



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

魏 昕 著

中学物理能量 学习进阶研究

ZHONGXUE WULI NENGLIANG
XUEXI JINJIE YANJIU



广西教育出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLISHING FOUNDATION

中国物理教育研究丛书

郭玉英 主编

魏 昕 著

中学物理能量 学习进阶研究

ZHONGXUE WULI NENGLIANG
XUEXI JINJIE YANJIU

 广西教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中学物理能量学习进阶研究 / 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 978-7-5435-8216-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 320832 号

策 划 黄敏娴 黄力平
责任编辑 潘姿汝 潘 安
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: 16

字 数: 238 千

版 次: 2016 年 12 月第 1 版

印 次: 2016 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5435-8216-3

定 价: 35.00 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、多层次的深入具体的实证研究，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型,并对实施该探究教学模型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爲,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的桥梁,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的实验内容、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效标, 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

21 世纪初期，大洋彼岸的学者们在提出探究教学后，紧接着又对另一教育理论——学习进阶理论进行了大量的实证研究，并最终成为美国 2013 年颁布的最新课程标准——《下一代科学标准》(Next Generation Science Standards) 的理论基石。与此同时，国内的广大教育研究者和教师对学习进阶理论充满了研究和实践的热情。鉴于此，本书为相关的研究者和教师提供了一条从理论到实践、全面而系统了解学习进阶理论的途径。

本书围绕中学物理“能量”概念的学习进阶研究而展开，主要介绍了如何构建有效的“能量”进阶框架，如何基于进阶框架来描述学生“能量”概念认知水平的发展程度。研究的目的在于构建以学生为中心、具有实证有效性的“能量”进阶框架，并以此对学生“能量”认知状态和发展情况进行准确的刻画和阐释。在获得可靠研究结果的基础上，尝试对如何开展“能量”概念的学习进阶课程与教学进行初步的讨论。

具体地，绪论、第一章首先对“能量”进阶研究的意义、学习进阶研究的一般情况进行了介绍，让读者对这一研究领域形成初步的了解和认识。第二章对“能量”概念发展过程、学生相关认知方式以及“能量”进阶研究面临的问题与挑战进行了系统阐述。第三章确立了本研究的总体研究规划，对“能量”框架的具体构建和检验方式以及数据的分析方法等进行了系统的说明。在

第二章、第三章的基础上,第四章以认知的“框架理论 (framework theory)”为基础,分析了学生在“能量”概念的认知发展过程中所使用的思维方式,依据的物理原理,表现出的迷思概念 (misconception),以及三者之间的关系,利用推理方式和原理两个进阶变量对上述三者进行整合,将学生对“能量”的认知活动投影到“能量”概念的各个方面,形成了对学生“能量”认知状态进行描述的理论进阶框架。

第五、六、七、八章则根据学习进阶框架的开发流程,利用 Partial Credit Rasch Model 作为测量模型,在效度理论的具体指导下,通过三轮实证研究对理论进阶框架不断修正和完善,形成了以学生为中心,能够有效描述学生“能量”概念认知特征的“能量”进阶框架,并依据该框架对样本学生的“能量”认知状态进行了客观描述。

第九章主要讨论如何基于“能量”框架,形成能够帮助学生从较低认知层级向较高认知层级迈进的课程开发和教学相关问题。

虽然书中所呈现的研究结果是在实证基础上建立起来的,但需要说明的是,作者是站在研究者的视角来选取进阶变量的。“能量”进阶框架的构成不应该也不可能仅有书中所呈现的这一种方式,基于“能量”框架的课程设计理论也并非书中所述的一种。希望读者能够以批判的目光审视本书的研究成果,从教学实践和其他视角入手,在本研究的基础上推出更新的、与实际更适切的、适应于实际教学和普遍推广的研究成果。

此外,作者认为本书的另一个价值在于为读者提供了方法论层面的帮助。读者可以将“能量”看作一个研究案例,体会开展学习进阶研究的一般性方法和步骤。例如,学习进阶的主要构成要素有哪些?学习进阶框架的组织结构有哪些类型,各有什么特点?支撑进阶框架的进阶变量如何选取?如何开发测试题目检验进阶框架?如何基于进阶框架开发相适切的课程活动?等等。这将有助于读者自主开展学习进阶方面的研究工作。

总之,希望读者不仅可以从中获得具体的研究内容和结果,而且可以借鉴书中的研究思路以及建构框架的流程和方法,为开展同类研究奠定基础。

本书向读者系统展示了作者在“能量”进阶研究上所取得的系列结果，同时也诠释了学习进阶研究的内涵以及进行学习进阶研究的过程和方法。希望书中所展现的“能量”进阶框架以及课程活动设计方案等能为读者的学习和工作带来启发和借鉴。但在作者看来，读者通过本书对学习进阶形成的系统认识以及在方法论层面获得的知识将更有价值，它们会帮助广大研究者和教师自主开展这个领域的研究和教学工作，使得本领域的研究成果更加丰富并且更加具有实证有效性。

