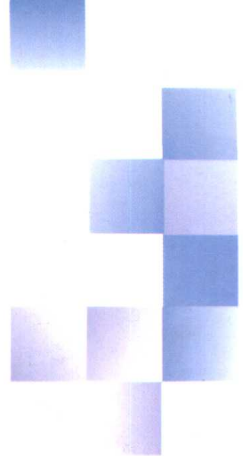




清华大学教材

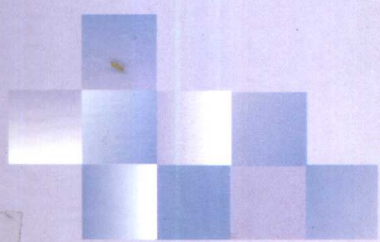


2

# 近代物理 与高新技术物理基础

—— 大学物理续编

陈泽民 主编



04



清华大学出版社  
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

清华大学教材

# 近代物理与高新技术物理基础 ——大学物理续编

主编	陈泽民			
参编	高虹	李复	张三慧	范守善
	何元金	吴念乐	吴美娟	崔砚生
	周铁英	陈宇	陈浩明	邓新元
	文克玲	薛平		

清华大学出版社

**(京)新登字 158 号**

**内 容 简 介**

本书为新编教材,供一些对物理基础要求较高的专业学习“大学物理”的后续课程——“近代物理与高新技术物理基础”使用。本书分为近代物理和高新技术物理基础上下篇。

上篇除讲述原子、分子、原子核和粒子物理外,还在普通物理的层次上讲述了广义相对论和混沌,下篇则讲述固体物理和新材料、近代光学和信息处理、新能源等和高新技术密切相关的物理内容。本教材的特点是着重讲基础,但尽量反映前沿;着重讲物理,但适当联系技术。着眼于培养学生的科学素质和从物理原理上进行技术创新的意识和能力。

本书可作为高等学校理工科非物理专业“大学物理”后续课程的教材或教学参考书。

**书 名:** 近代物理与高新技术物理基础——大学物理续编

**作 者:** 陈泽民 主编

**出版者:** 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

**印刷者:** 北京昌平环球印刷厂

**发行者:** 新华书店总店北京发行所

**开 本:** 787×1092 1/16 **印张:** 34 **字数:** 780 千字

**版 次:** 2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

**书 号:** ISBN 7-302-04423-6/O·256

**印 数:** 0001~3000

**定 价:** 38.00 元

# 前 言

近代物理与高新技术物理基础



开设“近代物理与高新技术物理基础”课,并编写相应的教材,是工科物理教学改革的一种新尝试。

物理学是技术的基础。没有热学、热力学的研究就不会有以蒸汽机的发明和广泛应用为标志的第一次工业革命;没有电磁学的研究和电磁理论的建立,就不会有今天的工业电气化和现代的无线电通信;没有 20 世纪以来以相对论和量子力学作为理论基础的近代物理学的巨大进展,就不会有今天的微型计算机、激光和光通信、核能、纳米科学和技术等各种各样的高新技术。为了培养面向 21 世纪的、能参与国际上高新技术竞争的工程技术人才,使他们不仅能掌握新技术、应用新技术,还能发展新技术、创造新技术,就必须加强工科院校学生的物理基础,特别是近代物理和正在发展中的高新技术的物理基础。为此,我们在工科各系的学生学完共同的“大学物理”之后,设置了“近代物理与高新技术物理基础”这门课,作为普通物理第三学期的学习内容。这门课对一部分系的学生为必修,对其他系为选修。

本书分为近代物理和高新技术物理基础上下篇。在“大学物理”中,学生已学过一些近代物理的基础知识,如狭义相对论、量子力学的初步知识等,对这些已经讲过的部分,本书上篇中不再重复,而把重点放在原子分子、原子核和粒子、广义相对论和天体以及混沌的基本知识上。当今科学的发展已使许多学科,如化学、生物学、材料科学等,进入到原子分子这个层次,而核能的开发和核技术的广泛应用也要求学生具有一定的核物理基础知识,本教材在讲述这些问题的时候,力图应用学生已学过的量子力学的概念来定性说明原子、分子和原子核的结构与特性,尽量少用一般教材常用的半经典矢量模型的方法,这不仅有助于学生建立正确的概念,也能使学生学过的量子力学初步知识得到巩固和深化。粒子物理和天体物理是当前物理学研究的重要前沿,广义相对论和混沌则分别涉及正确的时空观和迅速发展的非线性科学的某些基本特征,过去在普通物理特别是工科物理的教学中很少涉及这些内容,在本教材中则用简单的数学工具,在普通物理的层次上对这些问题进行讲解和介绍,这也是使“物理前沿普物化”的一种尝试。

