



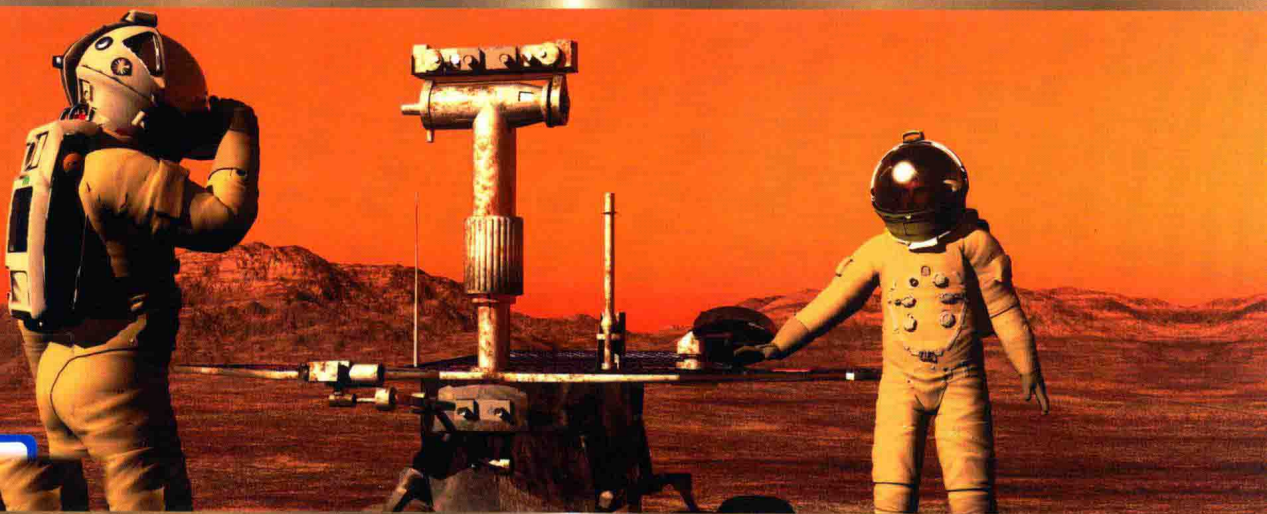
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
世行贷款教改项目成果

大学物理学

第5版

第二卷 近代物理基础

王建邦 主编 张旭峰 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育本科国家级规划教材
教育部世行贷款教改项目成果

大学物理学

第二卷 近代物理基础
第5版

主 编 王建邦
副主编 张旭峰
参 编 黄启宇 杨 艳
胡俊丽 崔文丽



机械工业出版社

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本书根据教育部世行贷款教学改革项目的成果和教育部最新颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》编写而成。全套书共两卷，本书为第二卷，主要内容有相对论基础、量子物理、激光、固体物理基础和原子核物理等。

本书的一大特色、即新的尝试是，除在叙述上力求深入浅出、概念准确，并尽量以具体的实例使内容更加生动外，还在讲述基本概念和基本物理规律的同时，具体阐述所学内容中应用的物理学研究方法。与此同时，本书在体系结构上还在每章后又增加了一小节“物理学思想与方法简述”，进一步简要介绍相关物理学的研究方法，并提示读者应用这些研究方法的要点，让学生自己通过归纳、总结、亲身体验和练习来掌握这些研究方法，达到既增长知识，又提高能力的教学目的，实现知识、能力与素质综合培养的目标。

本书为高等院校理工科类大学物理课程的教材，也可作为高校物理教师、学生和相关技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理学. 第二卷, 近代物理基础/王建邦主编. —5 版. —北京: 机械工业出版社, 2017. 7

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-111-57409-5

I. ①大… II. ①王… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 165551 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 李永联 责任编辑: 李永联

版式设计: 霍永明 责任校对: 李锦莉 刘秀丽

封面设计: 马精明 责任印制: 孙 炜

北京京丰印刷厂印刷

2017 年 8 月第 5 版 · 第 1 次印刷

170mm × 227mm · 26 印张 · 490 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-57409-5

