

面向高阶思维训练的实验教学模式设计与实践

潘 葳¹ 叶 曦^{1,2} 陈列文¹ 郑 杭^{1,2}

(上海交通大学¹物理与天文学院;²致远学院,上海 200240)

摘 要 通过深度学习在课堂教学中来发展学生高阶思维能力是近年来教育改革中的一个重点。我们在面向本科一年级新生的物理实验课程中,对传统的教学模式进行了改革,增加了激发高阶思维产生的最大动力来源——“真实情境问题”为导向的课程内容。以此为核心抓手和发力点,通过引入探索型实验课题,依托传统实验和探索型实验课题这两类不同层次实验教学具有的互补性特性,对大学物理实验的教学内容和形式进行了合理重构,将大一新生高阶思维能力的培养有机地融入实验教学过程之中,形成了促进学生快速进入大学探究性深度学习的教学模式。问卷、访谈和成绩对比等数据表明该模式在一年级本科生的高阶思维能力和研究素养养成上起到积极的作用。这一变革在新形势下对物理实验教学具有积极的指导意义,也对于实践类课程教学具有一定借鉴作用。

关键词 高阶思维;深度学习;教学模式;实验教学;大一新生

EXPLORING PHYSICS EXPERIMENT TEACHING MODE OF STRENGTHENING DEEPER LEARNING AND PROMOTING HIGHER ORDER THINKING ABILITY

PAN Wei¹ YE Xi^{1,2} CHEN Liewen¹ ZHENG Hang^{1,2}

(¹ School of Physics and Astronomy; ² ZhiYuan College, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240)

Abstract Developing students higher-order thinking ability through deeper learning in class has been a focus of education reform in recent years. In the physics experiment course for freshmen, we reformed the traditional teaching mode and added the “problem in real life”-oriented course content, which is the biggest source of motivation to stimulate higher-order thinking. Furthermore, by introducing exploratory experimental subjects, and relying on the complementary characteristics of traditional and exploratory experiment, the teaching content and form of college physics experiments have been rationally reconstructed, and the cultivation of the freshman’s higher-order thinking ability is organically integrated into the experimental teaching process, forming a teaching mode that promotes students to quickly enter the university’s exploratory deep learning mode. Questionnaire, interview, and performance com-

收稿日期: 2023-05-30

基金项目: 教育部高等教育司 2021 年度基础学科拔尖学生培养计划 2.0 研究课题(20212031), 上海市教委 2020 年上海高校本科重点研究课题(No. 30)。

通信作者: 潘葳, 上海交通大学物理与天文学院副教授, sjtushellwill@sjtu.edu.cn。

引文格式: 潘葳, 叶曦, 陈列文, 等. 面向高阶思维训练的实验教学模式设计与实践[J]. 物理与工程, 2024, 34(2): 46-53.

Cite this article: PAN W, YE X, CHEN L W, et al. Exploring physics experiment teaching mode of strengthening deeper learning and promoting higher order thinking ability[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(2): 46-53. (in Chinese)

parison data illustrate that this model has played a positive role in the development of higher-order thinking ability and research literacy of first-year undergraduates. This change has a positive guiding significance for the teaching of physics experiments under the new situation, and it also has a certain reference effect on the teaching of practical courses.

Key words higher-order thinking; deeper learning; teaching mode; experimental teaching; freshman

信息技术的快速发展使得人们进入学习型社会,社会对人才的需求导向已转为具有高阶思维能力的创新型人才。21 世纪教育的核心目标是培养学生适应新时代所必需的创新思维能力、批判性思维能力、解决问题能力、沟通和协作能力等高阶思维能力^[1]。高阶思维发生在完成复杂任务或解决劣构问题的过程中,其发展路径是高阶学习,即在基于真实任务或复杂问题的情境中,积极主动坚持不懈地开展建构性学习活动,与同伴进行协作、交流、分享,不断反思和调节自己的学习,经历分析、发现、构想、抉择、归纳、评价、创造等思维经验积累的过程^[2,3]。开展课堂教学活动发展学生的高阶思维能力更是近年来教育工作者的研究重点^[4]。

