

(第三版)

# 大学物理

## 第三册

——周勇志 吴天海 主编——



高等学校教材

华南理工大学出版社

高等学校教材

# 大学物理

(第三版)

第三册 现代工程技术物理基础

周勇志 吴天海 主编

华南理工大学出版社

· 广州 ·

## 内 容 简 介

《大学物理》是依照高等工业学校大学物理课程教学基本要求编写的教材。为适应教育形势发展的需要,经一再修订,现为第三版。全书共分三册:第一册为力学、振动与波、光学、热学;第二册为电磁学与近代物理基础;第三册为现代工程技术的物理基础专题。

本书可作高等工业院校各专业大学物理课程教材,也可作理科非物理类专业的物理课程教材或参考书,亦可供青年读者自学和科技人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理(第三册)/周勇志,吴天海主编.—3版.—广州:  
华南理工大学出版社,1998.6

ISBN 7-5623-1217-6

I. 大… II. ①周…②吴… III. 物理-高等学校教材 IV. O4

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮编 510641)

责任编辑 胡 元

各地新华书店经销

番禺市官桥彩印厂印装

\*

1998年6月第3版 1998年6月第6次印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 9.625 字数: 246千

印数: 22 501—27 500册

定价: 15.00元

## 第三版前言

我们编写的《大学物理》，自1988年出版后，于1991年再版。随着教育改革的深入，依据国家教委高等学校工科物理教学指导委员会修订的教学基本要求，及其最近制订的“重点工业大学物理课程改革指南”（初稿）精神，编者感到有必要对第二版进行修订。把原为三册的教材及配套的习题集作了简约，调整为两册，第一册包括力学、机械振动与机械波、波动光学、气体动理论和热力学基础；第二册包括电磁学和近代物理学基础。内容顺序较第一、二版有所变动，这是为了适应教学课时的安排。新编的第三册，内容主要为现代工程技术的物理基础。这样，经修订后的第三版，其经典物理内容适当压缩，使选材更为少而精，但基础部分切实保证，并保持初版的注意理论联系实际、培养能力等方面的特色。按照“指南”精神，第三册属于提高性的知识，故列作各个独立的专题，供有关专业选用。采取这样的整体安排，是力求逐步实现物理教学内容现代化，为迎接高新科技飞速发展的挑战提供物理基础。

为了使教材有较大的适应性，第一、二册内容分为三个档次：有适应于本科各专业的基本内容；有带\*号的供各专业选用的内容；还有属于加深要求的内容，用小字排

印。

本教材初版由周勇志统稿，具体编写分工为：绪论、光学(周勇志)，力学包括相对论(钟韶)，机械振动与机械波(黄月霞)，分子物理学(钟亮佩)，热力学基础(谢坤芳、周勇志)，电磁学(简趣玲)，量子物理(许仁名)，习题集(宗馥英、黄志明、吴天海)。参加第三版修订工作的有：许仁名(力学、近代物理学基础)，周勇志(机械振动与机械波、光学、气体动理论与热力学基础)，简趣玲(电磁学)，宗馥英(习题)。参加第三版第三册(新编)编写工作的有吴天海、何天霖、李仁英、魏宝华、李绍新、卢义刚等。第三版第一、二册由周勇志、简趣玲统稿，第三册由吴天海统稿。

