斯选集》第四卷，人民出版社1972年第1版，第436页。

不过，德普勒设计的这条输电线路传输的是直流电，缺点是电压不够高，因而能量损失较大。实际应用要求有新的技术突破，这就推动了交流高压输电技术的进展。

交流输电技术是随着交流电机和变压器的出现而发展起来的。

1883年，德国的两位发明家高拉德和吉布斯取得了变压器的发明专利。美国的威斯汀豪斯于1885年制成了实用的变压器。

从此，变压器成了输电线路中的重要设备。它把发电机端的电压升高，使电能高压下输送；在用户端，它又把电压降到安全的数值。高压输电大大地降低了线路中能量的消耗。

1889年，俄国工程师多里沃·多布洛沃尔斯基先发明了三相异步电动机，后来又发明了三

相变压器，于1891年建成了世界上第一条长达170 km，电压为15 kV的三相交流输电线。

输电线路把发电厂和用户连接起来，构成了电源、电网和用户组成的电力系统。有了远距离传输电能的技术之后，电力无可比拟的优越性就充分显示出来了。

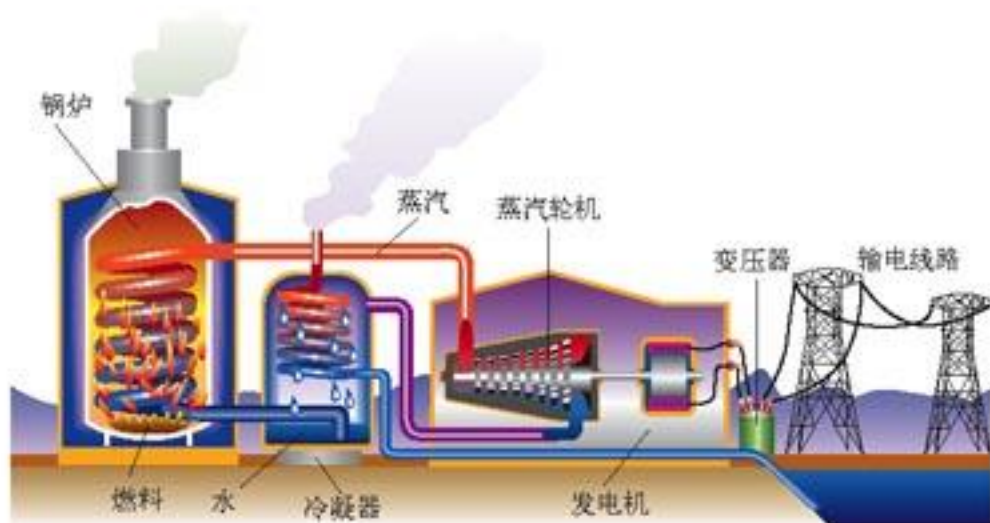


图4.2-4 火力发电厂发出的电通过输电线路送给远方的用户

思考与讨论

与内能相比，电能具有哪些突出的优点？

20世纪初，电能得到普遍的推广和应用。电力工业成为国民经济的重要部门，据统计，国民经济每增长1%，就要求电力工业增长1.3%~1.5%。

电力技术有力地带动了相关技术的发展。

第一，电力技术促进了以发电、输电、配电三大环节为主要内容的电力工业和以发电机、电动机、变压器、断路器及电缆等电气设备工业的发展。

第二，电力技术带动了材料工业和制造工艺的发展。为了满足电气设备生产的需要，人们研究了许多新材料，如镍铬合金、镍铁合金等。电力工业的发展还促进了电镀、电解、电焊、电热、电火花加工及电车、电梯等一大批工业和交通运输业的产生。

第三，电力技术还带动了控制技术的发展。由于电力工业的需要而研制出了各种测量设备、控制设备等，如继电器、电工仪表，以及尔后出现的发电厂和电力系统自动化设备等。这标志着自动控制技术的产生。

第四，电力技术的发展不断向科学技术提出许多新的研究课题，同时也为解决这些问题提

供了物质技术手段,促进了科学理论的发展。1888年,赫兹通过实验验证了电磁波的存在,为无线电通信和广播事业的发展开辟了道路。人们在电力应用的研究中发现了阴极射线,进一步又发现了X射线和电子,开创了人们对微观世界的研究。这些成果导致了无线电电子学、物质结构理论等一批新兴学科的建立。

电信的发展

烽火台、快马驿站、手势和旗语等是人们曾经使用过的联络方式,但它们都难以满足远距离传送和及时传送的要求。19世纪20~60年代,电磁学的研究为电信息的应用提供了科学原理,指出了技术路线,于是电报、电话、无线电广播、电视等技术相继问世,迎来了电信的新时代。

1835年,美国的莫尔斯发明了利用电流一断一通的原理制成的电报装置。他设计出用点“·”、画“—”的不同组合构成的电码,为电通信开创了新纪元。1844年,莫尔斯在美国华盛顿发出了“上帝创造了何等奇迹”的电文,远在64 km外的巴尔的摩城收到了这个世界上第一份长途电报。之后,英国和其他西欧国家的有线电报线路也相继架设起来。19世纪中期,欧洲和美洲之间又掀起了铺设海底电缆的热潮。电报把欧、亚、美等地区紧密联系起来,成为人们生活中不可缺少的通信工具。



莫尔斯(S. F. B. Morse, 1791—1872), 美国发明家。

电报必须运用编码,不能直接传递语言,在电报发展的初期,电文传输速度也相当慢。这种状况与当时迅速发展的资本主义经济及社会需要很不适应,于是人们开始研究如何用电直接传递语音。



图4.2-5 贝尔在演示电话

美国人贝尔(A. G. Bell, 1847—1922)在改进电报的实验中,偶然发现了一个有趣现象:线圈在电流通、断时会发出声音。贝尔受到启发,产生了一个大胆的设计:如果能使电流强弱的变化模拟人讲话时声音的变化,不是就可以用电来传送语音了吗? 1875年6月2日,贝尔的实验成功了,世界上第一台实用电话机诞生了。在费城纪念美国独立一百周年的博览会上,贝尔进行了150 m距离的通话表演。1891年,美国人斯特罗齐尔发明了自动电话交换机,电话进入了普及阶段。现在电话已经遍及世界的每个地方。



思考与讨论

起初的电报、电话都是靠电线传递信息的。在使用中,有线电话会受到很多限制。谈谈你在生活中对此的感受。

在赫兹用实验证实了麦克斯韦关于电磁波的预言后,意大利发明家马可尼(G. Marconi, 1874—1937)和俄国科学家波波夫(A. C. Попов, 1859—1906)把无线电通信推进到实用

