



# 翻转课堂模式下的 量子力学教学探索

Flipped Classroom Practices on  
Quantum Mechanics

马春旺 魏慧玲 曹俊杰 赵兴东 付召明 编著



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



## 作者简介

马春旺，河南师范大学特聘教授，博士生导师；兼任中国核物理学会理事、河南省核学会副理事长、河南省物理学类专业教指委秘书、教育部大学物理教指委中南地区工作委员会副主任、教育部物理学类专业教指委理事、*Nuclear Science and Technique* 学术编辑。长期从事重离子核反应物理研究，在国际核物理著名期刊*Prog. Part. Nucl.Phys.*、*Phys. Lett. B*、*Phys. Rev. C*、*Chin. Phys. C*等SCI期刊发表论文60余篇；入选河南省科技创新人才、河南省高校科技创新人才；主持完成物理学国家一流专业建设点申报和教育部首批师范专业二级认证工作，主持河南省一流课程量子力学、河南省精品在线开放课程核物理技术的建设；主持国家自然科学基金面上项目等4项。

# 翻转课堂模式下的 量子力学教学探索

Flipped Classroom Practices on  
Quantum Mechanics

马春旺 魏慧玲 曹俊杰 赵兴东 付召明 编著



## 内容提要

本书根据当前一流课程建设理念,以“学生中心”为宗旨,将翻转课堂教学方法应用于量子力学的课程教学中,并讨论在翻转课堂教学中学生与教师应该做的转变和方法实践建议,同时探讨培养学生创造力的“问题式”教学方法,并以量子力学现有教材为基础,给出课前引导式问题。本书可供量子力学课程相关师生参考,也可供高校课程改革相关者参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

翻转课堂模式下的量子力学教学探索/马春旺等编著. —上海:上海交通大学出版社,2020

ISBN 978 - 7 - 313 - 23340 - 0

I. ①翻… II. ①马… III. ①量子力学—课堂教学—教学研究—高等学校

IV. ①O413.1 - 42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 096870 号

## 翻转课堂模式下的量子力学教学探索

**FANZHUAN KETANG MOSHI XIA DE LIANGZILIXUE JIAOXUE TANSUO**

编 著: 马春旺 魏慧玲 曹俊杰 赵兴东 付召明

出版发行: 上海交通大学出版社

地 址: 上海市番禺路 951 号

邮政编码: 200030

电 话: 021 - 64071208

印 制: 上海新艺印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 7.75

字 数: 114 千字

版 次: 2020 年 7 月第 1 版

印 次: 2020 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 313 - 23340 - 0

定 价: 48.00 元

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 021 - 33854186

# 序

四月，春风和畅。马春旺先生发来书稿，嘱我从学长和管理者的角度写个序。著者抬爱，不免心中惴惴，然念及育人之道近、惠人之意同，遂不揣浅陋，欣然从命。

近年来，信息技术的进步和教育理念的革新对传统教育产生了巨大影响，作为一种新的教学模式，翻转课堂既是对传统课堂的一种颠覆，也是对大学传统课堂教学的挑战。信息技术支撑下的以学生为中心的教育教学方式，使得课堂内外相结合，结果性评价与过程性评价相结合，加强了师生之间、生生之间的互动，提升了学生的学习意识和学习自觉。因此，基于人才培养的高校教育改革首先要改革课堂教学模式，实现教学过程思维上的根本转型，教学思维从“先教后学”转向“先学后教”，教学过程从“先导后学”转向“先学后导”，教学策略从“先研后学”转向“先学后研”。

该书关注学习方法和教学方式的转变，依托物理问题的学习和教学，探索以学生为学习中心的翻转课堂方法，两者结合，甚为巧妙。一方面，摒除了传统的讲授式、传递式教学范式下的以教师为中心之弊端，课堂目标明确指向学生的“学”，使得学生能够自己去建构知识；另一方面，突出了课程教学中教师的教学理念和方法，使得学生能够在学习量子力学的同时，提升自主学习能力和合作探究能力。