限于我们的水平，虽经努力，难免仍有不足之处，恳请读者批评指正。

编者

1997年12月

## 前 言

现代物理的伟大成就，使 21 世纪成为物理世纪。1900 年普朗克提出了量子假说，1905 年爱因斯坦建立了狭义相对论，1913 年玻尔用量子论解释氢原子光谱，1916 年爱因斯坦发表了广义相对论，1924~1926 年德布罗意、海森堡、薛定谔、泡利、狄拉克、玻恩等建立了量子力学，使现代物理发展成为完整的理论体系。相对论和量子理论深刻地揭示了时空属性和物质的微观结构及其运动规律，对物理学以至整个自然科学各个领域都产生了深远的影响。相对论和量子理论应用于物理学，使原来许多经物理学所不能解释的现象得到了解释，并产生了一系列现代物理新分支，如原子物理、分子物理、凝聚态物理、等离子体物理、高能物理、天体物理、生物物理等等。随着工业技术和科学研究的发展，本世纪 40 年代以来，物理及其分支取得了辉煌的成就，并纷纷从理论走向实际应用。原子能的发现和实际应用是现代物理从理论转向应用的第一次伟大成就， $E=mc^2$  已经成为 20 世纪人类文明的标志。此外，半导体和大规模集成电路、激光、超导、固体材料等的每一项发明或发现，其意义都足以影响一个时代。完全可以肯定地说，当代任何

新技术、新工艺的发明和新材料的发现都离不开现代物理的理论基础。近半个世纪以来，物理学本身也得到迅速的发展。60年代发展起来的非线性系统、非平衡态系统的物理学所取得的成果又一次震撼了20世纪的科学界。非线性科学和混沌揭示了有序与无序的统一、确定性和随机性的统一，可以说是继相对论和量子力学问世以来物理学的最重大发展，对下一世纪科学技术的影响将是不可估量的。

21世纪物理学仍将在科学技术发展中处于主导地位，因此很难想像一个不懂得现代物理的科学技术人员，能够成为跨世纪的、参与国际竞争的高级工程技术人才。工科“大学物理”教学的主要目标之一是：在学习经典物理的基础上，让学生尽快地掌握和了解现代物理学的基本概念和基本规律，以及现代物理在科学技术中的应用。我们编写本教材的目的正是希望同学们在学习大学物理（包括现代物理）的基本理论以后，了解现代物理在科学技术中的应用，不断扩大自身知识面，提高现代物理意识，为学习新技术、新工艺、新知识打下良好的基础，以达到在科学素质、思维能力、创造能力等方面的培养和提高。

由于编者水平有限，时间仓促，书中的不当之处难免，恳请使用本教材的老师和同学批评指正。

编者

1997.10

# 目 录

## 第七篇 现代工程技术物理基础

<b>专题一 凝聚态物理基础</b> .....	1
§ 1-1 凝聚态物理简介 .....	1
§ 1-2 晶体的基本性质 .....	5
§ 1-3 晶格振动 .....	9
§ 1-4 能带理论 .....	13
思考题 .....	17
参考文献 .....	18
<b>专题二 超导电性</b> .....	19
§ 2-1 超导现象 .....	19
§ 2-2 超导体的主要特性及其原理 .....	20
一、超导体的主要特性 .....	20
二、伦敦方程 .....	24
§ 2-3 BCS 理论 .....	27
§ 2-4 约瑟夫逊效应 .....	29
§ 2-5 超导电性的应用 .....	32
一、超导磁体 .....	32
二、超导电子学 .....	34
思考题 .....	36
参考文献 .....	36
<b>专题三 等离子体</b> .....	37



§ 3-1 自然界的等离子体及其特性 .....	37
一、自然界的等离子体 .....	37
二、等离子体的特性 .....	38
§ 3-2 单粒子的轨道理论 .....	40
§ 3-3 磁流体力学 .....	43
§ 3-4 等离子体内的可控热核聚变 .....	47
思考题 .....	52
参考文献 .....	53
<b>专题四 核磁共振</b> .....	<b>54</b>
§ 4-1 核磁共振基本原理 .....	54
§ 4-2 核磁共振信号的基本检测方法 .....	59
§ 4-3 核磁共振的应用 .....	61
思考题 .....	63
参考文献 .....	64
<b>专题五 激光产生的基本原理和应用</b> .....	<b>65</b>
§ 5-1 自发辐射和受激辐射 .....	66
一、受激吸收 .....	66
二、自发辐射 .....	67
三、受激辐射 .....	68
四、吸收系数和辐射系数之间的关系 .....	69
§ 5-2 能级寿命和粒子数反转分布 .....	71
一、粒子数按能量的正常分布和反转分布 .....	71
二、能级寿命和亚稳态能级 .....	73
§ 5-3 激活介质和增益系数 .....	77
一、激活介质及其能级结构特性 .....	77
*二、激活介质中光的增益与增益系数 .....	80
§ 5-4 光学谐振腔 .....	82
一、光学谐振腔的作用 .....	82

