

大学物理课程中理论与实验深度结合的教学模式探究

何 斌

(西湖大学理学院, 浙江 杭州 310030)

摘 要 大学物理与大学物理实验作为理工科人才培养的核心基础课程,其教学模式的系统性改革对提升学生科学素养与创新能力具有重要意义。针对当前国内高校普遍存在的理论教学与实验训练关联不足的问题,西湖大学借鉴国内外高校的经验,尝试了将大学物理与大学物理实验深度结合的教学模式,其创新点主要体现在三个方面:第一,课程体系重构(学分联动、内容同步);第二,实验结构创新(模块化仪器、分组协作);第三,评价机制改革(交叉赋分、双向考核)。本文介绍了西湖大学实施此教学模式的具体实践,以期同类高校大学物理教学改革提供可复制的实施方案。

关键词 大学物理;大学物理实验;教学改革;课程整合;评价机制

DOI: 10.27024/j.wlygc.2025.09.05.01

INVESTIGATING A TEACHING MODEL WITH COMPREHENSIVE INTEGRATION OF THEORY AND EXPERIMENTS IN GENERAL PHYSICS

HE Bin

(School of Science, Westlake University, Hangzhou, Zhejiang 310030)

Abstract General Physics and General Physics Laboratory are foundational courses for fostering expertise in the fields of science and engineering. Comprehensive reform of pedagogical methodologies is critical for enhancing students' scientific literacy and innovative capacities. Recognizing the prevalent disconnect between theoretical instruction and experimental training in many Chinese universities, Westlake University has drawn on insights from leading global institutions to develop an innovative teaching model that cohesively merges these two courses. Key innovations in this model include: (1) restructuring the curriculum to achieve credit alignment and content synchronization; (2) redesigning experimental frameworks to incorporate modular instrumentation and facilitate collaborative group work; and (3) implementing a reformed assessment system that features cross-crediting and bidirectional evaluation. This paper provides a thorough analysis of Westlake University's implementation of this model, offering a replicable framework that can inform similar reforms in General Physics education at other institutions.

Key words general physics; general physics laboratory; teaching innovation; curriculum integration; assessment system

收稿日期: 2025-06-04

通信作者: 何斌, hebin@westlake.edu.cn。

引文格式: 何斌. 大学物理课程中理论与实验深度结合的教学模式探究[J]. 物理与工程, 2026, 36(1): 53-58.

Cite this article: HE B. Investigating a teaching model with comprehensive integration of theory and experiments in general physics[J]. Physics and Engineering, 2026, 36(1): 53-58. (in Chinese)

大学物理(General Physics)是国内外高校为理工专业开设的一门物理基础课。这门课程主要面向非物理专业的理工科学生,其主要目的为在微积分的基础上教授力学、热学、电磁学、光学以及近代物理学的基础内容。大学物理被大多数理工专业列为必修的基础课,对于培养学生科学素养、训练学生掌握科学方法具有重要意义。

为了系统训练学生的实验技能,各高校还开设了大学物理实验课(General Physics Laboratory)。通过一系列的物理实验,学生可以熟悉科学实验仪器的原理和操作,加深对物理规律及科学实证精神的理解,提高记录和分析数据以及规范撰写科学实验报告的能力,为将来从事科研工作打下坚实基础^[1]。

作为理工基础课,大学物理和大学物理实验在我国高等教育体系中具有悠久的历史传承。随着信息技术的快速发展和“新工科”建设的深入推进,许多高校对这两门课的教学模式^[2]、评价体系^[3]、实验平台^[4]等进行了大胆的改革创新。本文主要介绍西湖大学在借鉴国内外经验的基础上,构建的将理论课与实验课深度结合并相互促进的教学模式。

