

文章编号:1005-4642(2021)07-0037-05

专
题



发展研究型基础物理实验教学的理念与实践

张朝晖

(北京大学 物理学院 基础物理实验教学中心, 北京 100871)

摘 要:随着高校科研的快速发展,传统实验教学模式面临新的挑战。北京大学基础物理实验教学中心坚持科研引领实验教育的理念,立足于基础物理实验课教学,结合科学研究,探索研究型教学的实验课程模式,创建了基础与创新协同发展的基础物理实验课程教学新体系。在实验过程中,鼓励学生自主探究,通过查阅资料,设计方案,完成实验和交流成果,培养学生的科学精神,提高学生的科研能力。

关键词:基础物理实验;研究型教学;教学体系

中图分类号:G642.423

文献标识码:B

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2021.07.006

物理学作为近现代科学的基础,是大学本科教育的重要内容之一。物理学是一门实验科学,源于实验,又在实验中不断丰富和发展,因此,用实验的方法研究物理学是开设物理实验课程的基本思想^[1]。非物理类专业的大学物理实验、物理类专业的普通物理实验和近代物理实验等课程,构成了国内物理实验教学的基本课程体系。改革开放 40 多年来,该体系的各门课程都得到了充分恢复和长足发展,形成了现今教学的基本模式;在不同的课程层面上,引导学生通过做具体的实验来加深理解物理学的理论知识,并学习物理学的技术和方法。随着社会科技(特别是高校科研)的快速发展,这种教学模式面临新的挑战。本科生直接参加科研活动(简称本研)的亲身体验,在较大程度上弱化了学生对现行物理实验课程教学模式的认同感。颇受欢迎的科研模式在倒逼物理实验课程进行改革,构架和发展科研创新模式的物理实验教学是未来发展的主要方向。

教学和科研是高等学校的两大任务,也是高等学校人才培养的主要方面。一方面,将科研创新模式引入到实验课程的教学,满足优秀学生的需求,助力拔尖人才的快速成长。另一方面,基础物理实验课程承担系统性培养学生物理实验素养和实验技能的基本任务,面上教学的基

本内容和模式必须得到相应的保证。如何把这两方面的教学结合在一起协同发展,是发展基础物理实验教学的一个系统性问题。

从教与学两方面来看,物理实验课程的教学成本较高。首先,实验教学要用到一系列的仪器、足够面积的实验室和人数众多的教师及实验技术人员,因此实验教学占用教学资源显著大于理论课教学。另一方面,物理实验的课程教学实际上是案例型的“交互式教学”,每个案例的教学都需要学生、教师以及仪器设备之间充分地交流、应对和协调才能达到预期的效果。这就要求每次上物理实验课都要投入比理论课更多的时间和精力。如何让高成本课程具有高“性价比”,是基础物理实验课程教学面临的一个现实问题。

长期以来,我们坚持以科研引领实验教育的理念,推动物理实验的教学改革和团队建设^[2],在发展研究型基础物理实验教学方面下功夫,经过长期努力,取得了积极的效果。

1 回归实验物理的基本理念,探索研究型教学的课程模式

物理学研究分理论物理研究和实验物理研究。所谓实验物理研究,简单地说,就是通过做实验来发展物理学的理论、技术和方法。基础物理

收稿日期:2021-05-09;修改日期:2021-05-21

作者简介:张朝晖(1957—),男,陕西杨陵人,北京大学物理学院教授,博士,从事表面物理与扫描探针显微学、超高真空技术、拉曼光谱技术的研究和物理实验的教学。E-mail:zhangzh@pku.edu.cn



实验课程教学在逻辑上是相反的过程,即从已有的理论、技术和方法出发,教授学生如何做实验.引入科研创新模式的实验教学,就是在理念上回归实验物理的研究模式^[3].基于这样的理念,探究研究型物理实验教学的课程模式.我们经过多年的选修课实践,培育了普通物理层次的“综合物理实验”和近代物理层次的“前沿物理实验”.

1.1 综合物理实验

综合物理实验 1 个学期,64 学时,3 学分,要求学生完成 6 个实验项目.目前有 9 个项目:

- 1) 光学成像与光信息处理;
- 2) 迈克耳孙干涉仪与光学相关测量;
- 3) 基于虚拟仪器技术的弗兰克-赫兹实验;
- 4) 光力学效应及光镊实验;
- 5) 一维周期弦链系统振动模研究;
- 6) 二维法拉第斑图实验观察与研究;
- 7) 证伪贝尔不等式的双光子纠缠实验;
- 8) 纠缠双光子的干涉实验;
- 9) 纳米材料的拉曼光谱实验.