阶段。

马可尼和波波夫利用电磁波通信的成功,开辟了无线电通信的新时代。1901年,人类首次完成越洋无线电通信实验;1906年,人们第一次听到无线电广播;1911年,电磁波用于导航;1916年,无线电电话开通;1923年,无线电传真出现;1923年,微波通信成功;1926年,黑白电视问世;1929年,彩色电视发明;1935年,雷达出现……到了20世纪30年代,应用电磁波的技术群基本形成并得到极其广泛的应用,电信工业迅速崛起。



图4.2-6 马可尼(左一)正在向访问者展示他的设备

从电照明到家用电器 照明灯具使人类战胜了黑暗。古代人以篝火、火把等原始形式开始了照明的历史,后来人们发明了蜡烛、油灯、煤气灯等,这些照明灯具亮度低、光质差、寿命短,使用不便。电力为照明提供了新的能源,引起了灯具的革命。1878年,英国化学家施旺(J. Swan, 1828—1914)用碳丝做灯丝制成了真空白炽灯泡,并在化学协会做了表演。研制白炽灯的关键是找到合适的灯丝材料,美国大发明家爱迪生(T. A. Edison, 1847—1931)对此作出了杰出的贡献。他先后试验了6 000多种灯丝材料,试用的材料包括有机物、矿物、金属甚至人的头发、胡须等。1879年10月,爱迪生把一截棉线撒满炭末、弯成蹄形,经高温加热炭化后作为灯丝,成功地制造了可连续发光13 h的电灯。爱迪生经过进一步的反复实验,发现用竹子纤维炭化后做灯丝,寿命更长。从此,人们用上了电灯。



图4.2-7 爱迪生发明的白炽灯泡

20世纪初白炽灯采用了金属钨做灯丝,并在灯泡中充入氩等惰性气体,防止灯丝氧化烧断。20世纪30年代,荧光灯诞生了,照明灯具得到进一步的发展和完善。

如果说以机械化为主要特征的第一次工业革命已经给人类生活带来了变化,那么以电气化为主要特征的第二次工业革命给人类生活带来了更大的变化。这种变化突出表现在家用电器的出现,它大大提高了人们的生活质量。

大家谈

列举在家庭生活中用电做能源的器具。这些电器对我们的日常生活有哪些影响?

电力技术与社会发展 以电力技术为中心的第二次工业革命引起了广泛而深刻的社会变革,电力技术不仅改变了社会的生产方式,而且深刻地影响了人们的生活方式。

电力技术为资本主义经济注入了强大的动力,创造了蒸汽时代不可企及的社会生产力。如

果说以蒸汽机为标志的第一次工业革命使欧洲摧毁了封建专制制度、确立了资本主义生产方式，那么以电力的应用为特征的第二次工业革命，促进了资本主义社会生产力的极大提高，带来了资本主义经济的蓬勃发展。

美国、德国在第二次工业革命的浪潮中振兴。德国电力工业产值从1891年起的20年间增长了28倍；美国从1860年工业产值排名世界第四位，到1890年跃居世界第一位，产值猛增9倍。从世界范围看，19世纪最后30年，世界工业总产值提高了两倍多，其中钢铁产量猛增55倍，石油产量增加25倍。现在，第二次工业革命中兴起的电力工业已经成为衡量一个国家经济发达程度的重要标志。



思考与讨论

在第二次工业革命中表现出来的产业、技术与科学三者的关系，与第一次工业革命有什么不同？

基础科学与技术的关系

第二次工业革命中，新技术都是在新的自然科学理论直接指导下创造出来的，然后才运用于生产实践。自然科学引领生产技术，充分显示了科学技术对生产的指导作用。随着科学技术的发展和人们对自然规律认识的深化，这种作用日益明显。新技术、尤其是重大技术的创造越来越离不开科学理论的指导，单纯依靠经验来改进和创新技术的时代已经过去了。

电力技术革命的发展还表明，科学理论与相关技术的发展呈现互动的趋势。电磁理论孕育了电力技术，电力技术的发展又催生了科学理论。例如，一方面，低压气体放电的研究促进了电真空技术的发展。另一方面，在1858年，人们在利用低压气体放电管进行研究时发现了阴极射线；1895年，伦琴利用真空管又发现了X射线；1897年，J. J. 汤姆孙通过实验证实阴极射线就是电子流。电子的发现加深了人们对电的本质的认识，使电磁理论发展到一个新阶段。电力技术也促进了一系列新材料、新设备的产生。人们在探索材料的电性能过程中，发现了半导体硒，为半导体技术打下基础。

科研形式的变化

在第二次工业革命过程中，社会实践提出了许多复杂的综合性科学研究课题。这些课题需要较多的仪器、设备，需要多学科的社会协作以及较多的研究经费。伽利略、牛顿、法拉第式的个人自由研究已经不能适应这种需要，出现了一些大规模的科学研究机构。1876年爱迪生在美国新泽西州兴建的实验室，第一个有组织地进行了为产业服务的研究。到1910年，这个实验室取得了白炽灯、电影机等1 000多项专利，平均每11天取得一项。它后来成为美国通用电气公司的研究所。1871年英国剑桥大学建立的卡文迪什实验室，对19世纪末20世纪初的物理学革命曾经作出重要贡献。1889年美国发明家贝尔成立的专业实验室，即贝尔实验室的前身，半个世纪来在晶体管、雷达、激光、信息论、阿波罗登月、通信系统等

方面作出了杰出贡献。

问题和练习



1. 在发电厂的发电过程中，最可能发生的三种能量转化过程是什么？
2. 第二次工业革命的特征是什么？它带动了哪些相关技术的发展？
3. 听老人们回忆没有电灯、电话、冰箱、空调、洗衣机时的生活情况，记录几例有趣、有意义的小故事。
4. 收集同学家中的电冰箱使用说明书至少 10 份，了解并对比如下参数。
 - A. 总有效容积
 - B. 冷冻室有效容积
 - C. 冷冻室温度
 - D. 耗电量。
 分别讨论三口之家、四口之家、五口之家……选择哪样的冰箱比较合适。

三、新能源的开发

人类目前利用的主要能源，是史前时期地壳变迁形成的。过去覆盖在地球表面的原始森林，在地壳变化时埋在地下，经过几百万年的炭化而形成了煤。石油和天然气则是在相同条件下掩埋在地下的动物尸体形成的。煤、石油、天然气不可再生，只会越用越少，而随着人类进入工业社会，人们对能源的消耗却越来越多。人类即将面临传统能源枯竭的威胁，因此未雨绸缪已成当务之急。

人类能源利用史上的一个重大转折发生在 18 世纪，这就是蒸汽机的应用。蒸汽机把蕴藏在煤中的能量转化为动力，应用于工业、交通运输等方面。在提高蒸汽机效率的过程中，热力学得到了发展；热力学的发展又为各种热机效率的提高提供了理论基础。

人类利用燃料能源的主要阶段

资源利用	柴薪	煤	石油	核能	?
出现年代	五六十万年前	2000 年前	19 世纪 80 年代	20 世纪 50 年代	?
图示					?

