

PBL教育理念在物理光学课程教学过程中的探索与实践

彭坦, 徐利, 曾维友, 熊永臣

湖北汽车工业学院光电工程学院, 湖北 十堰

收稿日期: 2025年8月25日; 录用日期: 2025年9月22日; 发布日期: 2025年9月29日

摘要

在传统物理光学课程教学中存在诸多问题, 例如理论较为抽象, 难以激起学生的学习兴趣; 注重实践而忽视应用, 教学的重点脱离了培养学生应用实践能力的初衷等。针对这些问题, 在本文中将PBL (Problem-Based Learning, 问题式学习) 教育理念系统性地应用于物理光学课程的教学改革, 首先对目前物理光学课程教学情况进行分析, 然后提出基于PBL的物理光学课程体系重构及教学方法改革方案, 最后以典型案例说明具体实施步骤, 将该模式应用到实际教学工作中, 结果表明: PBL教学模式可以很好地激发学生的学习主动性, 促进学生开展深度学习, 并且可显著提高解决复杂光学工程问题的综合能力以及学生的创新思维能力, 取得了良好的教学效果。可以为其他具有较强理论性的专业基础课程提供一定的参考。

关键词

PBL, 物理光学, 教学改革, 问题驱动

Exploration and Practice of PBL Educational Concept in the Teaching Process of Physical Optics Course

Tan Peng, Li Xu, Weiyu Zeng, Yongchen Xiong

School of Optoelectronic Engineering, Hubei University of Automotive Technology, Shiyan Hubei

Received: August 25, 2025; accepted: September 22, 2025; published: September 29, 2025

Abstract

In traditional teaching of physical optics courses, there exist numerous issues, such as the abstract

文章引用: 彭坦, 徐利, 曾维友, 熊永臣. PBL 教育理念在物理光学课程教学过程中的探索与实践[J]. 教育进展, 2025, 15(10): 171-177. DOI: 10.12677/ae.2025.15101817

nature of the theories, which makes it difficult to stimulate students' interest in learning, and the emphasis on theory over application, which deviates from the original intention of cultivating students' practical application abilities. To address these problems, this study systematically applies the educational concept of Problem-Based Learning (PBL) to the teaching reform of physical optics courses. First, an analysis of the current teaching situation of physical optics courses is conducted. Then, a restructuring of the physical optics curriculum system based on PBL and a reform plan for teaching methods are proposed. Finally, specific implementation steps are illustrated through typical cases. By applying this model to actual teaching practices, the results show that the PBL teaching model can effectively stimulate students' initiative in learning, promote deep learning, and significantly enhance their comprehensive ability to solve complex optical engineering problems as well as their innovative thinking skills, achieving positive teaching outcomes. This approach can provide valuable references for other specialized foundational courses with strong theoretical components.

Keywords

PBL, Physical Optics, Teaching Reform, Problem-Driven

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

物理光学作为光电信息科学与工程、应用物理学等专业的核心专业基础课,以“光的干涉、衍射、偏振和光的量子性”等内容体系为基础,为现代光学技术、光电检测技术、激光技术、光纤通信等技术提供了理论支撑。围绕让学生掌握物理光学的基础理论并能够运用相关知识解决实际问题这一核心目的,长期的教学实践中一直沿用着以“教师为中心、教材为中心、课堂为中心”、“概念讲授-数学推演-结论验证”为主体的传统线性教学模式[1],这样的教学模式虽然可以让学生有效接收系统的知识内容,但是却使学生一直处于被动接受的状态[2],在如何把抽象化的数学表达和物理图像、工程应用结合起来方面一直比较难找到好的方法途径,使得大家普遍存在“听不懂、不会做、不会用”的情况,从而学生最终变成了把各种定理公式背得滚瓜烂熟的“做题机器”。这样很难达到“高阶思维能力好,创新能力足”的效果。事实上,该教学模式还严重违背了当前新工科建设和工程教育专业认证中提出的“以学生为中心、注重产出、持续改进”的理念[3]。

