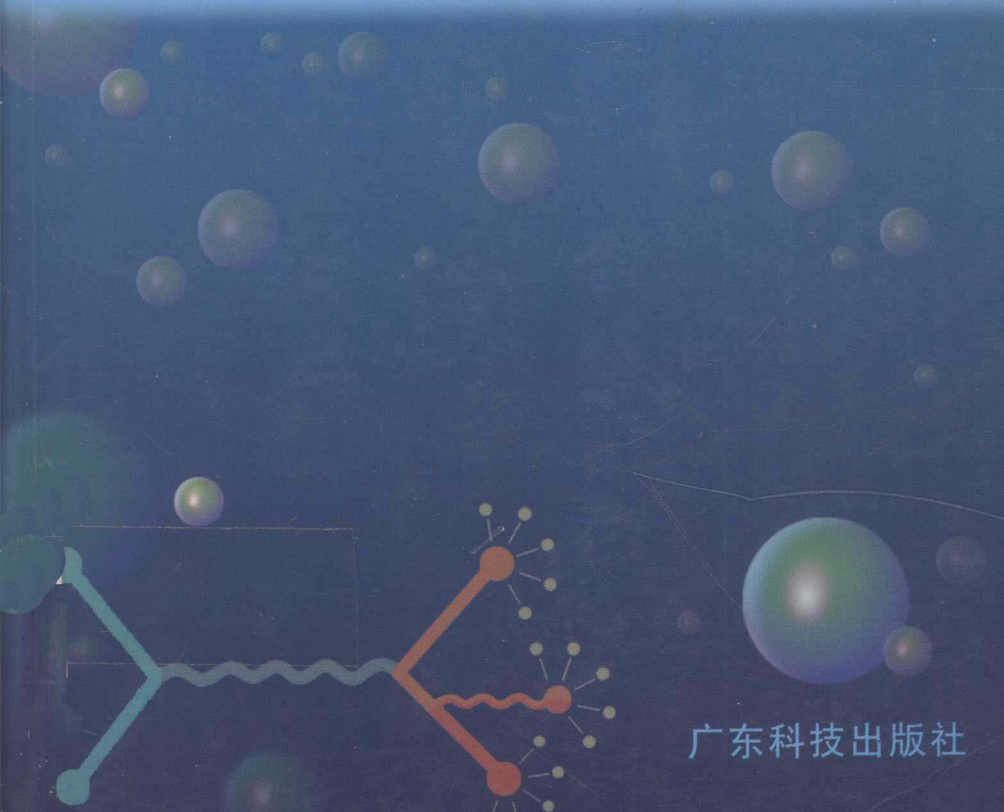


# 现代物理与高新技术

主编 何宝鹏

副主编 梁瑞生 梁国礼 黄哲恒



广东科技出版社

Xiandai Wuli Yu Gao Xin Jishu  
现代物理与高新技术

主 编 何宝鹏

副主编 梁瑞生 梁国礼 黄哲恒

编 者 (以姓氏笔划为序)

王开发 王笑君 吕国雄 江俊勤

杨世琪 张学荣 吴建新 陈俊芳

易学华 保宗悌 陶力沛 唐志列

黄 河 熊建文

广东科技出版社

·广州·

## 图书在版编目(CIP)数据

现代物理与高新技术/何宝鹏主编. 广州:广东科技出版社,  
2000.1

ISBN 7 - 5359 - 2474 - 3

I. 现… II. 何… III. ①物理学 - 研究 - 进展②物理学 -  
应用 - 高技术 IV. 04 - 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 57430 号

---

出版发行:广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码:510075)

E-mail: gdkjzbb@21cn.com

出版人:黄达全

印刷:华南师范大学印刷厂

(广州石牌华南师范大学印刷厂 邮码:510631)