定价: 44.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

第5版前言

随着我国大众创业、万众创新时代的到来，大学物理教学改革进入“深水区”，要求教材与时俱进，特别是我们在近几年试点“翻转课堂”的教学改革中强化了学生课前预习与课堂讨论的教学环节，倡导学生“自主学习、积极思考、敢于质疑”，对此，一套适应学生课前预习与参与课堂讨论的教材，一定程度上成为持续推进教学改革的关键，本书第5次修订的指导思想就在于此。按照这一指导思想，本书在保持前几版特点的基础上做了以下几方面的修订：

一、新添疑问句 159 个

爱因斯坦说过：“发展独立思考和独立创新的一般能力，应当始终放在首位，而不应把知识放在首位。”李政道先生也告诫青年学子：要创新，需学问，只学答，非学问；要创新，需学问，问愈透，创更新。我们在教改实践中曾采取各种措施号召、引导、鼓励学生提问。多年来有记载的学生提出的问题已达8万多个。学生在学习大学物理时是有问题要问的，如学生问：能否从实验上显示大块导体中的电流线？信息是随能量传递还是随相位传递？能否用引力场使光子减速？氢原子跃迁时能量以光的形式释放，那么它自身的质量应该会减少吧？等等。为此，本书从学生需求中通过反向思维来设计教材的叙述方式，在原书中300多个由黑体字凸显的各种问题的基础上，本卷新添了159个疑问句，尽可能“把知识‘冰冷美丽’的学术形态转化为教育形态，使学生能高效率地进行“火热的思考。”思考问题是为了使学生从重学轻思向学思结合转变，思考问题是为了从传承中学习物理方法和物理思想，思考问题是为了开展探究式学习，思考问题是为了解决实际问题。因此，159个问题的提问方式尽可能按教学内容的逻辑结构与学生的思维习惯综合设置，有的问题是为了引出知识点，有的问题是为了明确物理意义，有的问题是为了突出重点，有的问题是为了破解难点，有的问题是为了体现理性思辨、“学习方法、人格精神、文化传承”等。要达到的目标是使学生夯实基础、加强独立思考、激发自主学习兴趣、树立正确价值观、培养批判性思维和质疑精神等。19世纪德国教育家第斯多惠说过，“教学的艺术不在于传授知识，而在于激励、唤醒、鼓舞”，叶圣陶也说过，“教师之为教，不在全盘授予，而在相机诱导，必令学生运其才智，勤其练习，领悟之源广开，纯熟之功弥深，乃为善教者也”。教材内容的组织编写何尝不是这样。本次修订中新添159个疑问句，就是本次修订的一大任务。

二、新添理解与运用数学公式的练习 88 个

数学有时被称为科学的“女皇”，有时被称为科学的“侍女”，这是因为数学是自然科学的基本语言，更是现代工业技术和工程必不可少的工具。若从物理学发展的历史来考察物理学与数学的关系的话，我们就会发现，数学的概念渗透到了物理学的每一部分，在一种物理理论的形成过程中，数学均起了十分重要的推动和促进作用，物理学的思维方式与数学的方法运用有无法割断的血缘关系。一部大学物理教材作为一个系统，是由物理知识与数学表述相互联系、互相补充、彼此配合而形成的不可分割的整体。本书第4版中编写的公式有494个，这使不少学生在第一次翻阅大学物理教材时，看到书中大量的高等数学符号，就不由得对大学物理课程心存怯意，在学习中遇到数学符号、公式等就跳过去，这种态度与方法在很大程度上影响着他们的学习。

在本次修订中，我们坚持以学生为本，努力增强学生的自学意识，培养学生主动思考的能力，让学生自己去获取知识，努力实现自己的发展目标；引导学生掌握学习方法，增强获取知识、拓展知识和独立思考的能力；指导学生保持严谨求实的态度、刻苦钻研的作风、追求真理的勇气；帮助学生抓主要矛盾和矛盾的主要方面，提高分析和解决实际问题的能力；培养学生科学观察，勇于探索、敢于向旧观念挑战的批判性思维、求知创新等科学素养。为达此目的，本书有意穿插设置了88个对数学公式的“练习”，在强调定性分析、突出物理思想与物理方法的同时，聚焦定量分析的数学公式，让学生在亲自写一写、想一想、推一推的对数学公式的“练习”中，认识各种数学符号、方法、公式在表述物理知识与解决问题中的作用，让不同层次学生都能达到学习要求。

