

“6E 模式+正六边形评定方式”在大学物理实验中的实践研究

刘金秋 邱文旭 赵朝军 智春艳 车彩丽

(西安工商学院机电工程学院, 陕西 西安 710200)

摘 要 本研究基于“以学生为中心”的教育理念, 创新构建物理实验教学改革体系, 旨在提高学生的自主学习能力、探究能力、动手能力、分析能力和应用能力, 特提出以 6E 教学模式(参与 Engage-探究 Explore-解释 Explain-迁移 Elaborate-评价 Evaluate-提升 Elevate)为核心框架, 结合正六边形评定方式(六维度能力评价), 依托信息化平台实现线上线下混合式教学, 通过对比研究法得出: 改革后学生在综合成绩、教学反馈和应用能力等方面有显著提升, 验证了教学改革的有效性, 为应用型人才培养提供了可推广的创新路径。

关键词 以学生为中心; 6E 教学模式; 正六边形评定; 混合式教学; 过程性考核

A PRACTICAL STUDY OF THE “6E MODEL PLUS REGULAR HEXAGON EVALUATION METHOD” IN COLLEGE PHYSICS EXPERIMENTS

LIU Jinqiu QIU Wenxu ZHAO Chaojun ZHI Chunyan CHE Caili

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an Technology and Business University, Xi'an, Shaanxi 710200)

Abstract This study, guided by the student-centered philosophy, designs a reformed system for physics lab teaching to boost students' self-directed learning, inquiry, hands-on, analytical, and practical skills. Rooted in the 6E model (Engage-Explore-Explain-Elaborate-Evaluate-Elevate), it uses a hexagonal assessment and blended learning platform. Comparative analysis shows post-reform improvements in grades, feedback, and practical skills, proving the reform's effectiveness and offering an innovative path for the cultivation of application-oriented talents.

Key words student-centered; 6E teaching model; hexagonal assessment; blended teaching; process-oriented evaluation

实验、实践类课程教学是高等学校培养综合创新型人才的根基。“大学物理实验”是理工科大学学生的一门必修实践性课程^[1], 是学生进入大学后接受系统实验方法和实验技能训练的开端。通

过本课程的学习使学生了解科学实验的主要过程与基本方法, 从而培养学生科学素质、动手能力、创新能力、实验能力、分析能力、表达能力和综合性运用能力等。本文通过对比研究, 在教学方法、

收稿日期: 2025-04-11

基金项目: 2024 年校级重点教改项目《基于“6E”教学模式的大学物理实验教学方法的研究及实践》(项目编号: 24YJZ07); 陕西省教育厅科学研究自然科学项目“高等数学专用空间体教具研究”(项目编号: 23JK0473)。

通信作者: 邱文旭, 281460179@qq.com。

引文格式: 刘金秋, 邱文旭, 赵朝军, 等. “6E 模式+正六边形评定方式”在大学物理实验中的实践研究[J]. 物理与工程, 2025, 35(4): 198-205, 255.

Cite this article: LIU J Q, QIU W X, ZHAO C J, et al. A practical study of the “6E Model Plus Regular Hexagon Evaluation Method” in college physics experiments[J]. Physics and Engineering, 2025, 35(4): 198-205, 255. (in Chinese)

教学设计、教学模式和评价方式等方面提出了课程改革举措,并通过对实验成绩和教学评价等方式验证了教学改革效果。

1 “6E 模式+正六边形评定”概述

5E 教学模式是基于建构主义的研究性教学方法。该模式由美国生物课程研究学会(BSCs)提出,旨在帮助学生树立科学概念,致力于引起学生学习兴趣的有效的教学模式和教学方法,确保教学目标的实现。5E 教学模式包括五个教育环节,分别是参与(engagement)、探究(exploration)、解释(explanation)、迁移(elaboration)和评价(evaluation)^[2]。与大学物理实验教学的教学方法、理念及性质相一致,实验需要探究,需要解释,需要评价,学生在传统的实验教学中,轻预习,甚至有些学生不预习,做实验的时候,教师教学生如何操作,学生就如何操作,测出数据即可,后续实验报告的书写亦是草草结束,学生在课堂有限的时间内无法深入探究和思考^[3],没有过多的跟进和提升。针对以上几点原因,在 5E 的基础上,该研究中加入了第 6 个“E”(提升,Elevate),变成参与-探究-解释-迁移-评价-提升六个过程(如图 1 所示),在整个过程中,教师始终以课程思政为目标,将科学精神和探索精神融入教学中,使之得以体现和升华,并逐渐地激发学生的探究精神。这六个过程是循序渐进的,逐层递进的,参与是前提,探究是发展,解释是加深,迁移是递进,评价是结果,提升是升华,在任务驱动及评定牵引下,带动学生自主学习,自主预习,实验课上认真操作,课后深度思索,使得实验更加适应探究和科学的精神要求,使得物理实验更具人性化和个性化,充分发挥以学生为中心的重要性。

