大 学 物 理

（当代物理前沿专题部分）

第 二 版

蔡 枢 吴铭磊 编

高等教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内容提要

本书由包括诺贝尔物理学奖获得者杨振宁、丁肇中、朱棣文在内的十余名国内外著名物理学家撰写，通过14个专题向读者展现当代物理学前沿领域的重大课题、成就和发展。内容高屋建瓴、条理清晰、语言流畅，富有教益。

本书可供教师为理工科各专业开设物理专题讲座，可供学生作为课外读物，也可供其他学习过物理学的读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理，当代物理前沿专题部分/蔡枢，吴铭磊编. 2版. —北京：高等教育出版社，2004.7
ISBN 7-04-014439-5

Ⅰ.大… Ⅱ.①蔡…②吴… Ⅲ.物理学-高等学校-课外读物 Ⅳ.O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第054750号

策划编辑 陶 铮 责任编辑 田 军 封面设计 刘晓翔 责任绘图 朱 静
版式设计 史新薇 责任校对 殷 然 责任印制

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 http://www.hep.edu.cn
http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本 787×1092 1/16
印 张
字 数

版 次 1996年10月第1版
年 月第2版
印 次 年 月第 次印刷
定 价 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第二版前言

本书第一版是我国同类图书中的第一本，内容涉及 20 世纪末很多物理学前沿领域的成就，因此是一本不太容易读的书。然而在出版后的七年多的时间里，它的读者群竟能在数量和广度上都大大超出我们的想像，还出了繁体字版，与之配套的录像获得了教育部和新闻出版署联合颁发的第二届全国优秀教育音像制品一等奖，这既使我们高兴，也使我们感到压力，更使我们深切感受到广大读者对科学的追求、向往和对优秀科学家的信任、爱戴。

近年来，物理学中各个前沿分支的迅速发展和物理学与其他学科的融合，实质性地深化了人类对自然界的许多认识。对于以反映部分较活跃的物理学前沿领域的主要成就和进展为重要目的的书，及时修订新版也是非常必要的。

在第二版中，大部分原有专题的内容都由原作者做了修订，有些专题的内容完全重新写过，并增加了三个专题。新增的第一个专题是《物理学和生物学》，特邀中国科学院郝柏林院士执笔；另一个是《我所经历的 20 世纪实验物理学》，作者是中国科学院外籍院士丁肇中博士；第三篇是《激光冷却与原子捕陷》，作者是中国科学院外籍院士朱棣文博士。今年适逢人类发现 DNA50 周年，而物理科学与生物科学的互相促进由来已久。回顾近年来科学界公认的、每年的前 10 项科学突破，物理学与生物学的成就之和已占到十之八、九。可见，两大科学以及它们之间的深入合作，已成为 21 世纪初基础自然科学发展的显著标志。物理学家对亚核粒子的研究早已与探索更基本的物理学规律、探索宇宙起源等根本性课题联系到一起。对激光冷却和捕陷原子方面的开拓性研究为实现悬而未决 70 年的玻色－爱因斯坦凝聚，为提高用于空间定位和导航的原子钟的精度、建造可准确测量重力的原子干涉仪并设计出可用于处理极细尺度电子线路的原子激光器，以及为生命科学研究等提供了尖端技术。相信三位著名学者对科学和探索科学的哲理的阐述，一定能使读者大开眼界。在第二版中，我们还根据当年的录像，对中国科学院外籍院士杨振宁博士的两篇文稿做了重要的增补，以满足广大读者通过文字教材感受演讲全貌、亲眼目睹宝贵的文献图片的强烈愿望。

本书的十几位作者在写作上有不同的风格，他们对内容的取舍充分体现了科学家对学科进展的深邃理解。这些作品都是几十年的心血和智慧的凝炼，更有反复诵读才能准确理解其意境的经典之作。这不仅使我们深深感悟到作者高深、广博的科学造诣，也使我们身临其境，越来越感悟到自然与科学之大美。

