

文章编号:1005-4642(2021)09-0023-06



专
题

拔尖人才培养背景下开展英才 物理实验教学试点的总结和展望

赵 伟,王中平,韦先涛,代如成,曲广媛,张宪锋,张增明
(中国科学技术大学 物理学院,安徽 合肥 230026)

摘 要:大学物理实验是理工科院校培养学生实践创新能力的核心基础课程,根据教育部拔尖人才培养计划要求,大学物理实验课程需要进行课程体系和教学模式的调整.中国科学技术大学物理实验教学中心在大学物理综合实验课程体系中引入英才实验小班教学,英才实验教学面向学有余力且喜爱物理实验的学生.实验中心为这部分学生准备了专门的多类型探究实验项目、专有实验空间和指导教师.本文从课程体系、教学模式、教学内容、思政元素挖掘和课后反馈与反思几方面介绍了英才实验试点情况,并对在大学物理实验课程中开展英才实验教学进行了总结和展望.

关键词:拔尖人才;英才物理实验;大学物理实验

中图分类号:G642.423

文献标识码:B

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2021.09.004

为培养适应国家中长期发展战略的创新型人才,推进解决“钱学森之问”,教育部在 2009 年开始实施基础学科拔尖学生培养试验计划.2018 年 10 月,教育部发布了《关于实施基础学科拔尖学生培养计划 2.0 的意见》,拟在原有“拔尖计划”基础上进一步提高学生培养质量和增加受益学生数量,推进培养具有家国情怀的未来科学家.2021 年上半年教育部发布了《关于 2021 年度基础学科拔尖学生培养基地建设工作的通知》,通过加快建设一批培养基地,全面推进拔尖学生培养计划.

大学物理实验课程是高校理工专业重要的核心基础课,是学生科学素质教育和实践能力培养的重要基础环节,是培养学生的创新意识、创新思维和创新能力的重要平台.在“拔尖计划 2.0”工作持续推进的要求下,大学物理实验课程也需要进行相应的调整才能在拔尖人才培养计划中发挥实验实践课程应有的能力培养作用.在拔尖人才培养的背景下,国内各高校在物理实验教学方面的调整普遍集中在高年级物理实验或者近代物理实验中增加与科研前沿相结合的研究导向型实验项目教学^[1-2],同时也有部分高校在低年级普通物

理实验中增加以赛促学型实验和互动演示实验等教学内容^[3-5].

中国科学技术大学物理实验课程体系中,面向大三上学期的物理类专业学生,大学物理研究型实验课程是以科研训练为目标的研究导向型实验,具有较强的开放性、设计性和研究性^[2,6].在研究型实验课程之前的大学物理基础实验、综合实验和现代技术实验,分别面向大一下学期、大二上学期和大二下学期的学生,内容涵盖了普通物理实验中的基础实验和部分近代物理实验内容.近年来,作为拔尖人才培养课程体系改革的一部分,物理实验教学中心将中国大学生物理学术竞赛(CUPT)项目作为以赛促学的教学内容加入到大学物理基础实验和大学物理综合实验课程教学体系中,取得了较好的效果.但该实验课程原有的实验项目还是以传统的做实验学物理作为课程建设原则,对学生的自主设计和创新能力培养重视不够.另一方面近年来大学生群体学情显示出明显多样化的新特点,例如受到高考要求影响,部分学生高中物理基础知识不扎实,动手能力偏弱,需要在物理实验课程中夯实基础物理知识和基本实验技能;有些学生在物理实验课中只关注明显

“第 11 届全国高等学校物理实验教学研讨会”论文

收稿日期:2021-07-04;修改日期:2021-07-10

作者简介:赵 伟(1981—),男,吉林长春人,中国科技大学物理学院副教授,博士,从事物理实验教学.
E-mail:weiz3@ustc.edu.cn



与自己专业相关的内容,而不愿探究相关性弱的实验内容;也有部分学生具有扎实的物理基础和较强的动手能力,其中一些学生不满足于经典验证性实验较多的传统普通物理实验项目,希望有机会在开放探索的物理实验中体验探究的乐趣。

