

国外高校物理实验课程的特点分析*

罗 剑 欧阳建明 彭 刚 郑浩斌 江永红

(国防科技大学文理学院 湖南长沙 410073)

(收稿日期:2021-05-12)

摘要:大学物理实验作为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,主要是让学生学习基本物理实验知识、实验思想、方法技术,培养学生理论联系实际、实事求是的科学态度和实践创新能力.为了提高我校大学物理实验课程的建设水平,对国外部分知名高校的物理实验课程开设方式和培养模式进行了调研,对我校大学物理实验课程的建设及发展方向进行了一些思考,也为国内高校的大学物理实验课程建设提供一定的参考价值.

关键词:大学物理实验课程 基础与前沿兼顾 创新能力培养 理论联系实践

习近平在新组建国防科技大学的训词中指出,“要紧跟世界军事科技发展潮流,适应打赢信息化局部战争要求,抓好通用专业人才培养和联合作战保障人才培养.”大学物理实验是我校必修公共基础课程,是培养学生基础实验技能、实践能力和创新能力最基础、最重要的一环.因此,在课程建设上需要注重基础与前沿兼顾,加强创新能力培养,为实现国防和军队现代化建设的基础研究和原始创新奠定基础.此外,理论联系实际,实事求是,是中国共产党一贯坚持的正确思想路线,也是长期革命斗争中形成的三大优良作风之一,作为一所军事院校的物理实验课程,“大学物理实验”的课程建设更应该加强与理论课程的融合联系,让学生能学有所用、学以致用,在实验实践中培养实事求是的科学态度,立志献身国防的精神.本文主要针对国外部分知名高校的物理实验课程的开设方式和培养模式进行了调研,发现这些高校的实验课程在实验内容的基础性和前沿性、学生创新能力的培养和理论联系实践的课程体系建设等方面都有可供我校学习借鉴之处.

1 注重基础与前沿兼顾的实验内容

在物理实验课程中,基础性实验是基石,培养学生基本的实验方法与技能,理解掌握基本的实验思想.前沿性实验则能深化学生对专业知识的理解,培

养学生发现问题、分析问题、解决问题的能力,进而激发学生探索与研究的兴趣.

美国工科大学大部分学校一二年级开设基础物理实验课程,二三年级开设近代物理实验课程,部分学校(例如麻省理工学院)基础物理实验不独立授课,但总的实验课时占物理课时的 $\frac{1}{3}$ 到 $\frac{1}{4}$ ^[1].加州理工大学开设有基础物理实验(Ph3)、物理实验室(Ph6,Ph7)、电磁学实验(Ph8 bc)、近代物理实验室(Ph77 abc)、近代物理实验(Ph177)等实验课程^[2].其中基础物理实验有6个单元实验,为入门级实验课程,通过实验掌握物理实验知识、常用电子设备的使用、数据处理与分析、专业的数据记录和实验研究文档撰写等基础知识,锻炼基本实验技能.物理实验室有9个单元实验,课程内容为经典电动力学、共振、波等相关物理现象,主要加深学生对基础理论知识的掌握.

国外高校非常注重学生对物理前沿的了解与掌握,物理科学前沿相关的实验内容将会在较早的实验课程中接触到,例如加州理工大学的学生将在物理实验室(Ph7)就开始接触前沿性的物理实验,课程内容涉及量子、凝聚态、核和粒子物理等方面,主要学习相关方面的实验设备使用和主要实验技术.而近代物理实验室(Ph77 abc)需要完成课程 Ph7 或

* 高等学校教学研究项目,面向新工科的大学物理实验“金课”教学实践,项目编号:DJZW201928zn;湖南省普通高校教学改革研究项目,虚实结合的大学物理实验“金课”建设.

作者简介:罗剑(1989-),男,博士,实验师,主要从事物理实验教学和科研,研究方向为等离子体物理.

得到导师许可方能进行,共有9个单元实验.课程内容包括先进的信号采集、调整与数据处理等实验技术,介绍现代物理实验中广泛使用的光学设备与技术、激光频率稳定技术,以及经典的近代物理实验,如磁共振、光泵浦等.而近代物理实验(Ph177)也包括9个单元实验,以团队的形式要求学生设计、组装、校准和使用仪器,内容涉及量子光学、其他前沿物理研究领域的重要实验、重现已发表的研究论文结果等.

