

基础物理实验绪论课的改革与思考

徐平^{1,2} 唐芳¹

(北京航空航天大学¹物理学院;²中法工程师学院,北京 100191)

摘要 基础物理实验是本科生接受系统实验方法和实验技能训练的开端,在培养学生基本的科学实验技能、提高科学素养等方面起着非常重要的作用。然而近年来在很多高校出现了物理实验课程学时被缩减、学生对课程的负面评价增多等现象,对于物理实验课程的建设和发展十分不利。本文分析了出现上述现象的原因,并以课程认知和学习方法指导为核心,以课程的学习目标为导向,对绪论课教学内容和教学方法进行了改革,有效提升了物理实验课程的学习成效,取得了较为满意的结果。

关键词 物理实验;绪论课;学习目标

RECONSTRUCTION AND REFLECTION ON THE INTRODUCTION LECTURE OF FUNDAMENTAL PHYSICS EXPERIMENT COURSE

XU Ping^{1,2} TANG Fang¹

(¹School of Physics; ²Sino-French Engineer School, Beihang University, Beijing 100191)

Abstract Fundamental physics experiment course is the beginning for undergraduates to receive systematic experimental methods and experimental skills training. It plays a very important role in cultivating students' basic scientific experimental skills and improving scientific literacy. However, in recent years, the class hours of physics experiment course were reduced, while the complaints and negative evaluation to the course from students is becoming more and more popular in many universities, which is very unfavorable to the construction and development of physics experiment course. In this paper, the reasons for the above phenomena are analyzed. Taking the curriculum cognition and learning method guidance as the core, and taking the learning outcomes of the curriculum as the guidance, we optimize the teaching contents and teaching methods of the introduction lecture, effectively improve the learning results of the physics experiment course, and achieve satisfactory results.

Key words physics experiment; introduction lecture; learning outcomes

物理学本质上是一门实验科学,它不仅仅是一门学科,也是一种探索科学问题的方法^[1]。物

理实验体现了大多数科学实验的共性,在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是各学科科学

收稿日期:2021-10-21;修回日期:2021-10-22

基金项目:教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会2021年重点立项项目(项目编号:DWJZW2021ZD)。

作者简介:徐平,男,教授,主要从事大学物理实验教学工作,研究方向为传感器, xuping@buaa.edu.cn。

引文格式:徐平,唐芳.基础物理实验绪论课的改革与思考[J].物理与工程,2022,32(3):36-40.

Cite this article: XU P, TANG F. Reconstruction and reflection on the introduction lecture of fundamental physics experiment course[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(3): 36-40. (in Chinese)

实验的基础,在培养学生基本的科学实验技能、严谨的科学思维,提高学生的科学实验基本素质和科学素养等方面,起着非常重要的作用^[2]。因此与自然科学有较强关联度的诸多学科专业,都把物理实验作为必修的基础课程。

然而近年来,国内各高校在人才培养模式改革、课程体系重构过程中,普遍采用了减少课堂学时、压缩课程学分等方式,以期给学生更多的学习自主权。很多高校为了保证专业课程的学时学分,把基础课程作为了被压缩的对象,这其中基础物理实验课程首当其冲。尽管这种做法与强化基础、推进 STEM 教育的理念相悖,但物理实验课程被严重压缩现象确是普遍存在^[3]。导致这种现象的原因,除了课程自身因素外,一方面是由于专业院系的本位主义和对基础物理实验课程重要性认识不足,另一方面则是由于参加基础物理实验课程学习的低年级本科生对课程的负面评价较多,也在某种程度上导致并推进了这种现象的不断持续。

要解决基础物理实验面临的这些问题,一方面需要通过密切与专业院系的沟通、强化基础物理实验与专业课程的关联性和提高对专业的支持力度来实现,另一方面则需要在提高课程质量和教学效果的同时,让学生体会到基础物理实验对他们未来发展的支撑作用,从而提高学习的兴趣和主动性。为此,我们对绪论课的教学内容和教学方式进行了改革,引导学生正确认识基础物理实验课程的作用,并从方法上指导学生如何通过不同的实验有效达成学习目标。