有人把高新技术的发展总结为:以信息技术为先导,以新材料技术为基础,以新能源技术为支柱,在宏观领域向空间及海洋技术发展,在微观领域则向生物技术开拓。尽管这种看法不一定准确和全面,但信息技术、新材料技术和新能源技术是高新技术的重要内容则是无疑的。在本书的下篇中,将近代光学、固体物理、核裂变和聚变等分别和这三种高新技术联系起来讲授,并适当扩展到红外和遥感及超声技术。近代物理分析技术是以近代物理的原理为基础的分析技术,在各个学科和生产中都有广泛的应用。由于篇幅有限,我们只选择了五种近代物理分析技术作为代表编入本书,使读者对物理原理在分析技术中的应用及特点有所了解。

编写本书所遵循的原则是：着重讲基础但尽量反映前沿，着重讲物理但适当联系技术；讲述深入而不至于太难，注意浅出而不流于肤浅；在教给学生有关近代物理和高新技术物理基本知识的同时，一方面注意培养学生的科学素质，特别是培养学生现代的科学自然观、宇宙观和辩证唯物主义的世界观，另一方面则着重培养学生应用物理知识在技术上进行创新的思想 and 能力。我们希望这些原则能在教材中有所体现。

本教材是在 1997 年编写的校内讲义的基础上，经过三年的试用，并进行修改、增补后完成的。它是清华大学物理系十余位教授通力合作的产物，书中反映了他们的研究成果和教学经验。

本书编写情况如下。高虹编写了本书的第 1, 2 章，陈泽民编写了本书的第 3, 8 章和 6.6, 7.3, 9.4, 9.5 等节以及本书的结束语和附录，李复和张三慧分别编写了第 4 章和第 5 章。第 6 章主要由范守善和何元金编写，第 7 章的校内讲义为吴念乐和吴美娟编写，现已由吴美娟在原来讲义的基础上重新进行了改编，第 9 章主要内容为崔砚生编写，第 10 章则由周铁英与陈宇共同编写。第 11 章 11.1~11.5 节分别由陈泽民、陈浩明、邓新元、文克玲和薛平编写。陈泽民主持了本书的编写工作并对各部分进行了审校和少量修改。

由于时间紧迫和我们的水平有限，书中不仅有些不尽如人意之处，也难免有疏漏和不准确之处，希望读者批评指正。

编者

2000 年 11 月于清华园

# 目 录

近代物理与高新技术物理基础



## 上篇 近代物理

<b>第 1 章 原子结构</b> .....	3
1.1 引言 .....	3
1.2 氢原子的玻尔模型 .....	5
1.3 氢原子的量子力学描述 .....	9
1.3.1 中心场中的运动 .....	10
1.3.2 氢原子结构 .....	11
1.3.3 氢原子光谱 .....	15
1.3.4 里德伯态与经典原子 .....	16
1.4 碱金属原子 .....	17
1.5 磁矩、角动量空间量子化及自旋 .....	20
1.5.1 轨道角动量与轨道磁矩 .....	20
1.5.2 斯特恩-盖拉赫实验:角动量的空间量子化 .....	21
1.5.3 自旋和自旋磁矩 .....	22
1.5.4 角动量的合成 .....	24
1.6 自旋轨道耦合与精细结构 .....	25
* 1.7 氢原子光谱的精细结构和兰姆移位 .....	29
1.7.1 氢光谱的精细结构 .....	29
1.7.2 兰姆移位和电子的反常磁矩 .....	30
* 1.8 超精细结构 .....	31
1.9 氦原子 .....	33
1.9.1 全同粒子与波函数的对称性 .....	34
1.9.2 泡利不相容原理 .....	36
1.9.3 氦原子的能级结构 .....	36
1.9.4 角动量耦合与原子态 .....	40
1.10 多电子原子结构 .....	41
1.10.1 中心场近似 .....	42
1.10.2 元素周期系 .....	42
1.11 X 射线 .....	46
1.11.1 连续谱:韧致辐射 .....	47

