



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



中国科学技术大学



教材

“十二五”国家重点图书出版规划项目

徐克尊 陈向军 陈宏芳 / 编著

近代物理学

Modern Physics

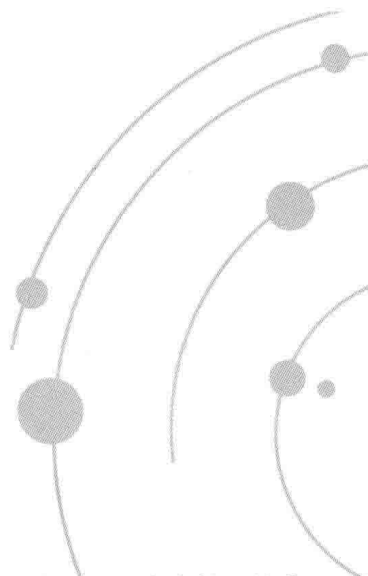
第4版

中国科学技术大学出版社

国家级规划教材



中国科学技术大学精品教材



徐克尊 陈向军 陈宏芳 / 编著

Modern Physics

近代物理学

第4版

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”和“中国科学技术大学精品教材”，曾于1995年获得“国家教育委员会高等学校优秀教材奖二等奖”。

本书内容涉及近代物理学的原子物理、分子物理、原子核物理、粒子物理和射线与物质的相互作用几个方面。本书以实验事实为基础，同时引进量子力学的基本内容，力图把所有内容建立在实验和量子力学的概念和方法基础上，从而使近代物理学的基本物理现象、概念和规律阐述得更清楚、更透彻。书中还简要介绍了近代物理的一些最经典和最新的研究进展，试图把许多科技新成果和应用有机地结合到有关章节。书中还介绍了若干诺贝尔物理学奖获得者的工作，适当加入一些他们的思想方法和科学研究艺术内容，对培养学生的创新思维能力会有帮助。书中各章还配有一些例题和习题，这对掌握概念有帮助。

本书适合作为高等学校物理专业的教材或参考书，亦可供有关专业师生及科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

近代物理学/徐克尊,陈向军,陈宏芳编著.—4版.—合肥:中国科学技术大学出版社,2019.1

(中国科学技术大学精品教材)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

“十二五”国家重点图书出版规划项目

安徽省“十三五”重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-312-04219-5

I. 近… II. ①徐… ②陈… ③陈… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 080783 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
<https://zgkxjsdxcs.tmall.com>
印刷 合肥华苑印刷包装有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710×1000 1/16
印张 29.25
插页 2
字数 557 千
版次 1993 年 4 月第 1 版 2019 年 1 月第 4 版
印次 2019 年 1 月第 6 次印刷
定价 69.00 元



编审委员会

主 任 侯建国

副主任 窦贤康 陈初升
张淑林 朱长飞

委 员 (按姓氏笔画排序)

方兆本	史济怀	古继宝	伍小平
刘 斌	刘万东	朱长飞	孙立广
汤书昆	向守平	李曙光	苏 淳
陆夕云	杨金龙	张淑林	陈发来
陈华平	陈初升	陈国良	陈晓非
周学海	胡化凯	胡友秋	俞书勤
侯建国	施蕴渝	郭光灿	郭庆祥
奚宏生	钱逸泰	徐善驾	盛六四
龚兴龙	程福臻	蒋 一	窦贤康
褚家如	滕脉坤	霍剑青	

总 序

2008年,为庆祝中国科学技术大学建校五十周年,反映建校以来的办学理念 and 特色,集中展示教材建设的成果,学校决定组织编写出版代表中国科学技术大学教学水平的精品教材系列。在各方的共同努力下,共组织选题281种,经过多轮、严格的评审,最后确定50种入选精品教材系列。

五十周年校庆精品教材系列于2008年9月纪念建校五十周年之际陆续出版,共出书50种,在学生、教师、校友以及高校同行中引起了很好的反响,并整体进入国家新闻出版总署的“十一五”国家重点图书出版规划。为继续鼓励教师积极开展教学研究与教学建设,结合自己的教学与科研积累编写高水平的教材,学校决定,将精品教材出版作为常规工作,以《中国科学技术大学精品教材》系列的形式长期出版,并设立专项基金给予支持。国家新闻出版总署也将该精品教材系列继续列入“十二五”国家重点图书出版规划。