1 实验课与理论课平行开设,赋分相同

国内大部分高校将大学物理和大学物理实验设置成两门相对独立的课程,并且大学物理实验涉及的内容与大学物理的关联度往往不高,因此学生可分别选修这两门课^[5]。美国的大部分高校并不会设置大学物理实验这门单独的课,而是将其整合成大学物理这门课的一个实验元素。学生在选课系统里注册大学物理这门课时,必须同时注册一个实验班(lab section),因此,学生的成绩单上只显示大学物理这一门课,而没有单独的大学物理实验课。大学物理课程的最终成绩计算中,实验部分的分数会按一定权重计入总成绩。当学生完成整个课程的理论和实验部分后,成绩单上只显示大学物理这门课的成绩。学生在申请后续的研究工作时,其他机构会根据成绩单默认学生在大学物理课中已经得到了实验的训练。

西湖大学沿袭国内传统,设置了大学物理和物理学实验两门课。大学物理(上)(下)各为4学分,物理学实验1和实验2各为1.5学分(3学时)。在此基础上,西湖大学借鉴了美国高校的做

法,把物理学实验整合为大学物理这门课的实验元素。在学生选课系统中将这两门课强制关联,要求学生必须同时注册这两门课。例如,当学生注册大学物理(上)的时候,系统会提示学生需同时注册物理学实验1,并且学生在两门课程最终获得的成绩也是一致的。具体操作为,在计算大学物理课程成绩时,学生在实验课上的分数按一定权重计入总成绩(当前标准为20%),最后再将大学物理课的成绩直接赋给学生的物理学实验课。例如,某学生选修了大学物理(上)和物理学实验1,该学生在实验课上取得的原始分数为95分(百分制)。这个分数按20%的权重计入大学物理课成绩,算得课程成绩为B。该学生大学物理(上)与物理学实验1的最终成绩均为B。

2 实验课设计与理论课内容紧密结合

美国高校将实验课整合为大学物理课的一个实验元素,其主要目的在于将实验训练与理论学习紧密结合,在实验课上及时验证理论课上教授的物理概念和规律,以帮助学生加深对所学物理知识的理解^[6]。因此,西湖大学的物理学实验课的设计与安排,与大学物理课的讲授内容保持高度一致。例如,大学物理(下)讲授的主要内容为电磁学和光学,2025年春季学期开设的物理学实验2安排如表1所示。一共安排12个实验,其中5个为电学实验,4个为磁学实验,3个为光学实验。实验主题均为学生在理论课上所学的内容。实验从第三周开始,确保学生在参与实验之前已在理论课上学过了相关内容。

表1 2025年春季学期物理学实验2

Lab	Topic
1	Electrostatic Charges
2	Resistivity
3	Capacitance
4	Kirchhoff's Circuit Laws
5	RC Circuit
6	Ampere's Law
7	Magnetic Fields of Coils
8	Faraday's Law
9	LRC Circuit
10	Light Intensity vs. Distance
11	Polarization of Light
12	Interference and Diffraction of Light

这种模式的优势主要体现在两方面:一个优势体现在教师方面,大学物理教师会同时参与理论课和实验课的教学,因此很清楚学生在理论课的学习进度,在实验课上无须花费大量时间讲解所需要的理论知识,可以将更多的时间留给学生;另一个优势体现在学生方面,学生在理论课上所学到的物理理论,可以及时地在实验课中进行验证,进一步加深对理论知识的理解,同时也为学生提供了一个将物理理论应用于真实实验中的机会。例如,大学物理(上)后期的热学部分,会讲解不同的热力学过程以及计算热机效率等相关知识。我们在这个时段安排了一个热机的实验^①。在这个实验中,学生将搭建一个非常简易的热机。如图1所示,中间的小型热机里有一个可上下移动的活塞,热机通过一段塑料管与左侧带封闭活塞的铝杯连接。首先,准备两个不同温度的水浴作为热源和冷源,将部分空气封闭在热机与铝杯内,然后将铝杯依次放入热源和冷源中。在这个过程中,气体会推动热机中的活塞,对热机上方的



