

文章编号:1005-4642(2021)04-0032-07

近代物理实验课程的 SCOP 教学方法探讨 ——以光谱系列实验为例

王春亮,严端廷,刘春光,王长华,郭景富,付申成,贾 艳,李金环

(东北师范大学 a. 物理学院; b. 物理学国家级实验教学示范中心(东北师范大学),吉林 长春 130024)

摘 要:基于近代物理实验课程的教学目标、教学内容和组织方式,针对授课过程中发现的问题,提出了 SCOP 教学方法,即:科学问题引领、合作式探究、开放式讨论和渐进式实验. 介绍了 SCOP 教学方法的 概念与结构、实施方式、需要注意的问题以及对 学生、教师和课程协调发展的作用. 实践表明:SCOP 方法可以帮助学生掌握实验的核心思想与知识脉络,帮助学生养成独立思考、批判质疑的精神; SCOP 方法有助于教学与科研的融合,促进教师学术水平的提高.

关键词:近代物理实验;教学方法;SCOP;PPBL

中图分类号:G642.4

文献标识码:B

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2021.04.005

Problem-based learning 是指一类基于问题的教学方法^[1],多年来在医学教育领域受到广泛的认可^[2]. 借鉴用问题引导教学的思路,同时结合物理学学科的特点,李金环等^[3]提出了基于物理问题的教学模式(Physics problem based learning, PPBL). 该教学模式强调以物理问题为基础,以学生为中心,以运用知识分析和解决问题的能力为目标. 该教学模式在光学理论课程和基础物理实验课程中取得了很好的教学效果^[4].

将 PPBL 教学模式推广到近代物理实验教学,分析近代物理实验课程的组织方式、教学目标和教学内容的特点,结合教学实践,提出适合近代物理实验课程的 SCOP(Scientific problem guiding, cooperative exploration, open discussion, progressive experiments)教学方法. 在 SCOP 教学方法中,教师用科学问题来引导学生主动学习;学生通过合作式探究开展研究;鼓励以开放讨论的方式,对问题进行多角度分析;通过渐进式实验设计与安排,不断提升学生的综合能力.

1 SCOP 方法提出的背景

随着科技的迅猛发展与时代的快速变革,近代物理实验课程越来越强调培养学生的创新能力. 近代物理实验作为物理学专业人才培养体系

中的高阶课程,对高素质创新人才的培养具有不可替代的作用. 近年来,随着高等教育教学改革的逐渐深入,近代物理实验课程的目标已经从简单的知识传授逐渐过渡到对学生综合能力的培养,包括文献调研、动手能力、自主探究、表达沟通等,最终提升学生的创新能力. 各高校纷纷将前沿的科研问题与研究方法引入近代物理实验教学^[5-6],革新教学理念^[7],探索研究型教学方法^[8].

信息化时代,近代物理实验教学也出现了新的问题. 由于网络技术的迅速发展和手机的大规模应用,人们获取信息的渠道越来越多,获取的信息量也越来越大. 然而,这也带来了负面的影响,例如:信息质量良莠不齐,信息碎片化严重.

优秀的课程需要传承与建设. 近代物理实验课程由整个教学团队完成,当团队成员由于岗位调整等原因离开,新成员补充进入教学团队时,需要把优秀的教学经验和传统保留、传承下来. 教学团队整体性优良品质的传承需要合适的载体.

为了适应新形势,针对新问题,传承优良传统,提出了 SCOP 教学方法.

2 SCOP 教学方法的 概念与结构

SCOP 包括科学问题引领(Scientific problem guiding)、合作式探究(Cooperative exploration)、

收稿日期:2021-03-19

基金项目:东北师范大学物理学院教学改革基金项目;2017 年吉林省高等教育教学改革研究课题

作者简介:王春亮(1980—),男,吉林长春人,东北师范大学物理学院副教授,博士,研究方向为纳米光学. E-mail:wangcl493@nenu.edu.cn



开放式讨论 (Open discussion) 和渐进式实验 (Progressive experiments) 等 4 个方面。

2.1 科学问题引领

科学问题引领是指用科学的问题来引领学生探究、思考和学习的过程,最终构建完整的知识体系和物理模型。SCOP 教学方法是从 PPBL 教学模式发展而来,秉承“基于问题”的基本思想。同时,近代物理实验课程的教学内容又有着自身的特点,因此需要对“问题”重新补充说明。近代物理实验有很强的综合性,在解决问题的过程中,需要综合运用光、电、机械、电子技术、数据处理等多方面的知识。此外,在前沿的科学研究中,学科交叉、融合非常普遍。学生在近代物理实验课程中掌握的知识和技能是在未来从事科技前沿和现实应用研究的重要工具。基于教学内容和学生发展需求,将“物理问题”扩充为“科学问题”。鼓励学生探索授课内容与前沿领域的联系。