* 二、谐振腔的类型	84
三、谐振腔中维持光振荡的阈值条件	86
* § 5-5 激光器的纵模和横模	88
一、由激活介质辐射决定的谱线宽度	88
二、谐振腔的选模作用	91
三、激光的纵模	92
四、激光的横模	94
* § 5-6 激光 Q 突变技术	96
一、谐振腔的品质因数 Q	97
二、Q 开关的种类	99
§ 5-7 激光器及其类型	102
一、气体激光器	102
二、固体激光器	106
三、液体激光器	107
四、半导体激光器	107
五、自由电子激光器	109
六、探索中的激光器	110
§ 5-8 激光的特性和应用举例	111
一、激光的特性	111
二、激光的应用举例	113
思考题和习题	119
参考文献	120
<b>专题六 非线性光学简介</b>	<b>121</b>
§ 6-1 光学介质的线性与非线性	121
§ 6-2 非线性光学效应及其应用	124
一、非线性光学的倍频和混频效应	124
二、受激散射效应	132
三、激光束的非线性传播效应	134

思考题.....	137
参考文献.....	138
<b>专题七 光导纤维和光纤通信</b> .....	139
§ 7-1 光通信概况 .....	139
一、光纤通信系统 .....	140
二、光纤通信的特点 .....	142
§ 7-2 光纤的构造及传光原理 .....	144
一、阶跃型多模光纤 .....	145
二、阶跃型单模光纤 .....	150
三、梯度型光纤(渐变型光纤) .....	151
*§ 7-3 光纤的损耗和色散 .....	153
一、光纤的损耗 .....	153
二、光纤的色散 .....	158
§ 7-4 光纤的实际应用和展望 .....	160
一、光纤在通信技术中的应用 .....	160
二、光纤通信展望 .....	162
三、光纤的其它应用 .....	163
四、光纤研制的进展 .....	164
思考题.....	165
参考文献.....	165
<b>专题八 红外技术及其物理基础</b> .....	166
§ 8-1 引言 .....	166
§ 8-2 物体热辐射定律 .....	168
一、黑体辐射 .....	168
二、黑体光子辐出度 .....	169
三、实际物体的辐射 .....	169
§ 8-3 红外系统及其子系统 .....	171
一、红外光学系统 .....	172

二、红外探测器 .....	174
三、信息处理系统 .....	178
§ 8-4 不同类型的红外系统 .....	179
一、探测系统 .....	179
二、跟踪、搜索系统 .....	179
三、红外热成像系统 .....	181
§ 8-5 红外技术的应用 .....	184
思考题 .....	187
参考文献 .....	188
<b>专题九 遥感技术的物理基础</b> .....	189
§ 9-1 引言 .....	189
* § 9-2 辐射测量学基础 .....	190
一、辐射物理量的定义 .....	190
二、辐射通量密度(辐出度 $M$ 或辐照度 $E$ )与辐亮度 $L$ 的关系 .....	194
三、单色辐射物理量 .....	195
四、吸收率、反射率和透射率的关系 .....	196
五、光度量 .....	196
§ 9-3 大气窗口 .....	197
§ 9-4 电磁波与物质的相互作用及传播规律 .....	198
一、平面电磁波的波动方程 .....	198
二、电磁波的吸收和散射 .....	199
三、电磁波的反射 .....	199
* § 9-5 地物热辐射理论 .....	201
一、热辐射定律 .....	201
二、常温地物热辐射公式 .....	201
§ 9-6 轨道传感器接收地物信息概述 .....	203
一、朗伯面的反射辐射特性和热辐射特性 .....	203
二、影像地面(空间)分辨率与时间分辨率 .....	203