本书由王建邦担任主编，张旭峰担任副主编。参加本书修订工作的有：张旭峰（第十八、十九章）、黄启宇（第二十章）、杨艳（第二十一、二十二、二十三章）、王建邦（第二十四章）、胡俊丽（第二十五、二十六、二十七章）、崔文丽（第二十八、二十九、三十章）。

编 者

第4版前言

为适应社会经济发展和人才全面发展的需要,以人为本、照顾个性的教育理念为本书的修订提供了新的思路。作为一部适用的教材,应当使读者在“知识、能力、素质”协调发展中得到帮助。在知识、能力与素质三要素中,传授知识是基础,培养能力是关键,提高素质是根本。为此,本书在基本保持前几版特点的基础上做了以下几点修订:

一是将前几版中每章开头的“学习本章要求掌握”改为“本章核心内容”,并配以相应的图片。这一改动在教学内容基本要求上并无原则性差别,但更加细化与醒目,“细化”表现在与每次课(72学时进度)的教学内容安排相吻合,有利于“教”与“学”;“醒目”意在使每位读者阅读教材时做到心中有数。

二是本书经过十多年的使用,已经形成了较稳定的经典物理基础与近代物理基础并重的知识结构和呈现方式。在此基础上,本次修订不仅注重传授知识,更为学生的探究学习提供探究的方法和可以探究的内容。为此,在文字叙述上采用了“是不是”“为什么”“怎么做”“怎么用”等潜台词,为学生的学、思结合留下足够的空间,引导学生在阅读教材时自主、积极地思考,培养学生质疑问难的意识 and 能力。著名物理学家李政道先生也告诫青年学子:“要创新,需学问,只学答,非学问;要创新,需学问,问愈透,创更新。”当前,学生缺少的就是发现问题、分析问题和研究问题的能力。怎样让学生具备这种能力呢?如果一本教材能够为学生创造一种宽松的质疑、提问氛围,就能更好地激发学生的联想能力、发散思维能力和发现问题的能力。在本次修订中,我们有意识地在一些知识点上设情造景,通过意象与读者对话;在一些知识点上,我们有意识地留有余地,点到为止;在一些知识点上,我们特意以问代答,逐步引入。在个别知识点上,我们有意识地做点遗漏,让读者自己补漏,给他们提供一种机会与挑战。

三是注重物理学方法论的介绍与应用。“工欲善其事,必先利其器”,任何一门科学都有其方法论基础。在物理学的产生与发展过程中,形成了丰富的物理学方法。这些科学方法的总结、提炼和运用又促进着物理学这个大系统的发展,在此过程中理论与方法始终相生相伴。实际上,物理学理论本身就具有方法论功能,物理学中由文字、符号、图像、公式等组成的表象,是人类对客观规律的正确反映,因此,它是人类改造客观世界的工具。我们在第4版中结合知识点凸显了几种物理学方法,如观察方法、实验方法、假说方法、数学方法、理想化方法、类比与模拟方法、归纳与演绎方法、分析与综合方法、整体方法、场论方法

等。

四是希望使用了本书的读者能在以下几个方面不同程度地提升物理素质：①具有用物理学知识去观察、分析和思考各种物理现象是什么、为什么的物理意识；②具有运用物理概念、理论，以及几何、代数等数学语言去求解问题的思路；③具有将物理规律以微分形式表示、实际问题采用积分计算的观点；④具有从微观机理（制）追踪宏观物理现象本质的视角；⑤具有从物质不同层次的相互作用、运动与结构中去认识事物的境界；⑥具有在任何复杂的物理过程中都蕴含着为数不多的几个基本物理规律的思想。

本书由王建邦担任主编。参加本书修订工作的有：张旭峰（第五部分）、黄启宇（第六部分）、王建邦（第七部分）、杨军（第八部分）、刘兴来（第九部分）。

编 者

第3版前言

教材既是体现教学理念、课程内容、教学要求、教学模式的知识载体,又是指导学生获取知识的方法和渠道。本书为适应大学本科非物理学类专业对物理教学的基本要求,针对地方高校学生层次与认知规律,按集成“知识-能力-素质”于一体的指导思想,在多年教学改革实践及前两版的基础上,着眼于学生智慧和能力的培养进行修订。同时,为激发学生自主学习,引导思考,适度改变了前两版的撰写风格,在中学物理基础上、在有利于学生阅读的同时,营造一种探索与创新的氛围。