科学问题引领的形式是问答式与研讨式相结合,这 2 种方式分别适用于相对简单和相对复杂的问题。引领的目的是以问题为节点,帮助学生梳理知识点之间的逻辑关系,最终构建完整的知识体系。

2.2 合作式探究

合作式探究是指学生以小组合作的方式,针对实验过程中涉及到的科学问题展开研讨。特别是鼓励和引导学生将实验与理论相结合,针对实验现象、实验方法,运用相关的理论知识进行多角度分析。大量研究表明,采用科技支持,以学生为中心,采用小组讨论、合作式的学习方式,可以有效地提升教学效果^[9]。在授课过程中,将 2~4 名学生分为 1 个小组,共同观测实验现象,针对有一定深度和开放性的问题展开研讨。

2.3 开放式讨论

开放式讨论贯穿授课全过程。学生随时就实验相关的问题与同学或教师进行探讨。教师根据学生的讨论情况适时引导,调整学生讨论的方向和节奏。讨论的内容不仅限于课内的知识点,还包括物理学史、科技前沿、应用领域、方法论及思政等内容。通过开放式讨论,教师根据自己的知识背景展开教学内容,介绍相关的科技前沿与应用技术,激发学生的学习兴趣。由于基本思路是科学问题引领,而不是狭义的物理问题,所以教师可以大胆地拓宽视野,将科学问题引入教学。开

放式讨论也鼓励教师与学生多交流,只要是正面引导学生的问题都可以讨论,例如德育、美育等。

2.4 渐进式实验

渐进式实验是引导学生由浅入深、系统地掌握实验思想、培养研究能力的手段。首先,在课程整体安排上,在完成常规实验后,开设设计性实验;其次,在完成实验项目的基本流程后,安排集中研讨,对实验项目中涉及到的物理模型、方案设计等内容进行深入挖掘;第三,对于系列实验项目,采用先易后难的原则合理安排;最后,在实验课中,对学生进行由浅入深、渐进式的引导。

2.5 SCOP 方法的 4 个方面的关系

SCOP 方法的 4 个方面密切相关,相互配合、交叉、融合,形成有机的整体,如图 1 所示。科学问题引领是核心,其他 3 个方面都围绕科学问题展开;合作式探究和开放式讨论是授课的基本形式;渐进式实验是组织教学、安排内容的方法和原则。科学问题是探究、讨论、实验探索的主题,引领着整个教学过程的方向。同时,由于科学问题有着深刻的内涵和广阔的外延,所以需要合作式探究和开放式讨论进行多角度的探讨,需要渐进式实验来不断加深研究层次。开放式讨论与合作式探究是融合的过程;开放式讨论促进合作式探究顺利进行,合作式探究为开放式讨论提供议题。合作式探究、开放式讨论和渐进式实验之间是相互配合、相互促进的关系。开放式讨论、合作式探究的结合会在基本教学内容的基础上衍生出更多新的问题,这些问题为渐进式实验提供研究对象;渐进式实验不断拓展科学问题研究的深度和广度,为开放式讨论和合作式探究提供新的思路。

