



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

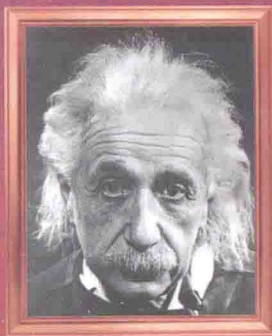
第2版

大学物理

University Physics

(上册)

王莉 徐行可 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理 (上册)

第2版

主编 王 莉 徐行可
参编 张 晓 张星辉 彭海东
主审 黄瑞霖

机械工业出版社

本教材是教育部评定的“十一五”国家级规划教材。本教材立足素质教育，突出科学思想和科学方法，以对称性、整体论的概念和方法贯穿始终；加大教学内容现代化力度，强化作为20世纪物理学主要成果，现代物理思想方法载体和新技术基础的相对论、量子力学、非线性物理内容。全书分上、下两册，依照物理模型建立概念间的逻辑联系；在上册中讨论宏观粒子和多粒子体系，在下册中讨论场和微观粒子。

本教材可作为理工科大学非物理专业的物理教材，也可以作为专科院校、函授教学师生的教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

大学物理·上册/王莉，徐行可主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2006.10

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 7-111-10059-X

I. 大… II. ①王…②徐… III. 物理学-高等学校-教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 124654 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：季顺利 版式设计：冉晓华 责任校对：李秋荣
封面设计：王伟光 责任印制：杨曦
北京机工印刷厂印刷
2007 年 1 月第 2 版·第 1 次印刷
169mm×239mm·10.125 印张·391 千字
定价：22.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68326294
编辑热线（010）88379711
封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材是按教育部非物理专业教学指导委员会组织制定的大学物理教学基本要求组织编写的。我们认为，物理教育是培养学生科学素质的教育。《大学物理》课程的教学目标在于让学生认识关于物质结构和物质运动的基本概念和普遍规律，建立较完整的物质世界图像和科学的世界观；培养学生勇于探索、求实创新的科学精神；帮助学生掌握科学方法，提高分析和解决问题的能力，从而为学生的持续发展打好基础。基于这样的认识，本教材的编写思路是：

一、突出科学思想和科学方法教育。在第一篇“物质世界”中即介绍在现代物理中占有重要地位的对称性思想方法，然后按微观—宏观—宇观层次阐述对物质世界基本结构的认识，从“理”和“物”两方面建立物质世界的总体图像，并以对称性、整体论的概念和方法贯穿始终。

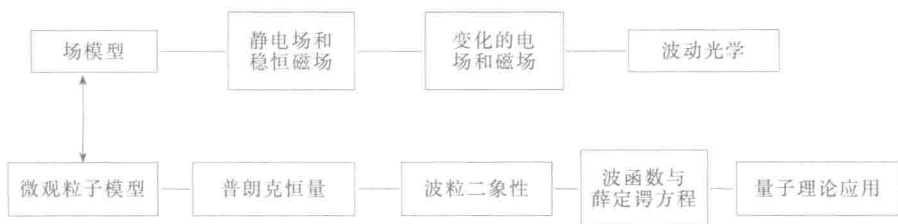
二、加大教学内容现代化力度，强化作为 20 世纪物理学的主要成果，现代物理思想方法载体和新技术基础的相对论、量子力学、非线性物理内容。在用基础课风格讲授近代物理内容时遵循“观念更新、难点突破、重在概念、拓宽视野”的教学原则。

三、用现代物理观念审视经典物理内容。例如，经典力学部分以“时空对称性与守恒定律”为主题，经典电磁学部分以“场和场的描述”为主题，并突出其与现代工程技术的密切联系。

四、建立科学的教材结构。我们依照模型来建立概念间的逻辑联系：在上册中讨论宏观粒子和多粒子体系，在下册中讨论场和微观粒子。教材结构框图如下：



上册教材结构框图



下册教材结构框图

本书的编写人员是：绪论、第一篇：徐行可、张晓；第二篇：徐行可、张星辉、彭海东；第三篇：徐行可；第四篇：王莉、张星辉；第五篇：王祖源、彭海东、钟晓春、荣健；第六篇：张庆福、王祖源。教材上册由王莉、徐行可统稿；下册由王祖源、张庆福统稿。全书由黄瑞霖教授审阅。

