

The background of the cover is a dark, textured surface. At the top, there is a horizontal band with a purple and blue abstract pattern. Below this, the title '物理与生活' is centered in large white characters. Underneath the title, the editors' names are listed in smaller white characters. A horizontal band with a yellow and blue abstract pattern runs across the middle of the cover. Below this band, there is a large, detailed image of interlocking golden gears. A white rectangular box is placed over the center of the gears. Below the gears, another horizontal band with a yellow and blue abstract pattern runs across the cover. At the bottom, there is a large, detailed image of a circuit board with various components and arrows. The publisher's name is centered at the very bottom in white characters.

物理与生活

主 编：温亚芹

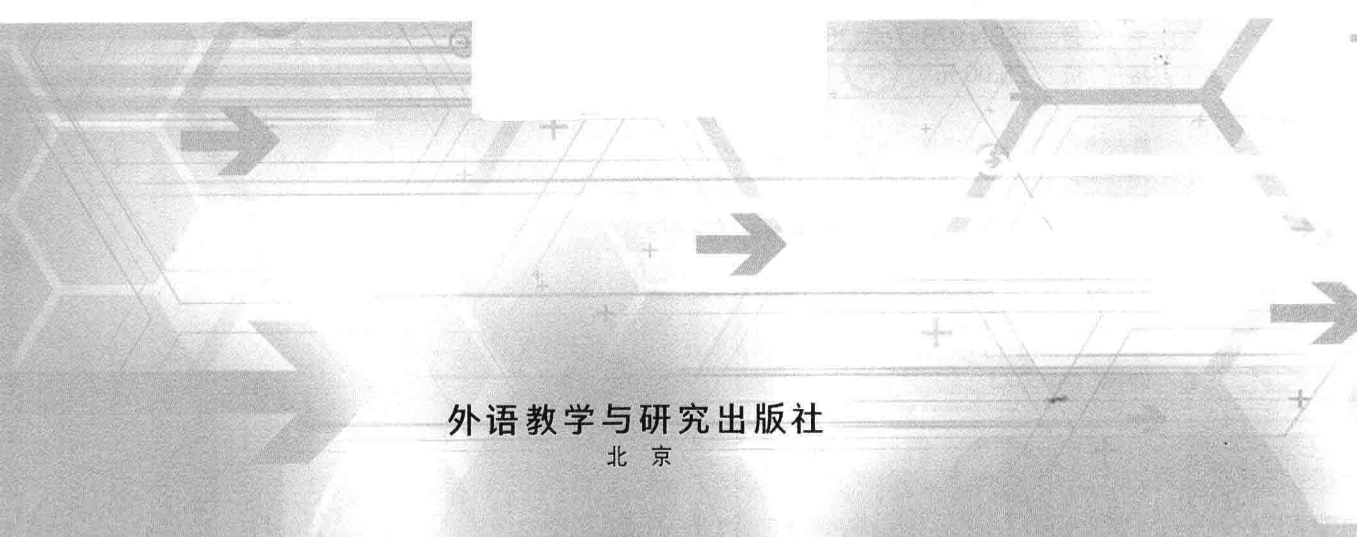
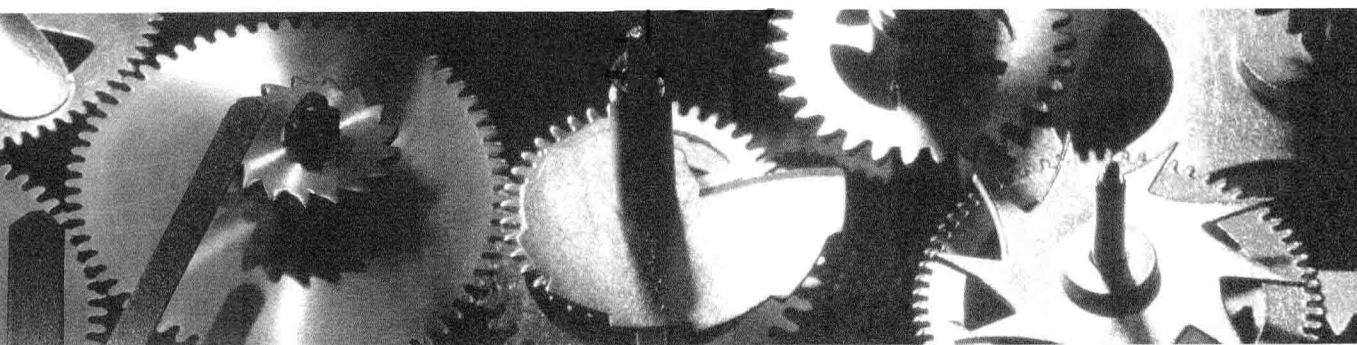
副主编：刘 毅 杨秀娟



物理与生活

主 编：温亚芹

副主编：刘 毅 杨秀娟



外语教学与研究出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

物理与生活 / 温亚芹主编. — 北京: 外语教学与研究出版社, 2014.5
ISBN 978-7-5135-4615-7

I. ①物… II. ①温… III. ①物理学—普及读物 IV. ①O4-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 113074 号



出 版 人 蔡剑峰
项目策划 王海龙
责任编辑 牛贵华
封面设计 王雪莲
出版发行 外语教学与研究出版社
社 址 北京市西三环北路 19 号 (100089)
网 址 <http://www.fltrp.com>
印 刷 大恒数码印刷 (北京) 有限公司
开 本 787 × 1092 1/16
印 张 15
版 次 2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5135-4615-7
定 价 25.00 元