6E 教学模式中主要考查学生的多种能力,分别是参与过程的自主学习能力、探究过程中的探究能力和动手能力、解释过程中的知识学习能力和分析能力、迁移过程中的知识迁移能力和应用能力,评价过程中的综合运用能力以及提升过程

中的课程思政的能力,用如图 2 所示的六边形表示,当然,这里还考查了其他很多能力,如合作能力,语言能力,表达能力,实验能力等。

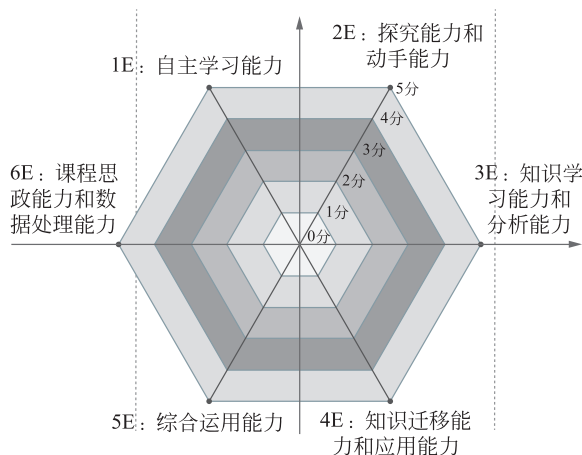


图 2 正六边形评定方式

正六边形评定方式对应的是 6E 的内容,在每一个环节中都会有与之相对应的考核方案,在参与中,采用自主学习测试题的形式评定自主学习情况,共计 5 分;在探究过程中,采用小组成员相互评定的方式,共计 5 分;在解释过程中,采用知识测评的方式评定学习情况,共计 5 分;在知识迁移过程中,采用问答的方式评定学习情况,共计 5 分;在评价阶段,采用数据准确性的评定方式,与真值相比较,越接近真值,分数越高,共计 5 分;在提升过程中,采用小论文和数据处理的形式,由教师评定,共计 5 分。六个过程完成以后,由于每个学生在各个阶段的分数有所不同,因此每个学生都会生成一个属于自己的不规则六边形,从而得到这个不规则六边形的中心与正六边形的中心的距离,进而得出这个学生的分数。在此过程中,既有学生评价,又有教师评价,既有小组评价,又有个人评价,既有单项评价,又有综合评价,实现了考核过程全程化、考核内容综合化、考核形式多样化、评价主体多元化的特点,更加全面的反应物理实验的基本作用,更加细致的反应学生的学习情况,从而有针对性的解决学生在学习中遇到的困难,有效的提升学习效果。



图 1 6E 教学模式

2 6E 教学模式在大学物理实验中的教学设计

大学物理实验的“6E”教学模式坚持“立德树人,以生为本,科学教导”的教学理念,以大学物理实验课程改革为目标,探索和实践基础实验课程教学的有效路径。教师重视学生心理特点,以学生为中心^[4],用科学的手段培养学生个性化发展和全面化教育。

其教学设计如图 3 所示:设计问题,引生参与——针对内容,深入探究——解决问题,合理解释——知识迁移,扩展应用——基于过程,做出评价——提升过程,情感升华,课前教师合理布局,下达学习任务指令,学生初步理解知识点,做好课前预习;课中通过小组学习,从问题入手,进行实验验证,解决问题,做出科学解释并得出结论,根据结果做出评价;课后学生需要完善实验报告并撰写小论文或学习心得,教师及时做出评价,并给予学生更多的鼓励和支持。通过探究式引导教学、多维度评价、探索式拓展,形成教师融入、学生投入、师生互动、重视过程、突出结果的教育过程,实现了教学方法与角度的转变。