为了加强大学物理的基础地位,走出“一遇教学改革,物理教育就成为被削弱的对象”的怪圈,本套书将大学物理分为“经典物理基础”与“近代物理基础”两卷,两卷自成体系,又相呼应,分两学期开设。本书按因材施教的个性化教育原则,本书有少部分内容适度超出教学基本要求,有少部分内容适度超出课堂教学所需,有少部分内容适度超出多数学生的接受能力。

本科专业教育教学计划是由相互作用、相互依赖的若干部分(要素)结合而成的、具有特定功能的系统。服务于人才培养的大学物理课程是构成专业教育教学计划的一个“要素”,本书一方面注意了传承大学物理知识结构的纵向关系,另一方面又考虑了大学物理与本科专业教育教学计划中相关课程交叉、渗透的横向关系。按系统论观点,本书部分地调整了传统大学物理的知识结构单元,突出作为自然科学基本规律、能长时期发挥作用的基础性内容;突出通过渗透、融合可伸向理工类院校非物理类专业或工程技术学科与课程的基础性内容。

例如,在“路论”与“场论”的关系中,“路论”是电类课程的核心,即“以电路分析为基础、以电路设计为主导、以电路应用为背景”。“场论”作为能量流、物质流及信息流的物理基础,本书彰显“场论”。第一卷在介绍质点-质点系-连续体力学后,以流速场承前启后,以真空电磁场为主,以电流场、能流场、标量场、引力场等为辅,开出场物理学,强调在不同物理问题中,场可以是一种方法,可以是一个函数,可以是一种物质。

教学内容现代化一直是大学物理课程教学内容改革的一个热点。以目前我国21个工科大类、69个专业为例,在485门主要课程中,101门(含同名相近课程)或多或少涉及物理学原理与方法的延伸、拓展、“物化”与应用,其中依托近代物理基本原理的教学内容在不断增加,但专门介绍近代物理基本原理的课程不多,本书第二卷在大学物理层面上选编相对论、量子、激光、固体、原子核等

基础内容,意在加强近代物理向“材料、能源、信息”相关专业与课程的渗透。

为了帮助学生更好地掌握大学物理的基本内容,理论联系实际,加强能力培养,增强个性化学习,调动学习主动性,反复加强练习,本次修订在部分章节“学习本章要求掌握”的栏目中,适当增加了方法论的要求,并将大部分例题与全部习题从两卷中剥离,单独编写了《大学物理解题思路、方法与技巧》一书,作为教材一并提供学生使用,力求做到物理概念、原理与例题、习题的内在联系与衔接,以及教学内容与学生实际有机结合,浑然一体。

按128学时的教学时数,建议本套书第一卷安排72学时,第二卷安排56学时,具体可根据学校情况而定。

清华大学张三慧教授审阅了第一卷(第1版),并认真修改,同时对全书的取材与布局提出了宝贵意见。中国科学技术大学张永德教授与太原理工大学冷叔棧教授分别审阅了第二卷(第1版)的第五、第六部分,提出了宝贵意见,使我们受益匪浅,在此对三位老先生一并表示衷心感谢。