自然科学是推动人类文明进步的重要的革命性力量。基础自然科学研究与技术研发不可混淆。中国要真正达到全世界新技术革命的前沿，首先要坚定地在基础自然科学研究和相关人才培养方面有长足的进步和坚实的积淀。基础自然科学研究是无止境的，物理学至今仍然是最具挑战性的科学，物理学与相关基础自然科学的融合已成为人类探索和揭示更多深邃和引人入胜的自然奥秘的极为重要的方向。我们坚信，前辈科学家历尽艰辛、无私奉献铸就的科学风范和科学精神以及他们取得的伟大成就，将像灯塔一样，为立志投身于物理学和其他基础自然科学研究的，理想追求、热情勇气、学术智慧、勤奋正派、合作谦逊等等诸多素养俱备的优秀青年指引方向。

我们深深感谢为本书的问世做出突出贡献的许多知名学者。北京大学李椿教授于 1988 年首次向我们建议,把反映物理学前沿进展的专题讲座作为大学基础物理课程的必要内容,对传统基础物理教材提出的如此实质性的建议为后来成功实施奠定了重要基础;清华大学夏学江教授和北京师范大学漆安慎教授等学者与李椿教授一起,认真论证了专题的选题方向,给予我们巨大的支持;中国科学院郝柏林院士、何祚庥院士为选题的确认和作者的选聘提出了特别宝贵的建议和完全正确的方向,使我们对如何做好这项工作有了准确的把握;中国科学院葛墨林院士、中国科学院高能物理研究所陈和生所长和高等教育出版社张小萍编审为聘请国际知名学者提供了非常重要和直接的帮助;中国工程物理研究院院长办公室、中国科学院于敏院士和上海的黄扬武先生提供了非常珍贵的文献照片;中国科学院王淦昌院士和王大珩院士在与本书配套的电视节目中对广大青年努力学好物理科学提出了殷切希望;高等教育出版社杨再石编审、杨祥编审对本书的高度重视和真心支持有力提高了本书在广大读者中的影响;中国科学院学部联合办公室钱文藻先生、上海教育出版社方鸿辉先生、凌荣华先生和上海科学技术出版社潘友星先生、故宫博物院紫禁城出版社的章宏伟先生和蔡治淮女士也都为本书第二版的顺利出版提供了非常重要的支持。我们还要向所有为本书的出版付出辛勤劳动的朋友和热爱科学的读者致敬。

本书特邀天津广播电视大学王芙蓉副教授为中国科学院外籍院士杨振宁博士的两篇文稿做了非常重要和细致的增补工作,对中国科学院外籍院士朱棣文博士的英文演讲录像资料做了准确的翻译和考证整理工作,对各个专题中出现的重要概念和术语做了统一的索引,并根据在教育工艺学、教材编制和前沿专题教学方面的丰富经验对版式设计做了显著调整,以方便读者检索相关内容,并有利于提高阅读速度。

参加本项目工作的三位知名学者的不幸去世使我们极为痛心。他们是中国科学院院士邓锡铭、中国科学院院士汪德昭和中国科学院院士王淦昌。为铭记他们为中华文明的历史性复兴和中华民族的空前强盛所做的杰出贡献,我们将在‘作者简介’中保留对邓锡铭院士和汪德昭院士的介绍。他们对培养广大青年的科学素养所倾注的巨大热情将不断激励我们把本书的编写工作做得更好。

蔡枢　吴铭磊

2003 年 12 月

第一版前言

物理学是研究物质的最基本、最普遍的运动形式以及物质的基本结构的科学。物理学研究的内容极其广泛,其空间尺度从亚核粒子到浩瀚的宇宙,其包容的时间从宇宙诞生到无尽的未来。物理学已取得的成就是极为辉煌的,它本身以及它与各个自然学科、工程技术部门的相互作用深刻地影响着人类对自然的基本认识和人类的社会生活。今天,物理学仍是一门充满生机和活力的科学,它的创造性进展仍日新月异,这既对当代以及未来的高新科技的进步和相关产业的建立与发展提供了巨大的推动力,也对我们为面向21世纪的高级科技人才开设的物理学课程提出了新的要求。实际上,近三四十年来的一些物理学研究的重要成果在现代科技中已属于非常基本的内容,了解这些内容应成为跨世纪的各种建设人才的基本科学素养的一部分。