1987年，我于河南师范大学物理学院毕业后，一直从事物理教学和学校管理工作。这期间，我关注和思考最多的就是教师的专业发展问题。教育是生命对生命的影响，教师的教学理念和方式很大程度来自他们读书时所获得的经验，也必定会影响到他们的学生。教师的学科素养决定了学生发展的高度，可以说，有什么样的思维就有什么样的课堂，有什么样的老师

就会有怎样的学生。因此,通过翻转课堂模式下的课程学习来提升学生的学习能力,培养师范生的学科思维和教育理念,能够提高师范生的教学技能,助力我国基础教育改革发展和人才培养。

该书编著者精研善思,学术积淀深厚,在教育领域甚有建树,且多年从事大学物理教学,勤育桃李,成果灼灼。此书既是对教师和师范专业学生的教学与指导,也是从“教师讲授”模式向“学生中心”模式转变的成功探索,数载心血即将付梓,我为此感到高兴。

是为序。



2020年4月

河南省淮滨高级中学校长  
教育部全国中小学领航校长

# 前 言

教育部实施的以“一流专业”和“一流课程”为目标的“双万计划”高校专业建设和人才培养改革与重塑是我国新时期高等教育的重要发展战略。无论是一流专业还是一流课程,以及目前正在如火如荼开展的各类高校专业认证,都围绕高校培养人才的重要抓手——教师、课程和管理,采用“学生中心、产出导向、持续改进”理念展开。以学生发展为中心,瞄准培养目标改革提升,建设持续改进的人才培养和教育教学模式,将成为未来高校教育改革的主题。

以学生为中心进行教学改革,一方面对教师的教学模式提出了新的挑战,另一方面对学生的学习方式与方法也提出了挑战。围绕“学生中心”理念,教师在设计教学策略时,需要更多地考虑“如何通过课程学习使学生在 学习过程中发挥学习主体地位”这一问题,从而变革自己的教学模式。相对应地,学生在学习时也要发挥主观能动性,根据教师实施的“学生中心”教学模式变化,积极改变自己的学习模式和方法,避免在学习过程中成为单纯的知识接受者。

现代化教育技术和便捷的网络技术为课程改革提供了优秀的管理工具,也使原来设想而不可能实现的“即时交互”和“随时掌握”教学成为可能。近年来,以“雨课堂”“学习通”等为代表的课堂交互工具使教师可以在教学过程中非常方便地进行与每一位学习者的互动,从而能及时掌握学生的学习状态。这些网络交互手段打破了师生之间交流的时间和空间限制,大幅提高了教师在课堂内外与学生的交流效率。更进一步地,通过教学大数据的使用和分析,教师可以更加精细和深入地了解每一位学生的学习水平。随着这些教学信息化管理工具更加广泛地应用于课堂教学,每一位

学习者都将深度融入学习过程。可以说,“学生中心”教学模式的改革与发展已经随着网络技术和课堂辅助工具的发展进入了快车道。

慕课和翻转课堂在大学课堂教学中的应用方兴未艾。通过慕课,学习者可以随时随地获取优质学习资源。大学生通过慕课向国内甚至国际名师、大家学习和研讨已逐渐开始流行,并正在形成一种新式的学习潮流。翻转课堂在教学中的应用,使原本沉寂无声的课堂成了思想碰撞的场所。在课堂上,学习的场面热烈起来了,学习者的眼神锐利起来了,新知和创新也随着生生互动、师生互动的高效讨论和辩论孕育而生,这使大学教学悄悄地从知识传承向知识创造发生转变。可以预见的是,随着“双万计划”建设的不断推进和深入,我国的高等教育人才培养水平必将再上新的台阶。