19 世纪电能的出现，为能源的利用开辟了更广阔的天地。人们根据电磁学的理论，制造出了发电机和电动机。在掌握了远距离输送电能的技术之后，电力成为方便、廉价、不受自然条件限制的新动力。

20世纪初，随着物理学在微观领域的进展，人们发现了原子核的裂变和聚变现象。物理学家的研究从理论上为核能的开发与利用奠定了基础。20世纪50年代，世界上出现了第一座核电站，标志着人类进入了和平利用核能的时代。

物理学是能源开发与利用的理论基础。物理学曾经为能源开发与利用做出过巨大贡献，在当今从以化石能源（煤、石油、天然气等）为主的常规能源时期，向以核能及可再生能源（太阳能、风能、生物质能等）为主的新能源时期的过渡中，物理学仍将发挥指导作用。

太阳能 光热转换在利用太阳能的各种方式中，技术最为成熟、成本最为低廉，应用也最为广泛。目前使用较多的太阳能热利用装置有两种：平板集热器和聚光式集热器。太阳能热水器、太阳能温室、太阳能干燥器等是平板集热器，也叫非聚光式集热器。反射式太阳灶、高温太阳炉是聚光式集热器。

非聚光式太阳能设备离不开“热箱”：箱体的四个侧面和底部都用绝热性能非常好的材料密封，箱的顶部用玻璃盖好，密封。太阳光透过玻璃射入箱内，涂黑的内表面吸收太阳辐射能而使箱内温度上升。玻璃可以阻挡箱内热量向外散失。这样，箱内温度会升得很高。

热箱可以做成“箱式太阳灶”。经太阳照射2~3小时，箱内温度可达150℃。这样的热箱能用来蒸馒头、蒸米饭，还可用作消毒箱。

现在的新式太阳能热水器采用真空玻璃管集热。集热管是里外套着的双层玻璃管，外管透明、内管涂黑，内管里面是待加热的水，两管之间抽成真空，以在内管周围形成绝热层。阳光照到内管上，内管上的涂层吸收太阳能使管中水温上升。

聚光式太阳灶把阳光反射后聚集到灶具上，可以获得比箱式太阳灶更高的温度，锅底温度可达400~500℃。这类太阳灶还可以安装跟踪器，用来调整聚光器的位置，使太阳灶始终对着太阳，获得充分的太阳能。

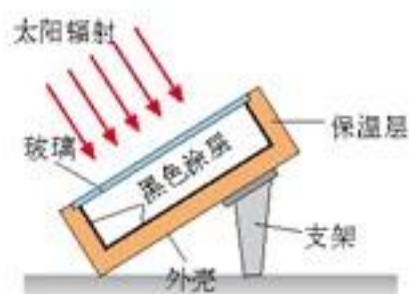


图4.3-1 箱式太阳灶



图4.3-2 聚光式太阳灶

光电转换是指把太阳辐射的能量直接转换为电能的过程。太阳电池是光电转换的基本方式，技术已经成熟，应用较广。

太阳电池是1954年由美国贝尔实验室发明的。目前使用的太阳电池多是用硅半导体制成的。单片硅太阳电池受太阳光辐射时，工作电压为0.4~1V，每平方厘米产生的电流为20~40mA。实际使用中可以将几片或几十片单个的太阳电池串联或并联起来，构成太阳电池的组件，还可以将组件连接成阵列，用于大功率供电。

太阳电池因使用简便，易于维护，适用于电子仪表、高山气象站、输油输气管道的维护等许多方面，尤其可以分散地用在高山、沙漠、海岛等地，这样可以避免铺设输电线路。90%的人造卫星和宇宙飞船都



图4.3-3 太阳电池供电的信号灯。可以看到，这个供电组件是由许多单片硅太阳电池组成的。

采用太阳能电池供电。太阳能电池不能大规模使用的原因是它的成本太高。为发展太阳能光电转换技术，科技人员正在改进制造工艺、设计新的电池结构、开发新的电池材料，力图降低制造成本，提高光电转换效率。

光化学转换是指将太阳能转换为化学能的过程。绿色植物的光合作用是光化学转换的主要途径。

绿色植物吸收太阳辐射的能量，以二氧化碳和水为原料，生产出有机物质并放出氧。这个过程就是光合作用。这个过程生成的碳水化合物(糖类)，在生物体内供给生命活动所需的能量。光合作用把不能被生物利用的太阳能转化为可以被生物利用的化学能。

太阳能也存在着明显的缺点。

1. 分散性。到达地球表面的太阳辐射能虽然总量很大，但是能流密度比较低。

2. 间断性。由于昼夜、季节、地理纬度和地形等自然条件的限制，以及天气等随机因素的影响，地球上接收到的太阳辐射是不连续的、不稳定的。

这对太阳能的大规模利用提出了挑战。怎样高效利用太阳能仍是科学研究的课题。



图4.3-4 太阳能热电站的塔式集光阵



图4.3-5 地球上的绿色植物是有机物的制造者，它们把太阳能变成化学能储存在自己的身体里。

大家谈

如果同学家里装有利用太阳能的装置，可以去参观，讨论使用上的特点。

风能 风是由于空气的流动而形成的，风具有能量，是一种天然能源。风能蕴藏量丰富，可以再生，永不枯竭，没有污染，随处都可以开发利用。从短时间上看，风是忽大忽小、忽左忽右，具有不可控的特性；但从长时间上看，风能在一定程度上是可预测的、可利用的。总的来说，风的能量很大，全世界每年燃烧煤炭得到的能量还不到一年内刮风能量的1%。风能是地球上可利用的重要的能源之一。

早在公元前2000多年，中国和波斯就开始利用风车提水，灌溉农田。到13世纪，风车已在欧洲得到广泛应用。1890年，丹麦制造了世界上第一台风力发电机。

风能的直接利用是把风能转变为机械能，例如利用风帆助航、多叶片风车带动水泵抽水、风力机带动锯木机等。

随着发电技术的进步，风力发电成为风能最重要的应用。风力发电场上安装多台大型并网的风力发电机，它们按照地形和主风向排成阵列，共同向电网供电。发电场上



图4.3-6 荷兰古磨坊用的风车

第四章 能源的开发与利用

的风力发电机像庄稼一样排列着，人们常常形象地把它们叫做“风车田”。

风能突出的弱点是密度低、不稳定、地区差异大。但是，在重视环境保护的时代，使用风能这种“绿色”能源，对改善地球生态环境、减少空气污染有着非常积极的价值。



图4.3-7 草原上的风电机

生物质能 由生物体产生的能量就是生物质能。

生物质能是以化学能的形式储存在生物体中的太阳能，来源于植物的光合作用。地球上的植物进行光合作用所消耗能量，占太阳照射到地球总辐射量的0.2%。虽然比例很小，但它是目前人类能源消费总量的40倍。可见，生物质能是一个巨大的能源，是仅次于煤、石油、天然气的第四位的能源。