为巩固、提高学生学习的效果，我们编辑出版了《大学物理学习指导与解题指南》；为便于老师讲授本教材，编辑出版了《大学物理多媒体电子教案》。

大学物理内容体系改革是一项需要不断努力、反复实践的艰巨课题。我们所做的工作还很不成熟，加上编者自身水平的局限，缺点、错误在所难免，期望得到专家、同行和读者的批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1

第一篇 物质世界

第一章 对称性与对称破缺	5
第一节 对称性和对称性原理	5
第二节 对称性与守恒定律	11
第三节 对称性的自发破缺	14
第二章 物质世界的结构层次	18
第一节 基本粒子及其相互作用	18
热点浅谈 超对称统一理论 超弦	25
第二节 物态及相变	26
第三节 宇宙	38
参考文献	48

第二篇 运动和守恒定律

第三章 运动的描述	49
第一节 质点和刚体 参考系和坐标系	49
第二节 运动的描述	53
第三节 运动学的两类基本问题	69
思考题和习题	73
第四章 力学中的守恒定律	76
第一节 能量守恒定律	76
第二节 动量守恒定律	86
第三节 角动量守恒定律	93
思考题和习题	106
第五章 机械振动和机械波	110
第一节 简谐振动	110

第二节 弹性系统的振动	121
第三节 机械波的产生、传播和叠加	125
思考题和习题	140
参考文献	145

第三篇 相对论和时空

第六章 狭义相对论	146
第一节 经典时空变换和绝对时空观	146
第二节 狭义相对论的基本原理和时空观	152
第三节 洛仑兹变换 *闵可夫斯基四维时空	161
第四节 狭义相对论力学基础	170
思考题和习题	178
第七章 广义相对论简介	180
第一节 非惯性系中的弯曲时空	180
第二节 广义相对论的基本原理	184
*第三节 广义相对论时空观及实验检验	187
热点浅谈 黑洞	191
第四节 相对论的意义	194
思考题和习题	196
参考文献	198

第四篇 热力学与统计物理

第八章 热力学基本定律	199
第一节 描述热力学系统的基本概念	199
第二节 温度 热力学温标	201
第三节 热力学第一定律及其应用	204
第四节 循环过程 卡诺循环	212
第五节 热力学第二定律	218
第六节 熵 熵增加原理	224
思考题和习题	228
第九章 热平衡统计分布规律	231
第一节 统计方法的基本概念	231
第二节 气体分子动理论 理想气体压强与温度	235

第三节 系统微观状态的描述	239
热点浅谈 熵与信息	247
第四节 经典统计分布规律及其应用	249
思考题和习题	263
第十章 非平衡过程	265
第一节 近平衡态弛豫与输运过程	265
第二节 远离平衡态的非线性非平衡过程	273
* 第三节 非线性科学简介	281
思考题和习题	301
参考文献	303
附录	304
附录 A 国际单位制及常用物理常数	304
附录 B 能均分定律和麦克斯韦速率分布律的推导	307
附录 C 习题参考答案	309

绪 论

在绪论中要解决什么是物理学、为什么要学习物理学以及怎样学习物理学这三个方面的问题。

一、物理学是研究物质的基本结构、基本相互作用和基本运动规律的科学

人生活在自然中,我们把不依赖人的意识而独立存在的客观实在称为物质。作为智慧生物,人类渴望理解物质世界:认识其现象,寻求其规律。在不懈追求和探索过程中,形成了天文学、物理学、化学、生物学等等。其中,物理学着重研究物质世界最具普遍性的现象和规律,即物质的基本结构、基本相互作用和基本运动规律。因此,物理学是一切自然科学的基础。

以时间为线索,物理学的发展大致分为以下几个时期:

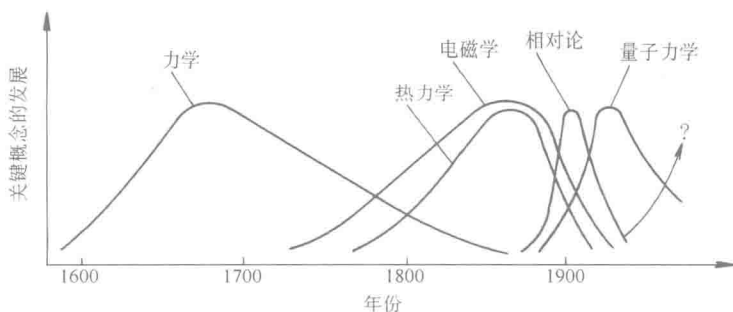
公元1600年以前:物理学的前科学时期。包括古希腊自然哲学和中国古代物理学的成果,以及哥白尼、开普勒等在天文学上的成就。

1600~1900年:经典物理学时期。伽利略首创实验、物理思维、数学演绎相结合的科学方法标志着物理学作为一门系统性定量科学的诞生。随着经典力学、电磁学、热力学和统计物理学的相继建立,整个经典物理学全面发展并得到完善。

1900~1950年:近代物理时期。相对论和量子力学诞生并发展。传统的时空观、因果规律等概念框架发生了根本变化。

1950年至今:现代物理时期。实验规模空前提高。粒子物理、凝聚态物理、天体物理等迅速发展。一方面形成了一系列新的分支学科,另一方面与其他学科相互交叉渗透,开创了许多研究新领域。广义相对论与量子力学结合还可能产生重大新理论。

从下图可以看出,物理学的发展越来越快,新理论形成的周期越来越短。



物理学具有以下特征：

1. 物理学是一门理论和实验相结合的科学

物理学是理论与实验高度结合的科学。按照实践—理论—实践的认识规律，物理实验为理论提供事实和资料并检验理论是否正确；物理理论对实验结果进行归纳并指导实验的方向和进程，理论在技术上的应用还促使实验仪器和方法不断改进，实验精度不断提高。在现代物理中，由于涉猎范围远离人类日常生活经验，通过物理学家主观猜测、演绎推理来提出假说的方法逐渐取代了牛顿时代的经验观察和逻辑归纳方法。这些在假说基础上建立的理论体系必须具有可检验性，即可以通过实验来证实或证伪。现代物理的研究方式为：从前期实验或理论研究中提炼出命题——由科学观念出发提出假说，建立原理——由原理导出逻辑结论，预言可观测事实——对可观测事实进行实验检验——对理论进行修正。

作为一门科学，物理学本质上是以实验为依据的，一切理论最终要经受观测或实验事实的检验来决定取舍。这要求实验行为可以重复，实验结果可以再现，即科学实验的结果不能因时而异、因地而异和因人而异。由此要求相应的理论具有时间平移不变性，空间平移和旋转不变性，以及参考系等价性。物理学称这些不变性为时空对称性和协变性。

2. 物理学用“模型”回答问题

自然现象是错综复杂的。物理学采用科学抽象和简化的方法，对各种问题选取在该问题中起主要作用的因素，摒弃次要因素，经过抽象和类比建立理想模型，并以所建立的模型为研究对象，寻求其中的规律。理想模型包括理想客体和理想过程：质点、刚体、弹簧振子、理想气体、点电荷、绝对黑体……都是理想客体；而匀速直线运动、简谐振动、准静态过程、卡诺循环……都是理想过程。长期以来，由于物理学在对自然的理性研究和工程技术应用中取得巨大成功，人们倾向于相信物理概念和物理规律就是自然本身的实在性质。其实，物理学中的概念和规律都只是描述理想客体在一定的理想化过程中的性质和行为，它们与客观实在世界不是完全同一的。物理规律都有一定的条件和适用范围。在模型成立的范围内，可以应用模型发现同类型问题的共同规律；在模型成立的范围之外，发现模型的局限性并致力于寻求更好的模型。“建模”是人类为探索未知世界而发明的最有效的认知策略，物理学是通过不断修正旧模型、建立新模型来逐渐逼近真实世界的。