1.11.2 特征谱:内壳层电子的跃迁·····	48
1.12 原子在外电磁场中的行为·····	51
1.12.1 原子在磁场中的行为·····	51
1.12.2 原子在电场中的行为·····	54
习题·····	55
参考文献·····	57
<b>第2章 分子结构</b> ·····	<b>59</b>
2.1 分子结构的一般性质·····	59
2.2 电子运动与价键的形成·····	61
2.2.1 NaCl分子:离子键的形成·····	61
2.2.2 $H_2^+$ 离子:共价键的形成·····	62
2.3 双原子分子的振动与转动·····	64
2.4 分子光谱·····	66
2.4.1 纯转动光谱·····	66
2.4.2 振动-转动光谱·····	67
2.4.3 电子光谱·····	68
2.4.4 分子的离解·····	70
2.4.5 荧光和磷光·····	70
习题·····	71
参考文献·····	71
<b>第3章 原子核和粒子</b> ·····	<b>72</b>
3.1 原子核的基本性质·····	72
3.1.1 原子核的电荷·····	72
3.1.2 原子核的质量·····	73
3.1.3 原子核的大小·····	74
3.1.4 原子核的结合能·····	75
3.1.5 原子核的自旋和磁矩·····	77
3.1.6 核力·····	78
3.2 核结构模型·····	80
3.2.1 原子核稳定性的实验规律·····	80
3.2.2 液滴模型和质量的半经验公式·····	84
3.2.3 壳层模型和超重核·····	86
3.2.4 集体模型·····	89
3.3 原子核的放射性衰变·····	91
3.3.1 放射性衰变的基本规律·····	91

3.3.2	$\alpha$ 衰变 .....	94
3.3.3	$\beta$ 衰变 .....	96
3.3.4	$\gamma$ 衰变和诱发 $\gamma$ 辐射 .....	101
3.4	原子核反应 .....	102
3.4.1	反应能和阈能 .....	103
3.4.2	反应截面 .....	104
3.4.3	核反应的过程和机制 .....	105
3.5	粒子的分类和结构 .....	107
3.5.1	粒子的分类 .....	108
3.5.2	粒子和反粒子 .....	110
3.5.3	粒子和场 .....	114
3.5.4	强子结构——夸克模型 .....	115
3.6	粒子的相互作用 .....	118
3.6.1	四种相互作用 .....	118
3.6.2	场和媒介子 .....	119
3.6.3	电-弱相互作用的统一 .....	120
3.7	物理规律的对称性和宇称守恒 .....	122
3.7.1	对称性和守恒定律 .....	122
3.7.2	空间反演不变性和宇称守恒 .....	123
3.7.3	弱作用宇称不守恒问题 .....	128
3.7.4	PC 联合变换和 CPT 定理 .....	130
3.7.5	弱作用和生物手性 .....	132
3.8	小结——启示和困惑 .....	133
	习题 .....	134
	参考文献 .....	136

## 第 4 章 广义相对论和宇宙学 .....

4.1	广义相对论的基本原理 .....	137
4.1.1	惯性质量和引力质量 .....	137
4.1.2	等效原理 .....	138
4.1.3	广义相对论中的局域惯性系 .....	139
4.1.4	广义相对性原理 .....	140
4.1.5	光线偏折, 时空弯曲 .....	141
4.1.6	引力几何化, 爱因斯坦场方程 .....	143
4.2	史瓦西场中的时间和空间 .....	144
4.2.1	史瓦西场的固有时和固有长度 .....	144
4.2.2	用飞来惯性系中的时钟和尺子校准史瓦西场中的时钟和尺子 .....	145



4.2.3	坐标时和坐标长度 .....	147
4.2.4	固有时、固有长度与坐标距离 $r$ 的关系 .....	148
4.3	广义相对论的实验检验 .....	149
4.3.1	引力引起的光谱线频率移动 .....	149
4.3.2	太阳引力场中光线的偏折 .....	151
4.3.3	雷达回波的引力延迟 .....	153
4.3.4	行星近日点的相对论进动 .....	156
4.3.5	史瓦西场中运动标准钟的走时速率——铯原子钟环球飞行实验 ..	158
4.4	史瓦西黑洞 .....	159
4.5	大爆炸宇宙学简介 .....	162
4.5.1	当今宇宙的概貌和恒星的演化 .....	163
4.5.2	宇宙学原理和哈勃定律 .....	167
4.5.3	物质为主时期的宇宙 .....	171
4.5.4	辐射为主时期的宇宙——宇宙早期的历史 .....	175
	思考题 .....	181
	习题 .....	182
	参考文献 .....	183
<b>第 5 章</b>	<b>混沌——决定性的混乱 .....</b>	<b>183</b>
5.1	决定性和可预测性 .....	183
5.2	受迫振动中出现的混沌 .....	185
5.3	混沌运动的一些基本特征 .....	187
5.4	相图 .....	189
5.5	几个混沌实例 .....	193
	思考题 .....	196
	参考文献 .....	196