1958年学校成立之时,教员大部分来自中国科学院的各个研究所。作为各个研究所的科研人员,他们到学校后保持了教学的同时又作研究的传统。同时,根据“全院办校,所系结合”的原则,科学院各个研究所在科研第一线工作的杰出科学家也参与学校的教学,为本科生授课,将最新的科研成果融入到教学中。虽然现在外界环境和内在条件都发生了很大变化,但学校以教学为主、教学与科研相结合的方针没有变。正因为坚持了科学与技术相结合、理论与实践相结合、教学与科研相结合的方针,并形成了优良的传统,才培养出了一批又一批高质量的人才。

学校非常重视基础课和专业基础课教学的传统,也是她特别成功的原因之一。当今社会,科技发展突飞猛进、科技成果日新月异,没有扎实的基础知识,很难在科学技术研究中作出重大贡献。建校之初,华罗庚、吴有训、严济慈等老一辈科学家、教育家就身体力行,亲自为本科生讲授基础课。他们以渊博的学识、精湛的讲课艺术、高尚的师德,带出一批又一批杰出的年轻教员,培养

前 言

本书是根据作者给中国科学技术大学的本科生讲授“原子物理”课程和给中美联合培养物理类研究生计划(China-US Physics Examination and Application, CUSPEA)班讲授“原子核物理”课程的讲稿,经不断修改和补充而成的。第1版由高等教育出版社约稿,作为汪克林教授主编的《普通物理学教程》的第五分册,由徐克尊、周子舫和陈宏芳教授编写,在1993年4月出版,1995年获得“国家教育委员会高等学校优秀教材奖二等奖”。在此基础上,根据作者长期讲授“原子物理”课程的教学经验和几十年进行原子分子物理、原子核物理和粒子物理研究工作的科研经验,第2版作为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”和“中国科学技术大学精品教材”,由徐克尊、陈向军和陈宏芳教授重新编写,删去“固体物理”一章,于2008年9月由中国科学技术大学出版社出版。

2015年的第3版又作了较大修改,内容上改动较大的主要有以下几方面:(1)对第6,7和8章的次序作了调整,第6章改名为“射线与物质的相互作用”,并移后作为第8章,从内容上看这样更合理。(2)鉴于从原子、分子和原子核物理发展出来的一系列技术已获得广泛应用,特别是近几十年在医学诊断和癌症治疗方面取得的巨大进展,在第8章增写了一节“射线的重要应用技术”。(3)对如下内容和段作了较大修改:摩尔、原子的质量和原子量,作用截面,位置和动量不确定关系,量子力学中的测量,力学量的算符表示、本征值和平均值,氢原子的 R 方程式的解,总角动量,角动量相加法则,氢原子能级结构的精细修正,兰姆移位实验,拉曼散射,壳层模型能级图,指数衰变规律, β 跃迁分类,重离子束应用,中子源,裂变反应堆和核电站,聚变反应堆,正电子湮灭,卢瑟福散射,非弹性散射,跃迁寿命,跃迁类型和选择定则,介子和重子的夸克组成,弱电统一,强相互作用,标准模型面临的挑战,标准模型以外的理论。(4)对插图也作了较多修改,增加10幅,减少8幅,

修改 50 幅,置换 71 幅。(5) 根据最新的数据值和 2010 年科学技术数据委员会 (Committee on Data for Science and Technology, CODATA) 的最新基本物理常数推荐值,更换了各章和附录中的全部数据。

本次第 4 版除了大量的小段落内容、文字和图表的修改外,也对如下内容和段落作了较大修改和补充:原子的经典性质,量子力学中测量,原子核的质量,原子核的自旋和磁矩,壳层模型, γ 射线多极性,核电站和聚变反应堆,跃迁类型和选择定则,射线的重要应用技术,反粒子,引力波及测量,暗物质的测量。作者还对几个小节作了调整:取消 1.1.2 小节,改写后作为“2.1.1 光子的粒子性”小节;取消 2.3.3 小节内的“量子力学中的测量”部分和 2.4.3 小节,改写后作为单独一节“2.5 力学量的算符、本征值和测量值”;将 7.5.1 小节内的“重离子核反应”部分拿出改写作为单独的一节 7.5.2;将 9.1.2 小节“粒子的分类”改写为单独三小节:“9.1.2 轻子”“9.1.3 强子”“9.1.4 规范玻色子、希格斯粒子和反粒子”;将 9.4.1 小节中的几种相互作用拿出作为单独三小节:“9.4.2 电磁相互作用”“9.4.3 弱相互作用及弱电统一理论”“9.4.4 强相互作用”。此外,在附录中增加电磁波谱和波段。