3. 物理学是一门定量科学

物理学成功地运用数学方法，成为一门严密的定量科学。数学具有抽象、精确、应用广泛的特征。物理概念、规律采用数学语言得到简洁、准确的表达，物理模型借助于数学形式描述。数学为物理提供有效的逻辑推理和定量计算方法，成为物理思维必不可少的工具。可以说，物理学一方面不断地对数学提出新课题，促

进数学的发展，另一方面又依靠数学成果发展自身。微积分用于力学，概率论用于统计物理，群论用于量子力学、粒子物理，黎曼几何用于广义相对论，都是取得巨大成功的范例。

4. 物理学的哲学基础是辩证唯物主义

物理学研究自然界最基本、最普遍的运动规律，因此与哲学有着密切的关系。在牛顿时代，物理学就被称为自然哲学。物理学坚信有一个独立于知觉主体而存在的客观实在世界，这个客观世界是可以被认识的，这是唯物论的基本立场。物理学的认识论和方法论充满了辩证法。物理学发展历程也是唯物论战胜唯心论、辩证法战胜机械观的历程。物理学对物质世界奥秘的探索是无止境的。在这个过程中，辩证唯物主义哲学不断从物理新成果中吸取营养，同时指导着物理学前进。

二、物理学与工程技术

物理学具有广泛的适应性，不但是自然科学的基础，而且是工程技术的基础。人类历史上三次技术革命都与物理学的发展和應用密切相关。

第一次工业革命（17~18世纪）：建立在经典力学和热力学发展的基础上，其标志是以蒸汽机为代表的一系列机械的产生和应用。

第二次工业革命（19世纪）：建立在电磁理论发展的基础之上，其标志是发电机、电动机、电信设备的出现和应用。

第三次工业革命（20世纪）：建立在相对论和量子论发展的基础之上，其特点是以微电子技术为代表的一系列新学科、新材料、新能源、新技术的兴起和发展。

从历史上看，物理学与技术的关系有两种典型模式：第一种为技术—物理—技术，这种模式突出地反映在热机应用和热力学发展的关系之中。第二种为物理—技术—物理，这种模式突出地反映在电磁理论和电气化技术的关系之中。20世纪以来，这两种模式并存，并主要按第二种模式进行：物理学为新技术提供科学原理，并指导技术路线的选择和技术方案的改善；技术作为科学的产物又反过来成为物理学研究的动力和工具，促进物理学的发展。

随着科学技术的迅猛发展，科技成果转化为生产力的周期越来越短。信息技术、生物技术、空间技术、海洋技术、新材料技术、新能源技术等高新科技为促进人类文明进程作出了重大贡献。同时，科技进步的负面效应也开始显现出来：环境污染、物种灭绝、非再生资源耗尽、人口危机、核战争威胁等人与自然不和谐程度的扩大已成为人类文明进程的障碍。这迫使人类重新认识人与自然的关系。按传统观念，人与自然是主客两分的，人类可以从自身利益出发去利用自然、改造自然、战胜自然。而现代新的自然观认为自然是一个复杂的共生系统，人和其他物种都是这个相互锁定的网的一部分。如果片面强调人类自身的利益，破坏了人类赖以生存的环境，最终将损害人类自身，甚至造成人类文明的倒退和终结。新

的自然观的确立是人类思想史的又一次飞跃，是 20 世纪最伟大的发现之一。用新的自然观指导人类的工程技术活动，要求一切工程技术实践尊重生态规律，讲求环境效益，树立“整体优化”和“可持续发展”的价值观念。