2009 年,教育部启动国家“基础学科拔尖学生培养试验计划”进行基础学科拔尖人才培养的探索和试点。2018 年,教育部等六部门发布《关于实施基础学科拔尖学生培养计划 2.0 的意见》,培养基础学科拔尖人才被明确为高等教育强国建设的重大战略任务。我校自 2009 年正式启动“上海交大理科班”项目。该项目始终坚持“价值引领、能力建设、知识探究、人格养成”四位一体的育人理念,致力于培养具有批判性思维能力、知识整合能力、沟通协作能力、多元文化理解和全球化视野的创新型领袖人才。实践是创新的基础,为培养拔尖科学创新人才,一个广泛的呼吁是使学生在课堂期间积极参与学习,并为他们提供真实且有效的科学研究环境,从实践中探求真知,形成涵盖批判性思维、创造性思维、问题解决能力和沟通交流能力等要素为特征的高阶思维能力^[5-7]。学校为此开设研究实践课程,鼓励学生进入科研实验室参与科研项目训练,为学生攀登学术高峰搭建平台,该举措取得了一定的成效。

然而,十余年的拔尖人才培养实践也表明,科研实验室的实践项目主要面向最前沿的科学问题,需要较多的专业知识背景和知识自我迭代的

能力,且实验设备贵重又是“放羊式”训练模式,故不太鼓励低年级学生独立动手操作。因此低年级学生易成为实验室的“看客”,很难参与实践项目的核心工作,误认为自己是实验室的“螺丝钉”和“搬运工”,积极性易被挫伤,实践效果有待提高。遵循科学范式研究的课题实践训练的效果很大程度上依赖于学生前期的知识能力背景和自主学习能力。而多数高中毕业生已习惯于特定的演绎逻辑框架下的从动学习模式,形成了对固有理论知识的验证性思维习惯,“盲从”或“迷信”书本知识,缺乏面对复杂问题的审视辨析能力、归纳总结能力和知识自我迭代能力的深度学习技能^[6-8]。当背景知识缺失时,上述因素就使得低年级学生在直接进入科研实验室参与课题研究培养高阶思维能力时,会遇到不小的阻力和不少的障碍,从而降低了高价思维能力培养的效果。由此可见,为有效培养低年级学生高阶思维能力,我们不仅需要为其提供真实科学研究训练的环境,还需进一步降低知识背景门槛,并加强对学生的管理以促进其深度学习技能的养成。

与科研实验室相比,对刚入校的大一新生而言,物理教学实验室是为其可提供真实科学经验训练、培养高阶思维能力的更为理想的场所^[9,10],因为物理实验教学本身具有深度学习的训练功能,且它的内容又具有基础性和实践性的双重特点。有研究表明深度学习有助于学生达到高质量的学习成果,是促进学生核心素养发展的重要途径^[11,12]。“拔尖学生”的“深度学习”更被定位为指向“认知进阶”两个层面:“知识的理解和掌握”(基础性的认知活动)以及“知识的综合与创新”(高阶性的认知活动),分别包含了对知识的“习得与建构”和对知识的“融汇与创生”^[13]。

然而,传统的大学物理教学实验室主要提供经典的物理实验内容供学生学习,它侧重引导学生进行分析和讨论物理内容,培养学生分析问题、解决问题的能力,重在知识的理解和掌握。故而,

它更多提供的是基础性认知活动层面的深度学习。现已有高校也在尝试依托物理教学实验室提供独立于课程的进阶式探究型实验课题,来实现高阶性认知活动层面的深度学习训练,以期做到培训学生高阶思维能力^[10,14,15]。但与传统实验课程分离的进阶式培训,也同样面临低年级学生的知识背景和实验课题难度之间的匹配性问题。那么,是否存在一种教学组织模式,它能依托一年级本科生的物理实验课程,让大一新生在掌握课业内容的同时,又能再做一些高阶性认知活动层面的深度学习训练,提升其批判性思维能力、解决复杂问题能力、协同合作能力及使用科学语言有效沟通等高阶思维能力呢?已有研究指出在“反思—问题生成—批评探究—解决问题”这一过程中,“问题”本身就是激发高阶思维产生的最大动力来源^[6]。那么通过“问题”搭桥,就能构建这个方式,令设想成真。

本工作提出以“发现问题→提出问题→分析问题→讨论问题→解决问题→成果展示→总结反思→发现新问题”这一科学研究范式中的“问题”为教学组织中循环训练的抓手和着力点,通过在大学物理实验教学中引入包含高阶思维能力培养的探索型实验课题,对教学内容和教学形式进行合理优化重构,建立强化深度学习提升高阶思维能力培养效能的创新实验教学模式,以适应培养