三、遥感影像密度 .....	204
四、微波遥感的理论基础 .....	207
§ 9-7 遥感影像处理 .....	209
§ 9-8 遥感的应用 .....	211
§ 9-9 遥感技术展望 .....	214
思考题 .....	219
参考文献 .....	219
<b>专题十 超声技术简介 .....</b>	<b>220</b>
§ 10-1 超声波及其传播 .....	220
一、超声的波型 .....	221
二、超声加速度 .....	221
三、超声场及其特征量 .....	222
四、超声波的反射和折射 .....	223
五、超声波的吸收和衰减 .....	226
§ 10-2 超声波的产生 .....	228
一、压电换能器 .....	228
二、超声波发生器 .....	232
三、流体动力型超声波发生器 .....	233
§ 10-3 超声的应用 .....	236
一、超声清洗 .....	237
二、超声在医学中的应用 .....	241
思考题 .....	246
参考文献 .....	247
<b>专题十一 恒星的演化和终局 .....</b>	<b>248</b>
§ 11-1 恒星的演化 .....	248
一、恒星的属性 .....	250
二、赫罗图 .....	253
三、恒星的演化 .....	255

§ 11-2 白矮星、中子星和黑洞 .....	263
一、白矮星 .....	264
二、中子星和超新星爆发 .....	265
三、黑洞 .....	268
思考题 .....	275
参考文献 .....	276
<b>专题十二 宇宙的起源——大爆炸宇宙论简介</b> .....	<b>277</b>
§ 12-1 宇宙的演化模型和稳恒态模型 .....	278
一、宇宙的演化模型 .....	278
二、宇宙的稳恒态模型 .....	279
§ 12-2 大爆炸宇宙模型 .....	279
一、大爆炸开始阶段 .....	279
二、粒子阶段 .....	280
三、氦、氦生成阶段 .....	281
四、原子、星系形成阶段 .....	282
§ 12-3 大爆炸宇宙模型的实验依据 .....	282
一、宇宙正在膨胀 .....	282
二、天体的年龄 .....	285
三、3K 微波背景辐射 .....	285
四、氦的丰度 .....	286
§ 12-4 宇宙的未来 .....	288
一、开放型宇宙和闭合型宇宙 .....	289
二、下落不明的质量 .....	291
思考题 .....	294
参考文献 .....	294

# 第七篇 现代工程技术 物理基础

## 专题一 凝聚态物理基础

### § 1-1 凝聚态物理简介

以固体物理为主干的凝聚态物理学是研究大量粒子构成的体系的学科。经过半个多世纪的迅速发展，它已经成为当今物理学的最重要的分支之一。从历史上看，凝聚态物理学是固体物理学的外向延拓。近年来由于固体物理的基本概念和实验技术已在一些非固体材料领域中应用并取得了显著的成效，所以人们更乐意采用涉及范围更广泛的“凝聚态物理”这一名称。应该指出，凝聚态物理之所以成为物理学的重要分支，一方面是由于其在应用上富有巨大的潜力，毫无疑问，它将成为一系列新材料、新器件和新工艺的源泉；另一方面是由于其内容丰富多彩，形成了对人们智力的有力挑战。目前，凝聚态物理的概念、方法和技术仍在继续向相邻领域渗透，促进了化学物理、生物物理和地球物理等交叉学科的发展。