为了推进双一流建设要求下的拔尖人才培养教学体系改革,同时考虑到大学物理实验课程面对全校本科生的多样化需求,物理实验教学中心必须积极行动。在大学物理综合实验和大学物理现代技术实验课程中推动分层次实验教学体系改革,一方面对原有实验项目进行分层次教学内容建设,另一方面尝试引入适应拔尖人才培养计划的具有挑战性的实验教学内容,满足学有余力且对物理实验探索保有强烈好奇心的学生的学习需要。在此需求下,中国科学技术大学物理实验教学中心首先以大学物理综合实验课程作为试点,加入了面向学有余力且喜爱物理实验的学生的英才实验教学内容,组织有经验的一线教师细致准备,通过一对一讨论、研讨课、实践动手指导和期末汇报考核等教学过程,英才实验教学试点取得了良好效果。

1 课程体系的调整

中国科学技术大学的大学物理综合实验课程面向全校大二上学期的所有专业学生,课程包括的实验项目为普通物理实验中综合性较强的实验,例如迈克尔孙干涉仪实验、光纤传感器实验和非平衡电桥实验等。对学校部分院系学生而言,综合实验课是他们需要修读的最后一门实验课程。近年来学校教学反馈中,部分动手能力较强的学生希望实验课程能提供具有挑战性和开放性的实验项目。同时物理实验教学中心在大学物理基础实验和大学物理综合实验课程中加入的CUPT以赛促学类型的实验项目,对部分学生而言在上一阶段实验课程中已经体验过,他们希望有不同模式的实验课程可以选择。

针对上述情况和学生要求,物理实验教学中心在大学物理综合实验中加入了英才实验项目。调整后的物理实验课程教学体系如图 1 所示,加入的英才实验可以为部分学有余力而且对物理实验特别感兴趣的学生提供以验证性实验为主的综合普通物理实验和命题式 CUPT,可进行实验差异化的选择。



2 英才实验的教学模式和内容

大学物理综合实验课程中的英才实验是普通物理和简单近代物理范围内的开放性和创新性实验。英才实验项目面向前一级大学物理基础实验中成绩较好、动手能力表现突出的学生。考虑到实验教学中心的场地和仪器条件,通过分析大学物理基础实验课程中学生的成绩并结合自愿报名,物理实验教学中心计划每学期组织 30~40 名学生参加英才实验。试点学期实际参加的学生人数为 36 人。

物理实验教学中心组织一线教师对英才实验的教学内容和教学模式进行了广泛调研和反复讨论,最后将试点英才实验项目的教学模式定为将高年级研究性实验完全开放教学和命题式 CUPT 实验项目相结合的教学模式。

教师提出确定的实验探索方向并提供基本实验方案和相关资料,学生阅读资料并在教师指导下完成基本实验方案,分析数据并总结后,可自行设计个性化实验方案,教师与学生讨论方案的可行性,教师指导学生组装器材完成实验。该教学模式可兼顾学习基础实验技能和培养自主设计创新能力两方面。根据前期调研学生学情反馈,物理实验教学中心为英才实验教学准备了专用实验室,每个实验项目都有指定教师负责。任课教师为每个项目提供可行的基本实验设计方案、参考资料和实验器材。10 项英才实验项目分为以普通物理实验为基础的设计实验、综合探究型实验和仪器设计制作实验 3 大类,如图 2 所示。选择这样的实验项目是为使英才实验教学尽量兼顾普通物理实验内容和开放性探究型内容。

以普通物理实验为基础的设计实验 (28次)
测量金属丝的泊松比
微小物理量测量
迈克耳孙干涉仪上的物理实验
复杂结构的干涉和衍射
水的膨胀系数测量
综合探究型实验 (11次)
光合作用中树叶上水滴的角色
乐音实验: 频谱分析和物理、音乐和情感
仪器设计制作实验 (15次)
共聚焦荧光显微镜的搭建
自制光谱仪
高低精度温度控制仪的设计和制作