根据广播电视大学工科培养应用型高级工程技术人才的培养目标,并参照近年来国际上基础物理课程教学改革的趋势,中央广播电视大学物理教研室在从事物理教学与研究的一批国内外著名专家学者的支持和指导下,制定了新的"大学物理"课程教学大纲并编制了多媒体教材《大学物理》。这套教材的文字教材分为四册,即《大学物理(理论核心部分)》,《大学物理(当代物理前沿专题部分)》,《大学物理(实验部分)》和《大学物理学习指导书》。整套教材力求在保持物理学的核心内容系统、完整的同时,教学重心向当代发展较活跃的物理学领域适当移动,以使学生理解自然界的比较完整的物理图象,对当代物理学前沿的重大课题、成就和应用有所了解。

本书为这套教材的当代物理前沿专题部分,共有十个专题十一篇文稿。与之配套的电视演讲为36学时,其中有大量的图片、文献、动画、实物外景和专访等。两种教学媒体充分发挥了各自的优势,内容具有互补性。

应邀为各篇专题教材担任主编和主讲教师的是我国及世界著名的一批物理学家,是我国各个科学领域中的优秀科学家的杰出代表。能做他们的学生使我们深感荣幸。他们不仅为我国的科学事业做了大量的奠基性工作,在物理科学、尖端技术、国防领域和培养高级研究人才方面做出了卓越的、甚至是不朽的贡献,而且对广大青年寄予厚望,对提高青年一代的文化和科学素养倾注了极大的热情。我们谨向他们致以崇高的敬意和衷心的感谢!

邀请一批著名科学家在基础物理课程中高屋建瓴、深入浅出地介绍有关前沿领域的成就和发展是一次尝试。虽然我们尽量精简繁难的数学推导,同学们在学习时仍有可能受到一些抽象的概念的困扰,有些内容需要反复研读,这是完全正常的。对抽象思维能力的训练是理工科高等教育的一项重要任务。我们相信大家能知难而进,注重理解和领会其中的物理图象和科学精神,并建议大家在听课前认真预习。

我们希望本书能对有志走入物理科学圣殿的青年选择探索的方向有所帮助,也希望高等学校理工科的在校生和曾经学习过物理学的朋友通过本书了解有关前沿领域的新进展。物理学在广阔的传统领域中和日益拓展的新方向上不断取得的重大成就引人入胜,它既能使我们感受到这门核心科学是推动人类物质文明进步的伟大力量,也能使我们在视野开阔的理性思考中深化

需要上本书的网 www.ertongbook.com

对自然之美的认识并提高精神文明的水平。

大学物理是中央广播电视大学重点建设的课程之一,校领导对这门课程的教材建设非常重视,中央广播电视大学教务处对这套多媒体教材的编制工作给予了强有力的支持。中央广播电视大学蔡枢和吴铭磊设计并主持了这套专题教材的专家学者选聘工作、文字教材编写和演讲录像编制工作,徐锦培担任电视演讲导演。蔡枢对各个专题的选题及讲授要点提出初步意见,各专题的标题和内容由各位专家确定。全书的统稿工作由蔡枢完成。

今后,本书的内容还将适时增补和修订。对我们工作中的疏漏之处恳请各位读者指正。

编 者

1995 年 8 月

目　　录

当代物理前沿专题之一　原子能及其和平利用 …… 何祚庥(1)

1.1　原子的碎裂和原子核的发现 …… (1)

1.2　原子核的电荷、质量的测定和原子核的质子、中子模型 …… (2)

1.3　原子能和原子核的结合能 …… (4)

1.4　原子能的可能的释放模式 …… (5)

1.5　核裂变和原子能 …… (6)

1.6　核聚变和原子能 …… (7)

1.7　一种新的释放原子能的方式——高能质子的碎裂反应 + 热中子堆 …… (8)

1.8　原子能和能源问题 …… (9)

1.9　原子能和中国的能源问题 …… (10)

当代物理前沿专题之二　半导体 …… 夏建白(11)

2.1　半导体技术和半导体物理的发展 …… (11)

2.1.1　半导体技术的重大发展及应用 …… (11)