规格:850mm×1168mm 1/32 印张 19 字数 500 千

版次:2000 年 1 月第 1 版

2000 年 1 月第 1 次印刷

印数:0001 - 4000 册

定价:30.00 元

---

如发现因印装质量问题影响阅读,请与承印厂联系调换。

**献给 21 世纪**

## 序

过去的一个世纪,物理学取得了可喜的进步,从研究普通标准尺度为  $10^2\text{m}$  的宏观世界深入到小尺度为  $10^{-17}\text{m}$  (夸克 - 轻子层次) 的微观世界,并延伸到大尺度为  $10^{26}\text{m}$  (相当 100 亿光年) 的宇观世界,跨度达 43 个量级之多。物理技术,从一般的电气技术发展成为以微电子技术为核心的多个高新技术系统(如半导体技术、激光技术、纳米材料技术……)。在小尺度上,借助高新技术,人们不但可以观察原子,而且可以搬动原子、剪裁能带、设计新材料;在大尺度上,空间技术的发展使人们不但可以观测星际,而且可以乘航天器环游太空,甚至着陆于地球以外的星球。

物理学是研究物质基本结构、基本相互作用和基本运动规律的基础学科。因此,物理学发展起来的新概念、新理论和物理技术对其他科学技术的发展起推动和促进作用。古代的自然科学几乎就是物理学,以后才出现各个分支学科。当今,物理学不愧为整个自然科学的先驱,物理技术生机勃勃,成为众多技术部门的基础和骨干技术。新的 21 世纪,将是一个信息社会,电子计算机技术是信息技术的关键技术,无论过去的以微电子技术为核心的电子计算机,或者刚开始研制的以光子技术为核心的光子计算机,还是正在探索中的以量子理论为基础的量子计算机,都离不开物理学和物理技术。可以预见,21 世纪的物理学与物理技术仍然是自然科学与技术进步的龙头。

21 世纪,将是一个科学技术高速发展的新时代,提高科技人员的科学技术和提高全民族的科学素质同样重要。由何宝鹏教授主编,十多位专家教授编写的《现代物理与高新技术》一书,以专题形式阐述了 20 世纪物理学一些主要分支学科的发展和现状,

介绍了与物理学、物理技术密切相关的高新技术。该书起点高,但又通俗易懂,是一本很好的高级科普著作。希望该书的出版不但对提高物理人才的物理素质,而且对提高全民族的科学素质方面有所裨益,成为献给 21 世纪的珍贵礼物。

劉頌豪

2000.1.于广州

# 前 言

20 世纪的物理学取得了突破性进展,从经典物理进入了近代物理时代。近二三十年,物理学领域的新知识、新技术层出不穷,使我们生活的世界进入了空前文明的社会。当我们跨进 21 世纪之际,科学与技术发展的势头不但没有减弱,反而更加迅猛。当前,物理学以及其他学科领域都出现许多尖锐矛盾和急待解决的问题,如物理学中自由夸克为什么不被发现;宇宙学中宇宙起源和年龄问题;天体物理学中暗物质和类星体的能量问题;生物学中生命起源问题……。技术上,等离子体约束核聚变问题;发展新型光子计算机和量子计算机问题。这些问题的解决有赖于新的理论和新的技术手段,伴随会带来新的突破。

由于科学与技术发展速度加快,从理论—实验—技术—生产的周期缩短,使得知识更新的周期明显减小。过去一辈子可以使用的知识,现在二三十年甚至更短时间可能已经过时,过去几十年沿用的技术现在只需十几年,甚至二三年就变得落后,不能利用。作为带头学科和核心技术的物理学和物理技术更是如此。因此,物理专业、理工科学生和教师以及科技工作者,及时了解、掌握新知识、新技术是十分必要的,这就是当前提出的知识更新,终身受教育的缘由,也是我们致力于编写本书的初衷。

编写本书的宗旨是把物理学科前沿知识和与物理技术关系密切的高新技术介绍给广大读者,为此,编写时尽可能做到:

首先,面要广,即内容涵盖物理学主要分支学科和有代表性的与物理技术相关的高新技术。其次,起步高,即选物理前沿课题,介绍课题最新发展。技术性专题都是当前的高新技术。第三,表述深入浅出,即用通俗易懂方式介绍高深知识内容。

本书分 23 个专题,各专题独立成篇。内容包括物理学主要分支学科的主要知识和新进展,以及与物理技术密切相关的高新技术

术。专题主要分成两类：一是以理论为主，辅以介绍它的技术应用，二是以技术为主，但给出它的理论依据。

本书可做为大学物理专业和理工科学学生的选修课或讲座教材，和中学物理教师继续教育课程教材，也可供广大工程技术人员和科技工作者参考。由于水平所限，书中有错漏之处，请广大读者不吝指正。