3 6E 教学模式在大学物理实验中的教学实践

3.1 参与

在课前,借助云班课,教师设置好问题并上传

相关资料,创设一个有趣的问题情景或话题,让学生通过网络资源或者其他资源,查找相关问题,并回答相应的问题,回答结果在云班课里可以直接导出相应的分析报告,里面包括平均分、平均用时、分数段统计及单题正确率等情况,教师从这些分析报告中可以清楚的看到某个同学的学习情况,也可以看出全班的整体水平,哪些题需要在解释阶段详细解释,哪些问题可以简略解答,区分难易,重难点清楚。与之前的预习有很大的区别,之前的预习是让学生自行预习实验的原理、内容、及操作步骤,有些同学可能抄完即可,不会有过多的思考,现在的预习是要求学生要查找资料,预习原理并回答相应的问题,切实做到不敷衍,不抄袭,认真预习。

3.2 探究

经过预习阶段,学生基本了解本实验的内容和要求,课堂上,老师下达任务并介绍实验仪器、操作过程及注意事项,组织学生以小组合作的形式,利用实验仪器对实验进行深入研究,完成本实验内容,并记录实验数据,通过实验数据得出相应的结论,让学生经历从问题的提出到自主设计方案并解决问题获取结论的过程,掌握科学方法,培养科学精神和严谨的态度。

3.3 解释

学生经过探究实验过后,会得出一定的结论和数据,教师根据各组学生得到的结果进行解释,指出问题出在哪里,哪些是正确的,哪些是错误

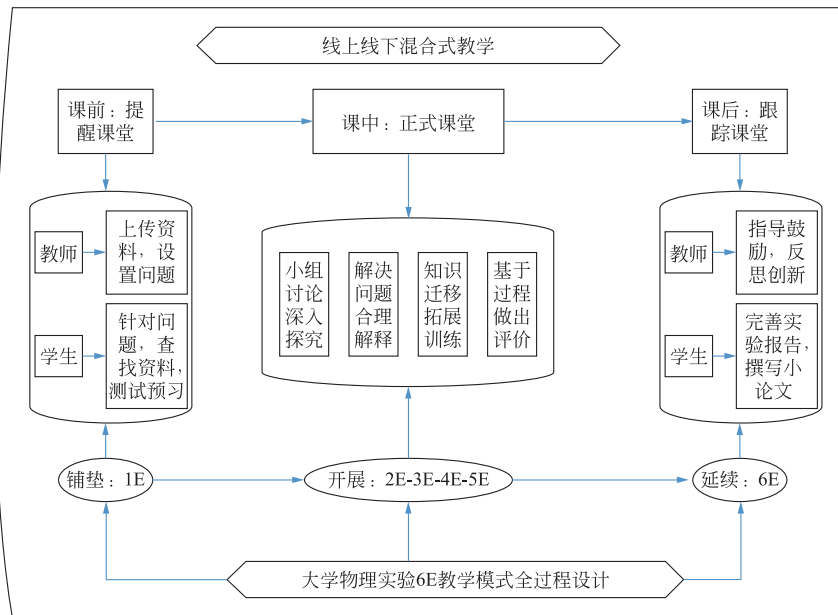


图 3 大学物理实验课程全设计图

的,并给出明确的概念和理论,让学生再次回顾自己的问题和不足,帮助学生正确地理解概念,特别要注意纠正学生已有的错误概念。教师借助于课堂数据帮助学生更加深入地理解新的概念。

3.4 迁移

学习的最终目的依然是对此知识的应用,发挥其在生活中的作用,为人民服务,迁移过程是将知识融入应用的重要过程,也是学生将生活中的问题找到根源的依据,让学生明白学此知识的目的和学此知识的用处。在教师的引导下继续加强学生对概念的理解和应用技巧,扩充概念的基本内涵,并与其他已有概念建立某种联系、同时用新的概念解释新的情境或新的问题。通过实践练习,从中让学生加深或拓展对概念的理解,获得更多的信息和技能。在利用新概念解释新的类似情

境或问题时,要注意引导学生尽量使用刚刚学习的专业术语,这不仅可以对新情境和新问题进行回答,而且可以加深对新概念新知识的理解。在本学期的实验中,部分实验中能够迁移的知识点如表1所示。