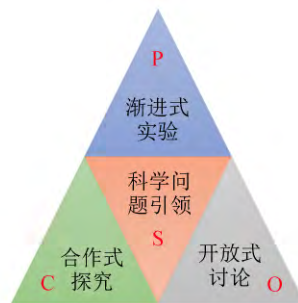


图 1 SCOP 结构图

3 SCOP 教学方法的具体实施方式

总结我校近代物理实验课程多年的教学实践经验,基于 PPBL 教学模式,提出 SCOP 教学方

法。我校近代物理实验是最高级的必修实验课程,在本科二年级下学期和三年级上学期开设,每周4学时,总教学时长为28周。课程包括25周(5个轮回)的常规实验和3周的设计性实验。课程采用模块化的组织方式,分为原子与分子物理及光谱、现代光学、真空/低温技术、微波与磁共振技术和原子核物理等5个教学模块。课程中实验项目取材于物理学经典实验和科学研究前沿问题,综合性强,具有丰富的物理内涵。5个教学模块相对独立,各由1位核心教师负责,并由任课教师配合课程的建设。在每个常规实验轮回中,学生有5周的时间集中完成1个模块的实验内容。在完成所有模块的常规实验后,再自选题目,完成设计性实验。下面以原子与分子物理及光谱模块为例,介绍SCOP教学方法的具体实施方式。

3.1 根据课程目标,按照渐进式实验的原则设计安排实验项目

我校近代物理实验的课程目标包括:夯实物理知识和概念,训练实验技能、方法和技巧,培养观察、分析、归纳、掌握新技术等多方面能力,培育实验素养、科学作风和创新思维。为了达成课程目标,在原子与分子物理及光谱模块选取了“氢氘光谱”“塞曼效应”“吸收光谱”和“拉曼光谱”这4个实验作为常规实验项目。在设计性实验环节开设了“自组光栅光谱仪”“自组光谱观测系统”“自组光学显微镜”“原子与分子光谱对比研究”“拉曼光谱拓展研究”“朗德 g 因子研究”“F-P腔实验与数值模拟研究”“表面等离激元的光谱研究”等题目。设计性实验的题目会不断更新。

按照渐进式实验的原则,学生先完成所有模块的常规实验,掌握各模块实验的知识和技能后,再完成综合性、探索性更强的设计性实验。

在1个轮回内,前4周进行实验项目的教学和实验,在第5周进行集中讨论,对完成的实验项目进行深入反思和扩展。

为期4周常规实验的项目也按照“先简单后复杂”的原则来安排。学生先完成“氢氘光谱”和“塞曼效应”2个原子物理的实验,然后再进行“吸收光谱”和“拉曼光谱”2个分子实验。从知识层次来看,由能级结构相对简单的原子到能级结构复杂的分子;从实验手段来看,在相对简单的“氢氘光谱”实验中,学生可以充分了解光栅光谱仪的原理和使用方法,在相对复杂的“吸收光谱”和“拉

曼散射”实验中,光谱仪将与连续谱光源、光子计数器和激光器等设备协同工作。

3.2 在每个常规实验中,用SCOP方法进行教学

每个实验题目的目标都是解决核心的科学问题。学生从现有知识背景和实验条件出发,解决这些科学问题,掌握与之相关的物理知识,锻炼相应的实验技能,进而培养物理思维。在教学实践中发现,如果只给出抽象的核心问题,学生往往无从下手,不能在规定课时内顺利地完成任务。为此,针对每个实验题目,在核心物理问题的基础上,提出一系列具体的问题,引导学生思考,最终理顺实验脉络,建立完整的物理模型和知识结构。

以塞曼效应实验为例,实验的核心问题是研究磁场对原子光谱性质的影响。在此基础上设定2个明确的实验目标:通过磁场方向找出偏振片透振方向和 $\lambda/4$ 波片的快、慢轴方向;通过磁感应强度计算电子的比荷。根据课堂上与学生的互动情况,提出关于原子物理和光学的一系列问题,来引导学生的思考过程。塞曼效应实验的科学问题脉络如图2所示。

在每个实验项目中,合作式探究与开放式讨论是学生掌握实验知识和技能的主要途径。我校近代物理实验课程采用小班授课的形式,每位教师指导8名学生。在教学过程中,将3~4名学生分为1个学习小组,强调以学生为主体,围绕研究的科学问题,通过合作式探究来进行实验探索,观察实验现象,针对实验中遇到的问题和涉及到的知识点进行开放式讨论。

例如,在“氢氘光谱”实验中,学生会以合作式探究的方式观察和分析氢原子光谱规律、同位素位移等原子物理问题;探索光栅狭缝大小、光电倍增管电压等技术问题;探讨波长校正、曲线平滑等数据处理和分析问题。在保证安全的前提下,学生还可以观察光谱仪的内部结构,讨论各部分功能与工作过程。该方式提高了学生的积极性和参与度,同时能培养学生的沟通和合作能力。