物理教育研究(Physics Education Research, PER)在光学教学领域已积累大量实证成果,明确指出学生在学习物理光学时面临若干共性且深层次的学习障碍。例如,学生对“光程差”“相位关系”“相干性”等核心概念的理解往往停留在公式层面,缺乏物理图像的直观构建[4];在干涉和衍射等内容中,难以将数学形式(如菲涅尔-基尔霍夫积分)与物理过程(如波前叠加)建立联系[5];此外,偏振与量子光学等内容因抽象性强,学生容易产生认知负荷超载,形成学习焦虑。PER研究进一步表明,传统教学中过度强调数学推导而忽视物理本质与建模过程,是导致学生兴趣低下、迁移能力不足的重要原因。

PBL即是以问题为导向的学习方式,以真实且复杂程度较高的劣构问题为启动点,在小组中开展探究活动,用此办法来学习蕴含于这些问题背后的科学知识,掌握解决此类问题的方式和方法,并培养学生的自主学习能力[6]。把问题导向下的PBL学习模式运用于物理光学课堂教学实践中,就是要用这个先进的理念去颠覆传统的课堂教学范式,由以教为主的“知识传授”转变为以学为主的“能力培养”。本文通过总结笔者基于物理光学课程PBL教学改革的过程:解析该课程的教学现状问题;重构课程体系和教

学方法；开展 PBL 物理光学课堂教学设计实践；总结反思 PBL 物理光学教学改革成果的过程，希望能够对促进相关课程的教育教学创新起到一些积极的参考作用。

2. 课程现状及存在问题

通过对本校光电专业的近三届学生所作的教学实践和学情分析发现，在教授传统的物理光学课程时，下面的问题是存在的：

(1) 物理光学课里面很多概念非常抽象(光程差、空间相干性、傅里叶频谱等)，还有大量的数学推导(菲涅尔—基尔霍夫衍射积分、电磁场波动方程等)，但由于以往课堂教学一味地强调数学推导的形式化、严密性，使得学生把主要精力放在较为枯燥乏味的数学推导上，反而不利于对物理思想、物理图象的掌握，久而久之会产生畏惧、挫折的心理。

(2) 占统治地位的是“教师讲、学生听”的填鸭式教学模式；师生之间缺乏必要的交流和互动；学生产生了被动接收知识的习惯，不愿动脑筋提问思考；而教学过程和科学研究、工程实践的探索过程是背道而驰的，不可能培养学生作为学习主体的探究精神和创新能力。

(3) 实验教学内容都是验证性的实验，是理论课的附庸，按步骤完成就可以了，没什么设计性和综合性的环节，在进行这项实验的时候也知道会出现什么情况，不会出现未知的问题，这样学生只能完成这个步骤，无法达到锻炼目的。由于平时学生们没有这样的经验，所以面对真正在研究的、碰到难题的时候往往不知道从何下手，也没有办法去分析问题，更别说设计出正确解决方案了。

3. 课程体系构建及教学方法改革

典型光电专业人才培养方案旨在使学生掌握光电器件、光电系统的设计、开发及研究的专业知识和技能，能够用所学解决光电信息领域的实际复杂工程问题，并在此基础上培养学生具有良好的科学、技术素养以及较强的实践能力和创新能力[7]。PBL 模式下，学生可以从真实、复杂且结构不良的问题入手，在自己的自主探究以及与其他人的协作过程中学习知识和发展能力，这与其培养目标高度一致[8][9]。由于物理光学作为光电专业基础理论课的重要组成部分，自身的难理解及概念化较为严重，教学中经常出现脱离实际的现象。为此，在将 PBL 思想引入教学过程的同时，我们对该门课程的课程体系与教学方法进行了系统的重建与革新。

3.1. 课程体系重构：从“知识链条”到“问题矩阵”