理科低年级学生高阶思维能力的新需求。本工作对今后如何有效地培养新生高阶思维能力的研究将有着重要的参考价值。

1 教学模式改革

1.1 教学组织改革的构建

教学组织的构建是实现教学效果的手段,我们在传统的实验教学模式基础上引入了探索型实验课题,同时针对传统实验项目中的“问题解析”部分进行了强化和提升,形成了以“问题解析”为中心的传统实验教学与以“问题探索”为导向的探索型实验教学相结合的全新课程教学模式,构成内容更加完善的教学组织形式,如图1所示。以“问题”为核心抓手和发力点,围绕科学研究范式的循环训练主线,针对课程构建了两类需要深度学习技能来培养高阶思维的互补性实验,分别是以知识理解和掌握技能培养为主旨的传统经典物理实验(基础性的认知活动),及以知识综合和创新能力培养为要务的探索型实验课题(高阶性的认知活动)。二者同步执行,训练侧重不同,相互协同配合。通过传统实验教学与探索型实验课题教学这两类不同层次但有互补性的实验的有机结合,最终实现培养大一新生高阶思维能力,并促进其快速进入大学探究性深度学习模式。

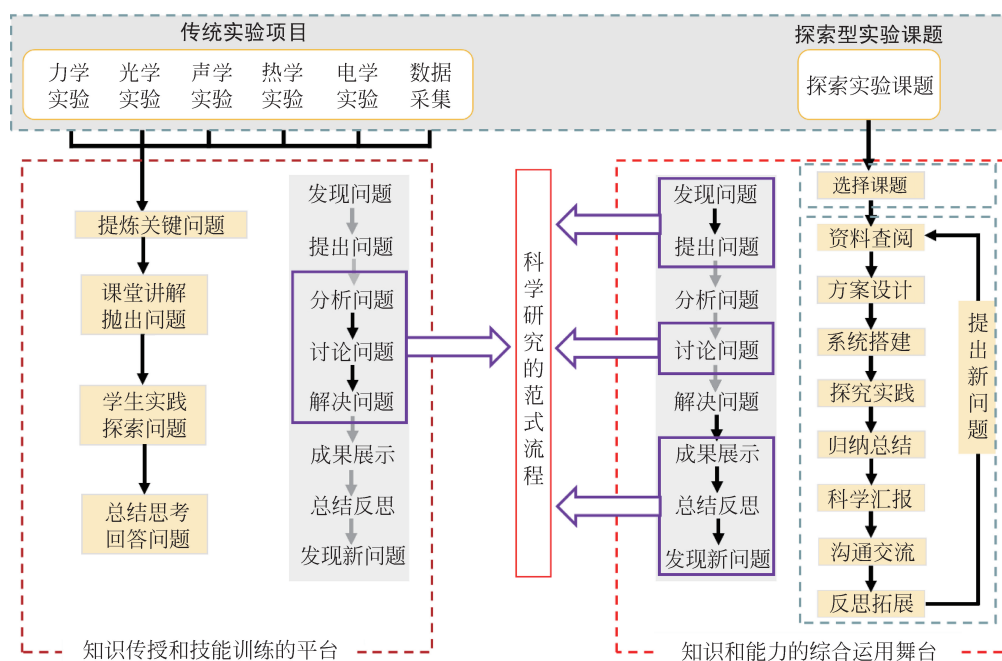


图1 教学组织改革设计

具体来说,作为基本知识技能传授和训练的基础平台,传统物理实验选自力、热、声、光、电和数据采集领域。其特点是原理简单,问题主要由教师根据实验内容总结提出并引导学生分析讨论,注重知识的理解和掌握,着重培养学生分析问题、讨论问题和解决问题的能力。作为知识和能力的综合运用舞台,探索型实验课题由教师发布题目,学生组队(2~4人/组)合作完成,注重知识的运用和创新,教师着重引导学生总结反思实验结果,提出新的问题并进行分析讨论,学生在课后运用传统实验培养的解决问题能力来自行更新完善实验,重在培养学生成果展示、总结反思、发现问题、讨论问题和识别潜在问题的能力。学生组队合作完成的方式则有助于实现“生-生互动”,在加强新生间交流的基础上提高学生的沟通交流和团队协作能力。