购书咨询: (010) 88819929 电子邮箱: club@fltrp.com

外研书店: <http://www.fltrpstore.com>

凡印刷、装订质量问题, 请联系我社印制部

联系电话: (010) 61207896 电子邮箱: zhijian@fltrp.com

凡侵权、盗版书籍线索, 请联系我社法律事务部

举报电话: (010) 88817519 电子邮箱: banquan@fltrp.com

法律顾问: 立方律师事务所 刘旭东律师

中咨律师事务所 殷 斌律师

物料号: 246150001

前言

物理是一门历史悠久的自然学科，物理科学作为自然科学的重要分支，不仅对物质文明的进步和人类对自然界认识的深化起了重要的推动作用，而且对人类的思维发展也产生了不可忽视的影响。从亚里士多德时代的自然哲学，到牛顿时代的经典力学，直至现代物理中的相对论和量子力学等，都是物理学家科学素质、科学精神以及科学思维的有形体现。

在科学技术迅速发展的形势下，不同学科、不同专业领域相互交叉、渗透融合的趋势越来越明显。科学文化与人文文化相融合的通识教育，不仅是高等院校文化素质教育的一个重要课题，而且是一个深刻的教育理念问题。爱因斯坦说过：“科学对于人类生活的影响有两种方式。第一种方式是大家熟悉的，科学直接地并且在很大程度上间接地生产出完全改变了人类生活的工具。第二种方式是教育性的，它作用于心灵。”

目前，一些有识之士都在大声呼吁：在 21 世纪，一个年轻人只掌握某一种（科技或人文）专业知识是远远不够的，我们必须警惕“有知识没文化”或“做科技工作却不讲科学精神、科学态度和科学方法”的现象。正如已故物理学家吴健雄所说：“为了避免出现社会可持续发展的危机，当前一个刻不容缓的问题是消除现代文化中两种文化——科学文化与人文文化——之间的隔阂，而为了加强这两方面的交流和联系，没有比大学更适合的场所了。只有当这两种文化的隔阂在大学校园里加以弥合之后，我们才能对世界给出连贯而令人信服的描述。”弥补科学文化与人文文化相脱离的缺憾，让文科学生了解自然科学规律，了解人类赖以生存的物质世界中的物质结构及运动的基本规律，以适应当今科技、经济、社会发展对高素质人才的需求，物理学是当之无愧的。这是由于物理学具有双重功能：物理学既是科学也是文化，不仅有传播自然科学知识的功能，而且有社会教育和思想文化教育的功能。

本书内容囊括从经典物理学到近代物理学的主要成就和进展，并力求能与现代各种高新技术发展的近代物理学基础相衔接。书中还注入了科技发展的新观点和新方法，使学生既能掌握物理学的基础知识，又能了解物理学的前沿课题和研究动向。同时，本书通过社会生活中出现的各种神奇而有趣的现象，让学生发现“物理学就在我们身边”，然后通过浅显易懂的语言和大量的图片来解释这些现象中所包含的物理原理，旨在培养学生的兴趣、扩大学生的知识面、开阔学生的眼界、提高学生的科学素养。

参加本书编写的有：温亚芹（第七讲、第八讲、第九讲），刘毅（第一讲、第二讲、第三讲），杨秀娟（第四讲、第五讲、第六讲）。全书由温亚芹统稿。

在本书的编写过程中，曾参阅了我教研室四年来的大学物理教学讲义与课件以及许多兄弟院校的有关教材，吸取了宝贵的经验，在此表示感谢。由于时间仓促，书中难免存在不当之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2014 年 3 月于哈尔滨

目录

第1讲 物理学史

1.1 力学的发展史	1
1.2 热学的发展史	5
1.3 电磁学的发展史	8
1.4 光学的发展史	12
1.5 经典物理学的革命	15
1.6 相对论	18
1.7 旧量子论	24
1.8 现代量子力学	27

第2讲 天文 历法

2.1 天文观测	33
2.2 宇宙学	36
2.3 太阳系	41
2.4 历法	50

第3讲 力学 航天

3.1 力学	59
3.2 动量守恒与火箭	65
3.3 航天简史	70

第4讲 能源危机与新能源

4.1 能源危机	82
4.2 环境污染	84
4.3 温室效应	90
4.4 臭氧层破坏	96
4.5 新能源的利用与开发	103
4.6 世界能源储量分布	106
4.7 能源利用与开发	107
4.8 解决能源危机的办法	110

4.9 节能的意义与途径	117
--------------------	-----

第5讲 核技术及其应用

5.1 历史回顾	120
5.2 原子核的组成	124
5.3 核辐射	125
5.4 核能如何释放	126
5.5 原子核的综合应用	128
5.6 核能的利用——核电站	130
5.7 辐射的危害和防护	131
5.8 “抢盐”风潮	133
5.9 生活中的核事故	135