纽约大学主要开设基础物理实验 I 和 II、中级物理实验 I 和 II、近代物理实验等物理实验课程^[3].其中基础物理实验 I 和 II(PHYS-UA 71, PHYS-UA 72)主要介绍基本的实验技术,包括基本实验室设备的设置和操作、基本的实验设计、数据的统计、推理和分析以及介绍经典物理实验中的实验技术.中级物理实验 I 和 II(PHYS-UA 73, PHYS-UA 74)进一步提升在基础物理实验中介绍的实验技术,介绍一些近代物理实验中的实验技术.前沿性实验内容在近代物理实验(PHYS-UA 112)课程进行,主要介绍现代物理学的实验和技术,在一些入门级实验之后,学生还可以选择进行各种开放的实验,开始接触前沿科学研究相关的实验.

2 注重培养创新能力的课程模式

美国大学物理实验课程非常注重创新能力的培养,在课程的设置上勇于打破传统,让物理实验具有更多的自主性、设计性和创新性,将创新能力培养作为实验课程最重要的培养目标.

最典型的是麻省理工学院的物理实验课程,其普通物理实验并不为学生提供专门的实验室,而是从属于普通物理课程,把普通物理实验室变为 Home Lab,发给学生一个实验箱,里面有各种小工具,而具体的实验内容则作为家庭作业带回家去完成,有效地调动学生积极性,充分发掘自身的创新能力.这一做法也被哈佛大学、加州理工大学等采用,例如加州理工大学就开设电磁学实验(Ph8 bc)作为家庭实验,实验项目包括用自制的精密天平测量导线之间的力、测量一个 1 000 V 火花的性能以及建立一套无线电波发射和接收的实验设备并对此开展研究等.

麻省理工学院的实验室课程则主要是近代物理

实验,在第3年的春秋两个学期开设^[4],课程主要注重学生专业技能和科学素养的培养.每个学期,学生从21个实验中选择几个不同的实验,前3个为介绍性实验,以少于或等于16名学生为1组,每组由1名教员独立管理,并有1名研究生助教协助.每周2次课,每次课3个小时,课程安排在周一至周四.除了常规课程之外,实验室还在周五上午10:00至下午4:00开放,供学生进行自己设计的开放式实验,进一步培养学生创新能力.

3 注重理论与实践结合的课程体系

英国高校的物理实验课程更注重实验与理论的联系,培养学生运用所学知识解决问题的能力,在校期间学生需要用大量的时间进行实验课程,使得学生的科研基础能力在大学期间得到充分锻炼,顺利进入研究生阶段.

剑桥大学的物理课程是基于世界知名的卡文迪什实验室开设的^[5],学生4年在校学习期间,实验课程与理论课程结合紧密,贯穿学生在校学习的全部过程,并且实验课占很大比重.第1年,学生要求选择3个实验项目,每两周参加一个下午的物理实验,主要目的是培养学生的实验技能,并通过实验来阐明物理学中的思想和概念.相比于国内高校以理论课程讲授相关物理概念的方式,通过实验更能让学生直观地了解其中蕴含的物理思想.第2年的实验课程形式与第1年相同,增加了实验室开放时间.第3年的实验课程将会增加至30~40 h,完成秋季学期的实验课程(E1)并通过理论物理课程(TP1)考试后才能进行实验课程(E2),E2的实验是让学生提升专业能力,在实验中将理论与实验联系起来,加强学生物理思维的锻炼.第4年,学生开始接触前沿科学研究的边界,可以选择一个前沿领域进行深入学习,如凝聚态物理、粒子物理、天体物理、半导体物理,相关内容更是理论与实验的高度结合.当然,学生也可以在更广泛的领域选择学习内容,拓宽自己知识面.牛津大学的物理实验课程体系与剑桥大学类似,只在实验内容和时间安排上略有不同.