周世勋老师原著的《量子力学教程》是国内大学物理师范专业教学中广泛采用的一本教材,由于其具有简明扼要、叙述清楚的特色,几十年来深受师范生的喜爱。对师范生来说,通过对量子力学课程的学习,不但要扎实地掌握量子力学知识和理论系统,还需要通过课程学习形成批判思维精神和更高的学习能力。在一流课程的建设中,我们基于这本教材,依托物理问题学习(Physics Problem Based Learning)方法和同伴教学法,实施了教学方法改革,并多次开展了以学生为学习中心的翻转课堂方法探索。为了使教学改革真正产生效果,我们对课程教学中的教师教学理念和角色转变、学生学习角色转变、学习能力提升、学习行为管理和课程管理等多个方面进行了一定的探索。本书将呈现在量子力学课程教学改革中的相关内容,可以作为量子力学教学的学习参考和指导用书。

本书共分两个部分,第一章至第四章介绍了在量子力学课程改革中所采用的部分教学理念和方法,主要讨论在“学生中心”教学模式下的教师教学和学生学习模式的转变、翻转课堂与同伴学习、学生提问与质疑能力培养以及课堂交流能力培养等方面的内容。第五章列出在量子力学课程教学中编制的课前引导问题,供教师和学生在学习中参考。书中尽可能结合学生的学习状况详细地展示课程改革中的一些细节,但并不试图提出新的学习模式,希望对类似课程的教学改进发展提供参考。

在本书的编写过程中,河南师范大学侯新杰教授就教学改革理念给予了具体细致的指导。淮滨高中李明校长在本书的编写过程中给予了许多

鼓励和支持,并多次与笔者交流和探讨师范生如何通过课程学习提高学习能力和教学技能。我们衷心感谢侯新杰教授和李明校长!同时,还要感谢河南师范大学物理学院对量子力学课程教学改革的支持,感谢参加学习的学生提出各种建议,并感谢河南师范大学教务处对教学改革的支持。本书是对课程改革的探索,相关讨论存在的不当之处,敬请读者指正。

**马春旺**

2020年4月于牧野湖畔

# 目 录

<b>第 1 章</b>	<b>“学生中心”教学模式的转变</b> .....	001
	1.1 “学生中心”模式下教师的转变 .....	002
	1.2 “学生中心”模式下学生的转变 .....	005
	1.3 “学生中心”模式下教学资料的转变 .....	006
	1.4 “学生中心”模式下教学流程管理的转变 .....	007
	1.5 “学生中心”模式下课程考核方式的转变 .....	010
<b>第 2 章</b>	<b>“学生中心”教学模式下教师和学生能力要求的转变</b> .....	011
	2.1 教师教学模式转变的能力要求 .....	011
	2.2 学生学习模式的转变 .....	017
<b>第 3 章</b>	<b>“翻转课堂+同伴学习”的实施策略</b> .....	020
	3.1 翻转课堂教学的实施策略初探 .....	020
	3.2 小组学习模式 .....	023
<b>第 4 章</b>	<b>发现探究问题和课堂交流能力培养方法初探</b> .....	026
	4.1 学生发现问题能力培养方法初探 .....	026
	4.2 学生参加课堂讨论的方法和技巧 .....	029
<b>第 5 章</b>	<b>翻转课堂模式的量子力学课前引导问题</b> .....	032
	5.1 绪论部分 .....	033

5.1.1	经典物理学的困难(量子前夜)·····	033
5.1.2	光的波粒二象性(论“颗”数的光——光的“双面”本质)·····	034
5.1.3	原子结构的玻尔理论(小电子、大迷局)·····	038
5.1.4	微粒的波粒二象性(电子原来走“迷踪步”)·····	039
5.1.5	本章总结与反思(波粒二象性是微观粒子的本质)·····	040
5.2	波函数和薛定谔方程·····	042
5.2.1	波函数的统计解释(量子态函数描述的是概率分布)·····	043
5.2.2	态叠加原理(用概率方法解释量子态的叠加)·····	045
5.2.3	薛定谔方程(与经典力学 $F = ma$ 地位相当的量子力学基本假设)·····	046
5.2.4	粒子流密度和粒子数守恒定律(概率流规律)·····	047
5.2.5	定态薛定谔方程(解答即提供定态系统的信息)·····	048
5.2.6	一维无限深方势阱(简单又直观的量子问题)·····	049
5.2.7	线性谐振子(量子重要模型)·····	051
5.2.8	势垒贯穿(量子穿墙术的物理秘密)·····	053
5.2.9	例题解释·····	055
5.2.10	章节总结与反思·····	056
5.3	量子力学中的力学量·····	057
5.3.1	表示量子力学量的算符(算符的基本性质)·····	058
5.3.2	动量算符和角动量算符(两个重要的力学量算符)·····	061
5.3.3	电子在库仑场中的运动(氢原子的理想模型)·····	062