除上述案例以外,还有很多案例,比如在日常生活中随处可见梯子,气球,相控阵雷达,台灯,照相机等各种与物理有关的,并且能够看得到的生活实例,教师首先把这些实例细细打磨,列出提点,作为迁移素材,引发学生思考,让学生理解相关理论知识并提出改进方案,同时也是对教师的考验,因为教师本身应提前掌握生活案例,合理设计,不搬硬套,不敷衍了事,要让学生了解生活的同时,能够应对生活中和科研中出现的各种问题,同时对学生知识应用和迁移能力也是极大的考验。

表1 部分迁移知识点

实验名称	迁移知识点	物理范畴
光电效应	1. 广泛应用于电影放映机(用于读取胶片上的声音信号)、光电计数器等设备中。 2. 太阳能电池广泛应用于太阳能发电站、卫星供电、太阳能热水器的控制电路等领域。	近代物理
用密立根油滴实验测电子电荷	1. 神经细胞的电信号传导、离子通道的开关机制等过程都涉及电荷的转移和分布。 2. 在电池反应中,电子的转移数量与参与反应的物质的量之间存在着定量关系,而电子电荷的精确值是进行相关计算和研究的基础。	近代物理
迈克尔逊干涉仪的应用	1. 在精密机械加工中,对零件的微小尺寸变化进行测量。 2. 在半导体制造中,测量晶圆的厚度、光刻胶的厚度等。 3. 光谱学研究中,准确测量不同谱线的波长,从而分析物质的成分和结构。 4. 基于迈克尔逊干涉原理制成了各类光纤传感器,可应用于地震监测、国防和大型桥梁等土木工程结构的健康监测之中。	光学
用光栅测量光波波长	1. 光谱分析。 2. 光学计量。 3. 光纤光栅还可用于光纤激光器、光纤传感器等光通信器件中,实现对光信号的调制、滤波和传感等功能。	光学
刚体转动惯量的测量	1. 自行车角动量研究。 2. 黑鹰坠落的原因。 3. 摩天轮的秘密。	力学
亥姆霍兹线圈测磁场	1. 亥姆霍兹线圈可用于模拟外界磁场环境,提高其抗干扰能力。 2. 磁屏蔽效果测试。 3. 医学磁刺激实验和生物磁学研究。 4. 卫星姿态控制和空间磁场模拟。	电磁学
模拟法测绘静电场	1. 优化电子管设计。 2. 改善集成电路性能。 3. 绝缘子结构优化。 4. 电子束聚焦与偏转控制。	电磁学

3.5 评价

经过前几个过程的磨炼,学生已经了解了实验的原理,掌握了实验内容,并得出了相应的实验数据,此时,教师需要对每一组学生的测量结果的准确性和实验过程中表现等进行综合评价,给予每一组一个相应的分数。

3.6 提升

实验结束后,学生回去要完成两个任务,第一,通过头脑风暴的形式上传本次实验的收获或心得体会,内容包括实验中的掌握程度,不足之处,对此次实验内容的理解,在实验全过程中,学生全程参与,全程思考,全程感受科学实验的魅力,感受解决问题带来的快乐,感受伟人留给后人宝贵的精神财富,以及在实验中的感知等内容,字数不限,由教师打分。第二,完成实验报告的数据处理部分,对数据进行合理的分析,分析其正确性和科学性。课后,教师需要基于学生及时的反馈和答疑,指导并鼓励学生完成新的构思和创新的项目,积累学生反馈的问题及在课前和课中出现的问题,积累相应的素材,记录所有学习过程中的资料,及时的总结和复盘。

总之,针对以上教学环节,师生都付出了很多努力,同时也收获了很多能力。教师需要做好完整的教学设计,如何吸引,如何设置情景,如何解

释,每个实验的迁移案例如何引入和应用?如何才能让学生更好的理解?都是教师的基本功,都需要记录在案,逐步完成大学物理实验教案的撰写并反复打磨,使之更加满足学生的需求。学生需要自主学习,小组合作,创新研究,数据处理,研究应用,在此过程中,逐步提升自主学习能力,合作能力,研究能力,创新能力等。

4 正六边形评定方式在大学物理实验中的应用

实验中要建立起平等的“对话”机制,要善于处理实验各个环节,变被动接受为主动学习,从而真正达到“建构”的目的。该项目中运用云班课等手段,对每个环节都采取的不同的评价方式,最终得出每个学生的能力分析图和对应的分数。