综合物理实验课程的实施分 4 个环节:

1) 学生自主实验. 实验室对学生全程开放,要求每 2 周完成 1 个项目的实验工作,时间可以自由安排. 实验现场由 1 位工程师负责仪器管理. 任课教师不到现场指导,放手让学生自主实验,鼓励学生间的互助交流.

2) 师生面谈交流. 学生完成每周实验后至少预约任课教师面谈 1 次,汇报实验的进展情况,商讨解决实验中遇到的问题.

3) 口头学术报告. 要求学生在做过的实验项目中找出 1 个自己最感兴趣且深入研究了的问题,按照学术报告的规范做 15 min 的口头报告,外加 5 min 的听众提问.

4) 书面学术论文. 要求学生在做过的实验项目中找出 1 个自己最感兴趣且深入研究了的问题,按照学术杂志发表论文的模式,提交 1 篇规范的学术论文.

与上述 4 个环节相对应,综合物理实验课程考核分 4 部分:现场实验(30%)、面谈交流(30%)、学术报告(20%)和学术论文(20%),由教学团队按各部分的占比考核打分,合起来给出课程的学期成绩.

综合物理实验课程旨在通过模仿科研活动来组织实验教学,用内容丰富、综合性强且具挑战性

的实验项目和研究型的课程模式,激励学生自主学习、自主实验,培养自身的科学素养和科研能力.课程提供精选的实验项目,内容从普通物理实验扩展到近代物理实验,延伸到前沿物理实验,只要学生对所涉及的物理图像能够理解即可.这样的安排挑战学生的选课意愿,也激发学生迎难而上、成就自我、追求卓越的发展需求.

几年来的实践表明,挑战性项目隐含有待研究的问题越多,越受学生欢迎,最后的学术报告和论文也越精彩.重要的问题是只有实验室不断地供给这样的项目,才能保持课程一直在高水平上运行.

1.2 近代物理实验

选择近代物理学的经典实验和重要技术为课程的主要内容,引导学生通过实验认识新物理概念产生、形成和发展的过程,学习如何用实验方法研究物理现象和规律.另一方面,作为高年级学生的 1 门基础课,近代物理实验的课程教学还应对标物理研究的前沿,做出相应的教学安排^[4].

1.3 前沿物理实验

前沿物理实验 1 个学期,64 学时,3 学分,要求学生与科研团队的教授商定 1 个研究课题,然后在教授的指导下在他的科研实验室里完成该课题的研究工作,期末提交 1 份书面报告,并做口头报告.

实验教学中心设 1 位课程主持人,全程负责课程教学的组织管理,包括开课前面谈审核学生的课题和研究方案,期中面谈审核学生的研究进展,期末汇总审核学生的书面报告、组织学生报告会和评定学期成绩,并根据掌握的具体情况给出每个学生占比 20% 的学期成绩.科研指导教师负责安排、检查、指导和考核学生在他实验室的研究工作,指导学生完成期末的书面和口头报告,并根据全面掌握的情况给出学生占比 20% 的学期成绩.每位指导教师都要出席期末学生报告会,并给每位学生的报告打分,所有教授打分的平均值给出占比 60% 的学期成绩.

前沿物理实验是近代物理实验课程探索科研型教学模块的实践成果,旨在引导学生在实际的科研环境中学习前沿科研的思想、技术和方法,增强自身的科研素养和能力.

多年的教学实践表明,科研实践的课程模块顺应了优秀学生的发展需求,助力了拔尖学生快

速成长.

2 整合基础物理实验课程的教学体系,融合研究型的物理实验教学

改革开放以后物理学专业形成了普通物理实验+近代物理实验的基础物理实验课程体系.面上课程教学分4个层次:普通物理实验(1)和(2)、近代物理实验(1)和(2),依次在4个学期进行.

综合物理实验和前沿物理实验是应对优秀学生发展需求,培养学生科研创新能力的研究型课程改革课程.将这2门课程嵌入常规课程的教学体系,形成如图1所示互融互通的双通道教学新体系,其中A通道是研究型实验课程的教学通道,B通道是常规实验课程的教学通道.2个通道的入口都是二上开始的普通物理实验(1).然后是课程分流的第1个选择:普通物理实验(1)中,成绩优秀的学生可选修综合物理实验,其他学生进入普通物理实验(2)的课程学习.接着,所有学生都在上完近代物理实验(1)之后,再做课程分流的第2个选择:成绩优秀的学生选修前沿物理实验,其他人进入近代物理实验(2).最后对接到毕业论文的研究学习.