2.1.2　半导体物理的发展 …… (13)

2.1.3　我国半导体科学技术的发展 …… (14)

2.2　半导体的基本概念 …… (15)

2.2.1　能带 …… (15)

2.2.2　杂质态 …… (16)

2.2.3　输运性质 …… (17)

2.2.4　光学性质 …… (18)

2.2.5　量子阱和超晶格 …… (19)

2.3　半导体器件原理 …… (20)

2.3.1　p－n 结 …… (20)

2.3.2　半导体晶体管 …… (21)

2.3.3　MOS 晶体管 …… (22)

2.3.4　激光器 …… (23)

2.3.5　光电探测器和太阳电池 …… (24)

2.4　半导体工艺 …… (24)

2.4.1　半导体工艺的特殊性 …… (24)

2.4.2　材料生长 …… (25)

2.4.3　平面工艺 …… (28)

2.4.4　集成电路设计 …… (29)

2.5　半导体科学技术展望 …… (30)

2.5.1　信息革命 …… (30)

2.5.2 更高的集成度 …… (31)
2.5.3 集成光学和集成光电子学 …… (32)
2.5.4 超晶格、量子线和量子点器件 …… (32)
2.5.5 半导体纳米器件 …… (35)
2.5.6 分子电子学 …… (37)

当代物理前沿专题之三 激光技术 …… 邓锡铭 雷仕湛(38)
3.1 激光器简史 …… (38)
3.1.1 相干电磁波谱的扩展 …… (38)
3.1.2 汤斯和肖洛的光激射器理论 …… (39)
3.1.3 梅曼制成世界上第一台激光器 …… (40)
3.1.4 我国的第一台激光器 …… (42)
3.1.5 激光器之名的由来 …… (43)
3.2 激光器的基本原理 …… (44)
3.2.1 自发辐射与受激辐射 …… (44)
3.2.2 负温度 …… (45)
3.2.3 激光器增益 …… (46)
3.2.4 激光器的结构 …… (46)
3.2.5 激光器的振荡条件 …… (48)
3.2.6 模和激光振荡模 …… (49)
3.2.7 调 Q 和 Q 开关 …… (50)
3.2.8 锁模 …… (53)
3.2.9 激光器件 …… (55)
3.3 激光技术应用 …… (58)
3.3.1 激光的特性 …… (58)
3.3.2 激光精密计量 …… (60)
3.3.3 激光信息处理 …… (63)
3.3.4 激光加工 …… (66)
3.3.5 激光能源 …… (67)
3.3.6 激光医学 …… (70)
3.3.7 激光技术改造农作物 …… (70)
3.3.8 激光武器 …… (71)
3.3.9 激光与基础科学 …… (71)
3.4 激光技术的发展 …… (75)
3.4.1 建立激光产业 …… (75)
3.4.2 发展短波长和长波长激光技术 …… (76)
3.4.3 发展新型激光器 …… (76)

当代物理前沿专题之四 超导电性 …… 赵忠贤 李 阳(79)
4.1 引言 …… (79)
4.2 超导体的基本性质 …… (81)

4.2.1 从低温的获得到超导电性的发现 ……（81）
4.2.2 超导体的基本物理性质 ……（84）
4.3 传统超导体的唯象模型 ……（88）
4.3.1 二流体模型 ……（88）
4.3.2 伦敦方程 ……（90）
4.3.3 金兹堡－朗道理论 ……（92）
4.4 传统超导体的微观机制 ……（95）
4.5 超导隧道效应……（100）
4.5.1 正常电子隧道效应……（100）
4.5.2 约瑟夫森隧道电流效应……（103）
4.6 两类超导体的基本特征……（103）
4.7 高温超导体……（108）
4.8 超导材料的应用……（111）
4.8.1 超导应用的巨大潜力……（111）
4.8.2 超导材料在强电方面的应用……（113）
4.8.3 超导材料在弱电方面的应用……（114）
4.8.4 高温超导体的应用……（114）
4.9 结束语……（116）