传统物理光学课程体系通常按照教材章节顺序安排，以“知识传递”作为主要逻辑组织教学，这种体系使学科知识形成完整和严谨的“知识链条”，但理论教条，难以理解，学生很容易脱离学以致用为目的，对于一些分散、难以串联的知识点无法把握成整体、学会通过所学知识解决问题。针对这一情况，基于 PBL 理念，我们改革课程体系时把问题作为主线来进行课程体系的根本性改造，即从“学科知识”到“工程问题”、“知识链条”到“问题矩阵”的转变。将培养“解决复杂光学工程问题能力”作为最终目的，倒序设计课程体系。主要是打破章节壁垒，串连知识点，将抽象理论注入真实问题之中，在解决具体问题的同时培育相应的能力，每一模块下有多个聚焦具体工程问题的一贯到底的问题，组成一个问题矩阵。所有理论知识都是为了解决这些问题而开展的，即为达成学习目的而提供情境化素材。

3.2. 教学方法改革：PBL 模式的实施流程

运用“问题驱动 - 小组探究 - 成果展示 - 反馈评价”的四步 PBL 教学模式：提前 1~2 周布置有针对性的“锚定问题”，可以从科研前沿、工程实例或者生活中提炼而来，需要具有开放性、挑战性和综合

性的特点。比如,“设计基于迈克尔逊干涉仪的光纤振动传感系统”或“如何应用衍射知识实现细丝直径的测量”,最后将以小组 4~6 人为单位,在课外时间对学生来说是具有一定难度的任务。需要通过小组成员在课下协作完成分析问题,查找相关资料、学习相关的理论知识,并以方案(包括但不限于:理论分析、仿真计算、简易试验)的形式给出问题的解决途径。教师作为指导者、资源提供者以及咨询师,帮助引导、支撑学生的探究活动。为了辅助学生开展自主学习探究,还构建配套资源库,其中包括经典文献库、工程案例库、Matlab/Python 仿真脚本教程、虚拟仿真实验平台链接等;并且在在线课程平台(超星学习通、智慧树等)上发布任务,分享资料,组织小组讨论,并对探究过程实行监督与管理,实现了线上线下的混合式教学。在课堂上小组向全班同学介绍自己的研究项目,或者对于问题开展辩论赛等,并用图表、多媒体等手段来表述其研究成果及所给出的解决方案,具体的问题就是运用理论证明解决问题的具体方式。这里我们有三种具体的评价方式,教师评价、小组评价和组内评价。评价并不是只关注方案最后的正确与否,而且还需要关注研究过程是否合理,团队合作是否有效,汇报的表达是否清晰,是否能有批判性的思维等。

3.3. 考核方式改革:强调过程性与综合性

在 PBL 教育思想下,物理光学课程的评价体系不能局限于传统单一的笔试型评价方式,即偏重于考察学生对基本理论公式及公式的计算能力,忽略了对学生解决复杂的工程问题的实践能力、创新能力、团队协作意识等方面的考察。因此,在评价中既应该从是否达到学习目标来考量学生掌握知识的程度,也应该考察学生在学习中解决问题的方法、过程等综合能力情况,使物理光学课的考核评价向着具有能力和过程两个维度的多元考核评价方向发展。根据 PBL 的特点,建立了贯穿整个课程的“平时表现-项目实践-期末考试”的全过程评价机制。平时表现为评价学生在整个 PBL 各环节中的参与度与知识运用水平,考核课程目标 1 和 3 的达成情况;通过对课堂观察、小组提交的讨论记录、组内互评等综合评分方式判断学生活动的主动性和批判性思维状况;针对每个 PBL 模块提交的阶段性报告或者方案设计书,考核学生文献查阅的能力、对相关的物理光学理论知识的理解情况和如何运用物理光学的知识点去分析实际问题的能力。对于课程实践考核评价而言,PBL 教学法更加侧重于考查学生的实践创新、综合运用能力,对学生达成课程目标 2 和 3 的能力予以评定。从学生最终提交的技术设计报告、仿真分析(用 Zemax、COMSOL 等软件建立光路系统仿真)或者制作实物/模型质量中来评价他们是否解决了问题;各小组汇报各自的成果并接受提问,教师和评审组从他们提出的方案是否有创意、是否有充分理由来说明其合理性、表达是否清晰连贯、小组成员分工是否明确有序四个方面来给出评价;针对学生在验证过程中的各种表现情况作出记录,如学生是否动手动脑解决问题,选用的仿真参数设置是否合理,能否发现问题并针对性地调试、改进,动手能力和开动脑筋的程度如何;期末采用笔试的形式考查学生的物理光学部分核心概念、理论、计算方法等的综合运用程度,保证每个学生都能融会贯通,将这些知识点整合起来;以上综合测试的结果对学生来讲既是一种督促也是一次较好的教学反馈。并且教师可以通过此次考核各项评分结果来判断自己的教学是否有缺陷,在每个阶段对学生达成课程目标情况进行评估,以便自己更好地调整教学策略、完善 PBL 问题或者给予个别化指导,使学生最终可以达到“评价-反馈-改进”的循环。