5.3.4	氢原子(真实氢原子问题的解决)	064
5.3.5	厄米算符本征函数的正交性(量子力学算符假设之正交性)	066
5.3.6	算符与力学量的关系(量子力学算符假设之完全性)	067
5.3.7	算符的对易性 两力学量同时具有确定值的条件 不确定关系(量子核心)	068
5.3.8	力学量期望值随时间的变化 守恒定律(守恒律在力学量对易上的体现)	071
5.3.9	章节总结与反思	074
5.4	态和力学量的表象	075
5.4.1	态的表象(态是矩阵,表象是力学量本征矢量构成的空间)	076
5.4.2	算符的矩阵表示(海森堡的杰出作品)	079
5.4.3	量子力学公式的矩阵表示(公式运算也是矩阵运算)	080
5.4.4	么正变换(量子力学的空间变换性质)	081
5.4.5	狄拉克符号(量子力学的无表象表示方式)	082
5.4.6	线性谐振子与占有数表象(粒子数既可产生又可湮灭)	084
5.4.7	章节总结与反思	085
5.5	微扰理论	086
5.5.1	非简并态微扰理论(巧妙的近似求解)	086
5.5.2	简并情况下的微扰理论(打开能级简并)	089
5.5.3	氢原子的一级斯塔克效应(简并态微扰方法牛刀小试)	089
5.5.4	变分法(基态近似求解利器)	091
5.5.5	(选讲)变分法求解氦原子基态问题	091
5.5.6	(选讲)含时微扰理论	092
5.5.7	(选讲)跃迁概率	092

5.5.8	(选讲)光的发射与吸收	093
5.5.9	(选讲)选择定则	094
5.5.10	章节总结与反思	095
5.6	自旋与全同粒子	095
5.6.1	电子自旋(SG 实验揭开自旋自由度)	096
5.6.2	电子的自旋算符和自旋函数(自旋是动量算符)	097
5.6.3	简单塞曼效应(简单塞曼效应真简单)	099
5.6.4	两个角动量的耦合(耦合角动量是为了寻找合适的表象)	101
5.6.5	光谱的精细结构(耦合表象助力求解)	103
5.6.6	全同粒子的特性(两类重要全同粒子与两个重要统计规律)	105
5.6.7	全同粒子体系的波函数 泡利原理(全同粒子交换性质)	107
5.6.8	两个电子的自旋函数(两全同电子体系问题的解决)	109
5.6.9	章节总结与反思	110
5.7	结束语	111
	参考文献	112

# “学生中心”教学模式的转变

毫无疑问,在当前的高等教育和课程教学改革交流讨论中,“学生中心”是最流行的用语之一。无论是国家所实施的“双万计划”对一流专业和一流课程建设的要求,还是如今正如火如荼开展的各类专业认证对专业建设和发展的要求,都是落实新时代高等教育人才改革“以本为本,四个回归”任务的重要制度保障。随着高校专业人才培养改革和课程改革的深入推进,“学生中心、产出导向、持续改进”的高校专业建设和课程改革理念必将深入人心,高等教育接受者将能切实地感受到高等教育改革带来的红利。