为了适应新技术、开拓新技术，现代科技人员不仅需要扎实的物理基础知识，还需要先进的现代物理科学观念和思想方法。这就是物理学被列为所有工科大学的重点基础课的原因。

三、书山有路“勤”为径，学海无涯“悟”作舟

爱因斯坦说：“发展独立思考和独立判断的一般能力，应当始终放在首位，而不应当把获得专业知识放在首位。如果一个人掌握了他的学科的基础理论，并且学会了独立地思考和工作，他必定会找到他自己的道路，而且比起那种主要以获得细节知识为其培养内容的人来说，他一定会更好地适应进步和变化”。也可以说，学习的价值在于获得自学能力、批判眼光和创新精神。

在学习“大学物理”的过程中要勤于思考。要树立整体性观念：关注物理学各部分之间的联系，发掘贯穿整个物理学的基本观念、概念和方法，建立关于物质世界的整体图像。要树立发展性观念：关注物理概念、规律内涵的深化和外延的拓展，从理论产生、发展的全过程中寻求启迪。要树立迁移性观念：关注物理理论和方法在交叉学科和工程技术中的应用。要树立实践性观念：注重通过观察物理现象，解答物理习题，进行物理实验，撰写小论文等等多种方式巩固知识，提高能力。要不断总结和改进方法，自我评价学习效果，积极主动地学习。

学习“大学物理”不仅仅是学习物理知识，要充分重视领悟其中的科学观念和思想方法。物理知识是会遗忘的，但观念和方法却让人终生受益，指导着我们的学习、生活和创造。

第一篇 物质世界

本篇旨在初步建立物质世界的整体图像。首先介绍现代物理中作为构建理论出发点的对称性概念，然后依照微观—宏观—宇观次序阐述对物质世界基本结构的认识。

第一章 对称性与对称破缺

诺贝尔物理学奖获得者斯蒂芬·温伯格在他的“终极理论之梦”一文中写道：“物理学在 20 世纪取得了令人惊讶的成功，它改变了我们对空间和时间、存在和认识的看法，也改变了我们描述自然的基本语言。在本世纪行将结束之际，我们已拥有一个对宇宙的崭新看法，在这个新的宇宙观中，物质已失去了它原来的中心地位，取而代之的是自然界的对称性。引起这场思想革命的原动力，是探索自然界的终极规律——即对我们的问题——为什么世界是这个样子——的最终回答”。本章介绍有关对称性的基本概念及对称性方法的重要意义。

第一节 对称性和对称性原理

一、对称性和对称群

在日常生活中，我们常常见到具有对称美的建筑、图画、诗歌、对联。而物理学中的对称性比具体事物的对称性更深层次的对称：如果一个操作能使某体系从一个状态变换到另一个与之等价的状态，即体系的状态在此操作下保持不变，则该体系对这一操作对称，这一操作叫做该体系的一个对称操作（变换）。体系的所有对称操作（变换）的集合构成对称群。群中所有对称元素（对应于所有非等效的对称操作）叫做群的阶数。阶数越大，意味着对称性越高。下面举例说明几种常见的对称性。

1. 空间对称性

(1) 旋转对称 在图 1-1-1 中，圆 a 对绕过圆心 O 垂直于纸面的轴旋转任意角度的操作都是对称的，而圆 b 只对转角为 2π 整数倍的操作对称，圆 c 只对转

角为 $\frac{\pi}{2}$ 的整数倍的操作对称。

若一体系绕某个轴每转 $\frac{2\pi}{n}$ 角度后恢复原状，则该轴称为此体系的 n 次旋转对称轴。如图 1-1-1 中圆 b 具有 1 次轴，圆 c 具有 4 次轴，图 1-1-2 中的雪花具有 6 次轴，草木花具有 5 次轴。