全新教学组织改革的设计,可提高探索型实验课题对高阶思维能力的培养效果。我们选择面向中学生设置的国际青年科学家锦标赛(IYPT)赛题作为探索型实验课题。这些题目新颖开放,且每年都有17道新题。题目都产生于学科研究性期刊的论文,其中不少问题源自《科学》(Science)、《自然》(Nature)这样的旗舰综合期刊,以及《物理评论快报》(PRL)、《现代物理评论》(RMP)这样的物理学顶级杂志。与之对应的是,这些问题与真实情境密切联系,非常易于理解和上手研究,如2021年有一题研究如何用凸透镜让物体隐形^[16],不仅适合高中生和大学低年级的学生通过实验进行建模研究,还能增强和促进学生

在理论课程学习中的好奇心和主动性,是在一年级本科生知识框架领域内可用来培养其研究实践和高阶思维能力的很好课题。同时,在学生选好感兴趣的课题后,我们将教学流程设置为“课题解析→文献调研→方案设计→系统搭建→探究实践→归纳总结→科学汇报→沟通交流→反思拓展”。表1给出了学生在探索型实验中会参与的具体教学活动(行)和范式训练(列)。具体教学活动包括课题解析、文献调研、理论计算、实验设计、具体实验、结果分析、总结反思和汇报展示,他们对应的范式训练内容有(再)发现问题、提出问题、分析讨论问题、解决问题、成果展示和反思问题。中间交叉的部分列出二者都侧重培养的能力,如课题解析实质是一个发现问题和提出问题的过程,蕴含了批判性思维和创造性思维的培养。整体上来看,每一项教学活动都对应着不同的科研范式训练内容,涵盖着高阶思维和深度学习能力的培养。

1.2 教学评价体系改革的构建

为增强学生学习积极性、提升其深度学习和高阶思维的能力、提高人才培养质量,我们对评价体系中最重要的学生成绩的组成,进行了更加全面的重构,在注重综合性评价的基础上增加过程性动态评价。对一学年课程64学时的传统实验课堂进行了如下重建,将其中传统实验项目的课堂学时安排为48学时,探索型课题实验的课堂学时安排为16学时(包括开题、中期和期末汇报)。我们考虑到学生会在课外花更多的时间精力去完成探索型实验课题,采用传统实验成绩占总成绩

表1 高阶思维与教学活动和范式训练的关系

	(再)发现问题	提出问题	分析讨论问题	解决问题	成果展示	反思问题
课题解析	批判性思维	创造性思维				
文献调研	批判性思维					
理论计算				解决问题能力		
实验设计	批判性思维	创造性思维	解决问题能力	沟通交流能力		
具体实验			沟通交流能力			
结果分析						
总结反思	批判性思维	创造性思维				批判性思维
汇报展示	批判性思维	创造性思维			解决问题能力 沟通交流能力 批判性思维	批判性思维 创造性思维

65%，探索型实验课题成绩占总成绩的35%的综合成绩评价模式。传统实验项目分数由预习、操作、报告和问答这四部分构成，在实验操作之外，关注学生的分析总结能力，包括对实验现象的解析和数据处理能力等；探索型实验课题不仅仅关注学生的汇报成绩，同时将出勤、团队参与、实验设计与记录、课题讨论等多个方面纳入评价考核体系中，全方位调动学生的积极性和团队合作精神。此外，探索型实验课题采用动态评价，将开题报告、中期报告、期末汇报和平时讨论相结合，关注学生实验探究和总结反思发现问题的过程，引导学生关注课题的进展，总结反思课题成败原因并推动课题有序前进。具体来说，结合开题汇报来培养考核学生查阅资料和实验课题解析提取关键参数的能力，通过平时实验和讨论着重培养学生分析总结、识别发现问题的能力，采用中期报告培养学生反思评估实验、处理争论问题并作规划设计的能力，利用期末汇报培养学生总结汇报和反思提出新问题的能力。整体而言，构成学生综合得分的既包括传统实验的资料预习成绩、实验操作成绩、总结报告成绩、问题回答成绩，还包括探索型实验的团队活动参与成绩、实验表现成绩、总结报告和讨论成绩等。