## 下篇 高新技术物理基础

<b>第 6 章</b>	<b>固体物理和新材料 .....</b>	<b>201</b>
6.1	引言 .....	201
6.1.1	固体材料的分类 .....	201
6.1.2	固体材料的性质与固体物理学 .....	202
6.2	晶体结构与晶体结合 .....	202
6.2.1	晶体结构 .....	202

6.2.2	倒易点阵与布里渊区 .....	204
6.2.3	晶体结合 .....	205
6.3	金属的自由电子理论 .....	208
6.3.1	特鲁德的自由电子理论 .....	208
6.3.2	金属自由电子的能量与波函数 .....	211
6.3.3	态密度 .....	214
6.3.4	电子在允许状态上的分布 .....	216
6.3.5	电导率 .....	219
6.3.6	电子气的热容 .....	220
6.4	固体的能带 .....	222
6.4.1	晶体中电子的能量 .....	223
6.4.2	晶体中电子的波函数——布洛赫函数 .....	225
6.4.3	能带的性质,布里渊区 .....	226
6.4.4	能带中的状态密度 .....	229
6.4.5	有效质量 .....	229
6.4.6	导体、绝缘体和半导体 .....	230
6.5	半导体微结构 .....	232
6.5.1	半导体与PN结 .....	232
6.5.2	半导体微结构:量子阱与超晶格 .....	240
6.5.3	共振隧道晶体管 .....	242
6.6	超导 .....	246
6.6.1	超导体的主要特性 .....	247
6.6.2	超导的微观理论 .....	251
6.6.3	约瑟夫森效应 .....	252
6.6.4	高温超导的研究 .....	256
6.7	新型热电材料与温差发电 .....	258
6.7.1	塞贝克效应 .....	258
6.7.2	温差发电 .....	262
6.8	光子晶体 .....	264
6.8.1	光子晶体和光子带隙 .....	264
6.8.2	雅布里诺维奇的早期工作 .....	266
6.8.3	其他光子晶体 .....	267
	习题 .....	268
	参考文献 .....	269

## 第7章 近代光学和信息处理 .....

7.1	激光原理简介 .....	270
-----	--------------	-----

7.1.1	爱因斯坦的辐射理论 .....	270
7.1.2	光谱线的线宽 .....	272
7.1.3	激光的基本原理 .....	275
7.1.4	He-Ne 激光器简介 .....	283
7.2	半导体激光器 .....	284
7.2.1	半导体激光器原理 .....	284
7.2.2	异质结激光二极管 .....	287
7.2.3	量子阱激光器 .....	288
7.3	同步辐射和自由电子激光 .....	290
7.3.1	同步辐射 .....	291
7.3.2	自由电子激光 .....	295
7.4	全息术 .....	299
7.4.1	什么是全息术 .....	299
7.4.2	全息照相的原理 .....	301
7.4.3	全息图的类型及应用 .....	304
7.5	傅里叶光学和光信息处理 .....	306
7.5.1	光学透镜的傅里叶变换性质 .....	306
7.5.2	阿贝成象原理 .....	314
7.5.3	空间滤波和光信息处理 .....	315
7.6	非线性光学简介 .....	318
7.6.1	强光与介质的相互作用 .....	318
7.6.2	二阶非线性效应 .....	319
7.6.3	三阶非线性效应对折射率的影响 .....	324
7.6.4	光学相位共轭 .....	325
7.6.5	光学双稳态 .....	329
7.7	光通信与光存储 .....	332
7.7.1	光通信 .....	332
7.7.2	激光存储技术 .....	337
	习题 .....	341
	参考文献 .....	343
<b>第 8 章</b>	<b>新能源 .....</b>	<b>344</b>
8.1	概述 .....	344
8.1.1	能源的分类 .....	344
8.1.2	能源形势及开发新能源的迫切性 .....	345
8.1.3	能源的评价 .....	346
8.1.4	获取能量的物理基础 .....	346

8.2 核裂变能 .....	347
8.2.1 核裂变理论 .....	348
8.2.2 裂变截面和激活能 .....	353
8.2.3 裂变产物 .....	354
8.3 链式反应及反应堆,核电站 .....	356
8.3.1 核裂变的链式反应 .....	356
8.3.2 链式反应的控制——反应堆 .....	358
8.3.3 热中子反应堆 .....	359
8.3.4 快中子增殖堆 .....	361
8.3.5 低温核供热堆 .....	362
8.4 聚变能 .....	363
8.4.1 巨大的能源 .....	363
8.4.2 基本的聚变反应过程 .....	364
8.4.3 实现受控热核反应的基本条件 .....	365
8.4.4 磁约束原理和装置 .....	367
8.4.5 惯性约束 .....	369
8.4.6 核聚变研究的进展和聚变反应堆 .....	370
8.5 原子弹和氢弹 .....	373
8.5.1 原子弹 .....	373
8.5.2 氢弹 .....	375
8.6 太阳能 .....	376
8.6.1 太阳能的来源和太阳辐射 .....	376
8.6.2 太阳能的热利用 .....	379
8.6.3 太阳能的光电转换 .....	383
8.6.4 太阳能的光化学转换 .....	386
8.7 氢能和其他能源 .....	386
8.7.1 氢能 .....	386
8.7.2 其他能源 .....	388
习题 .....	391
参考文献 .....	392