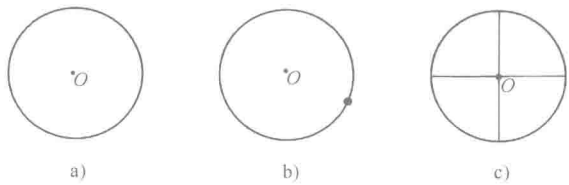


图 1-1-1 圆的旋转对称性

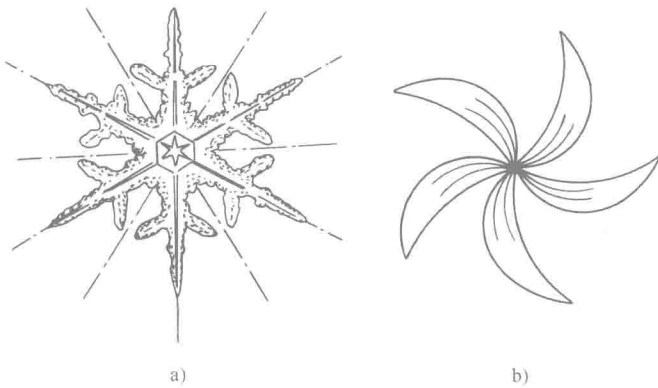


图 1-1-2 雪花与草木花的对称性

a) 雪花 b) 草木花

物理定律具有旋转对称性是指空间各方向对该物理定律等价，没有一个方向具有对于其他方向的任何内在优越性。例如图 1-1-3 所示，在地球上不同纬度处做单摆周期测定，实验仪器方位不同，

但得出的规律 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 不变。

(2) 平移对称 一条无限长直线具有沿自身方向平移的对称性。一个无限大平面具有沿面内任何方向平移的对称性。如果在无限大平面内加上周期性网格，则只有受到特殊限制的平移(沿某些特定方向移动特定步长的整数倍)才构成对称操作，如图 1-1-4 所示。



图 1-1-3 单摆周期定律的旋转对称性

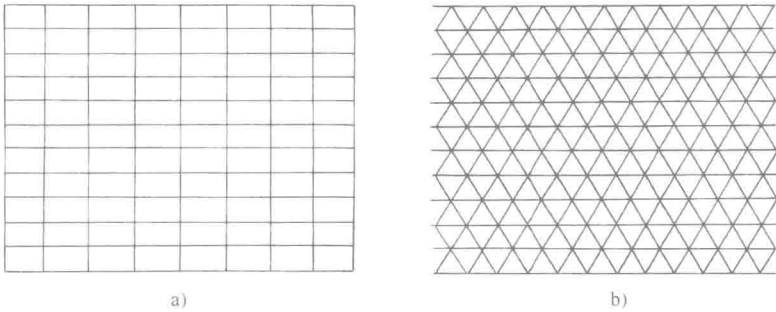


图 1-1-4 平面网格的平移对称性

a) 长方形网格 b) 三角形与六角形网格

物理定律具有平移对称性是指空间的任何位置对物理定律等价，物理实验可以在不同地点重复，实验结果不变。

(3) 镜像对称 镜像反映操作形成镜像对称，即左右对称性。人的左手和右手镜像对称，无论平移或旋转，均不能实现二者间的变换，我们称这样的镜像对称称为手征。用 m 表示镜面，图 1-1-5 表示出一些具有手征性和不具有手征性的情形。

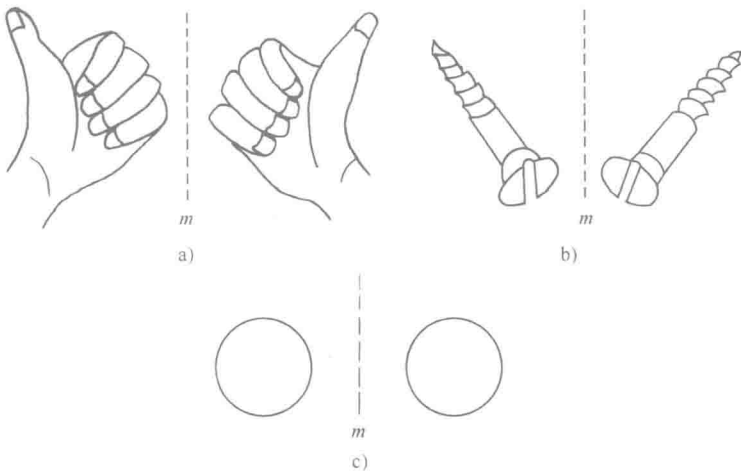
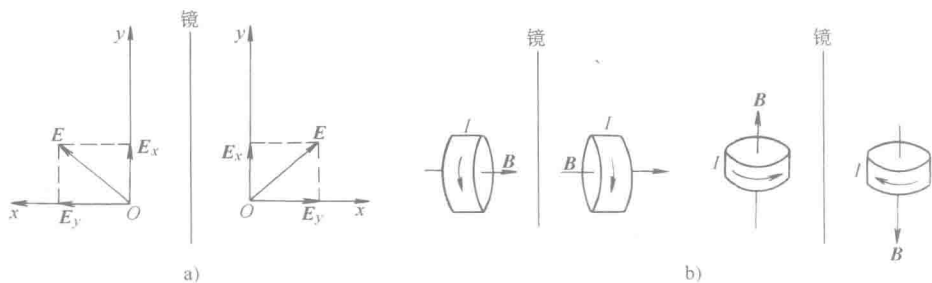