生物质能主要来源于柴薪、人畜粪便、城市垃圾和水生植物等。除柴薪可以直接燃烧外，



图4.3-8 生物质能循环图

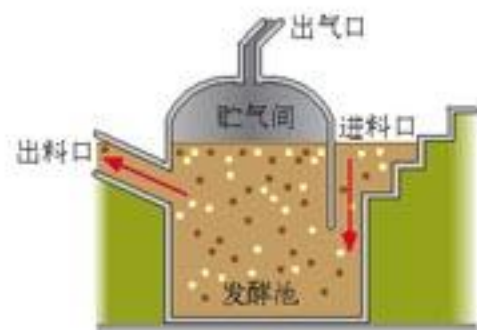


图4.3-9 沼气的利用

利用生物质能

的技术还有沼气生

产、酒精制取、人造石油的制造、生物质能发电等。现在全世界家用沼气池大约530万个，中国占了其中的92%。农村沼气池的主要填料是秸秆、牲畜粪便、污泥和水。建立以沼气为中心的农村新能源和物质循环系统，使秸秆中的生物质能以沼气的形式缓慢地释放出来，在解决我国农村能源方面具有巨大的潜力。

生物质热分解是一项很有潜力的技术，可以制取人造石油、生物炭和可燃气体，使生物质得到充分利用。

目前，生物质能技术的研究与开发已成为世界重大热门课题之一。

地热能 地热能是由地球内部释放出来的内能。一般认为地热来源于地球深处熔融岩浆和放射性物质的衰变。地球内部是高温高压的世界，是一个大“热库”，蕴藏着无比丰富的热量。如果把地球上煤炭储量全部燃烧得到的热量作为1，那么石油储量约为8%，目前可利用的核燃料的储量约为15%，而地热能的总量则为1.7亿！

可以通过地下蒸汽、地热水（温泉）、地下干热岩体来得到地热能。地热能可直接用于采暖、水产养殖、温室养殖，以及医疗等方面。天然温泉与人工开采的地下热水，已经广泛使用。据联合国统计，世界地热水的直接利用远远超过地热发电，中国的地热水直接利用居世界首位。

地热发电是以地下热水和蒸汽为动力源的一种新型发电技术,基本原理与火力发电类似——用地下蒸汽推动汽轮机,再由汽轮机带动发电机。

地热电站的发电成本比火电、核电及水电都低;地热能比较干净,对环境的影响很小;发电用过的蒸汽和热水,还可以用于取暖、洗浴、医疗、化工生产等。



图4.3-10 我国西藏羊八井地热电站外观

氢能 无论核能还是太阳能,都不便于储存和携带。目前迫切需要一种能替代石油、储量丰富、不污染环境的燃料。这种理想的燃料就是氢。

关于用纯氢作为能量载体的最早设想,出现在19世纪70年代法国科幻小说家凡尔纳(Jules Verne, 1828—1905)写的科学幻想小说《神秘岛》中。凡尔纳借用小说人物之口,说道:“我相信总有一天可以用水来做燃料,组成水的氢和氧可以单独地或合起来使用。这将为热和光提供无限的来源,所供给光和热的强度是煤炭所无法达到的。所以我相信,一旦煤矿枯竭了,我们将会用水来供热和取暖。水是未来的煤炭。”

1960年,氢-氧燃料电池在阿波罗登月计划中的应用,为氢燃料的应用开辟了新的领域。1970年前后,许多科学家已经认识到氢能源将是解决能源短缺和解决化石燃料所造成的环境污染的有效途径。从此,氢能源的研究与开发受到关注。

氢的热值比化石燃料高,约是汽油的3倍。液氢的密度是汽油的 $1/10$,便于携带和运送。氢燃烧的生成物是水,不会产生烟尘和有害气体,是一种非常干净的燃料。

作为潜在的能源,氢能的开发利用需要解决两个难题。一个难题是氢的制备,需要一种价廉易行的方法;二是氢的储存和运输要比较方便。目前,科学家们对这两个难题已经做了一些探索。关于氢的制备,用电解水的办法可以得到氢,但是所消耗的能量会大于氢燃烧放出的能量,显然不合算。可以利用聚焦太阳能获得高温来分解水,从而得到氢,这是廉价制氢的最有希望的方法。关于氢的储存,有三种方式。一是气态储运,将氢气储存在钢瓶中;二是液态储运,将液氢储存在大罐内;三是“金属储氢”,就是使氢与一些合金发生化学反应,生成金属氢化物,这一反应是可逆的,在一定温度、压力下,金属氢化物将重新分解出氢供使用,这是目前公认最有前途的一种方法。

这里讲到了几种新能源,它们并不是新能源的全部。新能源与常规能源是一个相对的概念,随着科学技术的进步,它们的内涵会不断地变化。



图4.3-11 实验用的氢燃料汽车



中国的风能资源

中国地域辽阔，风力资源丰富。我国可利用的风能资源约为 1.6 亿~2.5 亿千瓦，列世界第 3 位。即使利用率为 1/100，那也将是一个非常可观的能量来源。

我国有两大风带，即沿海风带和三北风带。沿海风带覆盖广西、广东、福建、台湾、浙江、江苏、山东，以及与这些省区相邻的华中各省。我国东南丘陵地带人口众多，煤炭、石油资源相对短缺，而城镇密集、产业发达，风能的利用有良好的前景。三北风带覆盖东北、华北、西北地区，其范围超过国土面积的一半。从风能利用的意义上说，这两大风带及其影响的地区波及我国绝大部分省区，使我国绝大部分省区都存在利用风能的可能性。

要准确地反映某地的风况，必须有足够长时间的观测资料。一般来说，需要有 5~10 年的观测资料才能比较客观地反映该地区的真实状况。为此，必须进行数量庞大的资料收集和计算。

对于缺水和交通不便的地区，利用风电无疑是解决能源和保护环境的一个重要途径。风电应是我国西部和沿海地区电力资源的重要组成部分。

问题和练习



1. 了解周围家庭太阳能利用的情况。例如，有多少使用太阳能集热器的用户？他们通过什么途径利用太阳能？
2. 调查本地市场上太阳能热水器的种类、构造、基本原理以及销售情况。比较太阳能热水器、煤气热水器和电热水器的优缺点。讨论各类热水器的发展前景。
3. 分析风能的优缺点，分析我国哪些地区适合发展风电。
4. 了解你所在地区是否有风能、生物质能或地热能的应用，写一份调查报告。报告要涉及利用的方式、经济效益等多方面的问题。
5. 通过网络等途径，了解关于氢能利用的最新研究进展。