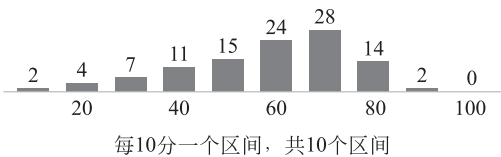
4.1 参与阶段的评价方式

一般在吸引阶段会上传资料,设置问题,学生回答问题后方可进入实验。比如在做刚体转动惯量的实验^[5]前,创设情景,先让学生找一个转椅,让手臂伸开再收回,再伸开,如此反复操作,感受这个过程角速度变化,再下发相关视频等资料,并提出相应的问题,检测学生的预习情况。设置问题及学生回答情况如表2所示。

表 2 参与阶段的问题及回答情况

问题	正确率情况	百分制平均分	平均用时
1.关于转动惯量影响因素的问题	1.正确率 57.94% >	59.74 分	8 分 15 秒
2.关于转动惯量的概念的问题	2.正确率 76.64% >		
3.关于转动惯量的理论表述	3.正确率 76.64% >		
4.关于转动惯量实验的内容	4.正确率 86.92% >		
5.关于转动惯量实验的内容	5.正确率 77.57% >		
6.关于转动惯量实验的注意事项	6.正确率 78.5% >		
7.关于转动惯量实验的原理	7.正确率 33.64% >		
8.关于转动惯量实验的处理	8.正确率 22.43% >		
9.关于转动惯量的计算	9.正确率 66.36% >		
10.关于转动惯量的应用	10.正确率 2.8% >		

百分制区间人数分布图(样本数:100 人)



从表中可以看出,问题 1、7、8、10 的正确率没有超过 60%,说明学生对这几个问题存在误区,理解不够透彻,包括影响因素、实验的原理和对实验的处理,因此,在解释阶段需要重点解释这几个问题;对于实验内容和注意事项这几个题,大部分同学能够了解其内容,知道实验注意事项;从平均分看,还不能达到及格,说明预习中还存在着很多不足,需要在后续过程循序渐进的提高。

4.2 探究阶段的评价方式

利用“技能考”的形式让所有学生对每个小组进行打分,同时利用“技能考”形式让小组成员之间相互打分,最终按照五比五的权重得出每个学生在此阶段的得分,如第一组在全员打分中得 4 分,第一组的张三同学在小组成员打分中得 4 分,最终在这个阶段,张三得 4 分。该阶段全员参与评分,由学生决定每个学生的分数。

4.3 解释阶段的评价方式

在解释阶段,教师要发挥关键作用,比如在做刚体转动惯量的实验中,教师需要讲解刚体转动惯量的相关因素、相关的原理、公式和概念等。经过教师解释后,出一些相关的题,难度较预习问题有所增加,考查学生听后的理解和应用程度,回答结果如表 3 所示。

从表中可以看出,平均分和用时都有所提高,对刚体转动的问题基本能够达到 80%,大部分同学经过预习阶段,探究阶段和解释阶段,能够理解刚体转动惯量的概念、作用及刚体转动定律等相关理论。但是最后一题应用问题的正确率没有超过 60%,说明学生对这个问题依然存在不足,因此,在后面的教学中需要加强应用。

4.4 迁移阶段的评价方式

迁移阶段增加了理论知识在实际生产生活中的应用,把理论知识和实例有机结合在一起,提升了难度,也提高了对学生的要求。如刚体转动惯量实验中,设置了与应用相关的问题,考查学生的应用能力。回答结果如表 4 所示。

在此环节中,设置十个问题,几乎都是关于刚体转动惯量,转动定律,角动量守恒的计算和应用,难度系数相对于前面的理解和对知识的简单应用有很大的提高。主要考查学生对本章知识的理解能力,应用能力和创造能力。

从表中可以看出,平均分和用时都有所降低,但是依然高于 80%,说明大部分同学经过前几个阶段的磨炼,能够掌握转动定律,转动惯量,角动量守恒等知识的关系及基本原理和基本应用,但是与预期相比,还有些许差距,后续学习中,需要学逐渐完善。