图 1-1-5

a) 左、右手 b) 左、右旋螺钉具有手征性

c) 静止的球体可通过平移与其镜像重合，是非手征性的

图 1-1-6 对电场强度 E 和磁感应强度 B 的镜像反映操作结果进行了比较： E 与镜面垂直的分量反向，而与镜面平行的分量不变，这类矢量叫做极矢量。速度 v 、加速度 a 、力 F 都是极矢量。 B 与镜面垂直的分量方向不变，而与镜面平行的分量反向，这类矢量叫轴矢量。角速度 ω 、力矩 M 都是轴矢量。

图 1-1-6 E 与 B 镜像反映比较a) 电场强度 E b) 磁感应强度 B

如果在镜像世界里的物理现象不违反已知的物理定律，我们就说支配该过程的物理定律是镜像对称的。

镜像对称性可以和旋转对称性共存。在图 1-1-2 中，草木花不具有镜像对称性，而雪花同时具有 6 次旋转轴和 6 个对称镜面，这些对称元素交于一点，我们称雪花的对称群为 $6m$ 点群。从二维平面世界到三维立体世界，对称元素增加，空间对称的情况也更加复杂，其对称群可以分为四面体群、八面体群、二十面体群三类。图 1-1-7 给出了几种分子的对称结构。

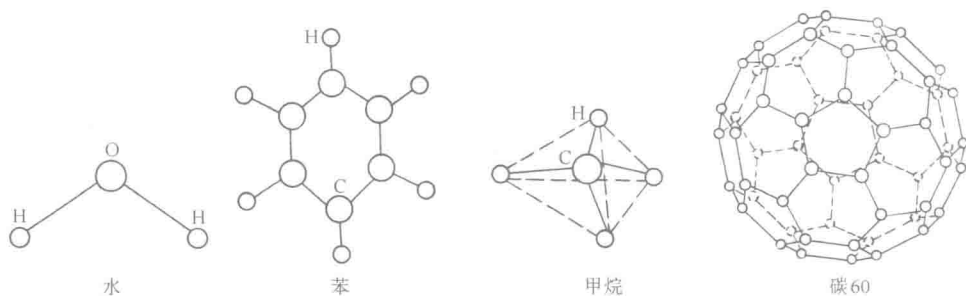


图 1-1-7 几种分子对称结构

2. 时间对称性

(1) 时间平移对称 一个静止或匀速直线运动的物体对任何时间间隔 Δt 的时间平移变换对称，而弹簧振子、单摆等周期性变化的体系只对周期 T 整数倍的时间平移变换对称。

物理定律的时间平移对称性是指该物理定律不随时间流逝发生变化，物理实验是可以在不同时间重复的。

(2) 时间反演对称 将时间 t 换为 $-t$ 的操作叫做时间反演变换，这相当于时间倒流。我们可以设想用录像机摄下物理过程，然后倒过来放映，以判断该过程是否具有时间反演对称性。无阻尼单摆过程的录像在正、反放映时看不出有什么区别；自由落体运动的录像倒放就成为竖直上抛运动，并不违反物理规律，这些

