



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国物理教育研究丛书

郭玉英 主编

仲扣庄 著

高中物理 量子理论课程研究

GAOZHONG WULI
LIANGZI LILUN KECHENG YANJIU



广西教育出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国物理教育研究丛书

郭玉英 主编

仲扣庄 著

高中物理 量子理论课程研究

GAOZHONG WULI
LIANGZI LILUN KECHENG YANJIU

 广西教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高中物理量子理论课程研究 / 郭玉英主编. —南宁: 广西教育出版社, 2016. 12

(中国物理教育研究丛书)

ISBN 978-7-5435-8228-6

I. ①高… II. ①郭… III. ①中学物理课—教学研究—高中
IV. ①G633.72

——中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 320556 号

策 划 黄敏娴 黄力平
责任编辑 潘姿汝
装帧设计 刘相文
责任校对 杨红斌 何 云
责任印制 胡庆团
封面题字 李 雁

出 版 人: 张华斌

出版发行: 广西教育出版社

地 址: 广西南宁市鲤湾路 8 号 邮政编码: 530022

电 话: 0771-5865797

本社网址: <http://www.gxeph.com>

电子信箱: gxeph@vip.163.com

印 刷: 广西壮族自治区地质印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 15.5

字 数: 229 千

版 次: 2016 年 12 月第 1 版

印 次: 2016 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5435-8228-6

定 价: 34.00 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系调换。

序

20世纪90年代，广西教育出版社出版了《学科现代教育理论书系·物理》，由我的导师阎金铎教授担任主编，在物理教育领域产生了重要影响，已经成为本学科专业发展的里程碑。二十多年过去了，随着新世纪中国基础教育课程改革的全面推进，物理教育研究呈现出前所未有的繁荣景象，涌现出丰富的研究成果。当2014年该社提出要我组织编写一套《中国物理教育研究丛书》，汇集新时期的标志性成果时，我认为这是一个现实与历史意义兼具的重要选题，同时也感到是一个非常艰巨的任务，责任重大。

我国的物理教育有研究与教学紧密结合的优良传统，许多优秀的中学物理教师和教研员植根于教学实践开展研究，积累了大量本土化、原创性的研究成果，展示出物理教育的中国特色。近十几年来，随着研究生教育的发展，物理教育的国际交流不断拓展和深化，越来越多的年轻学者借鉴国际科学教育研究的经验和方法，针对我国物理教育实践中的问题，开展了多角度、多层次的具体深入的实证研究，如围绕新课程倡导的科学探究和探究教学的研究，针对物理学科核心概念和关键能力展开的学习进阶研究，促进学生发展的课堂教学模式的研究，关于物理课程和教材的深入研究和国际比较研究，关于物理教育测量和评价的研究，物理教育与信息技术整合的研究，针对物理教师观念的研究等。研究内容涵盖了课程与教学论的各个分支领域，研究对象从课程教材到课堂、学生、教师、试题，研究视角从哲学到物理、心理、技术，研究方法从思辨到定量、实证，呈现出多元化和多样化的研究取向，拓宽了物理教育研究的视野和范围，为我国物理教育理论和中学物理教学实践提

供了研究基础和方法论指导。

本丛书的选题力图涵盖上述诸方面的主要研究成果，简要介绍如下。

在来自一线教师和教研员的研究成果中，包含了从哲学层面到物理课堂教学操作层面的四本著作。《物理与哲学——中学物理教学的视角》呈现了中学物理教师的哲学思考。作者从物理与哲学的关系入手，结合中学物理教学的具体内容，论述了哲学的洞见与物理教学实践密不可分，将中学物理教学上升到哲学高度。在实验教学方面，毕生从事高中物理实验教学与研究的专家撰写了《高中物理实验教学研究》，从科学技术发展和教育理念进步的角度，突出了以学生为主体的教育理念和学科素养在实验中的表现及培养的途径，重点探讨了高中物理实验教学的目标、内容和方法策略方面的热点问题。在课堂教学实践层面，《中学物理习题教学研究》凝聚了中学物理特级教师的经验和智慧，从习题和试题的不同功能出发，以大量的题例阐述了习题和试题的编写要领，论述了优化习题教学的各种途径，提出了科学实施习题教学的策略，把习题教学的目标落实到提高学生解决问题的素养上来。《中学物理教学疑难问题研究》则来自基层教研工作者，从一线教学实际和物理教师的需求出发，对新课程实施过程中遇到的多方面的具体疑难问题进行了深入分析和探讨。