本书由王建邦担任主编。参加本书修订工作的有:张旭峰(第五部分)、黄启宇(第六部分)、王建邦(第七部分)、杨军(第八部分)、刘兴来(第九部分)。

编 者

目 录

第5版前言

第4版前言

第3版前言

第五部分 相对论基础 1

第十八章 狭义相对论 2

第一节 伽利略相对性原理 伽利略变换 2

一、伽利略相对性原理 3

二、伽利略变换 4

三、经典力学的绝对时空观（伽利略-牛顿时空观） 7

第二节 狭义相对论的基本原理 8

一、电磁学向伽利略-牛顿相对性原理提出的挑战 8

二、狭义相对论基本原理的内容 16

第三节 洛伦兹变换 18

一、洛伦兹变换的内容 18

*二、洛伦兹坐标变换的推导 20

三、相对论速度变换公式 22

第四节 狭义相对论的时空观 ... 25

一、同时的相对性 25

二、时间延缓效应 27

三、长度的相对性 30

第五节 相对论的质量、动量和能量 33

一、相对论质量 33

二、相对论动力学方程 38

三、相对论动能 40

四、相对论质量和能量

的关系 42

五、动量与能量的关系 44

第六节 物理学思想与方法

简述 45

一、时间的测量 45

二、时间的本质 45

三、经典时空观的困难 46

四、狭义相对论中的时间 46

*第十九章 广义相对论简介 47

第一节 惯性质量与引力质量 48

第二节 广义相对论的基本假设 50

一、爱因斯坦升降机的理想实验 50

二、直线加速参考系中的惯性力 51

三、等效原理 52

四、局域惯性系 54

五、广义相对性原理 55

第三节 广义相对论的检验 55

一、行星近日点的进动 55

二、光线在引力场中的偏折 56

三、雷达回波延迟 57

第四节 有引力场的空间与时间 57

第五节 物理学思想与方法简述 59

一、牛顿引力理论 59

二、爱因斯坦引力理论 59

第六部分 量子物理 61

第二十章 光（辐射）的波粒

二象性	63	一、戴维孙-革末电子衍射实验	98
第一节 热辐射 普朗克的量子假设	63	二、电子显微镜	101
一、热辐射的基本概念	64	第三节 不确定性关系	102
二、基尔霍夫辐射定律	67	一、电子单缝衍射实验	102
三、绝对黑体	68	二、不确定性关系的讨论	104
四、绝对黑体的热辐射实验定律	69	第四节 波函数及其统计诠释	106
五、经典理论的困难和普朗克的量子假设	72	一、德布罗意平面波波函数	106
第二节 光电效应	74	二、波函数的统计诠释	107
一、光电效应的实验规律	74	三、统计诠释对波函数提出的要求	114
二、光电效应与光的波动学的剧烈冲突	77	第五节 物理学思想与方法简述	115
三、爱因斯坦光量子论及其对光电效应的解释	78	量子物理体系的建立	115
* 四、多光子光电效应——拓展与应用简介	81	第二十二章 薛定谔方程	116
* 五、内光电效应	82	第一节 自由粒子的薛定谔方程	116
第三节 康普顿效应	82	一、方程的形式	117
一、实验规律	82	二、方程的讨论	117
二、X 射线实验结果的解释	83	第二节 力场中粒子的薛定谔方程	120
三、历史的简短回顾	87	一、方程的形式	120
第四节 光的波粒二象性	87	* 二、算符与方程	121
一、爱因斯坦光量子关系式	88	第三节 定态薛定谔方程	123
二、单光子双缝干涉实验分析	89	一、分离变量法	123
三、光子的不确定性关系	91	二、定态的基本特征	125
第五节 物理学思想与方法简述	93	第四节 一维无限深势阱中的粒子	126
一、光的本性的历史争论	93	一、一维无限深势阱模型	126
二、对光的波粒二象性的认识	94	二、薛定谔方程及其解	127
第二十一章 电子的波粒二象性	95	三、结果讨论——解的物理意义	129
第一节 德布罗意假设	95	* 第五节 势垒与隧道效应	133
* 第二节 德布罗意波的实验证明	97	一、薛定谔方程	134
		二、方程解的讨论	135
		三、隧道效应的应用	137