4 我校“大学物理实验”的建设与发展方向

我校的“大学物理实验”以国家级一流线上课程“大学物理实验”MOOC和国家级虚拟仿真实验教

学中心为基础,结合模块化、系列化的线下实体实验体系开展线上线下混合式教学^[6].学生的课前预习以线上学习为主,需要完成相关MOOC视频学习,完成相应虚拟仿真实验,并进行预习测试.在课堂学习阶段以线下学习为主,教师主要采用研讨式教学,学生在教师的引导下,首先需要深化对实验原理和实验仪器的认识,完成实体仪器探索,并针对共性问题进行讨论.然后需要对实验项目中的物理量进行测量,完成自主实验内容.自主实验后针对实验思想、测量技术和实验中出现问题开展课堂研讨,提高实验教学的深度和广度.在课后阶段以线上学习为主,学生完成实验报告,并利用MOOC视频和虚拟仿真实验进行复习,同时与老师进行交流和答疑.此外,虚拟仿真实验、MOOC等信息化资源也可为学生提供实体实验没有的虚拟实验项目,扩充学生的实验项目表.

借鉴国外高校物理实验课程优势特点,我校“大学物理实验”建设与发展方向将主要集中在以下3个方面:

(1)加强实验项目和内容的前沿性建设

目前我校“大学物理实验”的实验项目和内容由基础、综合以及设计性3个层次的20余个实验项目组成,覆盖了力、热、光、电磁、近代物理知识领域.其中基础性实验项目主要训练学生基本的实验技术、实验思想和实验能力,实验内容多与经典的物理理论相关,面临着挑战度不足的问题,学生难以从学习中获得解决问题的成就感.而现今很多前沿科学技术多是基于简单的物理原理发展而来,还有很多创新发明中使用的思想有基础物理实验思想的影子.例如,能精确测量重力加速度的激光干涉绝对重力仪就使用了最简单的方法——自由落体法,得到了非常高精度的测量结果.将这些前沿科技和创新思想融入基础物理实验的教学当中,能极大地增加实验内容的前沿性和创新性.

我校“大学物理实验”将在下一步的发展建设中增加与前沿科技紧密结合的实验项目和内容,建立前沿科技应用案例库.例如,在迈克尔孙干涉仪实验中引入LIGO测量引力波的应用介绍;新建次声波测量的虚拟仿真实验项目等.通过这些新增的实验项目和内容,加强基础物理实验内容与前沿科技的联系,深化学生对物理实验思想和技术的理解,提升

实验课程的品位.

(2)加强实践与创新能力的培养

“大学物理实验”是理工科本科生的一门必修基础实验课程,也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,对学生大学阶段实践能力的培养具有重要作用.我校“大学物理实验”一直致力于进行学生创新能力培养的改革和实践,改革效果也初见成效,例如,钱学森拓展班的基础物理实验课程就是借鉴了麻省理工的“Home Lab”的教学理念,采取学生自主设计、教师适当指导的方式,在各教学环节对学生阅读、写作、交流、思维等方面都进行了培养,只要学生具备了基本的科学素养及理性的思维,学生与生俱来的创新能力就能发挥出来.这一教学模式使得学生的创新能力得到了极大的培养,教学效果成效显著.例如,在2020年全国大学生物理实验竞赛(创新赛)中,我校就获得了3项一等奖,2项二等奖的佳绩,而其中获得一等奖的3组队伍,有2组由钱学森拓展班的学生组成.

我校“大学物理实验”将继续推广“Home Lab”的教学理念,在“大学物理实验”设计性实验的教学实施过程中改进教学方法,采取“以学生为中心”的教学方式,让学生在教师的指导下自行设计实验方案,进行实验数据测量,完成设计性实验的内容,充分挖掘学生的实践和创新能力,使学生得到极大的锻炼和提高.