通常,近代物理主要是指 19 世纪末 20 世纪初开始形成的相对论和物质的微观结构现象与理论——原子、分子、原子核和粒子物理,固体物理也可以包括在内。在目前的课程体系下,相对论一般已在“力学”课程中讲解,本书作为普通物理学的“原子物理”课程教材,内容只包括原子物理、分子物理、原子核物理和粒子物理,以及这些微观粒子与物质的相互作用。

原子物理、分子物理、原子核物理和粒子物理的发展在一开始虽然有先后,但后来可以说是并行的,同时它们又是相互交叉和相互促进的。它们展现给人们的是在层出不穷的微观物质世界中,各种粒子的结构、运动和相互作用的新现象和新理论。毫无疑问,它们从诞生之日起,就一直处于科学研究的最前沿,这一点从大多数诺贝尔物理学奖获得者都是由于他们在这方面的研究成就可以看出。

近代物理学的发展大大推动了科学、技术、医疗和国民经济的迅猛发展。许多学科如天文学、化学、生物学、医学、凝聚态物理、材料科学和环境科学等,已经进入了原子分子这个层次;许多部门如农业、医学、地质、冶金、采矿、能源、考古、安检、国防等,已经越来越多地利用了近代物理的方法和技术。当今各个学科的相互交

叉和相互渗透已经成为普遍的规律,要求一个理工科学生掌握涉及微观的原子、分子、原子核和基本粒子各层次的基本知识,显然是合理的。当然,希望本书对其他学科的科学家和工程师也有参考价值。

本书作为普通物理教材,讲解基本的物理思想和规律,着重给出基本的实验现象,对物理概念力求解释清楚,避免繁杂的、不必要的理论推导,做到说理清楚、突出重点、条理分明。为了使近代物理的概念阐述得更清楚和更准确,引进了量子力学的基础内容,把近代物理内容建立在量子力学概念和方法的基础上,使学生能够在初步量子力学的框架下学习和理解原子、分子、原子核和粒子物理,为后续的量子力学课程建立正确的微观图像。当然,作为普通物理学,我们并不要求读者掌握量子力学中很多繁杂的理论计算。

本书不仅给出上述基本知识,而且注意介绍近代物理最近几十年的主要研究进展和已得到广泛应用的技术,还通过许多著名的实验来介绍科学家的物理思考和提出的研究方法,给出创新研究所需要的素质和品质。通过这些学习使学生能掌握近代物理的基础、研究前沿及与相关学科和应用领域的联系,增加学生学习的兴趣,扩大学生的知识面,培养学生的创新思维、进行科研和独立解决问题的素质和能力。希望通过这些学习以利于学生在更宽广的领域从事研究、教学、应用和其他工作。

本书编写分工如下:第2版后陈向军教授编写第3、4和5章,陈宏芳教授编写第9章,第4版徐克尊修改;徐克尊教授编写其余各章和附录,并负责总审和串连。本书作为教材有部分章节内容较深、较广,是作为学生开阔眼界和深入探讨的参考,也是为了适应各学校各专业教学要求的不同,教师在教学中可以根据实际情况进行安排和取舍。附录给出了基本的物理和化学常数、10的幂词头、电磁波谱和波段、原子单位制、诺贝尔物理学奖获得者及其主要工作;书末给出了各章习题答案,并附名词索引和人名索引以方便查找;最后也给出了主要参考书目。若正文中有引用则在所处的右上方加方括号标注;若正文中是引用参考文章,则在当页下方用脚注形式给出。

本书初稿由中国科学技术大学汪克林教授审阅,中国科学技术大学的方容川、谢建平、夏上达和郭常新教授分别对部分章节进行了审阅,初稿完成后由中国科学技术大学北京研究生院汤拒非教授和国家教委高等学校物理学教学指导委员会主