四、能源与可持续发展

1952 年 12 月 5 日，英国伦敦发生了震惊世界的烟雾事件：一场持续 5 天的烟雾夺走了 4 000 多人的生命。这次事件的元凶是冬季取暖的煤烟和工业排放的烟雾。

伦敦烟雾事件是 20 世纪中期世界重大公害事件之一。这些公害的出现向人们提示：能源的开发和利用会给环境带来一定的影响。在诸多能源中，煤炭和石油等引起的环境问题最为严重，它们在开采、运输、加工、利用等环节上都会对



图 4.4-1 1952 年的伦敦烟雾

环境产生污染。

在资源和能源的消耗中要产生废气、废水和废渣。当大自然无法完全消除这些有害物质时，自然环境将会恶化。环境的恶化直接危及人类安全。目前，与能源利用有关的环境问题主要有酸雨、失控的温室效应、热岛效应、臭氧层破坏等。

酸雨 酸雨指pH值低于5.6的降水，有时也泛指以沉降形式从大气转移到地面的酸性物质。1971年，联合国会议确认酸雨属于全球性的污染问题。

20世纪80年代以来，世界上形成三大酸雨区：欧洲、北美和中国。酸雨在我国主要分布于长江以南、青藏高原以东的地区，还有长江以北的西部盆地。我国酸雨区面积已超过国土的30%。酸雨的形成是复杂的大气化学和大气物理现象，是大气污染的结果。人类生活和生产的主要能源是化石燃料。煤和石油中的硫、氮等元素，在燃烧过程中产生二氧化硫、一氧化氮等气体。二氧化硫是酸性氧化物，一氧化氮在常温下很容易与空气中的氧化合，形成二氧化氮，一旦遇到降水，二氧化硫和二氧化氮与雨水化合，形成硫酸和硝酸。酸雨中含有水、硫酸、硝酸等物质。

酸雨对建筑材料、金属制品、纺织品都有腐蚀作用，它会造造成油漆变色、金属生锈、纸张变脆、衣服褪色、塑料老化等。酸雨会损坏文物古迹。近十几年来，酸雨区的一些石刻、石雕或铜像的损坏程度超过了以往百年甚至千年的损害。特别是以石灰岩为材料的历史建筑物，如伦敦的英王查理一世的雕像、雅典的帕特农神庙、印度的泰姬陵、华盛顿的林肯纪念碑等，都受到不同程度的腐蚀。

酸雨使土壤酸化，破坏土壤的营养，毁灭土壤中的微生物，使土壤板结，危害植物生长。酸雨使森林被破坏，使湖泊河流逐渐酸化，鱼虾减少或绝迹，变成死亡湖、死亡河。

酸雨直接危害人的呼吸系统、眼睛和皮肤。酸雨中的汞和镉等重金属会通过水体和土壤进入植物和动物体内，并逐步积累起来，然后随食物链进入人体，危害健康。

失控的温室效应 温室的特点是可以接受太阳的辐射，但热量不易散失，所以温度比室外高。利用温室可以在冬季培育蔬菜、花卉。地球大气层中的二氧化碳和水蒸气，就像温室的玻璃，一方面允许太阳辐射透过，另一方面却会吸收地面的热辐射，不允许它散发到外层空间。这样就会使得大气升温。二氧化碳、水蒸气这些能产生类似温室玻璃作用的气体，就是温室气体，它们的影响称为温室效应。

温室效应是一种自然现象，自古以来一直存在着。正是温室效应使地球表面的温度保持在年平均15℃左右，创造了适宜生命存在的环境，如果大气中没有温室气体，地球将是一个寒冷的世界。



图4.4-2 被酸雨腐蚀的古迹



图4.4-3 被酸雨毁坏的林木

但是，失控的温室效应则会使地球发生变化，对人类的生存产生影响。

自工业革命以来，大气中二氧化碳的浓度持续攀升。造成这一状况的主要原因是化石燃料在燃烧时产生的二氧化碳。

失控的温室效应会造成全球气候变暖，使全球降水量重新分配，冰川和冻土融化，海平面上升，从而使森林、湿地和极地冻土受到破坏，同时导致生存其中的许多生物物种灭绝。最大的威胁是出现极端高温、百年不遇的干旱、异乎寻常的热浪、行凶肆虐的飓风。它们带来的灾难是致命的。可见，失控的温室效应危害自然生态系统，也给人类带来直接威胁。

热岛效应 19世纪20年代，有人发现英国伦敦市区气温比郊区高，以后陆续在许多大城市都观测到这种现象，并把这种现象叫做热岛效应。

在大城市，大量烟尘和废气使大气混浊度增加。这些尘粒作为凝结核又促进了雾和云的形成，致使城市上空大气变得更为混浊，阻碍了地表热量向外辐射。另外，城市中的建筑物、混凝土和沥青路面，改变了地表的反射率和蓄热能力；工厂、办公室、居民生活中使用的电气设备向环境散热，等等。这些因素使得城市的气温比周围农村的气温高，形成明显的温度差，可达 $0.5 \sim 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 或更高。

热岛效应虽然可以降低冬季采暖能耗，但是在夏季，热岛效应使气温升得更高，不仅增大城市用水量和用电量，还会使人心脏、脑血管和呼吸系统等疾病的发病率上升。



图4.4-4 城市热岛

能源短缺 人类对化石能源的需求量与日俱增，人们担心，化石能源总有一天会消耗殆尽，而届时还未找到足够的替代能源。因此，能源使用的前途是人类发展中的一个极大的忧患。

造成能源短缺的原因来自两个方面。

一是能源的消费需求过大。

世界各国经济增长使能源需求量增加。发达国家的生产总值每增加1倍，能源消费至少要相应增加0.7倍，而发展中国家则要增加0.9倍。人口增长也是造成能源需求量增加的重要因素，世界每年人口净增长超过9 000万。人们对高质量生活的不断追求，也加剧了能源消耗。