在以“学生学习中心”(以下简称“学生中心”)的教学模式改革中,毫无疑问,政策导向、教师理念转变、学生学习方式转变、教育技术手段都会发挥重要的作用。在现代化教育技术的支撑下,如慕课的引入和推广、以“雨课堂”和“学习通”等为代表的课堂信息化技术的大范围使用,使教师能够轻易地将以“讲授为中心”的课堂变为以“学习者学习为中心”的课堂,使学生在课堂上切实地发挥学习主体地位的作用。在课堂上,学生的知识创新和思维碰撞将成为教学常态。可以说,以教师讲授为主的保守教学方法正在变成课堂教学的“过去时”。因此,在高等教育教学新的改革形势下,无论是政策的要求和号召,还是信息技术所推动的学习革命,都要求教师和学生尽快熟悉和掌握新的教学和学习方式,为实施课程教学改革做好充分准备。

将熟悉的“教师讲授”课堂教学模式转变为“学生中心”的教学模式,教师和学生双方毫无疑问地都会碰到新的问题,遇到新的困境。尤其对于教学经验丰富的教师,他们已经熟悉了自己的教学材料,形成了稳定的教学策略,部分教师甚至熟悉到无需再备课即可开展教学的程度。而对于学生来

说,已经熟悉了那种“准时踏入课堂,坐下来听讲,做作业和完成考试获得成绩”的学习模式,不需要付出许多新式的努力即可完成对自己的培养,还有必要花费力气折腾自己的学习吗?

高等教育正经历着从传统的比较单纯的知识和技能学习向培养终身学习能力的转变。而围绕学习能力培养所实施的从“教师讲授”模式向“学生中心”模式的教学转变正是对这一转变在教育实践上的呼应。课堂教学的承担责任主体从教师转向学生,这不但把教师的教学定位从讲授者变成引导者,更重要的是使学生从知识接受者变成主动学习者,学生的学习定位发生了重要变化!课程教学中一系列学习行为将围绕着学习的主体——学生而发生。学生需要积极主动地融入学习过程,从教学中的配角变成主角;教师从主控教学变成指导学生的学习流程,从主讲变成主导。在转变过程中,教学方式、学习方式、教学内容、教学管理等出现的一系列新问题,为教师和学生共同带来新的挑战。教师要重新学习和掌握新的教学方式与策略,更新迭代教学内容,设计新的课程实施模式。学生要通过参加各种课程教学活动,在加强知识和技能学习的同时,不断加强对自己学习能力的培养。在“学生中心”模式变革的初期(指课程中开始采用“学生中心”模式的初期),这一系列新问题需要教师和学生共同努力解决。

教育部高教司吴岩司长在谈到高校教学改革时,提出“教学改革改到深处是课程,改到痛处是教师,改到实处是教材”!后来,吴岩司长又对此补充到:“改到难处是校长”。话语中充分体现了教师、教材、管理对课程改革的重要性。下面我们将结合教师、学生、教学资料、教学流程管理和考核方式五个主要方面,来简要说明“学生中心”教学模式改革过程中可能出现的主要问题,并尝试结合我们所采用的一些方法给出参考建议。

## 1.1 “学生中心”模式下教师的转变

目前,大部分高校的课堂教学模式是教师围绕教材内容实施的课堂讲授模式,并以这种模式不断提高自身的课堂讲授能力。在这种模式下,教师占据主体地位,并负责对学生的课堂学习过程、学习状态、学习效果等进行全面把控。由于学生在学习过程中处于被动接受和知识吸纳地位,教师往

往难以实现对学生学习效果的实时反馈和掌握。在教学质量的改进和提高方面,往往是围绕教师本人讲授能力的提高进行,很难瞄准提高学生的学习能力进行改进。但培养和提高学生会学习的能力,恰恰是专业发展和人才培养的重要目标之一。

“学生中心”教学模式下,教师处于“导引者”的位置,承担“导学”角色。教师此时的作用主要是围绕“学生”学习主体,结合教学目标,制订教学策略,调动和导引学生的学习过程,为学生提供方向性的教学组织、指导和服务。与中学生相比,大学生具有更强的自学能力,也就是对教学材料和知识信息的处理加工能力。“学生中心”教学模式是大学生逐渐成为教学材料和知识信息处理加工主体的主要途径,在此过程中教师发挥引导和辅助作用,通过合理引导保障学生产生更好的学习效果。