近年来,在学校的大力支持下,近代物理实验课程的教学条件得到了大幅度改善,这为学生的合作式探究和开放式讨论提供了硬件保障。教师不断补充教学资料,为学生提供文本、图片、课件、视频等资源。教师在授课过程中根据学生的具体情况提出问题来引导教学进度,通过与学生单独讨论来确保所有学生都参与学习过程。同时,教

师也会观察学生在探究与讨论中的表现,作为过程性评价的重要标准。

在常规实验项目中,渐进式实验的含义为:

1)由于实验项目丰富、综合的性质,只通过1个操作流程学生很难理解全部的实验内容,需要反复探究,不断加深理解。例如,在拉曼光谱实验中,首先体验拉曼光谱测试的过程,建立直观感受;然后思考原子、分子相关的知识,掌握关键物

理概念,对一些物理量的量级建立直观感受;最后,针对实验现象,发现问题并尝试分析和验证。在反复研究的过程中,强化物理知识,使得知识的运用成为潜意识的反应,固化成自己的能力。

2)学生的知识背景、兴趣和职业生涯规划等存在个体差异,在实验过程中,学生都有机会根据自己的需要和兴趣进行探究和学习。因此,通过近代物理实验课程,每名学生都获得成长。

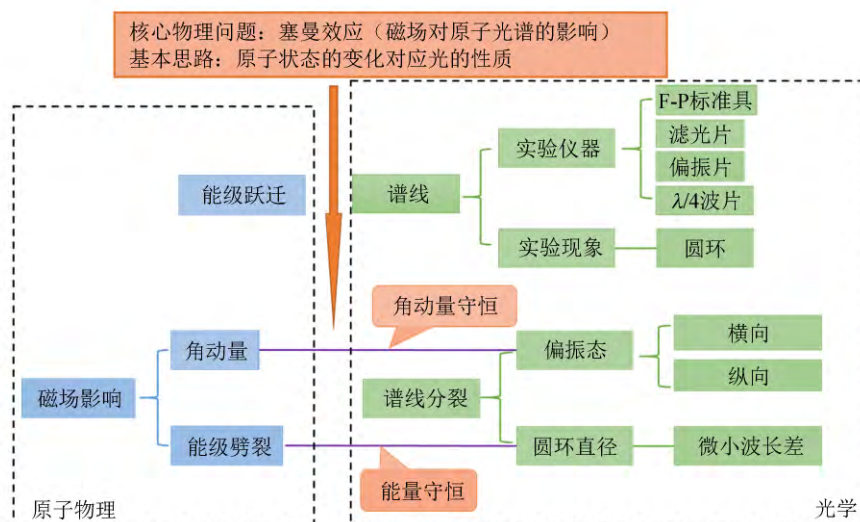


图2 塞曼效应实验的科学问题脉络

3.3 在集中讨论环节充分挖掘实验的相关物理机理及应用领域,拓展学习的深度和广度

在4周的实验探究中,学生对实验项目有了自己的理解。在集中讨论环节,学生对课程内容进行反思,思索教学内容的内在联系和实验过程的设计,特别是在以下4方面有所提高:

1)对技术细节、方案设计等方面的思考。例如,在用紫外-可见分光光度计研究溶液吸收光谱的实验中,涉及到基线、参比样品等内容。在实验过程中,学生按照标准的流程进行操作,了解流程设计的物理依据。在集中讨论环节,学生细致地分析样品池对光的吸收、反射等问题。

2)完整物理规律的理解与知识体系的建立。在集中完成光谱系列的4个常规实验之后,学生可以回顾整个模块的实验,思考不同实验之间的区别与联系,更好地掌握原子、分子、光谱、光电探测等方面的知识。例如,光栅在不同实验中的作用与参量选择,滤光片与F-P标准具的联系,分子能级结构在不同光谱中的表现形式,等等。

3)课程内容与科技、应用技术前沿之间的联

系扩展。例如,学生分享与讨论拉曼光谱技术在材料研究、食品安全、安检与刑侦领域的应用。

4)文献调研、口头表达与交流能力的培养。学生查阅与课程内容相关的资料,筛选、组织和加工后,形成报告,以口头汇报将学习心得与同学分享,同时也对其他同学的报告内容进行学习与研讨。在此环节,教师纠正学生报告过程中出现的内容或形式方面的问题,发现学生对授课内容理解的不足并给予补充讲解。此外,集中讨论也是对学生过程性评价的重要环节。