丛书围绕新课程实施以来物理教育研究领域关注的重点——科学探究和探究教学呈现了三个不同视角的研究成果。《科学探究能力模型与培养研究》系统介绍了国际科学教育领域对科学探究能力及其培养的研究和实践，构建了基于知识和技能的科学探究能力结构模型，结合案例论述了在中学物理教学中如何利用探究式教学法培养学生的科学探究能力。《促进认知发展的物理探究教学研究》聚焦目前中学物理探究教学中亟待解决的核心问题，从物理学科自身特点出发，构建了促进认知发展的探究教学模式，并对实施该探究教学模式的教学策略进行了探讨。《中学物理教师的探究教学观研究》则聚焦教师观念和行为，基于对探究教学的理论探讨，提出了教师探究教学观的分析框架与研究方法，从语言表达和教学行为两个层面研究了物理教师的探究教学观现状及其影响因素。

围绕学科核心概念展开的对学生认知和能力发展的研究是近几年的研究热点，学习进阶是将学生核心素养的发展与课程、教材和评价紧密联系在一起桥梁，是具有发展潜力的新兴研究领域，丛书呈现了其中四方

面的最新研究成果。《高中物理概念学习进阶及其教学应用研究》针对我国概念教学中存在的问题,构建了核心概念统领下的物理概念层次结构模型和概念学习进阶模型,以静电场核心概念为例进行了实证检验,并应用于教师培训。中学物理中的能量概念既是物理学科的核心概念,又是与社会发展和技术进步密切相关的共通概念,对于学生的发展至关重要。《中学物理能量学习进阶研究》构建了以学生为中心、具有实证有效性的“能量”进阶框架,并以此对学生“能量”概念的认知状态和发展情况进行了刻画和阐释,针对如何帮助学生提升“能量”概念的认知水平给出了相关建议。《中学物理课程中科学解释学习进阶及其教学应用》结合科学哲学的相关理论,提出了科学解释的“现象—理论—资料—推理”框架,确立了学习进阶的二维进阶模式及其进阶变量,通过跨年级测试建构了科学解释的学习进阶,并结合能量学习进阶进行了准教学实验研究。《基于学习进阶的中学物理教学设计研究》将物理概念和能力学习进阶的研究成果与现代教学设计理论相结合,建立了教学设计模型,结合大量中学物理教学案例,论述了如何基于学习进阶的研究成果开展以学生为中心的教学设计,从而促进学生物理核心素养的进阶发展。

关于课程和教材的研究呈现了两方面的研究成果,分别体现了不同的研究范围和方法。《高中物理量子理论课程研究》聚焦中学物理中的量子内容,从课程角度开展研究。采用理论和实证研究相结合的方法,对高中物理课程中量子理论的地位与教育价值、课程发展历程与现状进行了系统深入的探讨。《中学物理教材比较研究》选取中国、美国、俄罗斯、英国、法国、德国、日本、韩国、新加坡和澳大利亚十个国家的初中物理主流教材为比较对象,对教材的难度、广度、平均深度进行了比较研究,并分别比较了教材中实验内容、例题和习题及拓展内容情况,分析了教材特点并提出了教材建设的启示与建议。

学生物理核心素养的测评一直是本领域关注的重要问题,特别是像高考、中考这样的高利害考试的有效性已经成为全社会关心的热点。《大学入学物理考试内容效度研究》对大学入学物理考试的内容效度进行了多方面的定量研究。一方面以高中物理课程标准为校标,研究比较和评估了我国(包括台湾和香港地区)大学入学考试物理试卷的内容效度;另一方面从比较我国的高考物理考试与美国AP物理考试、英国A Level物理考试出发,研究评估了我国大学入学物理考试的内容效度,提出了对我国现行高