4. 重组教学内容,增加教学案例

由于学课里面有很多较难的抽象的概念、复杂数学的表达式,这些都是学生学习的一个难点也是老师讲授的一个重点。因此,传统教学方式是以按照知识体系而线性的去讲授,这种模式会让学生进入一种“推导数学困难,物理图象不清楚”的两难境地。根据 PBL 理念,以课程中的重难点问题作为载体,重新组合教学内容,从真实工程案例出发引导学生突破学习上的瓶颈,促进学生深入学习。在学习物理

光学过程中,其重难点主要包括:(1)干涉部分:光程差的物理意义、干涉条纹分布空间上的一些规律以及相干条件等。(2)衍射部分:惠更斯-菲涅耳原理所表示的内涵;夫琅禾费衍射和菲涅耳衍射有何不同?这两类衍射的不同点是什么?它们又有什么联系?衍射积分的意义何在?(3)偏振部分:偏振态对应的数学形式和物理图像之间的关系;偏振器件工作原理及如何用矩阵表示偏振器件;偏振光在界面上的行为以及体现出来的原因。(4)量子性部分:什么是光的量子化,理论基础何在?光子究竟是波还是粒子,这种波粒二相性的辩证统一性何在?物理学中最重要的就是掌握好公式定律,任何一道大题都是通过不同知识点来组成,在解决这道大题时除了要记得公式,还要知道哪里会用到,平时做作业题可没做过完就翻答案的习惯,而是将自己作出的答案跟书本的答案比较,看思路是否正确,哪个公式可以利用来求解。

在干涉模块中,考虑到学生对于光程差、干涉条纹、相干条件等方面的疑难问题,在这个问题情境中我们设置了相关问题,如精密制造企业需要检测光学元件的表面面形精度,并且要实现纳米级的测量分辨率,请提出利用迈克尔逊干涉仪来检测该光学元件的方案,并且要分析振动隔离和环境扰动补偿等技术难点。对于学生小组而言,则要通过迈克尔逊干涉仪的工作原理、光程差的定义以及迈克尔逊干涉仪在不同使用状态下带来的干涉条纹变化情况、迈克尔逊干涉仪反射镜两臂在产生干涉条纹移动时的方向相反的特点等来进行分析;要明确时间相干性和空间相干性对测量精度的影响;提出抗振动方案以及环境补偿算法,并利用 OptiSystem 或 MATLAB 进行系统的仿真验证。学生可以通过构建实际的表面高度测量问题场景,从抽象化到具体化地理解光程差的概念;另外,通过振动环境方面的分析可以让学生对相干条件有更进一步的了解。

对于衍射模块而言,针对衍射积分计算、近场远场变换、衍射极限等问题,提出了“某激光实验室需要评估新型激光器的光束质量,请设计基于衍射理论的光束质量分析系统,定量测量光束发散角、 M^2 因子等关键参数”的问题情境,让学生推导出衍射积分在光束传播过程中的具体表达式;建立近场与远场光强分布数学模型;设计测量不同传播距离下光斑分布的实验方案;编写算法完成计算光束质量参数的任务,在该问题中,将难懂的衍射积分计算公式转变为可以直接得到结果的测量任务,并使用数值计算、实验测试的方式,指导学生了解衍射积分的知识点和在实际中的作用和应用。