第6讲 奇妙的电磁现象

6.1 磁悬浮列车的工作原理	136
6.2 磁悬浮列车的种类	137
6.3 磁悬浮列车的应用类型	138
6.4 磁悬浮列车的优缺点	139
6.5 磁悬浮列车的发展历史	140
6.6 磁悬浮列车的发展现状	142
6.7 电磁炮	144
6.8 磁卡	150
6.9 金属探测器	152

第7讲 人类生活中的各种波

7.1 振动	157
7.2 波	163
7.3 声波	166
7.4 次声波	168
7.5 地震波	170
7.6 雷达	172
7.7 电磁炉	173
7.8 微波炉	174

第 8 讲 新材料与纳米技术

8.1 自然界中的纳米	177
8.2 纳米科学技术	180
8.3 石墨烯	199
8.4 纳米机械学	200
8.5 纳米生物学	204
8.6 超导材料	205

第 9 讲 奇光幻影

9.1 光的直线传播	207
9.2 光学成像	209
9.3 视错觉	212
9.4 光的散射	216
9.5 全反射现象	220
9.6 光的偏振	223
9.7 激光	224

第 1 讲 物理学史

物理学史是研究人类对自然界各种物理现象的认识史,研究物理学发生和发展的基本规律,研究物理学概念和思想发展及变革的过程。它的基本任务是描述物理概念定律理论和研究方法的脉络,提示物理学概念、方法和内容的发生、发展的原因和规律性。如今,随着物理学史知识和教学普及工作的深入发展,物理学史的教育功能已越来越受到国内外教育工作者的关注,将物理学史引入物理教学中也成为物理教育改革的重要举措之一。

大学物理学课程是高等院校一门重要的公共基础课程,是自然科学的基础学科之一。现如今,高等院校已经开始全面开展人文素质和科学素质互补性教育,许多文科类专业也都开设了文科物理学课程,这是社会发展的需要。日新月异的科技发展影响着经济文化等各个领域,提高文科学生的科学素质,培养其科学思维方法,让其领会科学创新精神,是开设文科物理学课程的重要原因。

400 多年前,英国著名哲学家弗兰西斯·培根(Francis Bacon, 1561~1626)提出了“知识就是力量”的口号,近代自然科学突飞猛进的发展充分地证实了其真理性。培根还留下了关于知识论述的另一段名言:“阅读使人充实,会谈使人敏捷,写作与笔记使人精确,……史鉴使人明智,诗歌使人巧慧,数学使人精细,博物使人深沉,伦理之学使人庄重,逻辑与修辞使人善辩。”这位在近代科学创造时期为新时代高声呐喊的英国哲人,这位未来科学时代的预言家,留下了“史鉴使人明智”这一至理名言。在科学已经无孔不入地渗透到人类生活各个层面的 21 世纪,我们更需要回顾科学的历史,对科学的过去进行反思,这对于认识科学的现在或预见科学的未来将会有极其重要的启迪。

从某种角度上说,物理学的历史即人类的科学史、人类的文明史。接下来,我们就从物理学的各个研究方向,分别回顾一下历史上的科学家们做出了哪些贡献,对我们的启迪又有哪些。



1.1 力学的发展史

1.1.1 力学的历史背景

力学是最原始的物理学分支之一,它与人类的生产生活联系最为密切,而最原始的力学则是静力学。静力学源于人类文明初期生产劳动中所使用的简单机械,如杠杆、螺旋、滑轮、斜

面等。古希腊人从大量的经验中了解到一些与静力学相关的基本概念和原理，如杠杆原理和阿基米德定律。但直至 16 世纪后，资本主义的工业进步才真正开始为西方世界的自然科学研究创造物质条件，尤其在地理大发现时代随着航海业的兴起，人类钻研观测天文学所花费的心力前所未有的，其中以丹麦天文学家第谷·布拉赫（图 1-1）和德国天文学家、数学家约翰内斯·开普勒（图 1-2）为代表。对宇宙中天体的观测，也成了人类进一步研究力学运动的绝佳领域。1609 年和 1619 年，开普勒总结了老师第谷毕生的观测数据，先后发现了开普勒行星运动三大定律。



图1-1 第谷·布拉赫

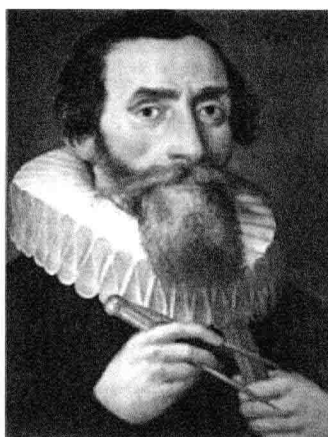


图1-2 约翰内斯·开普勒

1.1.2 伽利略的动力学

在 17 世纪的欧洲，自然哲学家逐渐展开了一场针对中世纪经院哲学的进攻，他们持有的观点是，从力学和天文学研究抽象出的数学模型将适用于描述整个宇宙中的运动。被誉为“现代自然科学之父”的意大利（或按当时地理为托斯卡纳大公国）物理学家、数学家、天文学家伽利略·伽利莱（图 1-3）就是这场转变中的领军人物。伽利略所处的时代正值思想活跃的文艺复兴之后，在此之前列奥纳多·达·芬奇所进行的物理实验、尼古拉斯·哥白尼的日心说以及弗朗西斯·培根提出的注重实验经验的科学方法论，都是促使伽利略深入研究自然科学的重要因素，哥白尼的日心说更是直接推动了伽利略试图用数学对宇宙中天体的运动进行描述。伽利略意识到这种数学性描述的哲学价值，他注意到哥白尼对太阳、地球、月球和其他行星的运动所作的研究工作，并认为这些在当时看来相当激进的分析，将有可能被用来证明经院哲学家们对自然界的描述与实际情形不符。伽利略进行了一系列力学实验，阐述了他关于运动的一系列观点，包括借助斜面实验和自由落体实验批驳了亚里士多德认为落体速度和重量成正比的观点，还总结出了自由落体的