3.4 以前沿研究与应用为导向,开展设计性实验,提升学生的研究能力,培育创新思维

在近代物理实验课程的最后3周,每位教师会在自己授课模块的基础上,提出设计性实验题目,由学生自由选择指导教师,开展自主研究。在这个环节,学生在教师的指导下,确定实验目标,设计实验过程,选择实验仪器,独立开展实验,采集实验数据,撰写实验报告。这个环节更贴近于实际的研究,可作为开展科学研究的切入点。在这个环节,学生也有机会探究自己感兴趣的实验,

例如,在“光纤光谱仪应用”实验中,学生可以对日常生活中的衣物、饮料等物品进行光谱测试。

4 实施 SCOP 教学方法需要注意的问题

4.1 安全教育

在 SCOP 教学方法下,提倡学生自主探究和探索,这些探索一定要在保证安全的前提下进行。因此,在教学过程中,教师要不断开展安全教育,强调人身安全、仪器安全的重要性。例如,在实验室的墙面、地面等位置放置醒目的安全标识,潜移默化地对学生进行安全教育;在设计性实验等环节,让学生通过自制安全海报等方式,主动参与安全教育。

4.2 资源建设

在 SCOP 教学方法下,学生要进行大量的自主探究和探索,这些活动需要充足、优质的学习资源来支撑。因此,SCOP 方法要求教师不断建设高质量的课程资源,包括文本、课件、视频等。在实验室放置参考书,在实验室的计算机里放置优质的讲义、课件和视频等资源。在建设资源时,一方面靠教师搜集和积累,同时,也可以将学生在集中讨论和设计性实验等环节中制作的优秀作品进行甄别、整理、加工和展示。

4.3 文化熏陶

SCOP 提倡开放、自由和灵活,然而教育并不是放任自流。教师需要保证学生活动的主流方向是积极、向上的。例如,在实验室周围放置科学家、科学故事的张贴画,将教师、学生实验探究的优秀成果放在宣传展板上。通过文化熏陶的方式,正面引导学生进行科学问题探究。

4.4 SCOP 方法的灵活性

SCOP 方法总结了我校近代物理实验教学团队多年来的实践经验,其目的是为教师的教学过程提供方向性参考。任课教师在授课过程中需要坚持 SCOP 方法的思想,而具体的外在形式是灵活的。例如,在关键科学问题引领时,可以单纯的口述,可以把经典的问题做成宣传板,还可以随授课进度逐条写在白板上,等等。

4.5 提问和可探究问题的结合

SCOP 是以问题为基础的,这些问题既可以是立刻给出答案的简单问题,也可以是综合性和外延性较强的探究性问题。授课过程中,用简单的问题来了解学生的知识基础和预习情况,用综

合性较强的问题来引领学生探究的方向。当学生在探究过程遇到障碍时,教师可以把问题再细化,用简单的问题来引导学生跨过障碍,继续探究。关键是通过问题让学生保持思考和探究的状态。设置综合性和外延性问题,让学生保持学习和探究的兴趣。例如:关于 F-P 腔,学生在光学课学习了多光束干涉。在塞曼效应实验中,用它来测量微小波长差,让学生进一步了解相关的物理规律。教师引导学生反思相关的物理本质问题,例如:自由光谱范围、分辨率和精细度的关系,具体应用时应当如何根据待测量选择合适的仪器参量?为什么干涉仪能获得很高的分辨率?满足共振条件时,透射率很高,那么反射光哪里去了?满足共振条件时,腔内的光强如何分布?教师通过外延的问题来引导学生认识 F-P 腔的广泛用途。例如:光学仪器里的滤光片是什么原理?为什么大多数激光器里面会有 F-P 腔?如何测量激光的光谱宽度?腔的光学模式会改变腔内物质的性质吗?如何用 F-P 腔来检测微量气体?用于引力波探测的 LIGO 里也有 F-P 腔,它的作用是什么?