本书在写作以及定稿过程中得到了北京师范大学郭玉英教授的细心指导和热情帮助，获得了诸多有益的建议，在此深深表示感谢！

魏昕

2016年11月

目 录

绪 论 / 1

- 一、“能量”进阶框架的重要性 / 1
- 二、学习进阶研究所面临的挑战 / 2
- 三、研究的问题 / 4
- 四、研究的价值 / 4

第一章 学习进阶概述 / 6

第一节 主要内涵和研究途径 / 7

- 一、学习进阶的主要内涵 / 7
- 二、学习进阶的研究途径 / 10

第二节 进阶框架的开发流程 / 13

- 一、构建学习进阶框架 / 13
- 二、开发测试题目 / 18
- 三、确定问题结果空间 / 20
- 四、形成实证证据 / 20
- 五、理论框架的修正与循环研究 / 22

第三节 进阶框架的效度保证 / 23

- 一、心理构造的无效成分来源 / 24
- 二、心理构造效度的维度 / 26

第四节 学习进阶的研究现状 / 32

第二章 “能量”进阶框架的开发基础 / 38

第一节 人类对“能量”认识的演化 / 39

一、科学史上对“能量”认识的演化 / 39

二、对于“能量”的现代科学认识 / 42

三、本书中“能量”概念的含义 / 44

第二节 对学生“能量”认知的解释 / 46

一、认知理论：“框架理论”与“碎片理论” / 46

二、内隐核心：学生的思维方式 / 50

三、外在表现：“能量”的迷思概念 / 53

四、本书中“认知”的含义 / 56

第三节 “能量”进阶研究的挑战 / 57

一、“能量”进阶的研究现状 / 57

二、“能量”进阶研究面临的问题 / 59

第三章 “能量”进阶框架的研究思路 / 61

第一节 研究的整体规划 / 62

第二节 进阶框架的构建 / 64

一、框架的构建 / 64

二、测试题目的开发 / 65

三、问题结果空间的构建方法 / 67

四、统计模型的选取 / 68

第三节 数据收集与分析 / 70

一、对数据的分析 / 70

二、对理论框架的修正与循环研究 / 73

第四章 “能量”进阶框架的理论建构 / 74

第一节 “能量”框架中进阶变量的选取 / 75

一、基本假设 / 75

二、原理、迷思概念和推理方式 / 78

三、进阶变量的确定 / 81

第二节 “能量”框架中进阶层级的确定 / 85

一、最低层级的确定 / 85

	二、最高层级的确定 / 86
	三、中间层级的确定 / 87
	第三节 “能量”进阶框架的初步建立 / 91
第五章	对“能量”进阶框架的初步实证检验 / 95
	第一节 数据收集：测验样本与题目的选取 / 96
	一、研究样本 / 96
	二、测试题目与试卷 / 96
	第二节 编码标准：构建问题结果空间 / 100
	第三节 数据分析：对“能量”进阶框架的反馈 / 103
	一、对“‘能量’心理构造”的表征程度 / 103
	二、测试题目的质量 / 104
	三、理论框架的有效性检验 / 105
第六章	对“能量”进阶框架的调整与再检验 / 108
	第一节 “能量”进阶框架的调整 / 109
	一、调整的依据 / 109
	二、调整后的“能量”进阶框架 / 111
	第二节 测试工具的调整 / 114
	一、测试内容 / 114
	二、测试题目 / 116
	三、题目访谈提纲 / 118
	第三节 问题结果空间的调整 / 120
	一、调整的说明 / 120
	二、调整后的问题结果空间 / 121
	第四节 数据收集与分析 / 128
	一、研究样本 / 128
	二、测试对“能量”心理构造的表征程度 / 129
	三、测试题目的质量 / 129
	四、对“能量”进阶框架的实证有效性检验 / 138
	五、对学生“能量”认知水平的说明 / 139

第七章	对“能量”框进阶架的微调与验证 / 143
	第一节 “能量”进阶框架的微调 / 144
	一、调整说明 / 144
	二、调整后的结果 / 144
	第二节 测试工具的调整 / 147
	第三节 问题结果空间的调整 / 149
	第四节 数据收集与分析 / 160
	一、研究样本 / 160
	二、测试对“能量”心理构造的表征程度 / 161
	三、测试题目的质量 / 161
	四、对“能量”进阶框架实证有效性的检验 / 166
	五、对学生“能量”认知水平的说明 / 167
第八章	具有实证有效性的“能量”进阶框架 / 171
	第一节 最终形成的“能量”进阶框架 / 172
	第二节 “能量”进阶框架的效度质量 / 174
	一、“能量”进阶框架的内容效度 / 174
	二、“能量”进阶框架的充分性效度 / 176
	三、“能量”进阶框架的结构效度 / 178
	四、“能量”进阶框架的可延拓效度 / 181
	五、“能量”进阶框架的外部效度 / 183
	六、“能量”进阶框架的结果效度 / 186
	第三节 学生“能量”认知水平的发展现状 / 188
	一、整体概括 / 188
	二、具体描述 / 188
第九章	基于“能量进阶”的教学讨论 / 191
	第一节 基于 IQWST 理论的能量进阶课程 / 192
	一、课程目标的构成与组织 / 192
	二、课程内容的组织原则 / 194
	三、课程展开的切入点 / 195
	第二节 课程设计实例 / 196