第六节 物理学思想与方法	
简述	138
经验归纳与探索演绎	138
第二十三章 氢原子中的电子	140
第一节 氢原子的玻尔模型	140
一、提出玻尔模型的历史背景	140
二、玻尔氢原子结构模型要点	143
第二节 用薛定谔方程解氢	
原子问题	146
一、玻尔模型的缺陷	146
二、氢原子中电子的薛定谔	
方程	147
第三节 量子数的物理解释	154
一、主量子数和能量量子化	155
二、角量子数和角动量量子化	156
三、磁量子数和角动量空间	
量子化	158
第四节 氢原子的概率幅函数	
与概率密度函数	159
一、低量子数的氢原子概	
率幅函数	159
二、电子概率径向分布函数	161
三、电子概率角度分布函数	163
第五节 物理学思想与方法	
简述	165
半经典半量子方法	165
第七部分 激光	168
第二十四章 激光原理	169
第一节 激光概述	169
一、激光的诞生	169
二、激光器的分类	170
第二节 原子的能级、分布和	
跃迁	172
一、原子在能级上的分布	172
二、原子能级跃迁	173
第三节 光的吸收与辐射	175
一、自发辐射	176
二、受激吸收	176
三、受激辐射	176
第四节 爱因斯坦辐射	
理论	177
一、自发辐射系数 A	178
二、受激吸收系数 B_{12}	179
三、受激辐射系数 B_{21}	180
四、爱因斯坦系数 A_{21} 、 B_{12} 和 B_{21}	
之间的关系	181
第五节 产生激光的基本物理	
条件	184
一、两对基本矛盾	184
二、解决矛盾的方法	185
第六节 激光器的工作原理	187
一、工作物质粒子数反转	
的实现	188
二、谐振腔的振荡阈值条件	189
三、谐振腔的选频	191
第七节 氦氖激光器	192
一、氦氖激光器的结构图	193
二、氦氖激光器的工作原理	193
第八节 物理学思想与方法	
简述	196
一、学科交叉与综合	196
二、激光产生与发展的启示	197
第八部分 固体物理基础	198
第二十五章 晶体结构与结	
合力	199
第一节 晶体结构及其描述	200
一、晶体的性质	200
* 二、晶体结构的实验研究	204
三、空间点阵	207
第二节 布喇菲格子	211
一、7 个晶系	211
二、14 种布喇菲胞 (空间	

格子)	212	第一节 电介质及其极化	248
第三节 晶体的结合力	213	一、分子(原子)的电 结构	249
一、影响晶体结合力的若干 因素	213	二、电介质极化的微观机理	250
二、晶体中粒子的结合力	217	三、极化面电荷	252
第四节 晶体的结合能	220	四、电极化强度	253
一、定义	220	* 第二节 电介质的特殊效应	258
二、经验原子对势	222	一、压电效应	259
第五节 离子晶体的结合能	224	二、铁电体	262
一、离子晶体的点阵结构	224	第三节 磁介质及其磁化	264
二、离子晶体结合能的表示	225	一、物质磁性的起源	264
三、离子晶体内势能的计算	225	二、磁介质磁化的微观机理	267
第六节 物理学思想与方法 简述	229	三、磁化面电流	271
一、价键理论的阶段性发展	229	四、磁化强度矢量	271
二、对称性方法	230	五、磁场强度矢量	274
第二十六章 晶格振动	231	六、磁介质的磁化规律	277
第一节 晶体的热学性质	231	第四节 磁性材料	279
一、晶体的摩尔热容	232	一、磁性材料的分类	280
二、固体的热传导	234	二、铁磁性材料的磁化规律	280
三、热膨胀	234	三、铁磁性材料的磁化机理	283
第二节 一维晶格振动	236	第五节 物理学思想与方法 简述	285
一、一维无限长弹簧振子链 模型	236	探索宏观性能的微观机理的 方法	285
二、原子振动的运动学描述	237	第二十八章 能带论基础	287
三、原子振动的动力学描述	237	第一节 固体能带的形成	288
四、耦合振动方程的解	239	一、固体中的离子实与价电子	288
第三节 格波	242	二、电子能带的形成	289
一、格波的物理意义	243	* 第二节 固体中电子的波 函数	291
二、 q 的取值范围	243	一、近似处理方法	291
三、玻恩-冯·卡门边界条件	244	二、晶体中电子的波函数——布洛 赫函数	293
四、格波与原子振动	245	第三节 固体的能带结构	295
第四节 物理学思想与方法 简述	246	一、满带、导带和空带	295
一、数学方法	246	二、导体、绝缘体及半导体的 能带	301
二、研究晶格振动的近似假设	246		
第二十七章 物质的电磁性质	248		