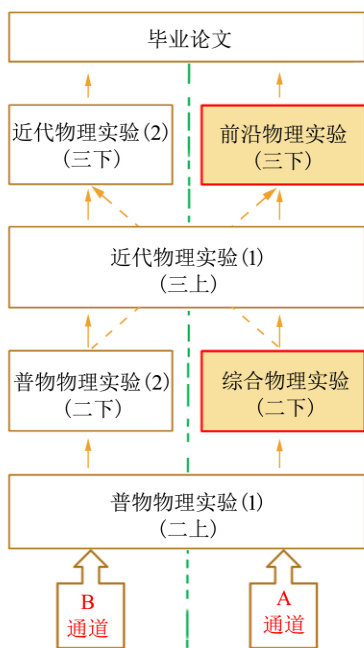


图1 互融互通的双通道教学体系

互融互通的双通道教学体系妥善地安排了研究型课程教学(A通道),不但保证了这些课程本

身的持续发展,而且更有利于拔尖学生综合素质的全面培养.这主要体现在以下几方面:

1)在稳定常规实验教学的基础上,放手探索研究型的教学模式.

常规的实验教学以“教授知识和能力”为目的,是涉及诸多教师和大量来自不同院系学生的大班授课,需要按照固定的模式重复运行.相比之下,研究型的实验教学是问题导向、开放探究、个性化的小班研讨,只要学生对所涉及的物理图像能够理解,就可以用作课程内容.即使像“证伪贝尔不等式的双光子纠缠实验”^[5]“纠缠双光子的干涉实验”^[6]等,也可以让学生做.综合物理实验课程的实验项目就是通过小班研讨丰富和完善起来的.

2)研究型的创新能力培养和基础性的实验技能训练相互促进、协调发展,保证研究型实验教学在高水平运行.例如:

a.“一维周期弦链系统振动模研究”^[7]将常规的均匀弦振动实验扩展到弦链振动,丰富了物理内容和检测技术,并且可以类比研究微观的量子系统.

b.“迈克耳孙干涉仪与光学相关测量”将分振幅干涉的原理性观察引伸到时间相干性的光学相关测量,在迈克耳孙干涉仪的基础上搭建出傅里叶变换光谱仪,探讨以此进行光谱分析所涉及的理论和技术问题.

3)在研究型教学通道上,持续激励优秀学生挑战自我,追求卓越.

从规范型的普通物理实验,到研究型的综合物理实验,经基础性的近代物理实验,再到真实科研的前沿物理实验,选择A通道研究型教学模式的学生付出得多,收获也大,有些学生在研究型课程期间还发表了高水平的学术论文^[8-9].

3 整合面上实验课程教学的内容与方法,提升面上教学的综合探究水平

在大学物理或者普通物理课程阶段,简单地说,理论课是教师通过讲授物理实验教学生学习物理理论知识,而实验课则是教师通过讲授物理理论知识教学生做物理实验.2类课程并行开课自然形成理论知识在教学上的重叠和反复,于是“做实验,培养动手能力”就成为人们对物理实验教学的一种简单朴素的理解.实际上,伴随着做

实验的过程,物理的理论知识、实验技术和方法才能被学生更深刻地理解和掌握,做实验的能力才会得到培养.因此,“做实验,学物理,培养实验能力”应该是基础物理实验课程基本的教学要求.在此层面上考虑面上物理实验课程的建设,使之朝着综合研究型的方向发展.

借鉴研究型教学的课程模式,可以从以下 3 个方面入手:

1) 面向现代科技,调整教学内容;与时俱进,更新实验项目.

早年将弗兰克-赫兹实验、高温超导实验、核磁共振实验等下放到普通物理实验教学,现在将双光子纠缠、双光子干涉等现代物理的内容排成新实验,这样的课程安排考虑了在现代科技背景下激发学生做实验的兴趣和热情,引导学生在做实验的过程中深入探究其中的物理原理和技术问题.需要注意的是,在现今的物理实验教学中,还有相当一部分实验内容的物理思想是过时的,技术和方法也较为陈旧,这既不能反映物理思想的应用前景,也不利于激发学生做实验的兴趣.

2) 用综合应用型的实验模块取代单一的验证型实验项目,构建模块化的基础物理实验教学.

传统的物理实验课程中,每个实验项目基本上是对应于物理课程的 1 个知识点设计出来的验证性实验,其教学内容和目标比较单一,各实验项目之间的相互关联也比较弱.我们尝试将内容单一的实验,按综合应用的类型组合成模块化的实验项目,用项目的实际应用激发学生的兴趣,用项目的综合内容引导学生进行实验探究.例如,将 X 光衍射实验和微波布拉格衍射实验组合成 1 个实验项目模块,实践效果比较好.