表 3 解释阶段的问题及回答情况

问题	正确率情况	百分制平均分	平均用时
1. 关于转动惯量的计算	1.正确率 89% >	88.5 分	4 分 34 秒
2. 关于转动惯量的理论	2.正确率 94% >		
3. 关于转动惯量的理论	3.正确率 93% >		
4. 关于转动惯量实验的内容	4.正确率 93% >		
5. 关于转动惯量实验的内容	5.正确率 93% >		
6. 关于转动定律的问题	6.正确率 76% >		
7. 关于转动惯量实验的理论	7.正确率 88% >		
8. 关于转动惯量的计算	8.正确率 92% >		
9. 关于角动量的计算	9.正确率 71% >		
10. 关于角动量的应用	10.正确率 96% >		

百分制区间人数分布图(样本数:100 人)

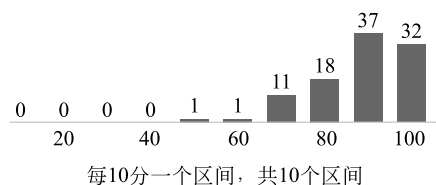
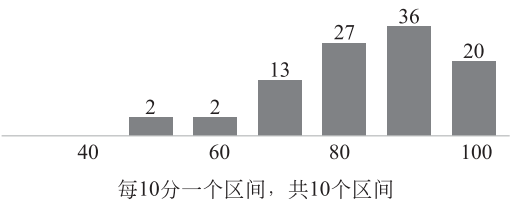


表 4 迁移阶段的问题及回答情况

问题	正确率情况	百分制平均分	平均用时
1.关于转动惯量的计算	1.正确率 77.63% >	82.7 分	4 分 20 秒
2.关于转动惯量的应用	2.正确率 90.79% >		
3.关于转动惯量的应用	3.正确率 86.18% >		
4.关于转动定律的应用	4.正确率 89.47% >		
5.关于转动定律的应用	5.正确率 86.18% >		
6.关于转动定律的理解	6.正确率 76.32% >		
7.关于转动定律的理解	7.正确率 82.89% >		
8.关于角动量守恒的应用	8.正确率 84.21% >		
9.关于角动量守恒的应用	9.正确率 60.53% >		
10.关于角动量守恒的应用	10.正确率 88.16% >		

百分制区间人数分布图(样本数:100 人)



4.5 评价阶段的评价方式

依据学生的数据的准确性和课堂表现,教师会给每一组一个相对合理的分数,满分 5 分。该阶段,教师起主要作用,严格把关学生数据的准确性和科学性。

4.6 提升阶段的评价方式

实验结束后,学生回去要完成两个任务,根据任务的完成情况,教师会给出一个相对合理的分数,总分 5 分。

经过六个过程,每个过程每个学生都有一个分数,总分为 5 分,因此把各个阶段得到的分数连在一起,就得到了一个不规则六边形,进而得到了该不规则六边形的中心,从而得到一个相应分数。

例如:如图 4 所示,一个学生在自主学习阶段得了 4 分,在探究过程中得了 4 分,在解释过程中得了 5 分,在迁移过程中得了 3 分,在评价过程中得了 2 分,在提升过程中得了 5 分,会得到一个如图中深色线所示的不规则六边形,其各个点在二维平面直角坐标系中的坐标分别是 $A(-2, 2\sqrt{3})$, $B(2, 2\sqrt{3})$, $C(5, 0)$, $D(\frac{3}{2}, -\frac{3\sqrt{3}}{2})$, $E(-1, -\sqrt{3})$, $F(-5, 0)$,采用极差标准化方法和坐标数及偏离

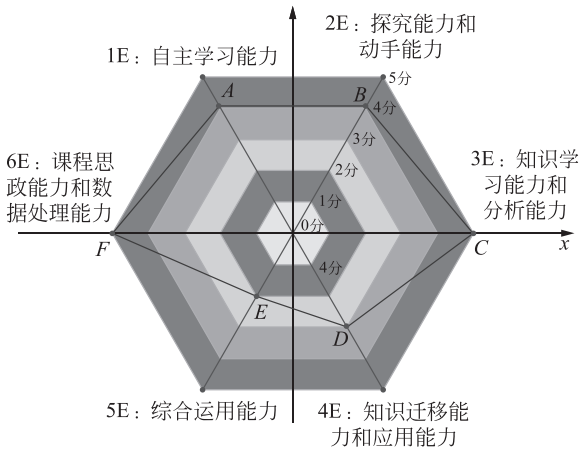


图 4 不规则六边形图

中心公式,在小程序中,会得出该同学的分数为 81 分,同时也能分析出该同学的哪方面能力强,哪方面的能力弱,从而提出后面加强哪方面的能力的锻炼。如以上同学,知识学习能力和课程思政能力都是满分,说明该同学的学习能力和思政能力较强,一般属于积极向上的学生,抑郁的概率相对较小,但是应用能力和知识学习能力相对较弱,后续需要加强这两方面的训练,如多做一些应用,多掌握一些学习方法,多复盘。