本书的编写出版，得到华南师范大学物理系领导的支持，中国科学院院士刘颂豪教授为本书作序，熊钰庆教授多次关心本书的编写工作，王兴棣工程师为本书绘制了插图。对此，我们表示衷心感谢。

最后，特别使我们高兴的是，在新千年和 21 世纪曙光初露这个具有特殊历史意义的时刻，本书能与读者见面，并仅以此做为我们献给新时代的一分微薄礼物。

编 者

2000 年 1 月 1 日

于广州·华南师范大学



# 目 录

一	20 世纪物理学和技术的回顾与展望 .....	何宝鹏
§ 1.1	概述 .....	1
§ 1.2	20 世纪的物理学 .....	5
§ 1.3	20 世纪的物理技术 .....	20
§ 1.4	物理学对其他科学技术的影响 .....	26
§ 1.5	展望 .....	30
二	核物理与核技术 .....	王开发
§ 2.1	原子核的基本性质 .....	34
§ 2.2	原子核衰变 .....	39
§ 2.3	核技术应用 .....	42
§ 2.4	核反应 .....	55
§ 2.5	核能应用 .....	56
三	粒子物理及其应用 .....	江俊勤
§ 3.1	基本粒子概念的发展和粒子的分类 .....	63
§ 3.2	轻子 .....	65
§ 3.3	夸克 .....	68
§ 3.4	四种基本相互作用 .....	76
§ 3.5	粒子探测器 .....	82
§ 3.6	粒子物理的应用 .....	88
四	广义相对论原理与应用 .....	张学荣
§ 4.1	引言 .....	94
§ 4.2	等效原理与广义协变原理 .....	95
§ 4.3	引力场方程 .....	100
§ 4.4	广义相对论的经典检验 .....	105
§ 4.5	广义相对论的应用 .....	117
五	相位物理与技术 .....	何宝鹏 易学华
§ 5.1	干涉效应 .....	125

	§ 5.2	物理学中的相位 .....	127
	§ 5.3	Berry 相位 .....	130
	§ 5.4	二能级系统的 Berry 相位 .....	135
	§ 5.5	量子几何相位效应 .....	138
	§ 5.6	量子相位效应的技术应用 .....	147
六		半导体物理与技术 .....	黄河
	§ 6.1	引言 .....	152
	§ 6.2	半导体物理基础 .....	153
	§ 6.3	半导体器件原理 .....	161
	§ 6.4	半导体器件制造工艺与集成电路技术 .....	170
	§ 6.5	半导体技术的应用 .....	179
	§ 6.6	展望 .....	182
七		光学全息与光信息处理技术 .....	梁瑞生
	§ 7.1	引言 .....	185
	§ 7.2	光学全息技术基本原理 .....	187
	§ 7.3	光学全息技术的应用 .....	194
	§ 7.4	光学信息处理 .....	211
八		等离子体物理与技术 .....	保宗梯
	§ 8.1	引言 .....	222
	§ 8.2	等离子体的准电中性和屏蔽库仑场 .....	224
	§ 8.3	等离子体振荡 .....	227
	§ 8.4	电磁波在等离子体中的传播特性 .....	229
	§ 8.5	等离子体物理学的研究对象与研究方法 .....	231
	§ 8.6	等离子体技术的应用 .....	235
九		空间物理与技术 .....	保宗梯
	§ 9.1	引言 .....	239
	§ 9.2	电离层的形成和性质 .....	242
	§ 9.3	磁层的形成和性质 .....	248
	§ 9.4	空间物理学在航天技术中的应用 .....	254
十		天体物理 .....	吴建新