考制度的改革建议。

《中学物理教学与信息技术整合研究》展示了跨领域的研究视角，凸显了现代技术特色。在“数据探究”理论指导下，探讨了信息技术与中学物理教学深度融合的基本概念、理论等问题。同时还根据物理学科教学的特点，选取了几何画板软件、物理虚拟仿真实验软件、Camtasia视频制作软件、FrontPage网站制作等技术，用案例说明了信息技术在物理教学中的实际应用。

大学物理教学研究是我国物理教育研究领域中正发展的研究方向，关于心智模型和建模教学的研究也是新的研究热点。《基于学生心智模型进阶的物理建模教学研究》介绍了国内外关于模型与学习进阶、建模与建模教学的相关研究。在此基础上整合心智模型、学习进阶和建模教学的研究，结合我国物理教学的实际，从教学要素和学生心智模型进阶两个维度建构了基于学生心智模型进阶的导引式建模教学模式，并以大学物理“静电学”为例展开实践研究。其研究内容和方法对中学物理教学与研究均有参考价值。

十几位学者参与了本套丛书的编著工作。他们有的是长期从事物理教育研究和中学物理教学的专家，凝聚毕生研究之学术精华；有的是具备海外学习经历的年轻学者，用现代科学教育研究方法研究我国的实际问题。其中多数作者为本领域的博士。作者们都为丛书的出版付出了艰辛的劳动。本丛书从策划、编辑到出版面世，得到时任广西教育出版社副总编黄力平编审、编辑部主任黄敏娴副编审和各书责任编辑的积极参与和付出辛劳，也得到不少同行的关心和帮助，其中参阅引用了大量相关的研究成果，均已在参考文献中列出，在此一并表示感谢！期望本丛书的出版有助于物理教育研究领域的繁荣与发展，也期望这些研究成果能够在物理教育实践中得到进一步的检验、修正和完善。

郭玉英

2016年11月于北师大

前言

19世纪末经典物理学已建成为一座庄严雄伟、动人心弦的美丽殿堂，物理学家在额手称庆之余，也不无忧虑地注意到在物理学晴朗的天空中，还有两朵令人不安的乌云：一朵是热辐射的“紫外灾难”，另一朵是迈克耳逊-莫雷实验的零结果。原以为随着时间的流逝，乌云终将随风而去，不曾想却迎来一场暴风骤雨——物理学革命，量子力学是其标志性成果之一。量子力学引领人类进入信息化时代，深深改变了我们的生活方式。同时它使人类对物质运动、因果律等的认识产生根本性的变化，物理学的研究范式也发生了革命性的转变，正如美国科学史学家库恩所指出的：“范式的改变的确使科学家对他们所涉及的世界看法不同了。……在革命之后，科学家们所面对的是一个不同的世界。”

诺贝尔物理学奖得主霍夫斯塔特说过：“我相信任何一个喜欢自然的人都应该学习量子力学，并不是它的数学，而是它的思想。”作为新世纪的高中生理应了解量子理论的成就和基本观点，而量子王国地处微观世界，那里的一切对熟知宏观世界的学生来说是那样的陌生，理解微观世界的“语言”“法制”是非常困难的。如何体现课程改革的内容现代化要求，构建适切高中生认知特点的量子理论课程内容？这是高中物理课程研究的重要课题。

2003年教育部颁布了《普通高中物理课程标准（实验）》，应来炳如、何润伟先生和上海科技教育出版社之邀，笔者和汪延茂特级教师主编了《普通高中课程标准实验教科书 物理选修3-5》，对高中物理中量子理论教材编写进行了深入思考和实践。2006年笔者来到我国师范教育的最高学府——北京师范大学，师从郭玉英教授攻读博士学位，选择

了“高中物理中量子理论的课程研究”作为研究课题，本书就是在该研究的基础上形成的，主要从以下几个方面来选择、呈现本书的内容。

第一，通过文献研究和专家访谈，阐明量子理论的教育价值。量子理论是现代科学技术的基础，深深影响着现代物理学和其他自然科学分支的发展，通过对量子理论的学习，可为高中生将来的学习和生活打下良好的基础；量子理论中蕴含丰富的科学方法教育内容，物理学家在构建量子力学的过程中，充分展示了其高超的哲学素养、创新能力和实事求是的科学态度。在高中阶段初步学习量子理论内容，将使学生体会其中的科学方法，受到科学思想的启迪，感悟科学的和谐美；量子理论中蕴含丰富的科学本质教育内容，物理学家在此领域中的探索体现了科学本质及探究的特点，是对高中生进行科学本质教育的良好素材。