2 教学模式改革效果

2.1 教学组织改革的效果

通过对学生发放问卷的方式调研教学组织改革的效果，图2给出问卷中学生对课程的总体评价，包括难度、收获度等信息，其中10代表难度等级最高或受益最大。从图中可以看出，学生普遍认为传统实验项目难度适中，探索型实验课题的难度等级明显提高。同时，学生认为传统实验中学习的知识和技能，如基本的实验方法、仪器使用、数据处理对探索型实验课题的进行是有帮助的。这表明多数学生在第二个层次的实验中确实综合运用了第一个层次实验中学到的知识和技能，教学组织改革中设计不同层次两类实验的目的已基本达到。此外，尽管学生对自己探索型课题完成效果并不特别满意，但他们普遍认为在探索型课题的执行过程中，包括和指导教师的沟通讨论中，都收获很多。

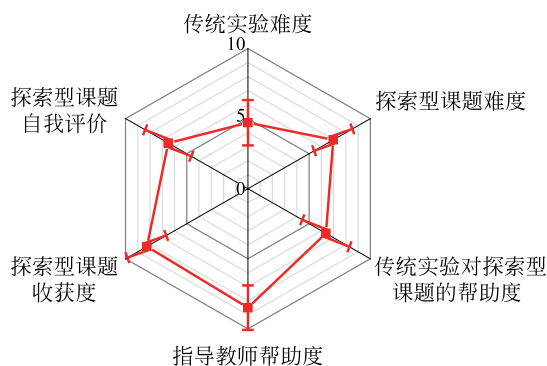


图2 学生对课程设计的整体评价

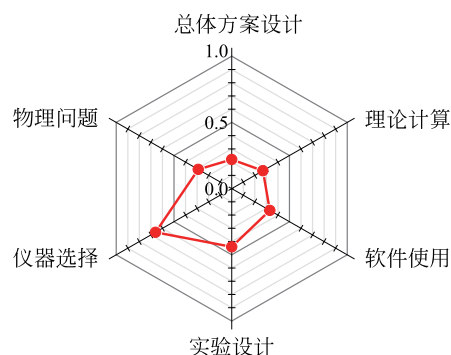


图3 学生主动和指导教师沟通的探索型实验内容的频度分布

图3给出学生主动和指导教师沟通的内容的频度分布，从图中来看，在执行过程中，学生在明确探索型实验总体的流程设计后，更关注具体实验的设计和完成过程，学生在探索型实验中关注的内容，明显有别于传统实验的关注对象（如设计好的知识理解和技能掌握）。很明显，探索型实验的教学主体内容有效补充了传统实验的不足，教学组织改革中设计不同层次两类互为补充的实验的目的也基本达到。

2.2 以“问题解析”为中心的传统实验项目改进的效果

以“问题解析”为中心的传统实验项目已不仅仅是教师向学生传授知识技能和培养分析解决问题能力的课堂，同时也是教师引导学生自主分析问题能力和提升其自我解决问题能力的场所。以“液氮比汽化热的测量”这一实验为例，其基本原理简单，只需要测量单位质量液氮汽化时吸收的热量，但实时准确的热量和质量测量依赖于学生对热交换过程的理解，以及实验中对测量环境的

仔细优化以满足实验设计和理论近似要求(测试过程中液氮与环境热交换速率等)。实验前教师总结了5个有关热交换过程的问题,其中2个题包含对基本知识的理解,如“画出液氮质量随时间的变化图”等,3个题与知识的运用相关,如判断物块投放次序并说明原因。上课前教师将题目抛出给学生进行自由分析讨论,讲解时进一步将问题和实验联系起来引导学生总结分析讨论。从学生反馈来看,自由分析讨论后大部分学生对热交换过程具有初步的理解(能完成2~3道题目),但在教师引导下讨论后能够进一步理解热交换过程(能完成4~5道题目)并应用基本知识来设计完善实验步骤和过程。从实验过程来看,学生在问题的引导下会自主分析实验细节和对应现象,并尝试探索更多的物理参量(如投放热量的速率、投放时间等)以探究背后的物理机理,实验探索时间明显增长(平均时长增加0.5小时)。从实验结果来看,采用问题引导下的教学过程,实验测量结果的准确度明显提高,80%以上同学比汽化热测量结果的误差控制在5%之内,远高于常规教学方式下的统计结果(~40%)。问卷调研也表明绝大部分学生认为这些问题对其理解并进一步探索实验有较大的帮助和启示作用,更好地融合了实际实验和理论所学。