目 次

总序	(i)
前言	(iii)
第 1 章 原子模型和单电子原子	(1)
1.1 原子的经典性质和汤姆孙原子模型	(1)
1.1.1 原子的经典性质	(1)
1.1.2 电子的发现和质量	(4)
1.1.3 电子的电荷与大小	(6)
1.1.4 汤姆孙原子模型	(8)
1.2 α 粒子散射实验和卢瑟福原子模型	(9)
1.2.1 α 粒子散射实验	(9)
1.2.2 卢瑟福原子模型及散射公式	(11)
1.2.3 卢瑟福散射公式与实验的比较	(14)
1.2.4 作用截面	(16)
1.3 氢原子光谱和玻尔原子模型	(18)
1.3.1 氢原子光谱和光谱项	(19)
1.3.2 玻尔原子模型	(20)
1.3.3 轨道图和能级图	(23)
1.3.4 跃迁和原子光谱	(26)
1.4 类氢离子光谱和原子的激发实验	(28)
1.4.1 类氢离子光谱	(29)
1.4.2 原子核质量的影响	(30)
1.4.3 弗兰克-赫兹实验——激发电势的测量	(31)
1.5 特殊的氢原子体系	(34)

1.5.1	里德伯态	(34)
1.5.2	奇特原子	(36)
1.5.3	粒子素、电子偶素和反氢原子	(40)
	习题	(41)
第2章	量子力学初步	(44)
2.1	波粒二象性	(45)
2.1.1	光子的粒子特性	(45)
2.1.2	单光子的粒子性	(48)
2.1.3	单光子的波动性	(49)
2.1.4	德布罗意波	(50)
2.1.5	电子的晶体衍射实验	(52)
2.1.6	单电子的波动性	(55)
2.2	不确定关系	(57)
2.2.1	位置和动量的不确定关系	(57)
2.2.2	能量和时间的不确定关系	(60)
2.3	波函数及其物理意义	(61)
2.3.1	波函数的引入	(61)
2.3.2	波函数的统计解释和物理要求	(62)
2.3.3	对波函数的进一步讨论	(65)
2.4	薛定谔方程及应用例子	(67)
2.4.1	薛定谔方程的建立	(67)
2.4.2	定态薛定谔方程	(68)
2.4.3	一维无限高方势阱和零点能	(70)
2.4.4	一维方势垒和隧道效应	(73)
2.4.5	电子显微镜和扫描隧道显微镜	(74)
2.5	力学量的算符、本征值和测量值	(76)
2.5.1	本征方程和算符	(76)
2.5.2	本征值和测量值	(78)
2.6	氢原子的量子力学解	(80)
2.6.1	中心力场薛定谔方程	(80)

2.6.2	Φ 和 Θ 方程式的解和角动量	(81)
2.6.3	R 方程式的解和能量	(84)
2.6.4	电子的空间概率密度分布	(86)
2.7	对应原理和普朗克常数的物理意义	(93)
2.7.1	对应原理	(93)
2.7.2	作用量判据	(94)
2.7.3	精确度的极限	(95)
	习题	(96)
第 3 章	电子自旋和原子能级的精细结构	(99)
3.1	原子的轨道磁矩和斯特恩-盖拉赫实验	(99)
3.1.1	原子的轨道磁矩	(99)
3.1.2	磁矩与磁场的相互作用	(101)
3.1.3	斯特恩-盖拉赫实验	(102)
3.2	电子自旋和自旋-轨道相互作用	(104)
3.2.1	电子自旋	(104)
3.2.2	自旋-轨道相互作用	(107)
3.2.3	总角动量	(109)
3.2.4	角动量相加法则和原子多重态	(110)
3.3	氢原子能级的精细结构和超精细结构	(112)
3.3.1	氢原子能级的精细结构修正	(112)
3.3.2	氢原子光谱的精细结构	(117)
3.3.3	兰姆移位和电子的反常磁矩	(118)
3.3.4	超精细结构	(121)
3.4	碱金属原子的能级与光谱	(124)
3.4.1	碱金属原子的能级及量子数亏损	(124)
3.4.2	碱金属原子的光谱	(125)
3.4.3	碱金属原子能级和光谱的精细结构	(127)
3.5	外场中的原子	(129)
3.5.1	外磁场中的原子:塞曼效应	(129)
3.5.2	电子顺磁共振和原子分子束磁共振	(137)