3) 转变教学观念,发展以问题为导向的实验教学新模式.

面上实验课程推行三段式的教学要求,即课前做好预习,课上做好实验,课后写好实验报告.三段式的教学安排是知识传授型课程教学的普适模式.面上实验课程的三段式教学在很大程度上要求通过让学生做实验的方式传授物理知识,相比之下,在培养实验能力方面显得力不从心.我们认为应当转变这种教学观念,从聚焦“实验知

识”转向聚焦“实验过程”,以问题为导向,聚焦解决问题的物理思想、实验技术和方法.从培育综合物理实验课程的实践中获得经验,逐步将该经验向面上教学推广,强化实验探究的课程特性,努力探索基础物理实验面上教学的新模式.

4 结束语

基础物理实验课程教学跨度大,涉及面广,既有基础性的定位,又有开展实验活动的特定要求.提出“科研引领实验教学”的理念,就是从实际出发,立足于基础,面向科研,探索研究型教学的课程模式,创建“基础”与“创新”协同发展的基础物理实验课程教学新体系^[10].

参考文献:

- [1] 沈克琦,赵凯华. 北大物理百年[Z]. 北京:北京大学物理学院,2014:99.
- [2] 李智,张朝晖. 以“科研引领实验教学”理念,推动物理实验教学改革和团队建设[J]. 物理实验,2018,38(3):24-27.
- [3] 葛惟昆. 教学的平台,探索的基地,求知的乐园——实验物理教学的追求[J]. 物理与工程,2014,24(3):3-8.
- [4] 荀坤. 小班与单元结合的教学形式[J]. 物理实验,2017,37(1):44-45.
- [5] Kwiat P G, Mattle K, Weinfurter H, et al. New high-intensity source of polarization-entangled photon pairs[J]. Physical Review Letters, 1995, 75(24):4337-4341.
- [6] Shih Y. Entangled biphoton source; property and preparation[J]. Reports on Progress in Physics, 2003,66(6):1009-1044.
- [7] 荀坤. 周期性弦链系统振动模研究实验介绍[J]. 物理实验,2017,37(3):25-30,36.
- [8] 元瑞时,王海粼,王伟,等. 低频条件下的法拉第斑图选择问题研究[J]. 大学物理,2019,38(9):54-57.
- [9] Qi R S, Wang R F, Li Y H, et al. Probing far-infrared surface phonon polaritons in semiconductor nanostructures at nanoscale[J]. Nano Letters, 2019,19(8):5070-5076.
- [10] 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,2020,40(11):22-27.

Ideas and practice on development of research-type teaching of the basic physics experiments

ZHANG Zhao-hui

(Teaching Center for Experimental Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: With the rapid development of scientific research in colleges and universities, the traditional experimental teaching mode faces new challenges. By the idea of scientific research leading experimental teaching, based on the teaching of basic physics experiment and combined with scientific research, the Teaching Center for Experimental Physics of Peking University explored the experimental course mode of research-oriented teaching and created a new teaching system for basic physics experiment curriculum with the cooperative development of foundation and innovation. During the experiment, students were encouraged to explore independently. Students' scientific spirit could be cultivated and scientific research ability could be improved by consulting data, designing schemes, completing experiments and exchanging results.

Key words: basic physics experiment; research-type teaching; teaching system

[责任编辑:任德香]

(上接 26 页)

[6] Groom D E, Mokhov N V, Striganov S I. Muon stopping power and range tables 10 MeV-100 TeV [J]. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 2001, 78(2):183-356.

[7] Li Q T, Ye Y L, Wen C, et al. Study of spatial resolution properties of a glass RPC [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 2012, 663(1):22-25.

Track of muons detected by resistive plate chambers

XU Jin-yan, LI Qi-te, PU Wei-liang, LIN Jie, LOU Jian-ling

(School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The resistive plate chamber has the advantages of good time resolution, long time stability and low cost. The platform of resistive plate detector was introduced into experimental teaching, and an experimental platform based on multilayer resistance-plate detector was designed. By adjusting the gas path, selecting appropriate parameters and setting circuit timing logic, the path of muons in gas medium was directly shown by oscilloscope, the tracks of which were straight lines. It showed that muons had strong penetration. Through the processing of experimental data, the track of muon could be reconstructed, and position resolution could be calculated.

Key words: resistive plate chambers; cosmic-ray; muon track; position resolution

[责任编辑:任德香]