当代物理前沿专题之五　声学 …… 汪德昭　应崇福　李启虎　张家骝（118）
5.1 一门古老而又年轻的科学……（118）
5.1.1 声学的研究对象……（118）
5.1.2 声学发展简史……（119）
5.1.3 我国古代的声学研究……（121）
5.1.4 近代声学在国民经济、国防及人类日常生活中的作用 ……（121）
5.2 声学的基本概念与理论……（123）
5.2.1 声波与振动……（123）
5.2.2 波动方程……（125）
5.2.3 声波的传输……（126）
5.3 听觉、语言和音乐 ……（128）
5.3.1 听觉……（129）
5.3.2 语言……（130）
5.3.3 音乐……（133）
5.3.4 音质与噪声控制……（133）
5.4 超声及其应用……（134）
5.4.1 超声的性质和特点……（134）
5.4.2 超声在医学诊断、无损检测和工业检测中的应用 ……（136）
5.4.3 超声在加工处理和医学治疗中的应用……（137）
5.4.4 超声电子学器件和系统……（138）
5.5 声与海洋……（138）
5.5.1 水声学中的基本概念……（138）

5.5.2 射线理论与简正波理论……(140)
5.5.3 声呐 声呐方程……(141)
5.5.4 海洋开发中的水声学……(143)
5.6 声信号的数字处理……(144)
5.6.1 信号处理的基本概念……(144)
5.6.2 声信号的数字处理……(146)
5.6.3 声学与现代数字信号处理技术……(147)

当代物理前沿专题之六 空间环境科学 …… 都 亨(151)
6.1 前言……(151)
6.2 空间环境要素……(152)
6.2.1 中性大气环境……(152)
6.2.2 电离气体——等离子体环境……(153)
6.2.3 高能带电粒子环境……(153)
6.2.4 磁场环境……(154)
6.2.5 电磁辐射环境……(154)
6.2.6 固体微粒环境……(154)
6.3 空间环境分区……(155)
6.3.1 太阳风和行星际磁场……(155)
6.3.2 地球的磁场和磁层……(156)
6.3.3 地球大气……(159)
6.4 空间环境探测……(162)
6.4.1 空间环境探测的手段……(162)
6.4.2 中性大气探测……(164)
6.4.3 等离子体探测……(166)
6.4.4 高能带电粒子探测……(167)
6.4.5 空间磁场探测……(169)
6.4.6 空间碎片和微流星体探测……(169)
6.5 空间环境模式研究……(171)
6.5.1 目的和意义……(171)
6.5.2 方法……(171)
6.5.3 高层大气模式……(172)
6.5.4 电离层模式……(173)
6.5.5 高能带电粒子模式……(174)
6.5.6 地球辐射带模式……(175)
6.5.7 空间磁场模式……(177)
6.5.8 流星体模式……(178)
6.5.9 空间碎片模式……(180)
6.5.10 模式集成 ……(182)
6.6 空间环境预报……(183)
6.6.1 空间环境预报的必要性……(183)

6.6.2　空间环境预报工作的主要内容……（187）
6.6.3　空间环境预报的分类……（187）
6.7　空间环境效应……（188）
6.7.1　概述……（188）
6.7.2　空间环境效应研究方法……（190）
6.7.3　高层大气对航天器轨道的影响……（191）
6.7.4　氧原子对航天器表面的化学作用……（191）
6.7.5　高能带电粒子对航天器的辐射效应……（192）
6.7.6　空间等离子体与航天器充放电效应……（194）
6.7.7　空间碎片和微流星体与航天器机械损伤效应……（195）
6.7.8　等离子体对电波传播的影响……（196）

当代物理前沿专题之七　混沌现象……郝柏林（199）
7.1　什么是非线性……（200）
7.2　强迫摆的混沌运动……（202）
7.3　简单而行为丰富的一维虫口模型……（206）
7.4　通向混沌的道路……（209）
7.5　混沌的定义和刻画……（211）
7.6　混沌的应用……（214）
7.7　没有“混沌学”——浅谈混沌的哲学意义……（216）