## 第9章 红外辐射与遥感 .....

9.1 热辐射的基本规律 .....	393
9.1.1 热辐射的基本概念 .....	393
9.1.2 热辐射的基本规律 .....	396
9.1.3 实际物体的热辐射 .....	398
9.2 红外辐射及红外辐射源 .....	400

9.2.1	红外光谱的波段划分 .....	400
9.2.2	红外辐射的发射机理 .....	400
9.2.3	红外辐射源 .....	401
9.3	红外辐射的传输 .....	404
9.3.1	红外辐射在传输媒质中衰减的规律 .....	405
9.3.2	红外辐射在大气中的传输 .....	405
9.3.3	红外辐射在固态媒质中的传输 .....	409
9.4	红外辐射的探测及应用 .....	411
9.4.1	红外辐射的探测 .....	412
9.4.2	红外测温 .....	415
9.4.3	红外无损检测 .....	417
9.4.4	环境监测 .....	419
9.4.5	热成象仪的应用 .....	419
9.4.6	红外技术在军事上的应用 .....	421
9.5	红外遥感技术 .....	421
9.5.1	遥感的物理基础 .....	422
9.5.2	遥感仪器 .....	426
9.5.3	遥感信息的处理与判读 .....	431
	习题 .....	434
	参考文献 .....	435
<b>第 10 章</b>	<b>超声与超声技术 .....</b>	<b>436</b>
10.1	概述 .....	436
10.2	超声波的特性 .....	437
10.2.1	波速 .....	437
10.2.2	超声场特征量 .....	438
10.2.3	超声波的传播特性 .....	439
10.2.4	超声场对介质的作用 .....	442
10.3	超声的产生和接收 .....	443
10.4	超声产业 .....	444
10.4.1	超声清洗 .....	445
10.4.2	超声焊接 .....	445
10.4.3	超声加工 .....	446
10.4.4	超声检测 .....	447
10.4.5	超声工业测量 .....	447
10.5	声成象 .....	447
10.6	超声马达 .....	450

10.6.1	超声马达的运行原理和分类	451
10.6.2	行波型超声马达	451
10.6.3	扭纵复合驻波型超声马达	453
* 10.7	声表面波器件	454
10.7.1	引言	454
10.7.2	工作原理和基本特性	455
* 10.8	声辐射压力与声悬浮	458
10.8.1	声悬浮装置	458
10.8.2	声辐射压力	458
10.8.3	声悬浮技术的应用	460
	习题	460
	参考文献	461

## 第 11 章 近代物理分析技术 ..... 462

11.1	共振散射和穆斯堡尔效应	462
11.1.1	$\gamma$ 射线的共振吸收	462
11.1.2	穆斯堡尔效应——无反冲共振散射	464
11.1.3	穆斯堡尔效应的应用	466
11.2	扫描探针显微术	472
11.2.1	引言	472
11.2.2	扫描隧道显微镜	474
11.2.3	扫描探针显微术	480
11.2.4	近场扫描光学显微镜	484
11.2.5	单原子操纵和控制	486
11.3	核磁共振及其应用	488
11.3.1	核自旋与核磁矩	488
11.3.2	核磁矩与恒定外磁场的相互作用能	491
11.3.3	核磁共振	492
11.3.4	饱和与弛豫	493
11.3.5	核磁共振技术的应用	495
11.4	单个原子和分子的探测和识别	501
11.4.1	用共振电离谱学探测气体中的单个原子和分子	502
11.4.2	利用激光激发分子荧光的方法来检测液体中的单个分子	506
11.5	光学相干断层扫描成像新技术 OCT	508
11.5.1	OCT 的基本原理	508
11.5.2	超外差法测量原理	510
11.5.3	实验装置	511

---

11.5.4 应用.....	512
习题.....	513
参考文献.....	514
<b>结束语——总结和启示 .....</b>	<b>516</b>
<b>附录 I 基本的物理常数 .....</b>	<b>523</b>
<b>附录 II 诺贝尔物理学奖获得者及得奖项目 .....</b>	<b>524</b>

上 篇

近代物理