2.3 以“问题探索”为导向的探索型实验课题引进的效果

以“问题探索”为导向的探索型实验课题是知识和能力的综合运用舞台,重在培养学生成果展示、总结反思、发现问题、讨论问题、解决问题和识别潜在问题的能力。学生强烈的学习取向和主动的投入是探索型实验教学能否成功的核心关键。图4给出探索型实验教学对学生的吸引力来源分布图。从图中来看,大多数同学的共识是改变自己的学习模式,在做一个有趣的团体合作项目基础上多学一些东西。这清晰表明刚进入大学的一年级学生有着改变和提升自己的强烈主观意愿,更愿意追求真实的挑战性任务,在这个时期从教学上给他们合适的规划引导有助于引导他们深度学习并培养高阶思维能力。

图5给出学生在探索型实验中各个教学领域的参与度,可以看出大多数同学在探索型实验中承担了实验方案设计、具体实验、结果分析和汇报展示的工作,近一半的同学参与了课题解析、

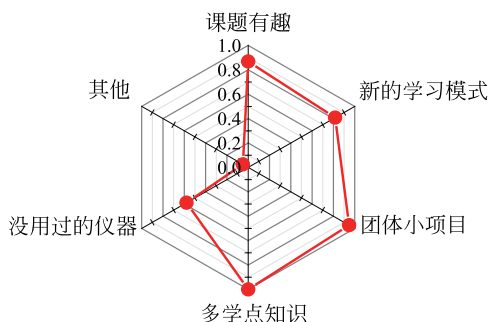


图4 探索型实验教学对学生的吸引力分布

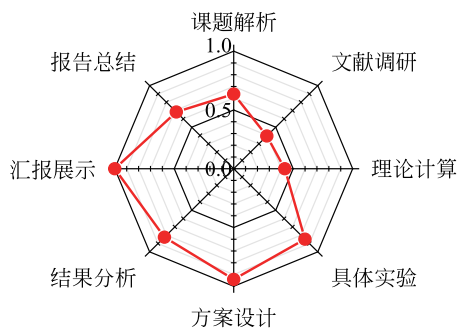


图5 学生在探索型实验中各个领域的参与度

文献调研、理论计算和报告总结的工作,表明他们充分融入探索型实验课题中高阶思维能力培养活动,实现教学改革中重能力培养的设计目标。

3 教学模式改革的影响

3.1 教学模式改革对传统实验项目的影响

值得指出的是,教学模式改革同时也提升了传统实验的教学效果。表2给出在第1学期参与教改的学生(教改组)和非参与教改的学生(对照组)在第1和第2学期物理实验课程中传统实验项目的成绩变化,二组学生均为同级物理专业非拔尖计划学生,每组31人。需要说明的是,一年级课程中每一个传统实验项目的上课教师是固定的,因此可以进行学生之间的成绩比较。表2从左到右按时间前后顺序排列,包含了演示实验成绩、绪论课作业成绩、导论课和物理实验1中传统实验的成绩,其中上面一排是教改组学生成绩统计,下面一排是对照组学生成绩统计。从图中可以看出,在第1学期,两组学生成绩基本差不多,对照组学生的表现还略好一些,其演示实验和绪论课作业成绩总体要强于教改组学生。但在这之后,教改组学生的成绩开始得到提高,其第1学期

表 2 教改组和对照组学生在第一学年度中传统物理实验成绩统计

项目	演示实验		绪论课作业		导论课传统实验		物理实验 1 传统实验	
执行时间	第 1 学期 2~5 周		第 1 学期 9 周		第 1 学期 9~13 周		第 2 学期 3~14 周	
组别	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
教改组	83.3	5.5	65.6	28.1	83.5	6.4	83.2	3.3
对照组	83.5	6.3	75.8	12.2	83.3	3.1	79.0	15.0

导论课中传统实验成绩基本与对照组相同、成绩的离散度略高于对照组,随着时间的推移,他们的表现强于对照组,第 2 学期物理实验 1 中传统实验成绩明显高于对照组、成绩的离散度也明显降低,进一步展现教学组织改革的效果。