对于偏振模块,在讲解偏振态描述、穆勒矩阵应用、偏振器件特性时设置的问题情境:某医疗设备公司想利用偏振来开发偏振内窥镜用于早期癌症的诊断,请同学们为实现偏振成像设计偏振光路、优化偏振器件,并提高病变组织的对比度。每个小组可选取典型的生物组织开展相关的实验并研究该组织的偏振特性;建立偏振成像系统穆勒矩阵模型;优化偏振器件位置参数;用偏振仿真软件验证成像结果。本部分利用实际医疗成像中的具体应用,把偏振矩阵的计算变为了具体优化后的偏振成像系统的设计问题,使同学们能够把偏振相关理论知识应用到实际工程当中。

在量子性模块中,在对光量子化、光电效应、波粒二象性的重难点设计教学情境时,给出某量子技术实验室想要优化单光子探测系统的情况,要求同学们分析不同种类单光子探测器的工作原理,并根据性能来提出改进方案,使量子通信系统的传输速率得到提高;并且了解光电效应的量子理论解释;理解 SPAD, SNSPD 等单光子探测器工作原理;建立探测器性能评价体系;提出优化方案并仿真验证;利用具体的应用背景把抽象的光量子化知识转变成器件优化的问题,让学生了解量子理论的知识并用到工程实践中去。

运用重难点问题为切入点重组教学内容、设计典型案例,把抽象物理概念融入到工程问题之中,让学生能够建立直观的物理图像;把枯燥乏味的数学推导转变成解决实际问题的工具,增强学生学习动力;以项目式实践为载体,建立不同知识点之间的有机联系,构建起完整的知识体系;通过对实际工程问题的求解,培养学生的创新思维及综合应用的能力。基于重难点问题切入的课堂教学组织形式打破了物理

光学这门学科的传统困局，具有重要的作用，并且能够培养学生具有工程思维，进而对培养新工科人才也有一定的指导意义。

5. 课程改革的成效

改革破解了课程本身理论性太强难以理解的弊端。将重点、难点知识(例如：光程差、衍射积分、偏振矩阵等)，以嵌入式的方式融入到真实的工程实例中，在应用过程中理解知识，从“机械记忆”转变为“理解运用”。通过期末考试分析可知，综合分析题及应用设计题的平均得分率相比原来提高 15%~20%，学生对物理图像以及数学公式的物理含义有更深刻的理解。对学生提出的大量的关于如何更好地学习相关专业知识的的问题进行分析，学生们发现了其实质是在 PBL 模式下，学生们的综合能力得到了有效的培养。例如“微纳结构测量”，“偏振成像系统设计”等项目在问题分析 - 方案设计 - 建模仿真 - 撰写报告的完整工程训练过程中，学习成果也得到了直接检验。2023~2025 年选修本课程的同学先后在全国大学生光电设计竞赛、挑战杯等活动中获得国家一等奖 10 项、二等奖 2 项、省部级特等奖 1 项、一等奖 7 项，获奖数量及质量均创下历史新高；同时在后续毕业设计的过程中学生更加具有独创性和创新能力，选题质量高，方案设计更为严谨，学生能够结合自己的兴趣选择属于自己的毕业设计题目，在任课教师的指导下，先后有多名同学参与到本科生科技立项的研究工作中，并且一起以第一作者的形式，在 SCI/EI 检索源期刊上发表了学术论文两篇。更重要的是经过这门课程的历练之后学生由原来的厌学、不热爱物理转变为现在的主动学习，并有了较强的职业认同感。课上经常被提问，课后也常常讨论。

教师角色已经发生了变化，从原来的知识传授者变为现在的学习引导者、设计者和教练员；教师不再忙于思考课堂到底应该怎么讲清楚，而是要重点考虑设计哪些问题可以引发学生探究思考，并带着学生一起探究，真正做到了以学生为本，面向全体学生。要承担好指导项目，就必须紧跟时代发展脚步，紧贴最新光学工程学科前沿，及时把最优秀的科研成果和技术案例融入课堂教学之中。经过教改后课程团队成功获批了 2 项省部级教学改革项目，发表教研论文 6 篇，同时，借助学生的新思路，也为指导老师开展新的科学研究提供了灵感源泉，做到教、学双受益。