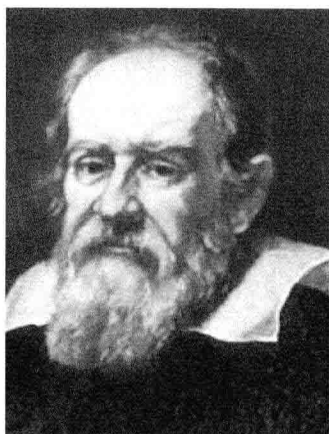


图1-3 伽利略·伽利莱



距离与时间平方成正比的关系，以及著名的斜面理想实验来思考运动的问题。他在1632年出版的著作《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》中提到：“只要斜面延伸下去，球将无限地继续运动，而且不断加速，因为此乃运动着的重物的本质。”这种思想被认为是惯性定律的前身。但真正的惯性概念则是由笛卡尔于1644年所完成，他明确地指出了“除非物体受到外因作用，否则将永远保持静止或运动状态”，而“所有的运动本质都是直线的”。

伽利略在天文学上最著名的贡献是于1609年改良了折射望远镜，并借此发现了木星的四颗卫星、太阳黑子以及金星类似于月球的相。伽利略对自然科学的杰出贡献体现在他对力学实验的兴趣以及他用数学语言描述物体运动的方法，这为后世建立了一个基于实验研究的自然哲学传统。这个传统与培根的实验归纳的方法论一起，深刻影响了后世的一批自然科学家，包括意大利的埃万杰利斯塔·托里拆利、法国的马林·梅森和布莱兹·帕斯卡、荷兰的克里斯蒂安·惠更斯、英格兰的罗伯特·胡克和罗伯特·波义耳。

1.1.3 开普勒的贡献

在蒂宾根大学毕业后，开普勒在格拉茨研究院当了几年教授，在此期间他完成了自己的第一部天文学著作（1596年）。虽然开普勒在该书中提出的学说完全错误，但却从中非常清楚地显露出他的数学才能和富有创见性的思想，于是伟大的天文学家第谷·布拉赫邀请他去布拉格附近的天文台给自己当助手。开普勒接受了这一邀请，于1600年1月加入了第谷的团队，可惜第谷翌年就去世了。开普勒在这几个月来给人留下了好的印象，不久圣罗马皇帝鲁道夫就委任他为接替第谷的皇家数学家。开普勒在余生一直就任此职。

作为第谷·布拉赫的接班人，开普勒认真地研究了第谷多年对行星进行仔细观察所做的大量记录。第谷是望远镜发明以前最后一位伟大的天文学家，也是世界上前所未有的最仔细、最准确的观察家，因此他的记录具有十分重大的价值。开普勒认为通过对第谷的记录做仔细的数学分析，可以确定哪个行星运动学说是正确的：哥白尼日心说，古老的托勒密地心说，或许是第谷本人提出的第三种学说。但是经过多年煞费苦心的数学计算，开普勒发现第谷的观察与这种三学说都不符合，他的希望破灭了。

他在1609年发表的伟大著作《新天文学》中提出了他的前两个行星运动定律。行星运动第一定律认为每个行星都在一个椭圆形的轨道上绕太阳运转，而太阳位于这个椭圆轨道的一个焦点上。行星运动第二定律认为行星运行离太阳越近则运行就越快，行星的速度以这样的方式变化：行星与太阳之间的连线在等时间内扫过的面积相等。十年后，开普勒发表了他的行星运动第三定律：行星距离太阳越远，它的运转周期越长；运转周期的平方与到太阳之间距离的立方成正比。

开普勒定律对行星绕太阳运动做了一个基本完整、正确的描述，解决了天文学的一个基本问题。这个问题的答案曾使像哥白尼、伽利略这样的天才都感到迷惑不解。当时开普勒没能说明按其规律在轨道上运行的原因，到17世纪后期才由艾萨克·牛顿阐明清楚。牛顿曾说过：“如果说我比别人看得远些的话，是因为我站在巨人的肩膀上。”开普勒无疑是他所指的巨人之一。