§ 10.1	天体物理学 .....	257
§ 10.2	行星尺度 .....	259
§ 10.3	恒星 .....	263
§ 10.4	宇宙大尺度结构 .....	273
<b>十一</b>	<b>膨胀的宇宙 .....</b>	<b>吴建新</b>
§ 11.1	宇宙的观测 .....	276
§ 11.2	宇宙学原理 .....	281
§ 11.3	均匀和各向同性的宇宙 .....	282
§ 11.4	弗里德曼(标准)宇宙模型 .....	285
§ 11.5	对宇宙学理论的检验 .....	288
§ 11.6	宇宙的历史 .....	291
§ 11.7	宇宙的结局 .....	295
§ 11.8	其他宇宙模型 .....	296
<b>十二</b>	<b>纳米材料及其应用 .....</b>	<b>陈俊芳</b>
§ 12.1	引言 .....	299
§ 12.2	纳米微细材料的工艺方法 .....	300
§ 12.3	纳米材料的量子效应 .....	303
§ 12.4	纳米材料的热学性能 .....	305
§ 12.5	纳米材料的磁学特性 .....	306
§ 12.6	纳米材料的光学特性 .....	307
§ 12.7	纳米微粒的分析和测量 .....	309
§ 12.8	纳米材料的应用 .....	311
<b>十三</b>	<b>原子钟(原子频标) .....</b>	<b>杨世琪</b>
§ 13.1	原子钟发展简述 .....	318
§ 13.2	原子钟预备知识 .....	319
§ 13.3	传统的原子钟工作原理 .....	324
§ 13.4	原子冷却与原子钟的新发展 .....	329
§ 13.5	原子钟的应用 .....	341
<b>十四</b>	<b>超导与技术 .....</b>	<b>何宝鹏</b>
§ 14.1	引言 .....	347

§ 14.2	超导体的基本性质 .....	349
§ 14.3	超导临界参数与两类超导体 .....	363
§ 14.4	高温超导 .....	366
§ 14.5	超导电理论 .....	367
§ 14.6	超导材料的应用 .....	373
十五	声学与技术 .....	王笑君
§ 15.1	引言 .....	382
§ 15.2	声学的基本方程 .....	383
§ 15.3	声波的传播 .....	385
§ 15.4	现代声学技术及其应用 .....	387
十六	激光与技术 .....	唐志列
§ 16.1	引言 .....	400
§ 16.2	光与物质相互作用的三个过程 .....	401
§ 16.3	激光产生的基本条件 .....	403
§ 16.4	激光器的基本结构与激光的特性 .....	405
§ 16.5	自由电子激光 .....	407
§ 16.6	激光在通信信息产业中的应用 .....	413
§ 16.7	激光在工业加工中的应用 .....	420
§ 16.8	激光在冷却和捕获中性原子中的应用 .....	426
十七	生物物理与技术 .....	熊建文
§ 17.1	引言 .....	430
§ 17.2	物理学方法与技术生物学中的应用 .....	431
§ 17.3	物理因子的生物学效应 .....	439
§ 17.4	结语 .....	444
十八	加速器技术 .....	梁国礼
§ 18.1	加速器的基本工作原理 .....	446
§ 18.2	几种加速器的构造和工作原理 .....	447
§ 18.3	加速器应用技术 .....	460
§ 18.4	展望 .....	471
十九	核磁共振与 CT 技术 .....	黄哲恒

§ 19.1	核磁共振	473
§ 19.2	核磁共振的应用举例	478
§ 19.3	CT 技术	481
§ 19.4	核磁共振成像	484
二十	扫描探针显微术	黄哲恒
§ 20.1	引言	492
§ 20.2	扫描隧道显微镜 (STM)	494
§ 20.3	原子力显微镜 (AFM)	499
§ 20.4	近场光学显微镜	503
§ 20.5	扫描探针显微镜 (SPM) 家族	506
§ 20.6	纳米印刷术	508
二十一	现代记录技术	陶力沛
§ 21.1	引言	512
§ 21.2	磁记录原理	513
§ 21.3	模拟式磁记录	517
§ 21.4	数字式磁记录	520
§ 21.5	光存储技术	524
§ 21.6	磁卡和 IC 卡	529
§ 21.7	展望	535
二十二	信息科学与技术	吕国雄
§ 22.1	引言	537
§ 22.2	信息科学	539
§ 22.3	信息技术	550
§ 22.4	结语	559
二十三	物理学与军事技术	梁国礼
§ 23.1	引言	560
§ 23.2	新式武器及其物理基础	561
§ 23.3	夜视技术	575
§ 23.4	声纳技术	582
	参考文献	587