我们把教师在“学生中心”教学模式下的角色定位为教学信息提供者、教学活动组织者、疑难关键导引者、学习过程记录者和学习过程评价者。在实际教学过程中,上述角色部分由参加学习的学生承担。教师和学生在学习过程中,尤其是研讨交流讨论中,将逐渐形成平等的教学对话角色。通过学生和教师的共同努力,课程教学将实现一流课程(即原来所说的金课)所要求的“两性一度”建设标准,即“高阶性、创新性和挑战度”的标准。

#### 1) 教学信息提供者

教学所依托的主要资料是教材,但教材并不是唯一的教学资料。除了选用合适的教材以外,教学资料的形式和种类将变得更加丰富,慕课与微课、学术论文和著作、报刊和新闻资料、调研数据和结果、社会应用与评价等资料和信息将更广泛地引入教学,服务于教学目标的达成。但是在“学生中心”教学模式的初期,学生往往还不具备资料搜集能力,此时教师要承担材料搜集的任务,并逐步培养学生的材料搜集和分析能力。在学生逐渐适应学习主体角色后,教师可以逐渐减弱自己在信息提供中的作用,将这方面的任务转移到学生身上,由学生自主完成资料的搜集和调研。

#### 2) 教学活动组织者

教师在“学生中心”教学模式下,承担组织教学活动的角色,其作用是让学生的学习在自主模式下更好地进行。教师需要对学生学习过程中的一些重要过程和关键环节进行合理的组织引导。在教学设计过程中,教师需要结合

学生的学习能力和学习流程,有针对性地制订课前、课堂和课后学习活动,合理制订学习计划。在制订学习计划时,不但要考虑如何促进学生掌握知识,更重要的是要考虑如何促进学生形成综合学习的能力。

课前活动计划,包括但不限于学生在搜集和处理教学材料的过程中,对相关知识形成一定观念和认识的学习活动和学习安排。

课堂活动计划,包括但不限于课堂研讨、问题辨析、合作交流、展示评价等学生为学习而发生的活动和安排。

课后活动计划,包括但不限于理论分析、知识应用与开发、产品评价、产品开发、活动或事件评估、社会调研与分析、综合调查与分析等活动和安排。

尽管课前、课堂和课后活动是以学生为主体完成的,教师在整個过程中仍要发挥导引、管理和评价等教学角色的作用。

### 3) 疑难关键导引者

由于学生的知识、技能和经验储备程度不同,在自主学习模式下,学生会在不同的学习环节遇到困难。此时,教师应及时提供帮助和辅导。因此,“学生中心”的学习模式不是教师放手不管的“放任自流”模式。

对学生在学习过程中遇到的共性问题 and 疑难问题,教师应及时进行调研和分析,找出其产生原因,并在课堂教学中制订有效的教学策略来重点解决。在课堂教学中,教师应尽可能预判学生的疑难问题并做好应对方案。另外,由于在“学生中心”教学模式中,学生们的思维是发散的,学生的学习就像一场现场直播,课堂教学中往往会出现预料不到的新问题,对此教师也应有一定的应对措施。

在课堂教学中,对于学生学习的困难问题和关键问题,教师应及时予以引导解决,使教学活动能够顺利进展下去。尤其是在实施“学生中心”教学模式的初期,教师可能还需要不断干预和指导学生的学习过程,使学生逐渐形成自主学习能力。在学生逐渐熟悉教学模式后,教师可逐渐回归到导引学生学习的角色。

### 4) 学习过程记录者

“学生中心”教学模式下,教师需要对学生的学习过程进行有效记录,以切实评估学生是否真正发挥了学习主体作用。在对教学环节的管理中,教师需要不断地对学生学习的多个环节进行记录、分析、评价、总结、反馈和提