当代物理前沿专题之八　非线性非平衡系统的自组织……杜婵英　漆安慎（218）
8.1　从无序到有序……（218）
8.1.1　贝纳德效应——热对流的时空结构……（218）
8.1.2　别洛乌索夫－扎包廷斯基反应——靶环波与螺旋波……（219）
8.1.3　激光……（220）
8.1.4　糖酵解及其他……（222）
8.1.5　什么是自组织……（222）
8.2　液晶的电流体不稳定性——分岔图与对称破缺……（223）
8.2.1　液晶的简单介绍……（223）
8.2.2　丝状液晶在电场下的威廉姆斯畴……（224）
8.2.3　对称破缺……（225）
8.3　自适应系统……（226）
8.4　混沌（Chaos）——貌似无序的序……（228）
8.4.1　由激光实验初识混沌……（228）
8.4.2　决定论描述的系统对初值依赖的两种情况……（229）
8.4.3　看来“混乱一片”，实为“章法井然”……（230）
8.5　自组织中混沌的典型例子……（233）
8.6　熵产生和负熵流……（241）
8.6.1　开系处于非平衡态……（241）
8.6.2　熵产生与负熵流……（242）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

8.6.3 远平衡与近平衡……(242)
8.7 环境的涨落与自组织……(244)
8.8 简短的结束语……(245)

当代物理前沿专题之九 现代科学中的天文世界 …… 王绶 邹振隆(248)
9.1 天文学与天文世界……(248)
9.1.1 天文对象……(248)
9.1.2 天文学科……(249)
9.1.3 天文方法……(250)
9.1.4 距离“视限”与“阶梯”……(251)
9.1.5 几条先验原则……(254)
9.2 天文学历史上三次飞跃的启示……(254)
9.2.1 行星层次——联结开普勒定律的飞跃……(255)
9.2.2 恒星层次——联结赫罗图的飞跃……(256)
9.2.3 星系层次——联结哈勃定律的飞跃……(258)
9.3 天文大统一模型及其面临的挑战……(260)
9.4 天文世界的探索者与第二类开发……(265)

当代物理前沿专题之十 物理学和生物学 …… 郝柏林(268)
10.1 历史回顾 ……(268)
10.2 生物学引论 ……(270)
10.2.1 地球上的自然史 ……(270)
10.2.2 生物的化学构成 ……(272)
10.2.3 分子生物学的“中心法则” ……(274)
10.2.4 基因工程技术简介 ……(274)
10.3 生物问题的诸多层次 ……(277)
10.3.1 分子手性破缺 ……(277)
10.3.2 分子马达 ……(278)
10.3.3 蛋白质折叠 ……(280)
10.3.4 生物膜的形状 ……(281)
10.3.5 黏菌的自组织行为 ……(282)
10.3.6 生物系统的标度性质 ……(282)
10.4 生物信息学和计算生物学 ……(283)
10.4.1 生物数据 ……(283)
10.4.2 大数和计算机 ……(284)
10.4.3 基因组信息学 ……(284)
10.4.4 计算生物学 ……(285)
10.5 发展交叉科学、培养广谱人才……(286)
10.5.1 思维方法取长补短 ……(286)
10.5.2 粗粒化和排列组合 ……(287)
10.5.3 前辈学者的良好榜样 ……(288)

当代物理前沿专题之十一　激光冷却与原子捕陷——在科学中漫步 …… **朱棣文**(289)
11.1　**引子** ……(289)
11.2　**激光冷却与原子捕陷实验** ……(292)
11.3　**激光冷却与原子捕陷的应用** ……(294)
11.3.1　**玻色－爱因斯坦凝聚**(BEC) ……(294)
11.3.2　**原子钟** ……(295)
11.3.3　**原子干涉仪** ……(300)
11.3.4　**研究单个高分子聚合物** ……(302)
11.3.5　**对** RNA **核糖酶的研究** ……(305)
11.3.6　**对脑神经传导的研究** ……(307)
11.4　**结束语** ……(308)

当代物理前沿专题之十二　我所经历的 20 世纪实验物理学 …… **丁肇中**(310)
当代物理前沿专题之十三　对称与近代物理 …… **杨振宁**(324)
13.1　**早期阶段** ……(324)
13.2　**十九世纪：群和晶体学** ……(334)
13.3　**二十世纪：扩大了对称的作用** ……(337)
13.4　**二十世纪：规范对称** ……(343)
13.5　**二十一世纪：对称的新方面？** ……(349)