第二，对影响高中物理中量子理论课程内容的因素进行分析，通过报刊调查，了解社会发展对学生科学素养培养的要求。通过历史回顾，梳理量子理论的发展脉络和学科逻辑结构。笔者还采用问卷调查与访谈相结合的方式，探明学生关于量子理论的前认知，研究表明：高中生在学习量子理论内容之前，所持关于原子、电子、光等的观念与历史上一些物理学家的观念存在着相似之处，大多高中生习惯于用经典物理学的观点解释微观现象，且通过中学数学的学习，他们对概率与统计的概念有了一定的认识，为学习量子理论的统计观念打下良好的基础。

第三，分析不同时期分布的我国高中物理课程文件和有代表性的教科书，以纵向把握我国高中物理中量子理论的课程发展轨迹。随着时代的发展，我国高中物理课程中量子理论在深、广度的变化上尽管存在反复，但总的趋势是内容增多、要求变高，在一定程度上体现了课程现代化的要求。

第四，比较、剖析多个国家和地区的高中物理中量子理论的课程现状，研究表明美国、日本、加拿大、澳大利亚、芬兰等国的课程文件均从整体上设计高中科学课程，美国密歇根州、加拿大安大略省把波和粒子、原子结构的内容分别安排在高中物理和化学课程中，但所分析的课程文件中大多没有引入统计的观点说明光和粒子的行为。美国高中物理教科书中量子理论部分比较关注探究和STS教育，这种做法值得我们借鉴。

第五，结合笔者对课程标准高中物理选修3-5教科书的编制实践，多方位剖析我国高中物理新课程标准及其教科书。对4套教科书的量子理论部分

的课程难度进行了比较研究,发现4套教科书均高于课程标准,并呈现如下顺序:教科版>人教版>沪科教版>鲁科版。还从不同时期和中美比较两个视角,基于科学素养的主题,定量分析、比较高中物理教科书中量子理论部分内容,研究表明我国课程标准教科书相对传统教科书在科学素养主题内涵及所占比重方面,发生了积极的变化,主要表现在更加关注学生的主动探究和科学史教育,但科学、技术、社会关系主题内容较少、范围较窄。美国的《物理:原理与问题》在科学素养主题的均衡性上表现得比我国教科书要好,有关科学、技术、社会主题的比重远高于我国教科书。

最后对有关量子理论部分的高中物理课程标准修订、教科书编写及课程实施提出了建议。

在本书出版之际,首先感谢母校南京师范学院、苏州大学、北京师范大学对我的培养。感谢郭玉英教授对我的学术引领,导师严谨求实的研究风格、淡泊名利的工作态度为我树立了榜样。感谢德高望重的阎金铎教授、赵铮教授、束炳如教授、刘炳昇教授的教诲,感谢亦师亦友的李春密教授的指导和热诚帮助,感谢申先甲教授、管靖教授、何润伟特级教师、肖振军教授、平加仑教授、郭怀忠教授等接受我的访谈,感谢王高教授级高级教师、卢向林高级教师、朱丽洁高级教师等为我的问卷调查提供帮助,感谢我的研究生杨志卿、杨绍兰、王劲存、郑国栋、李鸿先、王峰等为调查访谈、数据统计提供协助,感谢同门师兄、师姐、师弟、师妹的帮助,感谢家人的关怀。感谢广西教育出版社的大力支持,感谢责任编辑潘姿汝付出的辛勤劳动。期待着读者的关注和指正。