1 学生对于基础物理实验课程的评价

据调查,近年来从国内顶尖高校到普通的地方院校,对物理实验课程的评价普遍偏低,学生的负面评价主要集中在以下几个方面:

(1) 没用。有些同学认为,基础物理实验的很多内容和知识,在以后的专业学习和工作中不会再用,所以没有必要学这门课程。持这种观点的学生主要来自数学、计算机、软件、经济管理等专业。他们认为基础实验就与后续专业课程关联度低,如果在专业学习和研究中很少有实验(特别是实体实验),就没有必要学基础物理实验。给出这种评价的主要原因是低年级学生不理解基础

物理实验在培养思维能力、提升科学素养等方面所起的作用。或许是因为狭窄的视野和实用主义的观点,让其目光变得有些短浅?

(2) 不值。与其他课程相比,物理实验的学习难度相对较大,需要花费的时间多,而课程的学分却很少。由于采用过程性考核,实验课程很难通过突击学习获得高分,如果平时实验投入的精力不够,课程成绩就会偏低,因此很多学生认为付出与获得不成比例,不值得花太多时间在这门课程上。为了攒学分、提绩点、争排名,在功利主义盛行的氛围下,这种观点被很多人认同。以学分的多少来评价课程的价值,不知道是不是学分制带来的弊端?

(3) 实验项目安排不合理。物理实验在很多高校单独设课,多个实验项目平行开设,难免会出现还没有学到相关理论知识就要开始做实验的现象。如果没有提前做好预习,通过自主学习完成知识准备,就有可能在实验中不知所措,或者只是机械地完成实验,没有思考,更没有联想,实验的训练效果就会很差。出现这种状况,主要是部分低年级学生尚未适应大学的学习模式,主动学习意识和学习能力不足,总结归纳和理解分析能力有待提升,需要教师加以指导。

(4) 教师的敬业精神差、水平低。作为基础实验,每学期的课时量很大,有些高校的专职实验课教师不足,需要从其他院系聘请教师和研究生承担实验教学任务。有些外聘教师承担实验教学仅仅为了获得工作量,有些研究生则是为了完成教学实习或有一定经济收入,也有一些专职实验教师升职无望而得过且过,在实验教学上投入不足,导致水平偏低,教学缺乏耐心,因而受到学生的抱怨。

(5) 其他管理方面的问题。包括选课的便捷度、仪器设备完好性、成绩管理等。物理实验作为全校的公共基础课,涉及的教师和实验技术人员多、学生分布面广,实验室及各类仪器设备管理维护环节多,稍有不慎就会出现各类问题,需要在实验室建设、师资队伍建设等方面不断加强,提升课程的管理效率和水平。

上述观点或问题中,前三项主要涉及学生对课程及学习方法的认知、对职业发展的认识和个人价值取向等,可以通过绪论课引导学生正确认识课程,理解学习物理实验课程的必要性,激发内

生动力;同时通过学习方法的指导,帮助学生提升课程学习效果,从而为课程的高质量运行和学生满意度的提升开好局、引好路。

2 绪论课教学内容的调整

调整后的绪论课聚焦三个主题,一是讲清楚什么是物理实验,也就是回答为什么要做物理实验,让学生认识到物理实验的重要性,感受到参加课程学习的必要性,从而产生认同感;另一个是要讲清楚应该怎么学,指导学生通过系统的训练和有效学习,提升获得感、成就感,并对自己的能力建立信心;第三个是让学生意识到数据处理的重要性,掌握误差理论和数据处理的知识和有效、规范的方法,为各个实验项目的数据处理和定量分析打下基础。

为了更有效地聚焦上述三个主题,我们在绪论课中以 AAPT(美国物理教师协会)本科物理实验学习目标(learning outcomes)为主线进行讲解。

2.1 AAPT 本科物理实验学习目标

AAPT 在 2014 年发布的“AAPT 本科物理实验课程建议报告”中,强调了通过物理实验课程,培养学生具备理性思维和逻辑论证的能力和习惯(thinking like a physicist),并提出了本科物理实验的学习目标(图 1):(1)构建知识:观察物理世界并获得客观真实的数据,通过数据分析解释物理现象,从而形成物理世界观。(2)建模:对实验室研究的真实系统进行抽象模型表示,了解其局限性和不确定性,并使用模型进行预测。(3)设计实验:在成本、时间、安全性和可用设备等特定限制条件下,开发、设计并完成实验,以测试模型和验证假设。(4)提升实验技能:在一系列规范的实验测量中熟练使用常用测试设备,同时认识到设备的局限性。(5)数据分析和可视化:使用统计方法分析和展示数据,并批判性地解释这些数据的有效性和局限性及其不确定性。(6)物理的学术交流:基于实验结果支持的合理论据,通过书面和口头形式,呈现客观真实的结果和想法。