# 一 20 世纪物理学和技术的回顾与展望

## § 1.1 概 述

在世纪之交,回顾一个世纪以来作为科学先驱的物理学的成就,以及与之相关的技术进步,展望 21 世纪的物理学与技术前景是一件有意义的工作。

### 1 科学与技术的关系

科学与技术是两个不同但又密切关联的概念。科学意旨研究物质的结构、相互作用及其运动的规律的知识,探索的是本质问题。技术意旨解决实验、生产问题所形成的知识。科学研究的成果转换成技术应用于生产;生产中提出的课题,促进技术发展,推动科学研究工作。因此,科学、技术与生产相互促进,密切相关。但是,一般地说,科学高于和超前于技术和生产。

### 2 物理学的地位

物理学是一门研究物质基本组元、基本相互作用和基本运动规律的学科,这些基本规律在其他学科领域都起作用,因而物理学及其相关的技术常常渗透到其他学科领域和技术领域,形成各类与物理学交叉的学科,如化学物理、生物物理、地球物理、海洋物理、大气物理、天体物理等等。综上所述,20 世纪的物理学的研究方法、研究成果以及相关的实验方法和实验技术常常被移植到其他学科和技术中,因此可以毫不夸张地说,物理学及其相关的物理技术是 20 世纪科学技术的先驱。它在一定程度上带动其他学科和技术的发展。

### 3 20 世纪物理学的转折和突破

在上一个世纪之交,物理学出现了突破性的转折。在 19 世纪

末,正当人们认为物理学的大厦已经建成,剩下的只是一些修补、完善工作的时候,物理学领域接连出现了三大重要发现:1885年,伦琴发现X射线,这被用来作为研究物质结构的重要工具;1886年,贝克勒尔发现了放射性,随之居里夫妇发现放射性元素镭,卢瑟福确认了 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 射线,这揭开了研究原子核的序幕;1887年,汤姆孙发现了第一个基本粒子——电子,进入了物质结构的新层次,揭示了物质的进一步可分性。取得这些重大发现的科学家都分别获得了诺贝尔物理学奖。

上述三大发现,动摇了宏观的经典物理学的基础,鼓励科学家们继续深入地探索微观世界的新规律,导致了20世纪物理学的新突破,开创了近代物理学的新纪元。首先,这些发现表明物质结构在微观尺度上和能量方面存在不连续性,1900年,普朗克为从理论上拟合黑体辐射能量分布的实验数据,大胆提出能量量子的突破性新概念,认为能量是一份一份不连续的,以 $h$ (普朗克常数)为作用量单位。随后,1905年爱因斯坦根据光电效应提出光的量子概念,认为频率为 $\nu$ 的光,对应于能量为 $h\nu$ 的光量子——光子。1911年卢瑟福根据金箔对 $\alpha$ 粒子散射的实验,提出有核的原子结构模型;1913年N.玻尔为解释原子的光谱系,提出了原子结构的量子论,通常称为旧量子论,认为原子中的电子处于确定的轨道上,环绕原子核运动,即处于定态,两个定态之间的跃迁,导致发光(或吸收),形成光谱。这些是描述微观世界的新理论——量子论的根基。与此同时,爱因斯坦于1905年冲破旧的经典的时空观的束缚,以崭新的时空观为基础,提出了描述高速物质运动规律的狭义相对论。量子论和相对论加在一起,开创了近代物理学,开始了从宏观低速的经典物理学到微观高速的近代物理学的转折和突破,这是上一个世纪之交物理学引人瞩目的成就。随后,1924年德布罗意提出物质波的概念,阐明实物粒子(如电子等)具有波动性,1925~1926年间薛定谔和海森伯分别建立了量子力学的两种描述形式——波动力学和矩阵力学。它们反映了物质的二象性——波动性和粒子性的统一,进一步完善了量子论。1915年爱因

斯坦又提出了他的广义相对论。现在,量子论和相对论加在一起,构成了近代物理学的两大支柱。

#### 4 20世纪物理学的特点和成就

如前所述,物理学研究,在20世纪取得了许多突破性进展,所取得的成果很难用简短的篇幅加以罗列,但从研究的特点和研究对象来说,可归纳如下:

##### (1)从现象研究深入到本质研究

19世纪以前的经典物理学主要是研究各种物理现象(包括力、热、电磁、引力),总结服从的规律。20世纪的物理学是以研究物质的基本组元、基本相互作用、基本运动规律为主线,属于更加本质的问题,研究成果的主要标志可概括为:发现了支配物质运动的两个基本规律,建立起两个基本理论——相对论和量子力学,它们成为近代物理学的两大支柱,也是现代高新技术的理论基础;发现了两种新的相互作用——弱相互作用和强相互作用,确定了4种相互作用(引力作用、电磁作用、弱作用和强作用)是迄今为止的最基本的物质相互作用。并且在将这些相互作用统一起来的研究中,取得了开创性的成果,建立了弱电统一理论。

##### (2)从研究宏观系统到微观系统和宇宙系统

20世纪物理学研究,从19世纪单纯的宏观系统转到以研究微观系统(尺度为 $10^{-8}\text{cm}$ )为主。还有对大尺度的宇观系统(如天体、星际)的研究,以及介于宏观和微观之间的介观系统(尺度级为 $10^{-7}\text{cm}\sim 10^{-5}\text{cm}$ )的研究。研究和发现了5个层次物质系统:即分子系统、原子核系统、夸克系统、轻子系统和宇宙系统,获得了支配这些系统相互作用和运动变化的新规律,建立了相应的理论。在微观系统中,经典力学不再适用;在介观系统中,出现宏观量子现象,是从微观到宏观的一个过渡区。对宇宙系统(宇观)的研究,建立了宇宙膨胀(大爆炸)理论以及宇宙起源、宇宙演化(恒星演化、黑洞、中子星…)等理论。

##### (3)从单一的物理学拓展为多种分支学科和交叉学科

随着物理学研究的发展和深入,20世纪以前,物理学已从单



一学科分解为力学、热学、电磁学和光学等。分别描述相应领域的物理现象。进入 20 世纪以后,由于技术和生产的需要,要求把这些分支学科结合起来,形成了物理学科内部的交叉学科,如电声学、光电子学等等。还有由于量子力学和相对论的诞生,又出现了一些新的更深层次的分支学科。例如,量子力学与相对论结合研究原子核这个微观领域,建立起原子核物理学,还有量子力学与统计物理相结合的量子统计物理学,量子力学与光学结合的量子光学,量子力学、相对与电磁学相结合,建立起量子电动力学。另一方面,由于 20 世纪物理学研究了最基本的物质结构,基本的相互作用以及基本的运动规律,这些在其他学科也起作用,因而产生了物理学与其他学科交叉的新学科,如化学物理学,生物物理学,地球物理学以及量子化学,量子生物学;甚至物理学还与社会科学互相渗透,例如,物理学中“熵”的概念渗透到系统科学的信息论中,形成“信息熵”,信息与负熵相当,信息的丢失,使系统的熵减少。熵的概念还渗透到经济领域和认知学科,用场的概念分析人的行为,创造出群体动力学。

#### 5 20 世纪的物理技术和第三次技术革命

20 世纪是物理技术迅猛发展的时期,而且由理论到实验再到生产的周期越来越短。第三次技术革命始于 20 世纪 50 年代(第一次技术革命发生在 18 世纪 60 年代,以蒸汽机的应用为标志;第二次技术革命在 19 世纪 70 年代开始,以电力技术的应用为主要标志),这次技术革命同样是以物理技术为中心,但比前两次浪潮更大,影响更加深远。出现了半导体微电子技术、光电子技术、原子能技术、新材料技术以及与物理技术密切相关的空间技术、海洋技术、新能源技术……等等。

20 世纪 80 年代以来,一场以计算机为核心的高科技的技术革命,揭开了世界科技史新的一页。其特点是形成以高、新、尖技术为核心的庞大的综合技术群。目前比较一致看法是形成了 6 大高新技术群:能源技术、材料技术、信息技术、空间技术、海洋技术和生物技术。这些技术群没有一种不与物理学和物理技术密切相