	第三节 课堂活动中的交互策略 / 201
	一、教师与学生的互动模式 / 201
	二、对互动模式的评析 / 204
参考文献	/ 205
附 录	/ 216
	附录 1 : 第一轮测试题目 / 216
	附录 2 : 第二轮测试题目 / 219
	附录 3 : 第三轮测试题目 / 225
	附录 4 : 访谈题目 / 231
	附录 5 : 对实证结果的补充说明 / 233

绪 论

“学习进阶 (learning progression)” 目前受到国际科学教育界的广泛关注, 并且成为美国新课程标准《下一代科学标准》开发的理论基础。当前是我国课程改革的关键时期, 因此, 很有必要对学习进阶理论的内涵、理论框架的开发过程以及实证检验方法等进行系统的阐述与说明, 以期帮助读者更全面地认识这一理论。

一、“能量”进阶框架的重要性

“能量”作为重要的科学概念, 在解释各种自然现象, 构建各个自然学科的相关理论时均发挥着不可替代的作用。费恩曼指出能量是一个非常有用的概念, 因为它是一个守恒量, 科学家能够通过追踪能量来理解物理、化学以及生物学中各种现象的变化^[1]。正由于此, “能量”概念在科学教育领域的地位更是不言而喻。我国《义务教育物理课程标准》将“能量”“物质”“运动和相互作用”并列为三大主题; 美国《K—12 科学教育框架》(*A Framework for K-12 Science Education*, 以下简称“框架”)将“能量”概念列为七大学科共通概念 (crosscutting concepts) 之一, 强调了“能量”在各个科学领域的重要作用, 同时在学科核心概念部分以及根据《框架》所制定的《下一代科学标准》中, 将“能量”作为物质科学部分的核心概念在课程标准中加以详细阐述。然而, 学生对于“能量”概念的学习则表现出诸多困难, 一些大规模基础教育评价项目 (如 TIMSS、PISA) 以及研

[1] FEYNMAN R P, LEIGHTON R B, SANDS M. The Feynman lectures on physics [M]. New York: Basic Books, 2013.

究者的实证研究结果显示, 学生对于“能量”具有多种与科学认识不相符的迷思概念, 并且学生运用能量原理解释自然现象的能力较弱^[1,2]。

美国国家研究委员会 (National Research Council, 简称 NRC) 认为学习进阶是指学生在课堂内外认知一系列科学知识时, 所依思维方式的逐渐发展和成熟过程^[3]。学习进阶理论为研究者、教师等人重新审视科学课程标准、课程与教学提供了一条有效的途径。当前国内与国际的科学课程标准主要由一系列的对不同年级学生的学科知识期望构成。然而从建构主义的观点出发, 学习是学生主动构建知识的过程, 学生的原始认知在构建对概念的科学理解过程中起着至关重要的作用^[4]。因此, 当前的课程文件由于缺乏对学生原始思维的考量, 从而有可能无法有效引导科学课程的教学工作。与科学课程文件不同, 学习进阶是关注学生思维与想法的理论, 描述了学生在理解真实世界时所发展而成的一系列日臻成熟的思维与推理方式。因此, 学习进阶更有可能为课堂的教学工作提供有益的指导。与此同时, 学习进阶研究与创新性的评价测试方式相结合, 可以更加有效地刻画学生真实的认知过程与水平。

以上两方面反映出开展“能量”进阶研究的重要性, 聚焦于“能量”概念的学习进阶理论研究, 能够更好地描述学生在学习“能量”概念时所处的认知水平与变化过程, 为课堂教学提供有效的指导, 也为日后构建评价、课程与教学相结合的新模式奠定基础。

二、学习进阶研究所面临的挑战

学习进阶在科学教育领域内是一个广受关注, 同时又具有广泛含义的研究课题。已有的相关研究主要可以划分为两类: (1) 从学科知识间

[1] MARTIN M O, MULLIS I V S, FOY P, et al. TIMSS 2011 international results in science [M]. Chestnut Hill: TIMSS & PIRLS International Study Center, 2012.

[2] FLEISCHMAN H L, HOPSTOCK P J, PELCZAR M P, et al. Highlights from PISA 2009: Performance of U.S. 15-year-old students in reading, mathematics, and science literacy in an international context [J]. National Center for Education Statistics, 2010.

[3] DUSCHL R A, SCHWEINGRUBER H A, SHOUSE A W. Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8 [M]. Washington D.C.: National Academies Press, 2007.

[4] COBB P. Where is the mind? Constructivist and sociocultural perspectives on mathematical development [J]. Educational Researcher, 1994, 23 (7): 13-20.