通过简单、直接的问题,教师可以考察学生的学习情况,帮助学生跨过探究的障碍,完成授课过程。通过综合性、外延性的问题,教师可以在方向上引领学生的探究过程,同时给学生充分思考的时间和探索空间。更重要的是,通过具有很强外延性的问题,开拓学生眼界,让学生意识到科学研究的广阔天地和深刻内涵。

5 SCOP 教学方法对近代物理实验教学的作用

在教学活动中,课程是连接教师和学生的桥梁。SCOP 可以促进教师、课程与学生的协调发展,从而持续提高学生的培养质量。

5.1 提高人才培养质量

SCOP 方法有助于学生提高综合素质,培养学生优秀的意识品质。教育的根本任务是立德树人,高等教育要为国家培养德才兼备的高素质人才。SCOP 方法帮助学生反复思考和训练,逐渐在基础知识、实验技能和问题逻辑方面获得全面提升。此外,紧跟时代发展、与社会现实密切相关的科学问题还可以促进学生关于家国情怀、理想信念、文明素质、社会责任等多方面的思考;开放式讨论可以让师生产生更多的互动,从而在授课

过程中对学生进行正面的引导;合作式探究与渐进式实验培养学生批判质疑、勤于探索的精神。

SCOP 有利于学生的个性化发展。虽然实验题目是相对固定的,但由于近代物理实验题目的综合性强,涉及的知识范围广,学生在完成基本的实验流程后,可以根据自己的具体情况,在基础科学问题、教学表达、应用技术等方面进行侧重学习和训练。在集中讨论环节,学生可以自由地反思,表述在知识细节、实验技巧、学科思考、教学设计等方面的心得。为期3周的设计性实验更是为学生提供了充分发挥个性的研究平台。

SCOP 方法有助于培养学生自主思辨、考证求真的习惯,抵御信息技术发展带来的负面作用。SCOP 方法强调围绕待研究的科学问题,结合理论分析与实验观测,对相关知识点进行多层次、多角度的分析与讨论。在此过程中,许多错误信息可以被发现、考证并纠正。同时,零散的知识点也可以被嵌入到物理模型之中,帮助学生构建完整的知识体系。经过 SCOP 方法的训练,学生在接收到信息时,可以养成独立分析思辨,以及考证信息原始出处的习惯,从而获取正确的知识。

SCOP 教学方法使得学生上课的状态有明显的改善。学生在实验室的讨论非常热烈,能够根据实验需要,对学过的知识进行充分总结,将其用于指导实验仪器的调节和实验现象的观测。同时,在实验过程中,学生对实验现象进行充分讨论,特别是对与理论预期有出入的细节进行探讨,利用归纳法对书本上的知识进行修正,培养了学生批判、质疑的思维,将知识真正转化为能力。例如,在塞曼效应实验中,学生观察到比预期更多的圆环,从而认识到光学元件表面反射及滤光片的实际滤光效果对实验的影响。在理解塞曼效应的偏振问题时,对照实验仪器,用角动量守恒的原理来分析和讨论光子的偏振态。这样,学生对角动量守恒和光的偏振态可形成直观的理解。

5.2 促进教学与科研的结合,助力教师的学术发展

SCOP 方法对教师的学术水平提出了更高的要求。鼓励开放性讨论意味着学生会提出更多与实验内容相关的问题,这就要求教师透彻地理解授课内容,并且跟踪相关领域的最新发展,不断提升学术水平。同时,SCOP 方法也有利于教师教学与科研的结合。例如,在设计性实验环节,教师可以根据自身的科研兴趣设计题目,既能将科技

前沿内容引入教学,又能在完成教学任务的同时推进自己的科研工作。SCOP 方法可以促进教学和科研深度融合、相互促进,如图3所示:教师可以从学科相关的科技前沿中提炼知识点来融入教学内容;在课堂实践中,教师也有机会对相关知识进行反复思辨;经过研讨,教师可以凝练出值得研究的学术问题,扩充自己的科研主题;通过科学研究,教师可以继续关注更多、更新的学科相关前沿内容。如此循环往复,有助于教学和科研协调发展。图4给出了教学、科研相互促进的实例。纳米结构的干涉、衍射等内容是纳米光学领域中的重要内容,这些科研内容可以融入到塞曼效应实验中 F-P 腔的教学。在教学过程中,教师可以对腔的光学模式等物理本质和光学特性进行深入思考;通过对腔的思考可以凝练出学术问题,融入 Exciton-polariton 领域的科学研究;对 Exciton-polariton 光谱性质的研究又可以进一步拓展对干涉、衍射等过程的认识。通过这样的流程,可以使纳米光学领域的科学研究和原子物理实验题目的教学共同进步。