在课堂上通过对 AAPT 学习目标的解读,首先让学生认识到物理实验不仅仅是提高实验技能和动手能力,更重要的是培养学生思维能力和掌握解决问题的方法,这也是《理工科类大学物理实

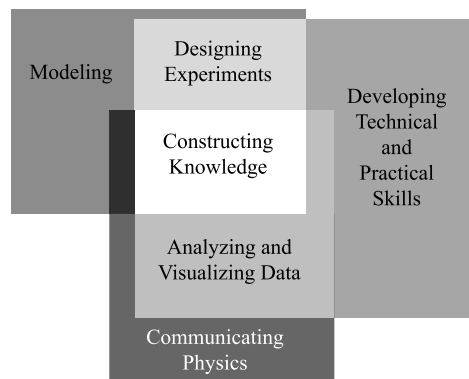


图 1 AAPT 本科物理实验学习目标

验课程教学基本要求》提出的物理实验课程的具体任务:提高学生的科学素养和科学实验基本素质,培养学生的基本科学实验技能,初步掌握实验科学的思想和方法^[4]。

2.2 基础物理实验与未来专业学习的关系

通过物理实验培养学生理性思维和逻辑论证的能力和习惯,其实就是培养学生以物理视角进行观察和思考,掌握综合运用各种知识和技能探求科学问题的方法,在此过程中将为他们提供可转移到自己学科的技能 and 思维过程,因此“物理学是技术社会的通识教育”(liberal arts education)^[5]。

为了更好地帮助学生理解,在绪论课中以 2021 年度全国大学生物理实验竞赛(创新赛)命题类题目“虹与霓设计与再现”进行解读:雨后看到一抹彩虹,有些人对其的关注也就是拍照发朋友圈,有好奇心的人就会提出一系列问题:什么条件下能看到彩虹?为什么看到的两条彩虹(虹与霓)色序是相反的?彩虹都是半个圆弧形的吗?相距很远的两个观察者看到的是同一条彩虹吗……当然要了解彩虹,仅仅具备好奇心还不够。具备理性思维和逻辑论证的能力和习惯、掌握科学研究方法的观察者会在总结观察结果的基础上,对彩虹现象进行分析建模,再把模拟仿真结果与自然现象比对或预测自然现象,以验证模型,或指导实验的设计,制作实验装置再现彩虹现象,再通过实验观察和数据处理完善模型、形成理论总结,并通过口头或书面形式分享自己的研究成果。这一能力对于学生们未来的科学研究起着至关重要的作用。

对于工程技术类专业,满足(客户)需求是目标,包括满足工程项目的需求、工程系统的需求、

工业产品的需求等。分析需求,用科学的语言表达需求(建模),再通过模型的仿真得到理论结果,通过模型指导实验设计和实施以得到实验结果,比较需求、仿真结果和实验结果之间的差异,再优化模型从而指导产品的开发设计生产,经过多次迭代得到满足需求的结果,这一过程是现代工程技术研究的基本方法,与物理实验的学习目标要求高度相似,如图2所示。而随着信息技术的发展,掌握这种方法尤其重要,因为对于许多复杂工业系统来说,开展实验需要耗费大量的人力物力和财力,并有一定的时间周期;真实系统往往由于各种限制,想要测试系统中的所有参数很困难,但是对于模型来说,这个问题的解决可能就很简单,如在模型中增加一个测试点,可以很方便地发现问题的根源。因此基于模型开展研究,通过仿真实验,有助于快速发现问题并提出改进思路。当然,模型与实际系统的很多差异是不可消除的,在关键环节,必须要通过真实实验来验证,模拟仿真可以使得实验在最优化的条件下进行,加快了研究的进度也节约了成本。