* 第四节 固体能带理论基础	303	三、原子核的形状、大小与 密度	346
一、克朗尼格-朋奈模型	304	四、核力的基本性质	348
二、求解周期场中定态薛定谔方 程的基本思路	304	第二节 原子核的结合能	349
三、数学处理与结果讨论	305	一、质量亏损	349
第五节 物理学思想与方法 简述	314	二、核结合能	351
能带论的建立与研究方法	314	三、比结合能	353
第二十九章 半导体	316	第三节 原子核的衰变与 放射性	354
第一节 本征半导体	316	一、 α 衰变	355
一、元素半导体	317	二、 β 衰变	358
二、化合物半导体	320	三、 γ 衰变	361
第二节 掺杂半导体	321	第四节 放射性衰变的一般 规律	362
一、施主型杂质与 N 型 半导体	322	一、指数衰变规律	362
二、受主型杂质与 P 型 半导体	323	二、放射性衰变中的几个重要 物理量	365
第三节 杂质能级的计算	325	第五节 原子核反应	370
一、类氢模型	325	一、实验	370
二、类氢施主杂质能级的计算	326	二、原子核反应的一般表示式	371
* 三、晶体中电子有效质量的物理 意义	327	三、原子核反应的类型	371
第四节 PN 结	329	四、原子核反应遵守的守恒 定律	372
一、PN 结的空间电荷区	329	第六节 重核的裂变及应用	374
二、内建电场 (自建电场)	330	一、获取原子能的物理基础	374
三、接触势垒	331	二、原子核裂变	376
四、PN 结的整流效应	331	三、链式反应和反应堆	379
第五节 物理学思想与方法 简述	333	第七节 轻核聚变	382
半导体结构、性能与应用研究	333	一、基本的聚变反应过程	382
第九部分 原子核物理	335	二、受控热核反应	383
第三十章 原子核	336	第八节 物理学思想与方法 简述	385
第一节 原子核的基本特征 及其组成	336	原子核的可分与不可分	385
一、原子核的电荷和电荷数	337	附录 电子的自旋	386
二、原子核的质量和核子数	337	物理名词索引 (中英文对照)	388
		参考文献	399

第五部分

相对论基础

本书把大学物理分为经典物理基础和近代物理基础两卷。

经典物理学是何时诞生的呢？爱因斯坦曾认为：“伽利略的发现以及他所应用的科学推理方法，是人类思想史上最伟大的成就之一，标志着物理学的开端。”杨振宁则选择了牛顿发表他的《自然哲学的数学原理》的1687年。诗人蒲柏在西敏斯特大教堂著名的《拟牛顿墓志铭》中写道：

大自然及其法则深藏在黑夜里。

上帝说：“派牛顿去吧！”

于是，一切就都在光明之中。

实际上，20世纪之前的200余年间，物理学在两大领域都取得了巨大成功：一是由牛顿建立的经典力学（1687年），包括热力学与经典统计力学；二是由麦克斯韦建立的经典电磁学（1864年），包括光学。它们能够解释宏观的力学和电磁学现象，并在历史上分别诱发了18世纪以蒸汽机、内燃机的应用为中心的“工业革命”，19世纪以电和电磁波应用为中心的“电气革命”。

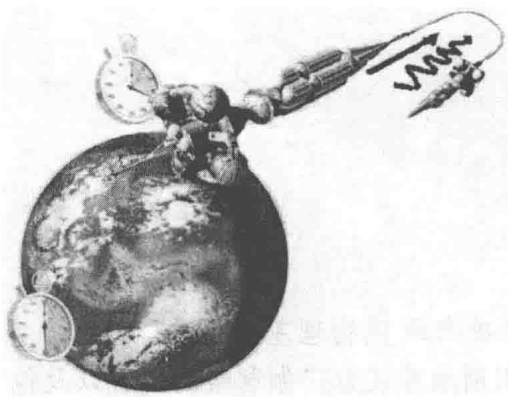
20世纪初，物理学也发生了两次革命，深刻地改变了人们对物理世界的理解。爱因斯坦创建的相对论，以及始于普朗克的能量子假设的量子力学，已成为近代物理学的两大支柱。当物体在高速运动时，其中牛顿力学的成功（如蒲柏诗句），用英国诗人斯夸尔爵士的诗来说：

但这并不久长。

魔鬼大喝一声：“派爱因斯坦去！”