1.1.4 牛顿三大定律和万有引力定律

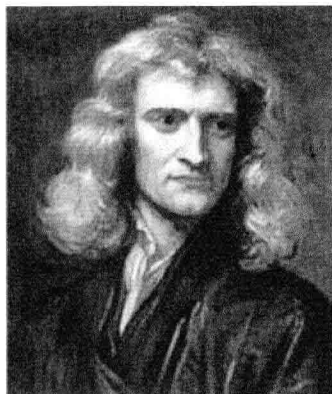


图1-4 艾萨克·牛顿

1687年，英国著名物理学家、数学家、天文学家、自然哲学家艾萨克·牛顿（图1-4）出版了《自然哲学的数学原理》一书，这部里程碑式的著作标志着经典力学体系的正式建立。牛顿在人类历史上首次用一组普适性的基础数学原理——牛顿三大运动定律和万有引力定律——来描述宇宙间所有物体的运动。牛顿放弃了物体的运动轨迹是自然本性的观点（例如开普勒认为行星运动轨道本性就是椭圆的），相反，他指出，任何现在可观测到的运动以及任何未来将发生的运动，都能够通过它们已知的运动状态、物体质量和外加作用力，并使用相应原理进行数学推导计算得出。

伽利略、笛卡尔的动力学研究（“地上的”力学），以及开普勒和法国天文学家布里阿德在天文学领域的研究（“天上的”力学）都影响着牛顿对自然科学的研究（布里阿德曾特别指出从太阳发出到行星的作用力应当与距离成平方反比关系，虽然他本人并不认为这种力真的存在）。1673年，惠更斯独立提出了圆周运动的离心力公式（牛顿在1665年曾用数学手段得到类似公式），这使得当时的科学家能够普遍从开普勒第三定律推导出平方反比律。罗伯特·胡克、爱德蒙·哈雷等人由此考虑了在平方反比力场中物体运动轨道的形状，1684年哈雷向牛顿请教了这个问题，牛顿随后在一篇9页的论文（后世普遍称作《论运动》）中做了解答。在这篇论文中，牛顿讨论了在有心平方反比力场中物体的运动，并推导出了开普勒行星运动三定律。其后牛顿发表了他的第二篇论文《论物体的运动》，在这篇论文中他阐述了惯性定律，并详细讨论了引力与质量成正比、与距离平方成反比的性质，以及引力在全宇宙中的普遍性。这些理论最终都汇总到牛顿在1687年出版的《原理》一书中，牛顿在书中列出了公理形式的三大运动定律和导出的六个推论（推论1、2描述了力的合成和分解、运动叠加原理，推论3、4描述了动量守恒定律，推论5、6描述了伽利略相对性原理）。由此，牛顿统一了“天上的”和“地上的”力学，建立了基于三大运动定律的力学体系。

牛顿的原理（不包括他的数学处理方法）引起了欧洲大陆哲学家们的争议，他们认为牛顿的理论对物体运动和引力缺乏一个形而上学的解释，因而是不可接受的。从1700年左右开始，大陆哲学和英国传统哲学之间产生的矛盾开始升级，裂痕开始增大，这主要是源于牛顿与莱布尼兹各自的追随者就谁最先发展了微积分所展开的唇枪舌战。起初莱布尼兹的学说在欧洲大陆更占上风（在当时的欧洲，除了英国以外，其他地方都主要使用莱布尼兹的微积分符号），而牛顿个人则一直为引力缺乏一个哲学意义的解释而困扰，但他在笔记中坚持认为不再需要附加任何东西就可以推论出引力的实在性。18世纪之后，大陆的自然哲学家逐渐接受了牛顿的这种观点，对于用数学描述的运动，开始放弃作出本体论的形而上学解释。



热学的发展史

1.2.1 热功当量和热力学第一定律

热学起源于人们对热现象的概念和本性的研究，热和温度的概念是在伽利略发明了温度计之后逐渐理清的。而人们最初对热的本性的认知，可以用所谓“热质说”来概括，即热是一种会从高温物体流向低温物体的物质，同时根据实验结果，热这种物质没有质量，它被称作“卡路里”。热质说能解释很多热现象，但到了18世纪末，英国的伦福德伯爵在慕尼黑兵工厂领导钻制大炮的工作时，发现“铜炮在钻了很短一段时间后就会发生大量的热，而被钻头从炮上钻出来的铜屑更热（像我用实验所证实的，发现它们比沸水还要热）”。伦福德认为“在这些实验中由摩擦所生的热的来源似乎是无穷无尽的”，因此他认为热“绝不能是具体的物质”。在当时力学的发展已经使人们对能量的转化与守恒有了初步的理解，特别是笛卡尔的运动不灭理论和莱布尼兹的“活力守恒原理”，认为 mv^2 这个代表“活力”的量在运动中是守恒的。德国医生、物理学家尤利奥斯·迈耶在工作中受到启发，在1841年发表了他关于热是机械能的一种形式的猜测，还进一步将这个理论推广到不同形式能量之间的转化中，归纳出能量的守恒性。他的陈述“能量既不能被产生也不能被消灭”在今天被看做热力学第一定律最早的表述形式之一。与此同时，英国实验物理学家、酿酒师詹姆斯·焦耳（图1-5）则从实验上验证了热是能量的一种形式的猜想，并在1843年给出了热功当量的实验测得值。德国物理学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹同样从“活力守恒原理”出发，进而将能量的转化与守恒推广到机械运动以外的各种过程中，这些研究成果发表在其1847年的论文《力的守恒》中。