3.5.3 外电场中的原子:斯塔克效应	(138)
习题	(141)
第4章 多电子原子的能级和光谱	(143)
4.1 氢原子的光谱和能级	(143)
4.2 泡利不相容原理和交换效应	(145)
4.2.1 全同性原理和波函数的交换对称性	(145)
4.2.2 泡利不相容原理	(147)
4.2.3 两个电子的自旋波函数	(147)
4.2.4 氢原子的波函数与交换效应	(149)
4.3 多电子原子的电子组态和壳层结构	(153)
4.3.1 多电子原子的中心力场近似和电子组态	(153)
4.3.2 原子的壳层结构和元素周期律	(155)
4.3.3 电子组态能级的简并度	(163)
4.4 多电子原子的原子态和能级	(164)
4.4.1 LS 耦合	(165)
4.4.2 jj 耦合	(171)
4.4.3 洪特定则和原子基态	(173)
4.4.4 外磁场中的多电子原子能级分裂	(175)
4.4.5 选择定则和多电子原子的光谱	(175)
4.5 原子的内层能级和特征 X 射线	(177)
4.5.1 X 射线发射谱	(178)
4.5.2 俄歇电子能谱和荧光产额	(181)
4.5.3 同步辐射	(183)
习题	(185)
第5章 分子结构和分子光谱	(187)
5.1 分子能级结构和光谱概述	(187)
5.2 分子的化学键	(189)
5.2.1 离子键	(190)
5.2.2 共价键	(192)
5.3 双原子分子的能级和光谱	(196)

5.3.1 玻恩-奥本海默近似	(196)
5.3.2 双原子分子的转动能级和转动光谱	(197)
5.3.3 双原子分子的振动能级和振动光谱	(201)
5.3.4 双原子分子的电子结构	(206)
5.3.5 双原子分子的电子振动转动光谱	(211)
5.4 拉曼散射	(216)
习题	(222)
第 6 章 原子核的基本性质和结构	(223)
6.1 原子核的经典性质	(223)
6.1.1 原子核的电荷和组成	(223)
6.1.2 原子核的质量和核素	(225)
6.1.3 原子核的大小和密度	(228)
6.2 原子核的量子性质	(229)
6.2.1 自旋、磁矩和电四极矩	(229)
6.2.2 核磁共振	(232)
6.2.3 宇称和统计性	(234)
6.3 原子核的稳定性和结合能	(235)
6.3.1 核素图和 β 稳定线	(235)
6.3.2 结合能	(237)
6.3.3 液滴模型和结合能的半经验公式	(240)
6.4 核力	(242)
6.4.1 核力的性质	(242)
6.4.2 核力的介子场论和交换作用	(245)
6.5 核结构模型	(246)
6.5.1 壳层模型	(247)
6.5.2 集体模型	(250)
习题	(254)
第 7 章 核衰变和核反应	(256)
7.1 放射性衰变的基本规律	(256)
7.1.1 指数衰变规律和活度	(257)

8.1.3 瑞利散射和共振散射	(310)
8.1.4 吸收定律和 X 射线吸收精细结构	(312)
8.2 正电子及有关效应	(314)
8.2.1 正电子和反粒子	(314)
8.2.2 电子对效应	(317)
8.2.3 电子偶素	(318)
8.2.4 正电子湮灭	(320)
8.3 带电粒子的弹性和非弹性散射	(323)
8.3.1 卢瑟福散射和莫特散射	(324)
8.3.2 非弹性散射	(328)
8.3.3 多次散射	(330)
8.4 带电粒子的电离损失和射程	(331)
8.4.1 电离损失	(331)
8.4.2 径迹和射程	(335)
8.5 热碰撞激发和退激发	(337)
8.5.1 热激发和布居	(337)
8.5.2 无辐射碰撞退激发	(339)
8.6 能级、跃迁和谱线的特性	(341)
8.6.1 跃迁速率和寿命	(342)
8.6.2 谱线和能级的宽度	(344)
8.6.3 谱线增宽和线形	(347)
8.6.4 跃迁类型和选择定则	(349)
8.7 射线的重要应用技术	(352)
8.7.1 简单的能谱技术	(353)
8.7.2 影像诊断技术	(356)
8.7.3 放射治疗	(361)
习题	(364)
第 9 章 粒子物理	(367)
9.1 粒子的基本性质和分类	(368)
9.1.1 粒子的基本性质	(368)