当代物理前沿专题之十四　近代科学进入中国的回顾与前瞻 …… **杨振宁**(351)
14.1　**公元一四○○至一六○○年——中国落后于西方** ……(351)
14.2　**公元一六八七年——近代科学在欧洲诞生** ……(354)
14.3　**公元一六○○至一九○○年——中国抗拒引入西方思想** ……(356)
14.4　**公元一八四○至一九○○年——引入现代科学举步维艰** ……(362)
14.5　**公元一九○○至一九五○年——急速引进现代科学** ……(364)
14.6　**公元一九五○至二○○○年——中国开始加入国际科技竞赛** ……(365)
14.7　**二十一世纪** ……(370)

作者简介 ……(373)
何祚庥 ……(373)
夏建白 ……(373)
邓锡铭 ……(374)
雷仕湛 ……(375)
赵忠贤 ……(375)
李　阳 ……(376)
汪德昭 ……(376)
应崇福 ……(377)
李启虎 ……(378)
张家凯 ……(378)

都 亨 …… (379)
郝柏林 …… (380)
杜婵英 …… (380)
漆安慎 …… (381)
王绶 …… (381)
邹振隆 …… (382)
朱棣文 …… (382)
丁肇中 …… (383)
杨振宁 …… (384)

索引 …… (387)

当代物理前沿专题之八

非线性非平衡系统的自组织

杜婵英　　漆安慎

多体系统

平衡相变　自组织理论

自组织实现的条件

自组织的发展前景

自组织理论是20世纪后半叶形成的新兴学科，并继续得到发展。大家熟悉水结冰和水蒸发为气体. 水、水蒸气和冰都是由大量的个体——分子组成的，称作多体系统. 蒸发和凝结是这些多体系统在无序和有序或不同序间的相互转变. 这种转变可以在准静态过程中进行，可以在平衡态下保存，称作平衡相变. 自组织理论也研究多体系统的无序到有序或从一种序到另一种序的转变，但它是在非平衡条件下实现的，所形成的序也必须在非平衡条件下保存. 只有在变量随时间的变化率与状态变量之间呈非线性关系时，即在非线性系统中，才能实现自组织. 自组织有两种发展前景，一种是规则的序，一种是貌似无序的序，即混沌. 自组织理论是非线性科学和非平衡热力学发展的成果，不仅涉及物理学，还可应用于化学、生物学以至于社会科学中的问题，从而引起工作于不同领域的人们的兴趣. [1,2,3]

8.1　从无序到有序

规则的序　混沌

有一定功能的非线性的多体系统离开平衡态经自组织可能出现两类序，一为规则的序，另一为混沌. 这一节先谈前一种. 人的认识是从感性发展到理性，现在谈几个典型的例子，然后加以概括.

8.1.1　贝纳德效应——热对流的时空结构

19世纪末就有人研究自下面给液体加热产生对流的问题，法国人贝纳德(H. Bénard)于1900和1901年报道他设计了完整的仪器设备对这一现象所作的研究. 在金属盘内装黏性液体，如熔化的鲸腊油. 盘呈直径大约10 cm的圆形或边长10 cm的方

形. 液体深度在 0.5 mm 至 1 mm 多之间. 利用蒸气从下面加热，液体上表面与室内空气接触. 当上下底温度差很小时，液内仅有自下而上的热传导，当温度差达到一定程度时，液体内发生规则的对流，图 8－1(a)表示方形容器内的流线分布. 用光学方法或将铝粉放入液体即可见到因空间周期性流动显示出的花纹. 图 8－1(b)表示圆形容器中观察到的六角形花纹. 这种空间周期性结构的出现称作贝纳德效应. 液体由大量分子组成，上下温度不同意味着非平衡. 故上述为典型的多体系统在非平衡时从无序转变为有序. [4]