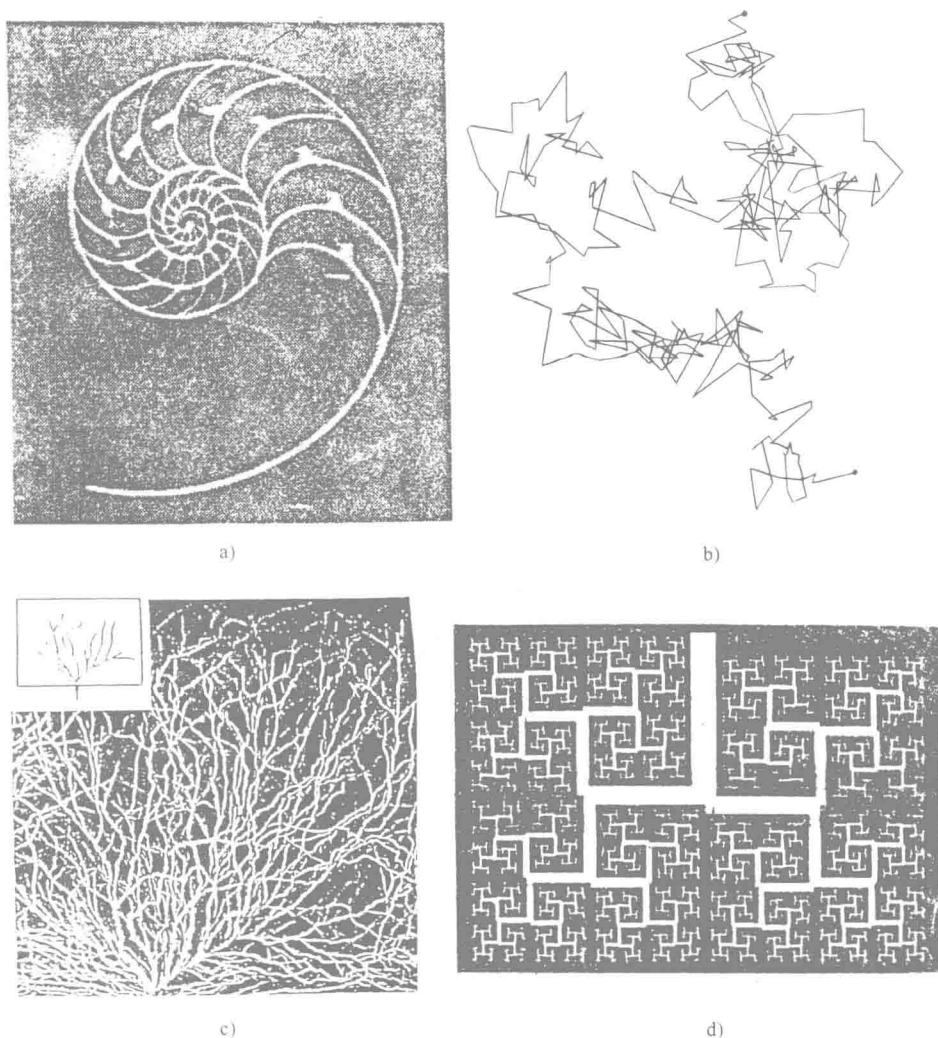


图 1-1-8 标度变换对称性实例

- a) 海螺壳上的等角螺线 b) 布朗运动轨迹
c) 绝缘体电击穿时电子路径 d) 曼德耳布罗特的支气管树的模型

理想情况都具有时间反演对称性。在牛顿运动定律中将 t 换成 $-t$ ，方程仍然成立。根据太阳、月亮所满足的牛顿方程，我们不仅可以准确地推算出将来某年某月某日将观察到日蚀，还可以准确地说明在过去某年某月某日曾经发生过日食。牛顿运动定律是时间反演对称的。

然而，热现象的基本规律不具有时间反演对称性。如果一根与外界绝热的金属杆上最初的温度是不均匀的，我们可以预料它最后一定达到温度均匀分布的平

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com