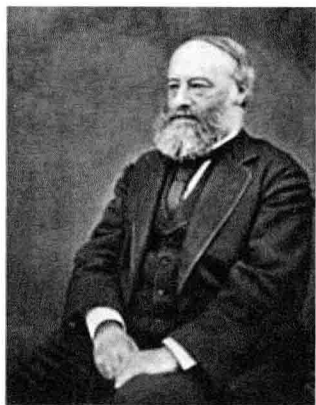


图1-5 詹姆斯·焦耳

在这些理论和实验研究的基础上，德国物理学家鲁道夫·克劳修斯（图1-6）于1850年给出了热力学第一定律的数学形式，其后这一定律在英国物理学家开尔文勋爵等人的修订下成为物理学中的一条基本定律。

热力学第一定律：

在热力学中，系统发生变化时，从外界吸收的热量为 Q （吸热为正，放热为负），系统对外界做的功为 W （系统对外做功为正，外界对系统做功为负），系统内能的改变量为 ΔE （内能增加为正，内能降低为负），则它们之间的关系为 $Q = \Delta E + W$ 。

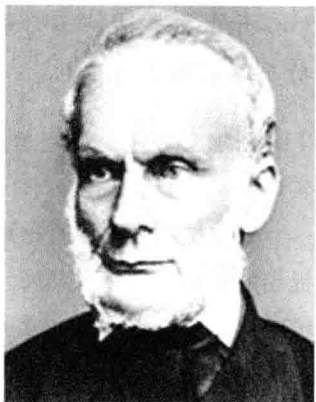


图1-6 鲁道夫·克劳修斯

自然界中的一切物体都具有能量，能量有各种不同形式，它能从一种形式转化为另一种形式，从一个物体传递给另一个物体，在转化和传递过程中能量的总和不变。能量是永恒的，不会被制造出来，也不会被消灭。但是热能可以转化成动能，而动能还能够再转化成热能。普遍的能量转化和守恒定律是一切涉及热现象的宏观过程中的具体表现。热力学第一定律是对能量守恒和转换定律的一种表述方式。

1.2.2 热机效率和热力学第二定律

热力学第二定律的建立源于人们试图提升热机效率的探索。法国物理学家、工程学家尼古拉·卡诺研究了一个由两个等温过程和两个绝热过程组成的理想可逆热力学循环（卡诺循环），并得出结论：“热机的效率只与两个热源的温度有关，而与热机的工质无关。任何热机的效率都不能高于可逆热机的效率。”卡诺的结论被看做热力学第二定律的前身，这一成果后来被开尔文采用，利用卡诺热机只与温度有关而与工质无关的特性建立了绝对温标。

英国物理学家开尔文（原名汤姆逊）在研究卡诺和焦耳的工作时，发现了某种不和谐：按照能量守恒定律，热和功应该是等价的，可是按照卡诺的理论，热和功并不是完全相同的，因为功可以完全变成热而不需要任何条件，而热产生功却必须伴随有热向冷的耗散。他在 1849 年的一篇论文中说：“热的理论需要进行认真改革，必须寻找新的实验事实。”同时代的克劳修斯也认真研究了这些问题，他敏锐地看到不和谐存在于卡诺理论的内部，他指出卡诺理论中关于热产生功必须伴随着热向冷的传递的结论是正确的，而热的量（即热质）不发生变化则是不对的。克劳修斯在 1850 年发表的论文中提出，在热的理论中，除了能量守恒定律以外，还必须补充另外一条基本定律：“没有某种动力的消耗或其他变化，不可能使热从低温转移到高温。”这条定律后来被称作热力学第二定律。

今天我们公认的热力学第二定律与其他很多物理定律不同的是，它有两种不同的但是本质一致的表述，这是物理学中不常见的，但又是如此合理的、美丽的一种现象。

热力学第二定律：

克劳修斯表述：不可能把热量从低温物体传向高温物体而不引起其他变化。

开尔文表述：不可能制成一种循环动作的热机，从单一热源取热，使之完全变为功而不引起其他变化。

开尔文表述是从能量消耗的角度说的。开尔文表述还可以表述成：第二类永动机不可能实现。

开尔文的表述更直接地指出了第二类永动机的不可能性。所谓第二类永动机，是指某些人提出的例如制造一种从海水吸取热量，利用这些热量做功的机器。这种想法，并不违背能量守恒定律，因为它消耗海水的内能。大海是如此广阔，整个海水的温度只要降低一点点，释放出的热量就是天文数字。对于人类来说，海水是取之不尽、用之不竭的能量源泉，因此这类设想中的机器被称为第二类永动机。而从海水吸收热量做功，就是从单一热源吸取热量使之完全变

成有用功并且不产生其他影响。开尔文的表达指明这是不可能实现的，也就是第二类永动机是不可能实现的。

1.2.3 分子运动论

最早尝试建立分子运动论的人是瑞士数学家欧拉，他于1729年曾假设空气由大量旋转的球形分子构成，并且在任意温度下分子速率都相同。从这个假设出发，他推导出气体压强和密度成正比，也就相当于在理论上证明了波义耳定律。而荷兰—瑞士物理学家丹尼尔·伯努利在1738年出版的《水力学》一书中指出，气体中存在大量沿不同方向运动的分子，这些分子对容器表面的冲击效应构成了宏观上的气体压强，他同样从分子运动得到了更具普遍意义的压强公式。然而这些观点在当时并未被接受，原因之一是在当时能量的转化与守恒定律还没有广为人知。这种情况一直持续到1856年，德国化学家克里尼希创建了一个简单的气体分子平动模型，由此可以导出理想气体状态方程。