5 传统教学与新型教学对比分析

为评估新型教学方式的实施效果,本研究以实验班级(3个班)与对比班级(3个班)为对象,从成绩表现、学生评价及拓展知识掌握情况等维度展开对比分析,结论如下:

5.1 成绩分布与平均分差异显著

从成绩分布(如图5所示)来看,新型教学方式下学生分数占比中90分人数最多,传统教学方式下70分人数最多,成绩分布曲线的最高点向高分段明显移动。其中,新型教学班级无50分以下学生,而传统班级50分以下学生占比显著;平均分方面,新型教学班级平均分为88.7分,传统班级为72.8分,前者显著高于后者,体现出新型教学在提升学生整体成绩上的优势。

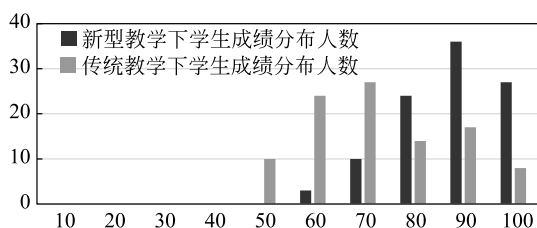


图5 两种教学形式下成绩对比图

5.2 学生教学评价反馈积极

在学生对课程的评价中(样本数均为100),新型教学班级的评价得分为98.67分,传统班级为94.35分,前者在教学满意度上显著高于后者,反映出学生对新型教学方式的接受度与认可度更高。

5.3 拓展知识掌握能力优势突出

通过统一试卷测试拓展知识掌握情况,新型教学班级平均分为89.5分(最高分100分),传统班级平均分为78.3分(最高分90分),无论是平均分还是最高分,新型教学班级均表现更优,表明该教学方式在拓宽学生知识层面、提升综合能力上效果显著。

综合成绩分析、学生评价及拓展知识测试结果,新型教学方式在提高学生成绩、增强学习满意度及拓展知识掌握能力等方面均优于传统教学方式,本学期教学实践表明其实施效果良好,具备推广与深化应用的价值。

6 结语

本文聚焦“以学生为中心”的教育理念,创新构建物理实验教学改革体系:采用6E教学模式(参与 Engage-探究 Explore-解释 Explain-拓展 Elaborate-评价 Evaluate-提升 Elevate)与正六边形评定方式,依托信息化教学平台与网络资源,构建线上线下深度融合的混合式教学场景。通过任务驱动式学习、小组协作探究等多元手段,有效强化了学生自主学习能力与实践应用能力的培养。同步建立了过程化、立体化考核体系,从六个方面对学生进行六个多维度(正六边形评定的六个能力)实施全程评价,打破了传统单一结果性考核局限。