二是不可再生能源本身储量有限，而开采的规模却越来越大。当今世界消耗石油、煤炭、天然气的

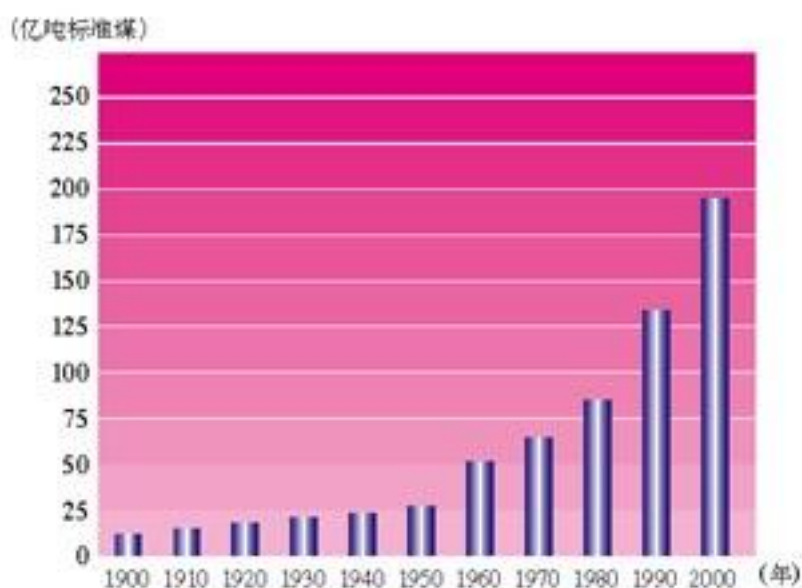


图4.4-5 世界能源消费量迅速增加

的速度比大自然生成的速度快100万倍。尽管由于全球能源资源的勘察程度没有达到极限，但

是多方资料显示,自20世纪70年代以来,新发现的石油资源跟不上石油产量的增长,剩余可采储量不断减少。

随着经济规模扩大、人民生活水平提高以及人口增长,我国能源消耗量也在与日俱增。从1992年开始,我国能源消费总量已经超过能源生产总量,成为世界第二能源消费大国,自1993年起,原油从净出口转为净进口。尽管我国是世界上能源、矿产品种齐全的国家之一,能源资源总量也比较丰富,但是由于人口众多,人均拥有资源很少。

从能源需求看,即使按照最乐观的估计,到2020年中国的能源需求总量将达到25亿吨标准煤,这个数字比2000年高出了90%,而最为悲观的估计则要高152%。从长远看,能源问题可能成为抑制我国经济发展的因素。

目前,人类对可再生能源的研究、开发、使用还刚刚起步,还只能作为常规能源的补充,要使可再生能源取代化石能源的地位,还需要一个相当长的时期。这个时间差之长,增强了人们的忧患意识,也加重了能源问题的严重性。

能源与可持续发展 资源与环境是目前人类社会共同面临的两大问题。在资源问题中,能源又占有最重要的地位。这两个重大问题向人类生活和社会文明的几乎所有方面提出了挑战。

有责任心的人们探讨和提出了种种解决方案,这些方案共同的核心思想是可持续发展。联合国世界环境和发展委员会对可持续发展的定义是:“既满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害和发展”,也就是说,要“在不超出支持它的生态系统的承载能力的前提下改善人类生活质量”。

可持续发展思想包括几个观点。

第一,寻求自然资源及其开发利用之间的平衡,既要发展又要考虑到环境系统的再生能力。第二,人类的生产方式与生活方式要与地球承载能力保持平衡,既要创造美好的生活,又要合理地利用自然资源。第三,要提高技术水平,提高经济生产能力。

可持续发展是一个涉及经济、社会、文化、技术及自然环境的综合概念。从社会观的角度看,要公平分配,既满足当代人又满足后代人的基本需求;从经济观的角度看,经济发展要保护地球的自然系统;从自然观的角度看,人类要与自然和谐相处。1992年联合国环境与发展大会通过了《21世纪议程》,将可持续发展由概念、理论推向行动,要求各国制定相应的可持续发展战略和规划,迎接人类面临的共同挑战。

为了减少能源的开发和利用给环境带来的消极影响,为了缓解能源短缺,可以从多个方面去落实可持续发展的思想。

改变工业发展模式。工业生产相对于日常生活,对环境产生的影响更大。从生



图4.4-6 关于中国可持续发展的网页

产与环境关系的角度看,工业发展有三种模式,代表着三个发展层次。第一种模式——不顾环境的工业生产;第二种模式——先生产,后治理;第三种模式——对产品整个生产周期采取污染预防的清洁生产。第三种模式的目标是实现工业生产的生态化,包括使用清洁的能源、常规能源的清洁利用、可再生能源的开发、各种节能技术的应用等。

节能的重要性不可低估。国际能源界将节能称为与煤、石油及天然气、水电、核电并列的“第五能源”。我国在20世纪80年代就提出“能源开发与节能并重”的方针。多年来,通过产业结构调整、加强能源管理和采取节能措施等方面取得了一些效果,但是能耗水平仍然高于发达国家。这表明,在节能方面,还有很大的空间。

我们只有一个地球 人类的进步始终伴随着问题、矛盾和灾难。我们曾经天真地相信人定胜天,认为自己具有无所不能的力量。于是就有了改天换地的激情,以及对于美好前景的朦胧憧憬。但有时候事与愿违,对于美好愿望的追求,带来的往往是未曾预料到的惩罚。几个世纪以来席卷全球的工业化运动,极大地推进了人类社会的经济发展,提高了人们的生活质量,但同时也带来了前所未有的环境污染、生态危机和人口压力。地球变得格外沉重。人类对于自然资源的无节制利用,竟然使得原来那些用之不竭的一切:阳光、空气和水变得弥足珍贵。原来天地造化的鸟语花香、青山绿水,现在只能到山村旷野和人工景点去寻觅。许多人在忧虑人类的自我毁灭。亿万人惊呼:“我们只有一个地球!”



图4.4-7 应该爱护我们美丽的家园

人类总是在挑战中前进的。尽管有困难,但是发展不会停止,人类对于美好生活的追求也不会停止。半个世纪以来对于环境问题的认识,使我们格外深刻地领悟到中国思想中“天人合一”哲理的价值。人类虽然是万物的灵长,但同时也是自然的孩子,我们不能蔑视自然,而只能与自然万物和谐相处。

如何实现可持续发展的目标?靠科学责任的觉醒,靠人文理念的提升,靠自然文化、人文文化和科学文化的融合,靠人类的理智、才能和责任感。

大家谈

在你周围存在着哪些能源浪费现象,你能提出相应的节能措施吗?