3.2 教学模式改革对提高学生深度学习能力的影响

从学生对课程的评价上来看,课程的教学改革措施受到学生的欢迎,评教成绩一直在全校的前 20%之内。我们也对参与教改的学生进行了访谈,绝大部分学生认为教学改革后的大一物理实验课程对后续学习有非常积极的影响,特别是在实践能力、思维能力和综合汇报的能力上,并认为对实验结果进行及时的反思和汇报,特别锻炼总结分析和沟通表达能力。学生们纷纷表示:尽管当时参加教改觉得感觉很累,但是回过头来看,却也真正学到了很多(包括主动式的学习方法,大量的编程技术,科学的研究方法和沟通交流的能力),特别是非常有用的物理思维与研究方式。当按探索型实验课题的要求,把相对复杂的东西用简单的物理实验做出来,并以清晰图像展现出其中的核心物理量和一般参量时,他们就会积极主动地去学习原本短期内不太可能去接触的理论课程知识,这也无形中拓宽了他们的知识领域。整个过程使得他们能从物理实验研究的视角窥探到科研之径,更好地适应了高年级的研究实践活动,更顺利地融入专业课题组的研究工作中。

3.3 教学模式改革对学生培养高阶思维能力的影响

教学模式改革自 2017 年开始实施,通过融合传统实验项目和探索型实验课题,逐步摸索出一条改变大一新生思维习惯和培养学生批判性思维能力、知识整合能力、沟通协作能力、动手创新能力和表达阐述能力的新途径,课程评价优良。完成探索型实验课题的大一新生在上海市和全国的物理学术竞赛中屡创佳绩,特别是在 2019 年,他们获得华东地区大学生物理学术竞赛特等奖,在 2021 年,又荣获全国大学生物理学术竞赛一等奖。

为此,我们也统计了自 2009 年设立“拔尖计划”以来,“拔尖计划”物理专业历届本科毕业生在校期间发表科研论文情况,具体如下:2013 届 1 篇(1 作),2015 届 7 篇(1 作 5 篇),2016 届 2 篇(1 作 1 篇),2017 届 1 篇(1 作),2018 届 5 篇(1 作 2 篇),2019 届 2 篇,2020 届 5 篇(1 作 1 篇),2021 届 6 篇(1 作 2 篇)。值得注意的是,2012 年设立研究实践课程以来,物理专业拔尖学生在学术论文上开始呈现出良好的表现,而到 2017 年新教学改革开始实施后,2021 届(2017 级)学生在科学研究上有着更好的表现。他们在发表的论文数保持的同时,论文质量也提高明显,2 篇 1 作论文均发表在物理学顶级期刊《物理评论快报》(PRL)上。很显然,一年级物理实验的教学改革已有效地启迪了学生的批判性思维、创新性思维和科学研究素养。正如学生所言,这样的教学改革使他们能更好地融入高年级的研究实践活动中。

4 教学模式改革探索反思

参与该改革课程的历届学生,对实验教学改革给出了相当正面的评价,但在教学实施过程中,我们发现依旧有一些问题需要进一步解决。首先,学生理论基础和探索型实验课题间的差异。尽管探索型实验课题非常易理解,且适合高中生和大学低年级的学生通过实验进行建模研究,但实际建模计算时,大一新生依旧会发现自己理论基础较弱,需要进一步学习数学物理方法、分析力学、编程软件等领域知识才能完善自己的课题研究。后期我们拟邀请专业教师和高年级本科生同学共同参与课程建设和探索型实验课题指导,依托师生、生生互动进一步提高深度学习效果。其次,科学研究范式训练的规范化问题。部分学生尚不理解规范化对科学研究的重要性,在做实验记录时不太有规范化的意识,电脑保存实验数据时没有分类存放意识,命名规则混乱且日期不明

确。后期我们拟进行实验记录每次教师审核和学生间相互审核的模式,尽早培养学生规范化的科学工作习惯。最后,资源和交流平台的进一步构建问题。考虑到沟通交流的便利性,目前线上我们主要用微信实时交流,后续需要建立资源平台来加强信息的沟通和获取,以提升人才培养效果。