1857年，克劳修斯在独立于克里尼希理论的情况下，用自己的语言建立了一个相似但更为复杂的分子运动理论，其中不但考虑了气体分子的平动，同时还考虑了转动和振动。在这一理论中，克劳修斯引入了研究分子运动论的统计思想，建立了气体分子的平均自由程这一概念。不过，克劳修斯的理论只是使用了分子的平均速率，没有考虑到实际气体分子的速率实则呈现出一个分布函数。1859年，英国物理学家詹姆斯·麦克斯韦（图1-7）在阅读了克劳修斯的论文后，在论文《气体动力理论的说明》一文中建立了气体分子速率的麦克斯韦分布，这一分布函数描述了在特定速率范围内分子数量所占比例。这一定律是物理学中第一个基于统计规律的物理定律。



图1-7 詹姆斯·麦克斯韦

1.2.4 统计力学的建立

在麦克斯韦发表分子速率分布理论之后，奥地利物理学家路德维希·玻尔兹曼（图1-8）受其启发开始了对分子运动论的研究。他指出，分子运动理论必须依靠统计手段来建立，并通过修订麦克斯韦分布于1871年得到了气体分子在势场中的速率分布函数，这被称作玻尔兹曼分布或麦克斯韦—玻尔兹曼分布，是经典统计力学中最基本的分布函数。1872年，玻尔兹曼在论文《气体分子热平衡的进一步研究》中证明，非麦克斯韦分布的气体分子随着时间的推移必将趋向麦克斯韦分布，这也就是所谓H定理，是熵增原理在非平衡态下的推广。H定理指出了过程的方向性，从而引出了所谓“可逆性佯谬”的争议：微观上分子的碰撞是可逆的，为何宏观上的整体效果却是不可逆的？玻尔兹曼针对这个问题研究了热力学第二定律的统计诠释。他指出，如果能把所有分子的微观运动同时反向，则确实可以回到初始状态，然而在实际中这



图1-8 路德维希·玻尔兹曼

种可能性几乎为零，绝大多数状态都是平衡态，因此在宏观统计规律上表现为熵总是增加的。也就是说，热力学第二定律是一条几率的定律，它的结论不能由一条动力学方程来检验。玻尔兹曼证明了熵和系统的热力学概率的自然对数成正比，这成为玻尔兹曼熵的定义。热力学第二定律在统计诠释下可表述为：“孤立系统的熵对应着系统分子的热力学概率，并总是趋向最大值。”

在麦克斯韦和玻尔兹曼引入统计诠释之前，热力学始终是基于一组唯象学定律基础之上的。美国物理学家约西亚·吉布斯在麦克斯韦和玻尔兹曼思想的基础上建立了统计力学，从而能够用力学定律和统计方法来从本质上精确描述热力学定律。吉布斯的统计力学引入了系综的概念，并以刘维尔定理作为统计力学的基本方程，求解热力学宏观量实则就是求解系综在相空间中的几率分布（配分函数）。统计力学通过统计诠释建立了热力学定律与分子运动论之间的内在联系，至此成为物理学中又一个完备的理论体系。



电磁学的发展史

1.3.1 电磁学的历史背景

静电和静磁现象很早就被人类发现，由于摩擦起电现象，英文中“电”的语源来自希腊文“琥珀”一词。然而真正对电磁现象的系统研究则在16世纪以后，并且静电学的研究要晚于静磁学，这是由于难以找到一个能产生稳定静电场的方法，这种情况一直持续到1660年摩擦起电机被发明出来。18世纪以前，人们一直采用这类摩擦起电机来研究静电场，代表人物如本杰明·富兰克林，人们在这一时期主要了解到了静电力的同性相斥、异性相吸的特性，静电感应现象以及电荷守恒原理。

1.3.2 静电学和库仑定律

库仑定律是静电学中的基本定律，其主要描述了静电力与电荷电量成正比，与距离的平方反比关系。人们曾将静电力与在当时已享有盛誉的万有引力定律进行类比，发现彼此在理论和实验上都有很多相似之处，包括实验观测到带电球壳内部的球体不会带电，这和有质量的球壳内部物体不会受到引力作用（由牛顿在理论上证明，是平方反比力的一个特征）的情形类似。期间，苏格兰物理学家约翰·罗比逊（1759年）和英国物理学家亨利·卡文迪什（1773年）等人都通过实验验证了静电力的平方反比律，然而他们的实验却迟迟不为人知。法国物理学家夏尔·奥古斯丁·库仑（图1-9）于1784—1785年间进行了他著名的扭秤实验，其实验的主要目的就是为了证实静电力的平方反比律，因为他认为“假说的前一部分无需证明”，也就是说

他已经先验性地认为静电力必然和万有引力类似，和电荷电量成正比。扭秤的基本构造为：一根水平悬于细金属丝的轻导线两端分别置有一个带电小球 A 和一个与之平衡的物体 P，而在实验中小球 A 的附近放置同样大小的带电小球 B，两者的静电力会在轻导线上产生扭矩，从而使轻杆转动。通过校正悬丝上的旋钮可以将小球调回原先位置，则此时悬丝上的扭矩等于静电力产生的力矩。如此，两者之间的静电力可以通过测量这个扭矩、偏转角度和导线长度来求得。