图2 英才实验教学试点的实验题目和选择情况

以微小物理量的测量实验为例,该实验要求学生测量相对微小的物理量,可以是时间、长度、质量和温度等基本物理量,也可以是速度、加速度、磁感应强度、电场强度、真空度和照度等导出物理量.该实验以普通物理实验中的多项实验为基础,包括等厚干涉测量细丝直径、弹性模量测量、非平衡电桥和传感器等实验都可以为学生设计实验方案提供参考^[7].在此基础上教师引导和鼓励应用力学、光学和电磁学等学科中的基本方法,借助传感器、光谱和视频捕捉等现代技术手段,分析、设计和完成实验方案并科学分析实验数据.按照从基础到综合的教学路径,作为与大学物理综合实验常规课程平行的英才实验,可帮助学生自然地由大学物理综合实验过渡到现代技术实验和研究性实验课程的学习.

为了能够给予学生充分的时间对英才实验项目进行较为深入的探索研究,也为在教学中培养学生团队协作精神,在英才实验教学中规定学生每2人1组在学期结束前完成图2中的3项实验即可参加期末实验汇报考核.学期总评成绩由期末汇报考核成绩和所选题目的负责教师的主观评价2部分构成.基于拔尖人才培养的教学目标,总体评价的原则是考虑实验方案设计创新性的同时鼓励学生尽量深入探究题目的物理过程.

3 英才实验的教学过程

物理实验教学中心在大学物理综合实验中加

入英才实验的目标是为英才学生提供个性化、多层次的实验教学内容,激发学生学习物理的兴趣,培养学生的实践创新能力.为了实现这一目标,在实验教学过程中必须坚持启发引导学生自主学习为主,同时将立德树人为目的的课程思政元素有机融入教学的全过程.

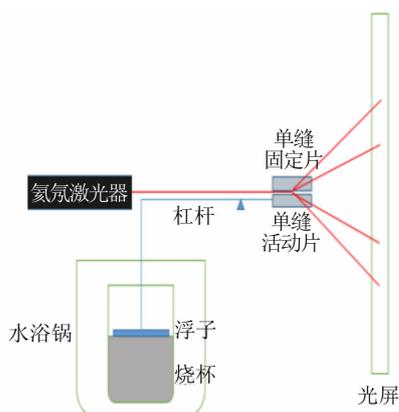
3.1 英才实验的教学过程举例

在水的膨胀系数测量实验的教学过程中,教师组织选该课题的学生进行研讨,以回顾基础物理实验中物质密度的测量为导入内容^[7],之后从密度自然过渡到体积变化.接着提醒学生注意水是生活中最常见的液体,在高中阶段将水的密度作为常量,引导学生调研水的物理常量尤其是密度和体膨胀系数的测量方法以及二者与温度的依赖关系.学生调研资料后,教师组织小组讨论,并请学生介绍调研情况,学生通常都会提到在4℃附近时水的密度出现极大值,此时教师要提醒学生注意4℃前后温度区间一定质量水的体积和体膨胀系数与温度的依赖关系,同时提醒学生查阅水的微观结构和相结构的前沿科学研究成果.通过导入实验和讨论引导学生自主学习,通过介绍生活中常见的水的物理参量与温度的依赖关系激发学生的学习热情.

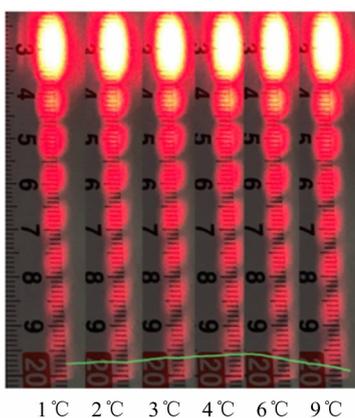
实验方面,教师可将静力称衡法^[8]或毛细管法^[9]作为基本实验方法介绍给学生,指导学生搭建实验装置测量并分析实验数据.之后建议学生尝试利用基础实验或综合实验中的其他实验方法设计方案测量水的体膨胀系数,学生容易想到光学方法,教师引导学生尝试光杠杆或者衍射干涉方法,学生自主学习光学衍射干涉的基本原理和测量方法,此时教师要鼓励学生自主设计并搭建装置,利用光学干涉衍射测量水的体膨胀系数.