2016年12月于南京仙林

目 录

绪 论 / 1

一、研究的背景 / 1

二、研究的意义 / 3

第一章 高中物理中量子理论课程研究进展 / 4

第一节 本研究的核心概念 / 5

一、课程 / 5

二、量子理论 / 6

第二节 国外相关研究进展 / 8

第三节 国内相关研究进展 / 14

一、量子理论的教育价值及其社会需求 / 14

二、中学量子理论教科书研究 / 15

三、对国外中学量子理论课程和教学的介绍 / 15

四、量子理论教学研究 / 16

第二章 高中物理中量子理论课程研究的问题聚焦及研究设计 / 18

第一节 研究的主要问题及内容 / 19

一、研究的主要问题 / 19

二、研究的主要内容 / 19

三、研究的论述框架 / 21

第二节 研究方法 / 23

一、文献研究法 / 23

二、问卷调查法 / 23

三、访谈法 / 24

第三章 高中物理中量子理论的教育价值 / 26

第一节 量子力学是现代科学技术的基础 / 27

第二节 量子力学中蕴含丰富的科学方法教育内容 / 29

第三节 量子力学蕴含丰富的科学本质教育内容 / 31

第四节 专家关于量子理论教育价值的观点 / 33

一、刘炳昇先生的观点 / 33

二、管靖先生的观点 / 34

三、申先甲先生的观点 / 35

四、何润伟先生的观点 / 36

五、肖振军先生的观点 / 38

六、平加伦先生的观点 / 39

第五节 小结与讨论 / 40

第四章 影响高中物理中量子理论课程内容的因素分析 / 42

第一节 社会需求 / 43

一、社会各界的需求 / 43

二、报刊调查 / 43

三、小结与讨论 / 49

第二节 学科发展 / 51

一、早期量子论的发展 / 51

二、量子力学的建立 / 53

三、小结与讨论 / 55

第三节 学生认知发展 / 61

一、关于学生前认知的调查设计 / 61

二、总体分析 / 64

三、关于原子主题的分析 / 67

四、关于光主题的分析 / 71

五、关于电子主题的分析 / 74

六、关于自然观主题的分析 / 77

七、小结与讨论 / 79

第五章 我国高中物理中量子理论的课程发展沿革 / 83

第一节 晚清时期 / 84

第二节 中华民国时期 / 86

一、中华民国时期高中物理课程标准（纲要）中量子理论的内容 / 86

二、中华民国时期高中物理教科书中量子理论的内容 / 87

三、小结 / 95

第三节 中华人民共和国成立后至“文化大革命”前 / 97

一、“文化大革命”前高中物理课程文件中量子理论的内容 / 97

二、“文化大革命”前高中物理教科书中量子理论的内容 / 101

第四节 “文化大革命”期间 / 105

第五节 “文化大革命”后 / 106

一、“文化大革命”后高中物理教学大纲中量子理论的内容 / 106

二、“文化大革命”后高中物理教科书中量子理论的内容 / 111

第六节 小结与讨论 / 116

第六章 境外高中物理中量子理论的课程分析 / 118

第一节 境外高中物理课程文件中量子理论部分分析 / 119

一、我国台湾省《高中物理课程暂行纲要》中量子理论的内容 / 119

二、美国高中课程文件中量子理论的内容 / 121

三、加拿大安大略省高中物理课程文件中量子理论的内容 / 123

四、日本《高等学校学习指导要领》中量子理论的内容 / 124

五、澳大利亚维多利亚州高中物理课程文件中量子理论的内容 / 126

六、芬兰高中课程标准中量子理论的内容 / 129

第二节 境外高中物理教科书中量子理论部分分析 / 131

一、我国台湾省高中物理教科书中量子理论的内容 / 131

二、美国高中物理教科书中量子理论的内容 / 133

三、日本高中物理教科书中量子理论的内容 / 138

第三节 小结与讨论 / 140

第七章 我国新世纪高中物理中量子理论的课程分析 / 142

第一节 我国高中物理课程标准中量子理论的要求 / 143

第二节 我国高中课程标准物理教科书中量子理论的内容 / 147

第三节 我国高中课程标准物理教科书个案分析 / 152

一、沪科教版《物理选修3-5》研制队伍 / 152

二、沪科教版《物理选修3-5》中量子理论部分内容结构 / 153

三、沪科教版《物理选修3-5》中量子理论部分编写特点 / 155

第四节 我国高中物理课程标准教科书中量子理论的课程难度定量分析 / 161

一、课程难度三要素的赋值 / 161

二、内容难度的比较 / 164

三、小结 / 165

第五节 基于科学素养主题的中美高中物理教科书的定量分析 / 167