贝纳德效应

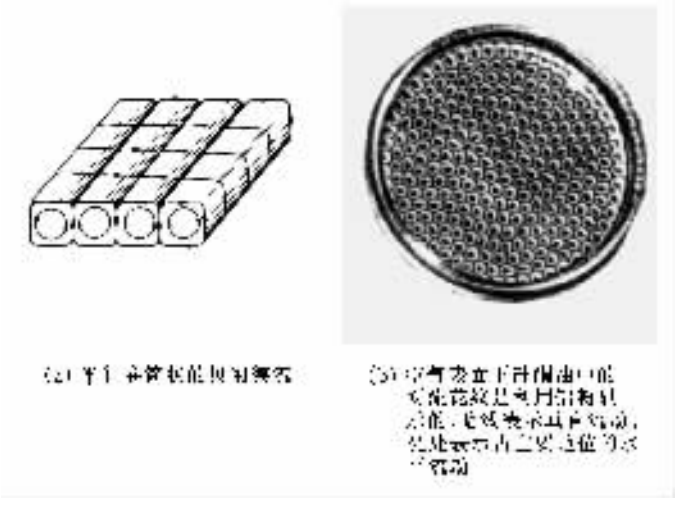


图 8－1

8.1.2 别洛乌索夫－扎包廷斯基反应——靶环波与螺旋波

20 世纪 50 年代，苏联学者别洛乌索夫(B. P. Belousov)发现在以铈离子为催化剂和指示剂时柠檬酸在稀释的硫酸中被溴氧化，铈离子在 3 价 4 价间振荡，溶液在无色透明到淡黄色间周期变化. 60 年代中，扎包廷斯基(A. M. Zhabotinski)用丙二酸代替柠檬酸，发现在自催化反应中 Ce^{3+} 被 BrO_3^- 氧化至 Ce^{4+}，随后 Ce^{4+} 又被还原为 Ce^{3+}. 还原放出的溴离子又进一步诱导丙二酸被溴氧化. 还可用铁离子代替铈离子. 这时，溶液在红、蓝两色间周期变化. 这种反应称作别洛乌索夫－扎包廷斯基反应，简称 BZ 反应，又称化学钟反应. BZ 反应还表现为多种多样的波动. 例如红、蓝两色同心圆向周围传播的靶环波和螺旋波等等，波动可视作时间－空间结构(图 8－2).

BZ 反应(化学钟反应)



图 8 – 2 上面四图表示靶环波,自左至右两相邻照片的时间间隔为 60 s,下图表示螺旋波,每分钟绕两圈

靶环波、螺旋波

靶环波和螺旋波还可能出现于其他场合。例如圆盘网柱菌(*Dictyostelium discoideum*)聚集群体运动时能形成靶环波和螺旋波,如图 8 – 3 所示[6]。有人还就一些特殊情况求出了圆盘网柱菌螺旋波的近似解并讨论了波的稳定性。还有,19 世纪后期就有人用对电压敏感的探针和高分辨率的摄像仪记录兔子心脏表面的电螺旋波。不少报道称这种波动的状态和作为突发心脏病死亡前兆的室颤有关[6]。可见螺旋波的存在有相当大的普遍性。在这方面有不少实验研究和理论研究。

8.1.3 激光

激光

自发辐射

受激吸收

受激辐射

激光是自组织的另一个典型例子. 如图 8 – 4(a)所示,原子自激发态落入基态并发出光子,称作自发辐射. 图 8 – 4(b)中原子吸收光子由基态跃入激发态,称作受激吸收. 图 8 – 4(c)中处于激发态的原子吸收一光子又跌入基态而发射出两个光子,称作受激辐射. 受激辐射的存在是爱因斯坦(A. Einstein)于 1917 年首次提出的. 原子处于激发态的时间大体在 10^{-8} s 的量级并大多经自发辐射而落入基态. 因此,在热平衡的条件下,大多数原子处于非激发态. 这时,假设有适当能量的光子射入处于激发态和非激发态的原子的混合物,虽然它使基态原子发生受激吸收和使激发态的原子发生受激辐射的概率是相同的,但因大多原子处于基态,故很少发生受激辐射. 设想存在特定的三能级系统,则情况发生变化. 外来光子使处于基态的原子受激吸收跃入激发态,随即经自发辐射进入一能量介于基态和激发态之间的亚稳态,原子在

亚稳态

需要全本请访问 www.ertongbook.com