于是，一切恢复原样。

第十八章 狭义相对论



动钟走慢了

本章核心内容

1. 真空中光速不变，光速最大。
2. 不同惯性系下分别测得时间、空间间隔的相互关系。
3. 质量与参考系、与速度的关系。

狭义相对论(区别于第十九章广义相对论，本章常简称相对论)是爱因斯坦于1905年创建的，是20世纪重大物理学成果之一。爱因斯坦在狭义相对论中以“相对性原理”和“光速不变原理”为基础，提出了新的时空观和物质观，特别是从这两个原理派生出许多“相对论效应”，使初学者常常感到茫然却又饶有兴趣。因为，以人们直觉为基础的日常生活经验，仅局限于通常大小物体的低速运动，如地球卫星的轨道速率不到 $10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，就比光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 小得多。对于接近于光速的物体运动，人们没有任何经验可供借鉴。因此，面对狭义相对论，经验将接受挑战。建议初学习本章时，始终相信经过百余年实践检验的狭义相对论的两个基本原理是有道理的，无论本章把你引向何方，也要学会用两个基本原理消除你心中的疑惑。

第一节 伽利略相对性原理 伽利略变换

在本书第一卷第一章中曾指出过，一切对运动的描述(位置、速度)都是相对的。例如，当我们坐在汽车上看到地面上的树木和房屋都在运动；而站在地面上时看到的树木和房屋则是不动的。雨天，我们在窗前看到窗外雨丝如帘，在面前垂下，而当我们坐在雨中行驶的汽车中时又会发现雨丝的帘幕似乎迎风飘起。所以，人们看到各种物体的运动，或者对物体运动的描述，往往会随观测者的位

置不同而不同；考察或描述任何一个物体的运动位置、速度、轨迹等，无一例外都是相对由观察者所在或所选参考系决定的。

一、伽利略相对性原理

基于以上分析，为了描述物体的机械运动，首先要做的是确定选择什么样的参考系。在这之后，才是如何将物体相对选定参考系的运动放在坐标系中描述。“经验之谈”说，在实验观测中，常选择一种最容易取得数据和进行分析的坐标系，如直角坐标系或球坐标系。那么，不同观测者选择不同参考系，对同一物体运动的观测结果有没有关系呢？会不会有人只强调自己看到的是真的，不承认还有其他可能性呢？会不会“公说公有理、婆说婆有理”没有是非标准了呢？例如，人造地球卫星的运动，若以地球为参考系，运动轨道是圆或椭圆；若以太阳为参考系，运动轨道却是以地球公转轨道为轴线的螺旋线，两种描述是不同的。可是，有一个不言自明的道理是：自然界中客观存在的物理规律(定律)应当是与描述者无关的。早在1632年，伽利略在一个做匀速直线运动的封闭船舱里仔细地观察了力学现象，他并未发现在船舱中物体的运动规律和地面上有什么不同。

需要强调的是，伽利略做实验的船舱做匀速直线运动，是惯性参考系。物体在低速运动时遵守牛顿运动定律的参考系是惯性参考系。现在对伽利略当时所观察到船舱中的力学现象，可提升为如下两种表述：

1) 在一个惯性系中做任何力学实验，都不能确定该惯性系是处于静止还是在做匀速直线运动。

2) 一切彼此做匀速直线运动的惯性系，物体做机械运动所遵守的力学规律是完全相同的。

注意：不同惯性系中力学现象的描述，与不同惯性系中力学现象所遵守的力学规律是两个完全不同的概念。因此，区分两者的不同是十分必要的。

对以上两种表述还可抽象出一个原理：对于所有的惯性系，经典力学定律(牛顿运动定律、运动定理、守恒定律等)的数学表达形式都相同，这一表述称为伽利略相对性原理。

在物理学中，相对性原理很重要。因为相对性原理是自伽利略、牛顿以来直到爱因斯坦等物理学家经过长期探索、反复思考、仔细实践得到的一个基本结论，它已作为物理学家探索自然、构造物理量、建立新理论离不开的“管定律的定律”。作为人类认识自然界的一种理念，引导人们超越从不同角度(即参考系)认识问题的局限性，注重寻求从不同参考系观测同一对象得到的不同结果之间的变换关系，以找到变换过程中保持不变的物理量(客观规律的绝对性)。这个变换中的不变量的存在决定了相对性原理的本质。