伦敦烟雾事件

1952年12月5日清晨，整个伦敦市笼罩在浓雾之中。时值隆冬，气温很低，潮湿而沉重的空气像铅块一样压在城市上空。浓雾不散，难见天日。大街小巷到处充斥着煤烟和硫磺的呛人气味。车辆开着大灯，交通警察被迫戴上了防毒口罩，来往行人不断咳嗽和流泪。

浓雾持续了5天才逐渐散去。它在这几天中夺走了4000多人的生命。在以后的3个月中，又有8000多人因受雾害而相继死去。

伦敦的这场烟雾为什么会“杀人”呢？

事后经多方调查，人们终于弄清，是大气中二氧化硫、水滴（雾）和粉尘的共同作用，才形成了这场浓雾。粉尘主要来自煤烟中的炭粒，含有二氧化硫、二氧化硅、氧化铝等成分，形成了雾滴的核心。空气中的二氧化硫氧化，生成三氧化硫，形成危害人体健康、威胁生命的硫酸雾。硫酸雾所含的有毒气体和粉尘被吸入肺里以后，会黏附在肺泡细胞上并沉积下来。它还会进入血液，流遍全身，造成危害。



伦敦旧工业区

酿成伦敦烟雾事件的主要凶手有两个：冬季取暖燃烧的煤烟和工业排放的烟雾。大气中的逆温层现象是帮凶。

20世纪50年代，伦敦以煤为燃料的工厂很多，居民生活取暖也以煤为主。当时，伦敦市区烟囱林立，成千上万个烟囱昼夜不停地向空中排放着大量烟雾。

另外，12月5日清晨，伦敦上空被滞留的高气压所控制，地面完全处于无风状态。由于夜间地面辐射强烈，热量大量散失，地面附近的气温反而低于空气中的气温，从而在50~150 m的低空形成自上而下由暖到冷的逆温层。冷重的空气在下，暖轻的空气在上，使大气很难上下对流。它就像大锅盖一样扣在城市上空，阻止了地面气体的上升运动。因此，各种烟尘无法扩散，污染物不断积聚。当时每立方米大气中所含的二氧化硫比平时高6倍，颗粒污染物浓度比平时多9倍。空气变成了毒气，终于酿成了一场震惊世界的“烟雾杀人”惨案。

问题和练习



1. 调查当地各种大气污染物的污染指数与当日天气及居民取暖情况、汽车上路多少的关系。
2. 了解我国汽车尾气排放标准的变化。
3. 调查某一单位（家庭、学校、工厂等）的能源消耗情况，提出相应的节能方案。
4. 提出一个解决城市热岛问题的方案。

五、课题研究：太阳能综合利用的研究

太阳能已经在许多方面得到了应用。通过社会调查和从书籍、报刊、互联网中查找资料，同学们可以做些关于太阳能的研究。下面的议题仅供参考。

1. 利用太阳能取暖的设计方案
2. 使用太阳能带来的种种影响的分析
3. 太阳能与其他能源的比较研究
4. 太阳能广泛使用面临的困难与解决途径

课题研究参考资料

1. 太阳房

太阳房是利用太阳辐射能量来代替部分常规能源，使室内达到一定温度的建筑物。太阳房分为主动式和被动式两类。世界上第一幢主动式的太阳房由美国麻省理工学院于1938年建成。它用集热器、储热装置、风机、水泵等设备，主动收集、储存和配送太阳能。

被动式太阳房首先是在法国发展起来的。这种太阳房依靠建筑方位、建筑空间的合理布置、建筑结构以及建筑材料的热工性能，使房屋尽可能地吸收太阳能和储存热量。如果所获得的太阳能达到了建筑物采暖、空调所需能量的一半以上，就达到了被动式太阳房的要求。被动式太阳房根据当地的气象条件，基本上不安装其他设备，冬季可以有效地吸收和储存太阳能，夏天又能防止过多的太阳辐射，从而达到冬暖夏凉的效果。

1882年，美国马萨诸塞州的E. S. 莫尔斯教授建造了一种太阳能暖房。他利用玻璃和黑色石板来做取暖的装置。墙壁用黑石板砌成，黑石板外面罩一层玻璃，玻璃与石板之间留有空隙。石板底部有通气孔，通气孔与整座房屋的通气管道相连。这样，白天有阳光的时候，阳光通过玻璃照射在黑色石板上，黑色石板温度上升，使夹在石板与玻璃之间的空气变热。热空气上升到房间顶部，再流入房内。冷空气则从通气孔排出，进入石板与玻璃之间再被加热。

2. 太阳能温室

我国科研人员研究建成的太阳能温室，用于寒冷气候条件下的蔬菜种植。人们在一栋660 m²的标准温室顶部，用40个太阳能集热板把水加热，热水再通过埋在地下的水管为土壤加热。在冬季-30℃的天气里，土壤温度可达15℃，室内温度保持在6~7℃。太阳能温室还配备了风力发电设施，电能储存在蓄电池中，用以带动水泵，进行热水循环、室内照明。

3. 太阳能光伏电站

2004年9月5日，北京万寿公园建设的独立供电系统——太阳能光伏电站正式投入使用，这可为全国提供照明及办公用电。这座太阳能光伏电站共安装了48块太阳能单晶硅板，总装机容量3 kW，太阳能光伏电池组产生电能存储于蓄电池中，可以满足公园用电。在一个晴朗日储存的电量，可保证连续3个阴雨天的正常工作。原来这个公园每年电费超过2万元，而现在投资20万元建设了一座电站，可以使用15年，前期成本略高，但后期费用明显降低。



图4.5-1 北京万寿公园的光伏电站

4. 太阳能公厕

一种新型的太阳能公厕落户北京市东交民巷，犹如一架三角钢琴摆放在道路旁。它的能源全部由位于顶部的太阳能电池板提供。



图4.5-2 太阳能公厕

5. 太阳能热水器

太阳能热水器以其环保、节能以及使用方便的优点，逐渐得到哈尔滨市民的认可，越来越多的家庭开始使用太阳能热水器。有关专家称，太阳能热水器吸收太阳辐射，每平方米太阳能热水器每年可节约200~250 kg标准煤，可减少二氧化碳等温室气体的排放。

太阳能热水器主体部分放在楼顶，是一个固定的水箱，其中安装真空集热管，再将热水引入室内，安装技术比较简单，一次性投资后基本不再需要其他花费。但是，从1997年开始，一些物业管理部门开始限制太阳能热水器的安装。他们认为：太阳能热水器破坏屋顶防水层，导致房屋漏水；热水器重量大，会产生安全隐患；热水器水管堵塞排风口，影响灶具通风。某物业公司负责人说，太阳能热水器的安装尚未纳入建筑给水排水设计，新建住宅都采用变频泵供水，取消了屋顶生活水箱，如果住户在购买商品房后各自安装太阳能热水器，因为没有统一规划，只能在外墙凿洞把冷水接至太阳能热水器，再用同样方法引热水进室内，由于所用管材规格各异，固定措施也不可靠，遇大风会随风摆动，造成事故。密布的水管会使楼体外墙面受创。

你对这个问题有什么意见？



热学发展大事记

对热现象的认识是人类探索自然的重要方面，热学的研究与发展促进了科技的进步与社会发展。

1. “北京人”的用火技术

约50万年前，生活在北京房山周口店的“北京人”已经知道用火。在长期的原始社会里，人们发明了一些取火的方法，如史称的“燧人氏钻木取火”。此外还有《庄子·外物》云：“木与木相摩则燃”，即摩擦可以产生火。



2. 燃气驱动试验

西汉时期，淮南王刘安与他的门客一起进行过许多试验，其中一个试验是利用燃气推举蛋壳升空。这是最早的热气球试验。在北宋的文献中还记载了走马灯，这也是利用燃气驱动的装置。