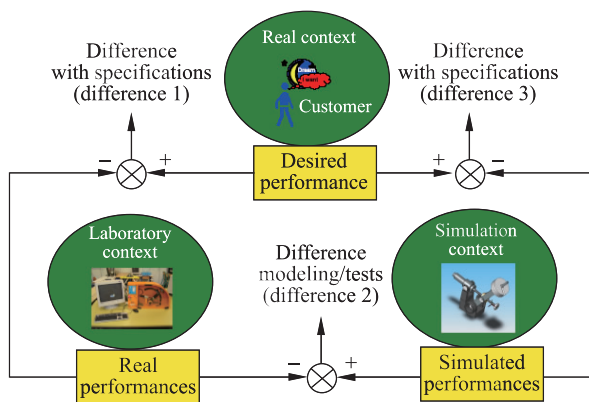


图2 解决复杂工程问题能力训练

计算机技术的发展,计算能力的提高,针对大型系统的仿真实验会变得越来越普遍。因此对于工程技术类专业学生,认识到基础物理实验的学习目标,特别是建模、仿真和数据分析技术是他们未来发展的必备技能,就不再会认为物理实验“没用”,花大量精力也不会感到“不值”了。

2.3 实验项目的解读

指导学生正确的学习方法,让学习目标得到体现和达成,是绪论课的主要任务。除了实验课的基本要求外,围绕科学思想、实验方法,数据处理的要求等,向学生介绍本学期各个实验项目的

特点,让学生有整体认识,有助于提高学生的学习效果。如介绍弹性模量实验时,从光杠杆法测微小形变,到光杠杆法在原子力显微镜中的应用,让学生认识到基础实验的方法也可以在前沿技术中得到应用;光电效应实验中关于光量子最小能量单元、弗兰克赫兹实验关于原子内部存在分立的定态能级、密立根油滴实验关于基本电荷等知识,不仅可以帮助学生了解光的波粒二象性和原子量子化模型,还为后续课程中学习和理解相关物理知识打下基础;波尔共振实验则可以围绕二阶阻尼系统的受迫振动,从机械振动系统、RLC电路的建模给出相同形式的数学表达式,把具体的机械、电子学问题上升到一般性系统问题,并通过模型的仿真预测实验现象,指导从越野摩托车到飞机起落架等各类被动和主动阻尼系统的设计,从而帮助学生理解基础物理实验的方法对工程技术的指导作用;而不同实验也会根据物理规律和数据特点,用列表法、图示法、逐差法和一元线性回归法等对实验数据的处理提出要求,训练数据处理和分析能力,并得到基于数据支持的实验结论。

通过实验项目的总体解读,可以帮助学生认识到各个实验的特点和意义,同时也能感受到对于“没学过”的知识,通过线上课程学习和资料查找,完全可以达到了了解实验背景、理解实验原理的要求,从而对实验项目的安排有更加客观和理性的认识;而指导学生以学习目标的视角,特别是以建模为主线分析各个实验,指导实验的设计、操作和结果分析,可以使得每个实验都达到最佳的训练效果。

2.4 误差理论与数据处理

大多数物理规律是用物理量之间的定量关系来表述的,实验得到的数据只有经过认真、正确、有效处理才能得出公认的、合理的结论^[6];数据处理是一个过程,需要从大量的、可能是杂乱无章的、难以理解的实验数据中抽取并归纳、推导出所得实验结果的定量、规范的表达。因此数据分析是实验过程的一个关键部分,学习误差理论和数据处理是学生开展量化科学研究的基础,是基础物理实验绪论课的必讲内容。

不确定度评定对很多初学者而言往往显得晦涩难懂,需要不断地学习和反复的练习才能掌握,学生们经常有畏难情绪。结合国家标准化委员会出版的“测量不确定度评定和表示”的部分内

容进行讲解,可以让学生们认识到误差与不确定度评定不仅仅出现在物理实验中,在科学研究、工农业生产、工程科技等等领域都有同样的要求,犹如数学在 STEAM 教育中的地位,从而理解学习误差理论与数据处理的必要性。