凝聚态物理学的发展可以从近代获得诺贝尔物理学奖的几个

重要理论和实验成果加以说明。1948年晶体管的问世，使固体物理学站稳了脚跟，开始受到人们的重视。肖克莱、巴丁等人由此获得了诺贝尔物理学奖。这一理论指导下的实验工作，在技术上实现了重大突破，从而改变了人类社会的面貌，生动地说明了凝聚态物理学中理论、实验和技术之间的紧密联系。其后朗道由于在凝聚态理论方面所进行的先驱性工作而获得诺贝尔奖，这一工作奠定了以传统的固体物理学发展为凝聚态物理学的理论基础，不仅研究的对象有所扩大，而且也使人们对物质结构在概念上的统一性得到更充分的认识。凝聚态物理学的重要进展始于60年代末、70年代初，在1968~1987年的20年时间里，由于凝聚态物理学的研究而获得诺贝尔物理学奖的有8.5次共19人获奖，居诸分支学科的首位。值得注意的是，超导研究的重大突破，首先是巴丁、库柏与施里弗提出的BCS理论解决了长期悬而未决的超导微观机制这一难题。随后，约瑟夫逊提出了约瑟夫逊效应的理论预言，吉尔夫首次观测到超导体单粒子隧道效应。接着，比多怒和莫勒因发现了高 $T_c$ 氧化物超导体而轰动了全世界，酝酿着一场新的技术革命。此外在半导体物理及其它相邻学科中也取得了重大的突破，如半导体隧道效应的发现及量子霍尔效应的发现，它们是属于新兴的低维凝聚态物理学的问题。最近几年的诺贝尔物理学奖大部分都授予了与凝聚态物理有关的课题研究者，甚至在生理学 and 化学奖上也反映出凝聚态物理学的贡献。

经过近几十年的发展，凝聚态物理的研究已日臻完善，但仍然有许多问题等待我们去研究，下面作一个简述。

### 1. 新的有序相的探索与研究

凝聚态物理学研究的对象是大量粒子构成的体系，体系中的粒子数高达 $10^{23}$ 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$ 。在一定温度下，大量的粒子通过相互作用产生有序化过程，形成有序相。例如铁磁体、反铁磁体、铁电体、超导体及超流体等，这些有序相往往具有特殊的物理性质，有



些是可以在技术上加以应用的。而有序化的物理机制又是理论研究的重要课题，因而对于新的有序相的探索与研究一直是相当热门的课题。近年来这方面的研究工作十分活跃，如<sup>4</sup>He的超流相的研究，重费米子金属化合物、重费米子超导体及氧化物超导体的研究等等。

## 2. 低维体系

传统的固体物理学的研究对象为三维的晶体，近年来随着固体器件科学和技术的发展，对于一维和二维等低维体系的研究相当活跃。当前主要研究的低维体系有：

(1) 链状结构和层状结构体系，这些体系侧向的联系较弱，但不等于零，所以是准一维或准二维的体系。对这些体系的研究，掀起了有机分子导体及高温超导体研究的热潮。

(2) 二维分子体系，如在TaSe<sub>2</sub>等层状结构的过渡金属硫系化合物中发现有密度波基态及由密度波滑行引起的导电现象，颇令人关注。

(3) 人工微结构材料，如场效应管中的反型层及半导体异质结等，在薄层内电子被势垒限制在二维方向上运动，因而构成了量子阱中的二维电子气，并在二维电子气中发现了一系列特殊的性质，其中最重要的就是量子霍尔效应。

(4) 分数维体系，即和分形结构有关的问题。分形几何学的研究在数学界早就开始，但只是Mandelbrot在书中对它系统阐述之后，物理学界才开始认识其重要性。目前主要开展的是有关分形的能谱、相变及动力学等方面的研究。

## 3. 无序体系

结构比较简单的三维完整晶体是传统固体物理学研究得最透彻的领域。目前采用现代能带理论，利用大型计算机这一有力工具可以相当准确地计算出一些基态的参量，甚至能计算出某些激发态的参量，并绘制简单的相图，计算出来的物理性质参数与实