图1-9 夏尔·奥古斯丁·库仑

库仑定律：

对同样材料的金属导线而言，扭矩的大小正比于偏转角度、导线横截面直径的四次方，且反比于导线的长度……

库仑在其后的几年间也研究了磁偶极子之间的作用力，得出了磁力也具有平方反比律的结论。不过，他并未认识到静电力和静磁力之间有何内在联系，而且他一直将电力和磁力吸引和排斥的原因归结于假想的电流体和磁流体——具有正和负区别的，类似于“热质”一般的无质量物质。

静电力的平方反比律确定后，很多后续工作都是同万有引力类比之后顺理成章的结果。1813年，法国数学家、物理学家西莫恩·德尼·泊松指出拉普拉斯方程也适用于静电场，从而提出泊松方程；其他例子还包括静电场的格林函数（乔治·格林，1828年）和高斯定理（卡尔·高斯，1839年）。

1.3.3 对稳恒电流的研究

18世纪末，意大利生理学家路易吉·伽伐尼发现蛙腿肌肉接触金属刀片时会发生痉挛，于是他认为生物中存在着一种所谓“神经电流”。意大利物理学家亚历山德罗·伏打对这种观点并不赞同，他对这种现象进行研究后认为这不过是外部电流的作用，而蛙腿肌肉只是起到了导体的连接作用。1800年，伏打将锌片和铜片夹在用盐水浸湿的纸片中，得到了很强的电流，这称作伏打电堆；而将锌片和铜片浸入盐水或酸溶液中也得到相同的效果，这称作伏打电池。伏打电堆和电池的发明为研究稳恒电流创造了条件。

1826年，德国物理学家格奥尔格·欧姆（图1-10）从傅立叶对热传导规律的研究中受到启发。在傅立叶的热传导理论中，导热杆中两点的热流量正比于这两点之间的温度差。因而，欧姆猜想电传导与热传导相似，导线中两点之间的电流也正比于这两点间的某种驱动力（欧姆称之为电张力，即现在所称的电动势）。欧姆首先尝试用电流的热效应来测量电流强度，但效果不甚精确，后来欧姆利用了丹麦物理学家汉斯·奥斯特发现的电流的磁效应，结合库仑扭秤构造了一种新型的电流扭秤，让导线和连接的磁针平行放置，当导线中通过电流时，磁针的偏转角与导线中的电流成正比，即代表了电流的大小。欧姆测量得到的偏转角度（相当于电流强度）与



图1-10 格奥尔格·欧姆

电路中的两个物理量分别成正比和反比关系，这两个量实际相当于电动势和电阻。欧姆于1827年发表了著作《直流电路的数学研究》，明确了电路分析中电压、电流和电阻之间的关系，极大地影响了电流理论和应用的发展，在这本书中首次提出的电学定律也因此被命名为欧姆定律。

库仑发现了磁力和电力一样遵守平方反比律，但他没有进一步推测两者的内在联系。然而人们在自然界中观察到的电流的磁现象（如富兰克林在1751年发现放电能将钢针磁化）促使着他们不断地探索这种联系。首先发现这种联系的人是丹麦物理学家奥斯特，他本着这种信念进行了一系列有关的实验，最终于1820

年发现接通电流的导线能对附近的磁针产生作用力，这种磁效应是沿着围绕导线的螺旋方向分布的。

1.3.4 安培的电磁学定理



图1-11 安德烈·玛丽·安培

在奥斯特发现电流的磁效应之后，法国物理学家让-巴蒂斯特·毕奥和费利克斯·萨伐尔进一步详细研究了载流直导线对周围磁针的作用力，并确定其磁力大小正比于电流强度，反比于距离，方向垂直于距离连线，这一规律被归纳为著名的毕奥-萨伐尔定律。而法国物理学家安德烈-玛丽·安培（图1-11）在奥斯的发现仅一周之后（1820年9月），就向法国科学院提交了一份更详细的论证报告，同时还论述了两根平行载流直导线之间磁效应产生的吸引力和排斥力。在这期间安培进行了四个实验，分别验证了两根平行载流直导线之间作用力方向与电流方向的关系、磁力的矢量性，确定了磁力的方向垂直于载流导体以及作用力大小与电流强度和距离的关系。安培还在数学

上对作用力进行了推导，得到了普遍的安培力公式，这一公式在形式上类似于万有引力定律和库仑定律。1821年，安培从电流的磁效应出发，设想了磁效应的本质正是电流产生的，从而提出了分子环流假说，认为磁体内部分子形成的环形电流就相当于一根根磁针。1826年，安培从斯托克斯定理推导得到了著名的安培环路定理，证明了磁场沿包围产生其电流的闭合路径的曲线积分等于其电流密度，这一定理成为了麦克斯韦方程组的基本方程之一。安培的工作揭示了电磁现象的内在联系，将电磁学研究真正数学化，成为物理学中又一大理论体系——电动力学的基础。麦克斯韦称安培的工作是“科学史上最辉煌的成就之一”，后人称安培为“电学中的牛顿”。