3 随堂面批实验报告

误差理论和数据处理是很多学生学习的难点和痛点,仅仅通过线上学习和课堂讲解难以充分理解和掌握数据处理方法,需要通过实验训练提升学习效果。为此在绪论课安排了纸张厚度测量实验,实验器材只需直尺和游标卡尺,简单易行;通过实验可以指导学生进行建模和测量方案设计,然后完成测量和数据处理,并把报告交由老师随堂面批。

为贴近工程实际,同时也是为了减小测量误差,实验中要求学生通过每次增加若干页,测量页数增加后的总厚度 d 而非增加量 Δd (如水文观测中,后一个观测者只需记录标尺当时的读数,而不需根据前一个观测者的读数去得到增量);要根据测量次数要求以及课本的总页数,设计初始厚度和每次页码 N 的增加量(考虑测量精度),并以 d , N 和单页纸的厚度 h 作为变量,建立相互之间关系模型的一般式,即不能在公式中出现测量数据;要求用逐差法和一元线性回归法处理数据,并给出包含不确定度的最终结果表达式。

实验看似简单,学生在设计时却会出现很多错误,如把初始厚度设定为零,每次只测量增量等,这种情况下需要让学生明白本实验的目的不是得到纸张的厚度,而是测量和数据处理方法的训练;比较测量数据的相对误差和有效数字让学生体会到初始厚度选择对测量精度的影响,通过不确定度传递公式让学生意识到每次页码 N 的增加量不能太小,从而通过误差处理和不确定度评定,指导学生更合理的设计实验,包括根据测量精度要求选择合适的实验仪器。逐差法和一元线性回归法中数据的选取和变量的选择、不确定度的计算则是数据处理中最容易出现问题的环节,通过当堂面批实验报告,可以即时指出错误并要求学生修改,针对疑点难点展开讨论,可以加深印象从而牢固掌握相关知识。

在绪论课之前,要求学生先通过 MOOC 学习

误差理论相关知识并完成测验。根据学生的线上学习情况,在 4 学时(3 小时)的绪论课中教师的讲解约需 45 分钟。在 15~20 名学生的课堂中,完成实验和数据处理并交给教师面批,此过程约需要 2 小时,最后针对学生在测量和数据处理中出现的共性问题讲解约需 15 分钟。

4 结语

基于《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》,围绕 AAPT 提出的本科物理实验学习目标,利用绪论课向学生解读物理实验的内涵、价值和作用,并对实验课程的学习进行指导,提升课程的教学效果和整体形象,是一条值得探索的途径。

合理利用线上资源,可以有效提升物理实验课程的教学效果,提高教学质量,但对于误差理论和数据处理而言,实践结果表明仅仅利用线上资源很难达到预期目标,需要通过线下课程与实验项目配合来保证数据处理训练的有效性;考虑到数据分析的重要性,宁可从其他方面争取学时,也建议给予足够时间在其他实验开始之前,以绪论课(实验)的形式单独开设。

参 考 文 献

- [1] AAPT recommendations for the undergraduate physics laboratory curriculum[EB/OL]. http://www.aapt.org/Resources/upload/LabGuidelinesDocument_EBendorsed_nov10.pdf
- [2] 霍剑青. 大学物理实验课程教学基本要求的指导思想和内容解读[J]. 物理与工程, 2007, 17(1): 5-9.
HUO J Q. Comprehension of the guidance idea and content of the basic requirement for college physics experiment course[J]. Physics and Engineering, 2007, 17(1): 5-9. (in Chinese)
- [3] 教育部高等学校教学指导委员会通讯 2012 年第 4 期[EB/OL]. https://www.edu.cn/edu/cooperate/crct/Apr2012/xsjs/201204/t20120406_762557_1.shtml (2012-12-28)
- [4] 教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会.《理工科类大学物理课程教学基本要求理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2010 年版)》[M]. 北京:高等教育出版社, 2011:1-8.
- [5] PIMBLEY J M. Physicists in Finance[J]. Physics Today, 1997, 50(1): 42-46.
- [6] 复旦大学物理教学实验中心[EB/OL]. <http://phylab.fudan.edu.cn/doku.php>