图3 教学、科研协调发展的过程示意图



图4 F-P腔教学内容与 Exciton-polariton 科研主题之间相互促进的流程示意图

5.3 丰富课程内容,提升课程质量

SCOP 是围绕问题探究进行教学的方法。探究问题过程中形成的成果经过整理后成为课程资源,持续丰富课程内容。在教学活动中,教师以问

题引领学生,学生通过问题来学习.问题的不断深入也让课程的深度、广度和高度都不断提升.当问题具有足够的学术深度时,对问题的研究也就变成了学术研究.

6 结 论

SCOP 教学方法是在总结了我校多年近代物理实验教学经验的基础上,面向卓越人才培养的目标,针对信息化发展等因素带来的新问题而提出的基于“问题”的教学方法.科学问题引领、合作式探究、开放式讨论和渐进式实验这 4 个方面相互配合、交叉融合,可以促进学生、教师和课程协调发展.在人才培养中,SCOP 方法可以帮助学生掌握实验的核心思想与知识脉络,使学生在知识体系构建、实验操作技能和问题逻辑的思维方式等多方面取得全面的进步.同时,帮助学生养成独立思考、批判质疑的精神,从而更加有效地采用信息技术获取有用的知识. SCOP 方法有助于教学与科研的融合,促进教师学术水平的提高,还可以丰富课程内容,提升课程质量.

参考文献:

[1] Barows H S A. Taxonomy of problem-based learning methods [J]. *Medical Education*, 1986, 20(6):

481-486.

[2] Neville A J. Problem-based learning and medical education forty years on [J]. *Medical Principles and Practice*, 2009, 18(1):1-9.

[3] 李金环,王笑军,王庆勇. PPBL 教学模式在光学教学中的实践探索[J]. *物理实验*, 2015, 35(8):10-14.

[4] 东北师范大学物理实验教学中心. 基础物理实验 PPBL 教学模式探索[J]. *物理实验*, 2017, 37(10):31.

[5] 云南师范大学物理实验教学中心. 前沿科研进入近代物理实验教学模式[J]. *物理实验*, 2017, 37(5):32-33.

[6] 刘春光,安奎生,陈丽宏. 科研成果转化为近代物理实验教学内容研究与实践[J]. *大学物理实验*, 2017, 30(6):129-132.

[7] 荣新,李智,张朝晖. 高校物理实验教学的比较研究[J]. *物理实验*, 2020, 30(11):22-27.

[8] 陈星辉,周昕,李雪勇. 研究型近代物理实验教学模式的探索与实践[J]. *大学物理实验*, 2020, 33(4):90-94.

[9] Shroff R H, Ting F S T, Lam W H. Development and validation of an instrument to measure students' perceptions of technology-enabled active learning [J]. *Australasian Journal of Educational Technology*, 2019, 35(4):109-127.

SCOP method in modern physics experiment courses —Taking spectral experiments as an example

WANG Chun-liang, YAN Duan-ting, LIU Chun-guang, WANG Chang-hua,
GUO Jing-fu, FU Shen-cheng, JIA Yan, LI Jin-huan

(a. School of Physics; b. National Demonstration Center for Experimental Physics Education
(Northeast Normal University), Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: Based on the teaching goals, contents and organization, focusing on the problems emerged in the teaching process, SCOP model, which composed of scientific problem guiding, cooperative exploration, open discussion, progressive experiments, was proposed for modern physics experiment teaching. The concept, structure, implementation, and issues that should be addressed, were described. The positive role of this model on the balanced developments of students, teachers and course was also explained. Practice showed that the SCOP method could help students master the core idea and knowledge context of the experiment, and develop the spirit of independent thinking, criticism and questioning. SCOP method was helpful to the integration of teaching and research, and could promote the improvement of teachers' academic level.

Key words: modern physics experiments; teaching model; SCOP; PPBL

[责任编辑:任德香]