图3(a)是学生设计的利用光的衍射测量液体膨胀系数的实验装置,通过记录分析衍射光斑的移动计算液体的体膨胀量.学生测数据后,教师要引导学生评价实验方案的合理性,并分析实验系统误差,提醒学生尝试优化实验装置.

在英才实验教学过程,学生在教师的引导下,自主调研资料,学习相关物理知识,搭建仪器装置、测量实验数据并改进优化实验装置.学生在学习过程中不再是传统的做实验学物理的被动状态,而是主动学习探索,该过程有利于激发学生的学习热情.



(a) 实验装置



(b) 干涉图样

图 3 利用光的衍射测量水的体膨胀系数
实验装置和干涉图样

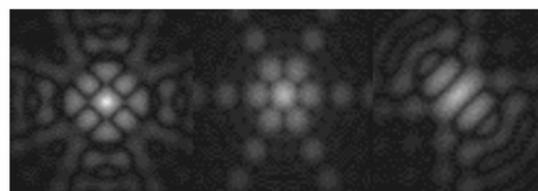
在复杂结构的干涉和衍射实验的教学过程中,教师先回顾基础物理实验中衍射法测量圆孔和细丝直径导入实验内容^[10],之后过渡到光的电磁横波属性和波粒二象性的介绍,提醒学生回想生活中光的边缘衍射现象.在此基础上教师引导学生调研如何用 Matlab 软件对光的衍射现象进行计算模拟,并了解衍射光学元件的原理和制作方法.在学生调研资料后,教师组织小组讨论,学生通常会提到菲涅耳衍射的理论计算方法,此时教师要提醒学生注意实际实验中衍射元件的制作公差和入射光束等因素对实验结果的影响.

实验方面,教师可将计算模拟和实验观察方孔和双缝屏的衍射现象作为基本实验内容介绍给学生,展示使用 Matlab 软件对方孔的模拟结果,指导学生利用激光器观察衍射图像并与模拟结果进行比对分析.建议学生使用 Matlab 软件对其他结构的图案进行建模和模拟,学生学习使用激

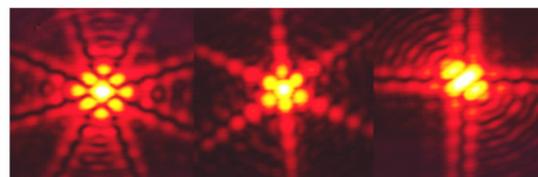
光打孔装置制作实际的衍射屏完成衍射实验,将实验结构和模拟结构进行比对分析.图 4 是学生几种旋转对称的衍射屏进行的 Matlab 模拟和实验观察,实验结果与模拟结果具有较高的一致性.通过基于开放实验项目的启发引导式教学,学生在教学过程中不再局限于本实验的内容学习,还在实验探索的需求下有目的地扩展学习了其他相关知识和技能,此过程有利于学生综合创新能力的培养.



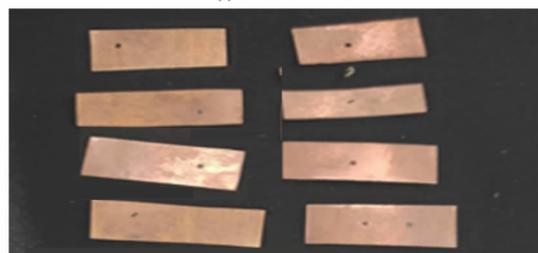
(a) 打孔显微镜照片



(b) Matlab 模拟衍射图样



(c) 实验衍射图样



(d) 激光打孔实物图

图 4 旋转对称衍射屏实验

3.2 英才实验的思政元素

英才实验教学为拔尖人才培养服务,培养具有家国情怀的拔尖创新人才.物理实验作为实践课程具有易于进行课程思政融合教学的特点.在英才实验的试点学期教学中,主要融入了以下 2 方面的课程思政元素:

1) 在实验中需要利用现代科学先进仪器时,对比我国“两弹一星”元勋等著名科学家,他们在国家经济困难且技术落后于西方国家时,在艰苦的条件下,克服困难攻克技术难关,为祖国科学事业的发展和国家富强做出了巨大的贡献.青年学

生应该珍惜现在的生活和学习条件,要不忘初心、刻苦努力,成为中华民族伟大复兴的建设者和接班人。

2)在教师和学生讨论实验方案的可行性时,可引导学生认识到物理学是一门实验科学,实验可以验证理论设想的正确性,进而理解“实践是检验真理的唯一标准”这一科学世界观和方法论。

4 英才实验试点的总结和反思

在大学物理综合实验中进行英才实验教学试点,是为了在大学物理综合实验和大学物理现代技术实验课程中系统地开展英才实验教学,积累实践经验。为了解学生在英才实验教学期间的收获和学习情况,在试点学期结束后,物理实验教学中心通过问卷调查收集了参加本次英才实验学生的感受和建议。

表1是学生在英才实验过程中自主学习的与实验相关的学科理论知识。从反馈结果来看,学生不仅自主学习了物理中光学、力学、电磁学和热学等多个领域的基础知识,还跨学科了解了生物、计算机等学科的专业知识。同时也注意到,有很多的学生反映英才实验促使他们主动学习了光学知识,这是由于本次试点教学中光学相关实验项目较多,另外也说明在较为精确的测量中,光学方法通常更为简单、有效,使用更为频繁。计算机和人工智能学科知识也出现在物理实验课程中,这说明物理实验教学需要更多引入现代信息和数字处理技术。

表1 学生在英才实验过程中主动学习的理论知识

理论知识	人数	理论知识	人数
流体	3	热学	8
生物	4	计算机	11
人工智能	4	电磁学	16
数学	4	力学	20
声学	6	光学	30

表2是学生在英才实验结束后总结得到锻炼的实验能力,除了光路搭建、焊接安装、电路分析、示波器使用等典型物理实验技能之外,学生还通过自学初步掌握了 Matlab、单片机、Python 和 Comsol 软件等,这反映出计算机和相关技术作为重要工具在现代实验技术中发挥着越来越重要的作用。与表1中的情况一致,由于英才实验试点

中光学实验内容较多,因此学生在实验过程中需要进行光路搭建和调整工作。

表2 学生在英才实验过程中得到锻炼的技能

技能	人数	技能	人数
Comsol	3	传感器使用	5
Python	3	文献调研	5
Mathematica	3	示波器	6
单片机	3	Matlab	10
焊接安装	3	电路分析	10
激光打孔	4	光路搭建	27

从课后问卷调查以及教学过程中教师的直观感受可以看出,英才实验教学模式和试点实验项目在激发学生的学习热情和引导学生通过设计完成物理实验提升解决问题的能力上,对大二上学期的学生效果较好。在实验教学过程中学生主动性很强,在教师指导下完成第1个实验项目后,后2个项目的探究工作更加有目的性和计划性,研究的深度和实验设计的合理性都有提高。英才实验将完全自主研究性实验和命题式 CUPT 实验相结合的教学模式,既给予学生基础知识的学习体验,也给予学生探索和设计实验项目的责任感,学生在此过程中自然地完成学习提高过程。