对比数据表明,改革后学生在实验设计完成度、问题解决效率、综合素养得分等关键指标上均实现显著提升,凸显了教学改革成效,为应用型人才培养提供了可复制的创新范式。

参 考 文 献

- [1] 万巍,陈湛旭. 基于BOPPPS模式的大学物理实验混合式教学设计与实践[J]. 物理与工程, 2024, 34(4): 46-52.
WAN W, CHEN Z X. Design and practice of blended teaching of college physics experiments based on the BOPPPS model[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(4): 46-52. (in Chinese)
- [2] 胡立涛,尤一,韩豪,等. 基于5E教学模式的大学物理教学设计探究——以杨氏双缝干涉为例[J]. 教育进展, 2024, 14(9): 1171-1175.
HU L T, YOU Y, HAN H, et al. Exploration of the teaching design of college physics based on the 5E teaching model: Taking Young's double-slit interference as an example[J]. Advances in Education, 2024, 14(9): 1171-1175. (in Chinese)
- [3] 唐艳妮,周战荣,杨卫军,等. 军校“四性一度”金课标准下的大学物理实验教学改革与实践[J/OL]. 物理与工程. 2025; 网络首发.
TANG Y N, ZHOU Z R, YANG W J, et al. Teaching reform and practice of college physics experiments under the standard of “Four Characteristics and One Degree” golden courses in military academies [J/OL]. Physics and Engineering. 2025; Online First. (in Chinese)
- [4] 刘金秋,郑运强,智春艳. 线下一流课程“大学物理”教学实践[J]. 教育教学论坛, 2022(42): 117-120.
LIU J Q, ZHENG Y Q, ZHI C Y. Teaching practice of the “college physics” course, a first-class offline course[J]. Education Teaching Forum, 2022(42): 117-120. (in Chinese)
- [5] 刘绒侠,朱筱伟. 大学物理实验教程[M]. 陕西:西北工业大学出版社, 2018.

(下转第255页)

- engineering course[J]. College Physics, 2013, 32(10): 27-29. (in Chinese)
- [8] 非物理类理工科大学物理课程教学基本要求[J]. 物理与工程, 2006, (5): 1-8.
Basic Teaching Requirements for College Physics Courses in Non-Physics Engineering and Science Disciplines[J]. Physics and Engineering, 2006, (5): 1-8. (in Chinese)
- [9] 周可雅, 孟庆鑫, 曹永印, 等. 问题牵引式大学物理课程知识图谱探索与实践[J]. 大学物理, 2025, 44(1): 66-69, 75.
ZHOU K Y, MENG Q X, CAO Y Y, et al. Exploration and practice based on a problem driven knowledge graph of college physics[J]. College Physics, 2025, 44(1): 66-69, 75. (in Chinese)
- [10] 冯飞, 周可雅, 孙琼阁, 等, 译. 纳米量子光学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2025.
FENG F, ZHOU K Y, SUN Q G, et al. trans. Nano and quantum Optics[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2025. (in Chinese)
-
- (上接第 205 页)
- LIU R X, ZHU X W. College physics experiment tutorial[M]. Shaanxi: Northwestern Polytechnical University Press, 2018. (in Chinese)
- [6] 陈静. “BOPPPS+演示实验”的大学物理教学改革实践研究[J]. 物理与工程, 2024: 网络首发.
CHEN J. Research on the teaching reform practice of college physics with the mode of “BOPPPS+ Demonstration Experiment”[J]. Physics and Engineering, 2024: Online First. (in Chinese)
- [7] 何振辉. 新时代物理实验课程建设探索[J]. 物理与工程, 2024, 34(5): 74-81.
HE Z H. Exploration of the construction of physics experiment courses in the new era[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(5): 74-81. (in Chinese)
- [8] 何爽, 韩笑, 刘乃嘉, 等. 基于 5E 教学模式的大学物理实验教学设计的[J]. 创新教育研究, 2023, 11(8): 2378-2385.
HE S, HAN X, LIU N J, et al. Teaching design of college physics experiments based on the 5E teaching model[J]. Innovative Education Research, 2023, 11(8): 2378-2385. (in Chinese)
- [9] 王晓鸥, 张伶俐, 袁承勋, 等. 新工科背景下的大学物理课程建设与实践[J]. 大学物理, 2021, 40(4): 45-49.
WANG X O, ZHANG L L, YUAN C X, et al. Construction and practice of college physics courses under the background of emerging engineering education[J]. College Physics, 2021, 40(4): 45-49. (in Chinese)
- [10] 吴海娜, 杨广武, 公卫江, 等. 一流课程背景下大学物理课堂演示实验的实践及效果分析[J]. 大学物理实验, 2021, 34(3): 102-104.
WU H N, YANG G W, GONG W J, et al. Practice and effect analysis of classroom demonstration experiments in college physics under the background of first-class courses[J]. Physical Experiment of College, 2021, 34(3): 102-104. (in Chinese)
- [11] 吴秀芹, 赵月月. 基于“四突出”的 BOPPPS+教学模式研究[J]. 海军舰艇学报, 2022, 6.
WU X Q, ZHAO Y Y. Research on the BOPPPS+ teaching model based on the “four highlights”[J]. Journal of Naval Vessels, 2022, 6.