一、分析对象 / 167

二、分析维度 / 168

三、分析结果 / 169

四、小结与讨论 / 176

第八章 研究总结与建议 / 177

第一节 研究结论 / 178

第二节 关于高中物理中量子理论课程建设的建议 / 180

一、关于高中物理课程标准修订的建议 / 180

二、关于高中物理教科书修订的建议 / 184

参考文献 / 186

附 录 / 199

附录 1 《北京晚报》出现物理学名词频率 / 199

附录 2 学生问卷 / 203

附录 3 专家访谈设计 / 205

附录 4 专家访谈录 / 206

附录 5 美国使用范围最广的高中物理教科书 / 229

绪论

一、研究的背景

自 20 世纪 80 年代以来,世界各国相继兴起了新一轮课程改革。我国于 2001 年启动了基础教育改革,对课程设置、目标等进行了全面、深刻的变革,《普通高中物理课程标准(实验)》(以下简称《课程标准》)明确提出从知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观三个方面提高学生的科学素养^[1]。

课程内容现代化是高中课程改革的重点之一,在 2001 年教育部颁布的《基础教育改革纲要(试行)》中提出:“改变课程内容‘难、繁、偏、旧’和过于注重书本知识的现状,加强课程内容与学生生活以及现代社会和科技发展的联系,关注学生的学习兴趣和经验,精选终身学习必备的基础知识和技能。”^[2]《课程标准》中的内容标准阐述了学生在高中物理课程中应该懂得什么,理解什么,做到什么,以及学生最终要达到的学习水平。它提出的课程基本理念之一是:在课程内容上体现时代性、基础性和选择性。其中的时代性对课程内容现代化提出了要求,要求“加强与学生生活、现代社会及科技发展的联系,反映当代科学技术发展的重要成果和新的科学思想”^[3],高中物理课程应担负起使受教育者

[1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(实验)[S]. 北京:人民教育出版社, 2003: 3.

[2] 中华人民共和国教育部. 基础教育课程改革纲要(试行)[N]. 中国教育报, 2001-7-27(2).

[3] 同[1].

实现科学文化素养现代化的责任。早已有人批评说：现代科学中的概念、理论同基础教育中所教的概念、理论存在着越来越大的差异和冲突，就如同天文学中已经确立了“日心说”，而学校里还在教“地心说”一样。在以前的教学大纲和教科书中，量子理论主要涉及早期量子论的内容，不确定性关系等只是作为较高要求的选学内容，由于高考不做要求，真正接触这部分内容的高中学生少之又少，这样的状况怎么还能继续下去呢！为此，高中物理课程内容的选择要立足于当代，着眼于人的终身发展，将现今的教育与时代的发展联系起来，教会学生如何学会生活和发展、如何把握现实世界，帮助学生形成科学的自然观，为学生的终身发展打好基础。

《课程标准》在课程内容体现时代性上进行了有益的尝试，在共同必修物理2模块中，要求学生在认识经典力学的成就和局限性的基础上，了解近代物理的主要观点。在选修2和选修3系列中有关量子理论的内容以二级主题呈现，如选修2-3中的“原子结构与核技术”、选修3-5中的“原子结构”和“波粒二象性”。相对以前的教学大纲，在选修3-5中增加了以下内容：了解微观世界中的量子化现象；比较宏观物体和微观粒子的能量变化特点；体会量子力学的建立深化了人们对于物质世界的认识；了解康普顿效应；通过典型事例了解人类直接经验的局限性；体会人类对世界的探究是不断深入的^[1]。

国内有5家出版社根据《课程标准》出版了教科书，为体现课程内容的选择性，实验区在实际操作中，在学习物理1、物理2的基础上，文科学生通常选修物理1-1，理科学生在物理3系列中选修4个模块。由于编著者对《课程标准》认知的差异，各套教科书在物理2中有关量子理论的内容差别较大，有的教科书仅提及微观粒子“不仅具有粒子性，同时还具有波动性，它们的运动规律在很多情况下不能用经典力学来说明”^[2]，有的教科书以“微观世界与量子论”为题单列一节作为选学内容，介绍了光和

[1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(实验)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2003: 46.

[2] 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书 物理必修2[M]. 北京: 人民教育出版社, 2007: 50.