学生课后反馈和问卷调查显示试点英才实验教学模式和教学内容也存在一些问题。教学模式方面,首先需要评估如何平衡常规普通物理实验项目和创新开放实验的比例。如图1所示,原有大学物理实验课程序列中很多实验项目是编排有序的,如果学生在大学物理综合实验课程中没有学习相关实验,在之后的大学物理现代技术实验中学习某项实验时会缺少知识基础和操作基础。其次学生希望减少必须完成的实验数量,以给他们更多时间在1~2项英才实验上探究得更深入。在教学内容方面,学生建议增加可选实验项目数量并提供更为丰富的实验支撑材料。对于上述问题,中国科学技术大学物理实验教学中心已经和学校教务部门进行了讨论,将会对现有实验课程体系进行整体调整,满足拔尖人才培养目标对于英才实验教学的要求,同时英才实验项目将具有更为弹性的教学要求,以鼓励学生对实验项目进行深入探究。教学内容方面,由于教师需要准备每个实验项目可能用到的器材,而每个实验可能有多组学生同时选择,因此需要考虑场地和资源

限制,这导致增加可选实验项目的难度较大.物理实验教学中心会在现有条件基础上,提供更多的可选实验项目并完善实验支撑材料.

5 结束语

在大学物理综合实验课程中成功融入了为拔尖人才培养服务的英才实验教学项目,并在试点学期中取得了良好的教学效果,得到了学生的积极响应和广泛认可.在此过程中,参加教学指导的一线教师也收获了很多教学经验.培养拔尖创新人才是高校重要的历史责任和使命,教师需要积极探索适合新时期创新人才培养的物理实验教学体系和教学方法,为国家培养更多具有扎实基础和较强创新能力的优秀人才.

参考文献:

- [1] 李智,张朝晖.以“科研引领实验教学”理念,推动物理实验教学的改革和团队建设[J].物理实验,2018,38(3):24-27.
- [2] 张增明,孙腊珍,霍剑青,等.研究性物理实验教学的

的实践[J].物理实验,2011,31(2):20-24.

- [3] 吕景林,乐永康,冀敏,等.创新驱动,开启新形势下以学生为主体的物理演示实验教学新模式[J].物理实验,2018,38(S1):43-46.
- [4] 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.
- [5] 李川勇,王慧田,宋峰,等.中国大学生物理学术竞赛及其对培养学生综合能力的作用[J].大学物理,2012,31(5):1-4.
- [6] 张增明,孙腊珍,霍剑青,等.创新研究型物理实验教学平台的建设与实践[J].物理实验,2009,29(7):14-17.
- [7] 吴泳华,霍剑青,浦其荣.大学物理实验[M].北京:高等教育出版社,2005:75-78,133-160.
- [8] 张卫强,杜光升.对静力称衡法的扩展[J].物理实验,2001,21(12):39-41.
- [9] 王平,刘竹琴.测量液体膨胀系数的新方法[J].大学物理实验,2019,32(6):63-66.
- [10] 袁丽威.用光学衍射的方法测量金属丝的直径[J].物理通报,2000(10):39-41.

Pilot teaching of elite physics experiment under the background of top-notch talent training

ZHAO Wei, WANG Zhong-ping, WEI Xian-tao, DAI Ru-cheng,
QU Guang-yuan, ZHANG Xian-feng, ZHANG Zeng-ming

(College of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: College physics experiment is the core basic course for cultivating students' practical innovation ability in science and engineering universities. According to the requirements of the Ministry of Education's top-notch talent training plan, college physics experiment courses need to adjust the curriculum system and teaching mode. The Physics Experiment Teaching Center of the University of Science and Technology of China has introduced small class teaching of elite physics experiments into the college physics experiment curriculum system. The content of the elite physics experiment teaching was for those who had the ability to learn and the interest in conducting physics experiments. For these students, the Physics Experiment Teaching Center has provided special multi-type exploratory experiment projects and exclusive experiment allocation and instructors. This article introduced the pilot teaching of the elite physics experiment from the curriculum system, teaching mode, teaching content, ideological and political element excavation and after-class feedback and reflection, summarized and prospected the development of the elite physics experiment teaching in the college physics experiment course.

Key words: top-notch talent training; elite physics experiment; college physics experiment

[责任编辑:任德香]