参 考 文 献

- [1] SCHLEICHER A. Preparing teachers and developing school leaders for the 21st century: Lessons from around the world [M]. Paris: OECD Publishing, 2012: 34-35.
- [2] 钟志贤. 教学设计的宗旨: 促进学习者高阶能力发展[J]. 电化教育研究, 2004, (11): 13-19.
ZHONG Z X. Purpose of teaching design: Promote the development of learners' advanced ability[J]. e-Education Research, 2004, (11): 13-19. (in Chinese)
- [3] 孙宏志, 解月光, 张于. 核心素养指向下高阶思维发展的表现性评价设计[J]. 电化教育研究, 2021, 42(9): 91-98.
SUN H Z, XIE Y G, ZHANG Y. Performance assessment design of higher-order thinking development under the guidance of core literacy [J]. e-Education Research, 2021, 42(9): 91-98. (in Chinese)
- [4] 夏雪梅. 在传统课堂中进行指向高阶思维和社会性发展的话语变革[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2019, 37(5): 105-114.
XIA X M. Discourse change in traditional Chinese classrooms for higher order thinking and social development[J]. Journal of East China Normal University (Educational Sciences), 2019, 37(5): 105-114. (in Chinese)
- [5] SINGER S R, NIELSEN N R, SCHWEINGRUBER H A. Discipline-based education research: Understanding and improving learning in undergraduate science and engineering [M]. Washington, D. C.: National Academies Press, 2012.
- [6] 段茂君, 郑鸿颖. 基于深度学习的高阶思维培养模型研究[J]. 现代教育技术, 2021, 31(3): 5-11.
DUAN M J, ZHENG H Y. Research on the higher-order thinking cultivating model based on deep learning[J]. Modern Educational Technology, 2021, 31(3): 5-11. (in Chinese)
- [7] 马丁内斯 M R, 麦格拉思 D. 深度学习: 批判性思维与自主性探究式学习[M]. 唐奇, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2019.
- [8] 胡娟. 基础学科拔尖人才培养中的三个问题[J]. 吉首大学学报(社会科学版), 2020, 41(2): 64-67.
- HU J. Three problems in the training of top talents in basic subjects[J]. Journal of Jishou University (Social Sciences), 2020, 41(2): 64-67. (in Chinese)
- [9] SMITH E M, STEIN M M, WALSH C, et al. Direct measurement of the impact of teaching experimentation in physics labs[J]. Physical Review X, 2020, 10(1): 011029.
- [10] 鲍德松, 郑远, 王业伍. 适合物理拔尖人才培养的物理实验教学模式探索[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(12): 241-243.
BAO D S, ZHENG Y, WANG Y W. Exploration of physics experimental teaching mode suitable for cultivation of top physics talents [J]. Experimental Technology and Management, 2020, 37(12): 241-243. (in Chinese)
- [11] 郑葳, 刘月霞. 深度学习: 基于核心素养的教学改进[J]. 教育研究, 2018, 39(11): 56-60.
ZHENG W, LIU Y X. Deeper learning: Improving instruction based on key competencies[J]. Educational Research, 2018, 39(11): 56-60. (in Chinese)
- [12] 王靖, 崔鑫. 深度学习动机、策略与高阶思维能力关系模型构建研究[J]. 远程教育杂志, 2018, 36(6): 41-52.
WANG J, CUI X. Research on the relationship model of deep learning motivation, strategy and higher order thinking skills[J]. Journal of Distance Education, 2018, 36(6): 41-52. (in Chinese)
- [13] 吕林海. “拔尖计划”本科生的深度学习及其影响机制研究——基于全国 12 所“拔尖计划”高校的问卷调查[J]. 中国高教研究, 2020, 3: 30-38.
LV L H. Research on the deep learning of “Top Talents Plan” undergraduates and its influential mechanism: Based on the survey of 12 “Top Talents Plan” universities in China[J]. China Higher Education Research, 2020, (3): 30-38. (in Chinese)
- [14] 黎全, 吴伟, 刘永录. 物理学术竞赛后拓展训练模式探索[J]. 高等教育研究学报, 2014, 37(4): 108-110.
LI Q, WU W, LIU Y L. A research on the penetrative exercise of CUPT [J]. Journal of Higher Education Research, 2014, 37(4): 108-110. (in Chinese)
- [15] 周洋平, 钟鸣, 陆建隆. 项目化学习下 CUPT 备赛模式与实践——以南京师范大学队为例[J]. 大学物理, 2021, 40(1): 75-79.
ZHOU Y P, ZHONG M, LU J L. Preparation mode and practice of CUPT based on project-based learning—Taking Nanjing Normal University team as an example[J]. College Physics, 2021, 40(1): 75-79. (in Chinese)
- [16] ANGHEL M, BALCOMBE J, BUDA M, et al. Problems for the 35th IYPT 2022 [OL]. [2021-07-14]. <https://www.iypt.org/problems/problems-for-the-35th-iypt-2022/>.