3. 小涡轮的发明

公元100年前后，古希腊的工程师希罗记述了蒸汽转动涡轮试验。这是最早的利用蒸汽驱动涡轮的装置。



4. 火箭的发明

火箭是火药技术的重要应用之一。从军用的角度看，用火药驱动箭的装置，如“神火飞鸦”、“火龙出水”和“飞龙砂筒”等是中国古代火箭技术的杰作。从娱乐的角度看，“起火”和“拖老鼠”等焰火也是火箭技术应用的产物。明朝的万户还进行了利用火箭载人飞行的试验。



5. 蒸汽机的发明

1690年，法国的巴本制成有活塞和汽缸的实验性蒸汽机。1698年，英国的萨弗里制成蒸汽泵用于矿山排水。1706年，英国的纽可门制成第一个实用的蒸汽机。1763年，英国的瓦特在汽缸外增加了冷凝器，制成了单动式近代蒸汽机。蒸汽机的发明和改进，为工业的近代化提供了动力技术的基础，对社会生产力的发展产生了巨大的作用。



6. 温度计的发明

1600年前后，伽利略制成最初的测温装置。1701年，法国的阿蒙顿用水的沸点为温度计定标。1709年，德国的华伦海特发明酒精温度计。1714年，华伦海特发明水银温度计。1724年，华伦海特创立华氏温标。1742年，瑞典的摄尔修斯创立摄氏温标。

7 伦福德的钻炮筒实验

1798年，英国的伦福德根据钻炮筒时产生大量热的事实，反对热质说，而主张热的运动说。对机械运动转化为热运动有了初步的认识，对自然现象相互转化的进一步认识是一个良好的开端。

8 能量守恒定律的建立

1842年，德国的迈尔提出自然力（能量）守恒原理和热功当量概念。1843年，英国的焦耳测定热功当量值，为能量守恒定律的建立奠定了实验基础。1847年，德国的亥姆霍兹论证了能量守恒原理的普遍意义。

9 熵增加原理的建立

1850年和1851年，德国的克劳修斯和英国的W·汤姆孙分别提出热力学第二定律的表述。1865年，克劳修斯提出了“熵”概念，把热力学第二定律表述为熵增加原理。

10 内燃机的发明

1862年，法国工程师罗沙对以往内燃机进行了总结性研究，提出了四冲程循环理论。1876年，德国工程师奥托根据罗沙的理论发明了煤气内燃机。1883年，德国工程师戴姆勒用汽油代替煤气，在奥托内燃机的基础上发明了汽油内燃机。德国工程师狄塞尔又于1897年创制柴油内燃机。



11 制冷技术的发明

19世纪初，美国人发明了利用压缩乙醚蒸气的制冷方法，50年后，苏格兰人哈里森成功地将自己制造的制冷机使用在一家肉类加工厂。不久，人们又发明了家用制冷机。到19世纪70年代，瑞士和美国的化学家先后发明了利用二氧化硫和氨的制冷技术，特别是德国科学家林德研制的氨压缩机得到了较快的推广。20世纪30年代，新型致冷剂氟利昂被研制出来，逐渐取代了其他致冷剂。

12 汽车的发明

1885年，德国发明家本茨改装奥托发动机，把燃气发动机改为汽油发动机，研制出第一辆三轮汽车。1886年，戴姆勒将马车改装成一辆汽车。1889年，他又生产出性能更好的发动机。他的新汽车还有性能非常好的离合器、变速齿轮和转向系统等。



13 核能的利用

1938年，德国科学家哈恩从实验上发现了核裂变现象。1945年7月美国成功地在墨西哥州进行了第一次核试验。1956年，苏联建成世界上第一座核电站。1958年，苏联又建成世界上第一艘核动力破冰船。

后 记

根据《基础教育课程改革纲要（试行）》的精神，我们按照《普通高中物理课程标准（实验）》的要求编写了共同必修及其他三个系列的全套教科书，本册经全国中小学教材审定委员会2004年初审通过，供普通高中试用。

这套教科书在编写中，得到了诸多教育界前辈和各学科专家学者的热情帮助和大力支持。在本套教科书同课程改革实验区的师生见面时，我们特别感谢担任教科书总顾问的丁石孙、许嘉璐、叶至善、顾明远、吕型伟、王梓坤、梁衡、金冲及、白春礼、陶西平同志，感谢担任教科书编写指导委员会主任委员的柳斌同志和编写指导委员会委员的江蓝生、李吉林、杨焕明、顾泠沅、袁行霁等同志。

这套书的编写者以教育部物理课标组的核心成员为基础，由高校教师、中学教师和出版社的编辑人员三结合组成。共同必修部分和三个选修系列的编写小组分别起草，然后全体编写人员反复讨论、相互修改，因此，本书是编写组集体创作的成果。

张同恂、董振邦、窦国兴在编写的不同阶段审阅了书稿，提出了重要修改意见。

我们还要感谢使用本套教材的实验区的师生们。希望你们在使用本套教材的过程中，能够及时把意见和建议反馈给我们，对此，我们深表谢意。让我们携起手来，共同完成教材建设工作。

我们的联系方式如下：

电 话：010-58758389

E-mail: jcfk@pep.com.cn

网 址: <http://www.pep.com.cn>

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心
2004年12月

谨向为本书提供照片的人士和机构致谢

第一章章首图，李乐诗 / 图 1.3-6，图 1.3-13，谷雅慧 / 17 页右上图，17 页中左图，《彩色插图中国科学技术史》，中国科学技术出版社 / 祥云（美国）出版公司 / 元代耕织图，图 2.2-2，《图说中国古代科技》，大象出版社，1999 / 图 2.3-12，《中国航天·梦圆“神舟”五号》，中国航天编辑部，2003.10 / 第三章章首图，图 4.1-8，图 4.4-1，第 100 页的图，《科技创新未来》，北京理工大学出版社 / 76 页上图，图 4.2-7，《改变世界的大科学家》，上海译文出版社，1996 / 图 4.4-2，图 4.4-3，图 4.3-4，《国民科普大课堂》，中国民航出版社 / 图 3.1-2，《科学美国人》（中文版）2004.10 / 71 页右中图，71 页左下图，图 3.4-5，图 3.4-7，图 3.5-3，《核能》，宇航出版社 / 图 4.2-2，图 4.2-3，《电》（目击者丛书·科学博物馆），北京：生活·读书·新知三联书店 / 图 4.3-7，《能源春秋》，石油工业出版社 / 图 4.3-3，图 4.3-6，张大昌 / 99 页图，图 3.3-5，杜敏 / 图 1.4-5，图 1.4-6，图 4.3-2，图 4.5-1，图 4.5-2，张颖。