通过上述教学改革，建成了一批可推广应用的教学资源，其中包含覆盖课程全部核心知识点的优质 PBL 教学案例库，以及集成了 COMSOL、Zemax、MATLAB 等虚拟仿真实验软件的线上线下的项目探究学习环境。同时打破了传统的“一考定成绩”，构建起“平时表现(30%) + 项目实践(40%) + 期末考试(30%)”的过程性多元化考核体系，科学地判断了学生在知识、能力、素养三个方面是否达标，符合 PBL 理念的要求。在此基础上，把经验逐步扩大到后续开设的《激光原理》《光电检测技术》等课程上，形成以“项目链”贯穿的光电专业核心课程群，并取得了一定的效果。课程团队多次在校内外的教学研讨会上进行分享，教研论文和案例均被多所兄弟院校借鉴，发挥了良好的区域示范作用。

6. 结束语

改革实践表明，采用 PBL 教学理念重构物理光学课程，深度融合理论和工程实践是破解当前物理光学课程教学困境，培养创新型工程科技人才的有效路径。我们系统性地对课程教学内容进行重构，在以项目化实施的过程中，能够极大地提升学生的知识应用能力、创新意识，对教、学关系进行了重构，焕发出了全新活力。展望未来，我们将继续深化教学创新、不断优化完善项目案例库、充分运用智能教育技术手段，不断迭代“以学生为中心、以产出为导向”的教学模式，将“以学生为中心、以产出为导向”作为课程建设的主要任务之一。立足光信息学科发展方向，积极参与工程类专业核心课程及专业基础课程教学改革实践，推动我校乃至全国理工科专业的课程体系改革，凝练成果经验，为理工科专业基础课程的改革提供典型案例参考。

基金项目

湖北汽车工业学院 2023 年度教学改革项目(JY2023035); 湖北汽车工业学院教学研究与改革项目(项目编号: JY2024053)。

参考文献

- [1] 吕东燕, 周原. 基于 OBE 理念的大学物理实验 PPBL 教学模式的探究[J]. 科技视界, 2021(9): 45-48.
- [2] 贺文俊, 欧阳名钊, 王洋, 郑阳, 常艳贺. 基于虚拟仿真的“物理光学”混合式教学模式探索[J]. 教育教学论坛, 2022(35): 145-148.
- [3] 韩克祯, 王本义, 孙玉萍. 物理光学的混合式与可视化教学改革[J]. 教育教学论坛, 2022(42): 62-65.
- [4] McDermott, L.C. and Redish, E.F. (1999) Resource Letter: PER-1: Physics Education Research. *American Journal of Physics*, **67**, 755-767. <https://doi.org/10.1119/1.19122>
- [5] Ambrose, B.S., Heron, P.R.L., Vokos, S. and McDermott, L.C. (1999) Student Understanding of Light as an Electromagnetic Wave: Relating the Formalism to Physical Phenomena. *American Journal of Physics*, **67**, 891-898. <https://doi.org/10.1119/1.19144>
- [6] 刘红, 袁杰. PBL 对研究生教学改革的启示[J]. 高等建筑教育, 2007, 16(3): 16-19.
- [7] 曹斌芳, 乔闹生, 彭梓齐, 尚雪, 马磊. 新工科背景下光电信息科学与工程专业学生创新能力培养探索[J]. 创新教育研究, 2023, 11(2): 324-331.
- [8] 边心田, 陈贵宾. 成果导向教育(OBE)理念下的应用光学课程改革[J]. 高教学刊, 2019(7): 113-115.
- [9] 丁云, 高雷, 曹海霞, 李成金, 孙晓燕. 课程改革探索与讨论基于 OBE 与 PBL 融合的教学改革研究与探索——以普通物理课程为例[J]. 物理通报, 2023(1): 2-6.