(3)加强实验项目和内容与军事技术的联系

我校的“大学物理实验”是基于“面向战场、面向部队、围绕实战搞教学”的要求,以培养现代战争急需的通用专业人员和联合作战保障人才为目标,开展课程建设和教学实施.现代信息化战争使用了许多先进的军事技术,这些技术的使用使得军队指挥官不但要具有过硬的军事素质,还要有一定的科学文化素质,对现代军事技术有一定程度的了解.而物理学是军用科技发展的理论先导和基础,对现代高技术武器装备的影响是最深最广泛的学科之一,将现代军事技术引入基础物理实验教学,引导学生从基础学科的角度认识现代军事技术,锻炼学生规范使用仪器装备的能力,为学生在后期的军事训练中尽快了解和掌握相关军事武器打下扎实的基础,也为在军事行动、进攻战斗中更准确有效地使用军事武器提供可靠的保证.

我校“大学物理实验”将依托成熟的线下实验项目,寻找与军事应用紧密相关的实验,增加军事应用的实验内容,新建军事化特色实验项目,建立大学物理实验中相关军事科学技术的案例,提高实验课程的军味。例如,建设全息射击瞄准镜制作的实验项目;建设模拟弹头转动惯量测量的实验项目;迈克尔孙干涉仪的实验原理和实验思想在激光陀螺仪中的应用案例等。

5 结论

从这几所国外知名高校的物理实验课程体系设置中可以看出,他们将实验课程与理论课程紧密结合,更加注重培养学生的科学素养、解决问题的实践能力和创新能力。借鉴国外的先进经验,结合我校自身的教学理念、学生水平、师资力量和实验室情况,

建设具有自身特色的“大学物理实验”,才能充分发挥自身优势,更好地实现物理实验教学在军事科技人才培养中不可或缺的地位与作用。

参考文献

- 1 沈元华. 美国大学物理实验教学考察报告[J]. 实验室研究与探索, 2001(1):89~92
- 2 <http://www.pma.caltech.edu/research-and-academics/physics>
- 3 <https://as.nyu.edu/content/nyu-as/as/departments/physics.html>
- 4 <http://web.mit.edu/physics/subjects/index.html>
- 5 <https://www.phy.cam.ac.uk/>
- 6 欧阳建明, 彭刚, 何焰兰, 等. 线上线下混合式大学物理实验教学设计——以示波器使用实验为例[J]. 物理实验, 2020,40(4):38~41

(上接第 100 页)

后的相对误差百分比,分析比较误差的大小。

(昆明地区重力加速度约为 $g=9.79 \text{ m/s}^2$)。

(5)分别将测出的数据填入表格,如表 1 所示

表 1 修正前后实验误差百分比

序号	高度差 h/m	$\Delta E_p/(\times 10^{-4} \text{ J})$	遮光时间 t/ms	修正前 $E_{k1}/(\times 10^{-4} \text{ J})$	修正前误差百分比/%	修正后 $E_{k2}/(\times 10^{-4} \text{ J})$	修正后误差百分比/%
1	0.003 494	0.793 59	17.5	0.985 20	-24.14	0.794 53	-0.110
2	0.013 871	3.150 5	8.8	3.896 2	-23.84	3.142 2	0.263
3	0.030 814	6.998 7	5.9	8.667 4	-23.84	6.990 2	0.121
4	0.053 810	12.222 0	4.5	14.899 0	-21.90	12.016 0	0.169
5	0.082 159	18.661 0	3.6	23.281 0	-24.76	18.776 0	-0.616

由表格数据分析可知,误差修正前,实验中小铅条增加的动能远远大于减少的重力势能,且相对误差超过 20%。对实验误差修正后,相对误差大大减少,降低至 1% 以下,甚至更小,说明利用“有效遮光宽度”对光电门验证机械能守恒的误差修正是正确的。

4 总结

通过对光电计时器计时原理的分析,在本实验中光电计时器测量瞬时速度时,会“吞掉”部分遮光

条的宽度,从而使测量值变大,造成较大的系统误差。利用“有效遮光宽度”对瞬时速度修正后,不仅使得单摆验证机械能守恒实验得到推广与应用,还可利用该修正方法对光电计时器的其他实验进行误差分析与修正。

参考文献

- 1 张勇,章林. 用单摆验证机械能守恒定律的实验设计与反思[J]. 物理教学, 2018,40(6):21~22,56
- 2 赵世武. 气垫导轨实验中系统误差分析和修正[J]. 淮北煤师院学报(自然科学版), 2003(1):66~69