图1 热机实验装置

重物进行做功。学生在实验过程中通过不同的传感器实时监测水浴温度、气体压强以及重物的移动距离,从而得出整个热机循环的 p - V 图。图2是一组学生在实验中得到的 p - V 图。

实验步骤并不复杂,大多数学生都能很快完成,并得到较为理想的 p - V 图。接下来,学生需要根据 p - V 图将这个热机的效率计算出来,而这一过程通常需要一到两个小时。尽管学生在理论课上解过大量计算热机效率的题目,但这些题目大多是设计规范,模式化的题目。题目中所涉及的热力学过程和物理量都会明确地给出,学生只需按部就班套用相应公式即可解出答案。但是在这个真实的实验中,学生需自行判断 p - V 图中每个过程分别属于或近似于哪一类热力学过程,进而决定每个过程如何计算吸收和释放的热量,对外界做的机械功,以及如何利用 p - V 图找到整个计算过程中所需的全部物理量。事实证明,这个实验是一个非常好的训练过程。学生在分析过程中会和教师以及其他同学进行大量讨论,不少同学还会对每个过程进行细致的分析,对其是否可以被简单地认定为某个理想热力学过程提出疑问,并给出各种不同的意见和想法。这个实验不仅能帮助学生加强对相关理论的理解,而且相比于理论课上由教师主导的教学形式,实验中全程由学生主动提出问题并相互讨论,教学效果显著提升。

3 两人一组,合作完成实验

国内高校的大学物理实验课,每个实验室的人数大约在 10~20 之间,学生通常单独进行实验,教师在必要时提供帮助。这种模式的优点是确保每个学生都能完整地完

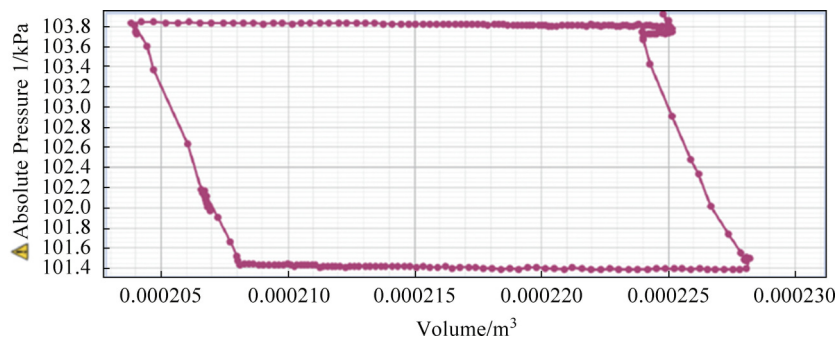


图2 热机实验中得到的 p - V 图

^① <https://www.pasco.com/products/complete-experiments/thermodynamics/heat-engine-cycles-experiment>

是学生之间互动较少,缺乏合作。目前教育容易因过于强调个人能力,过分突出个人与其他人的竞争关系,而忽视了学生与他人合作能力的培养。然而,团队合作能力在学生将来的职业生涯中是非常重要的能力。有鉴于此,西湖大学采用了分组实验的模式。每学期初,学生需要找到一个合作者,两人组成一个实验组,在整个学期以组为单位共同完成实验。实验过程中,教师鼓励组内成员分工合作,根据个人能力合理分配工作内容。当学生遇到问题需要帮助时,教师更鼓励他们与其他组互相交流沟通,而不是直接帮助学生解决问题。经过观察发现,这种模式下的实验课,学生在课上的参与度非常高,全程都有大量的交流和讨论,对学生的团队合作能力以及沟通能力有极大的提升。

4 所有实验在同一实验室进行

国内高校的大学物理实验课面临的一个难题是选课人数众多,而教师人数有限。通常情况下,一个学期由几十名教师教授几千名学生,采用的是轮转实验室的模式。每个实验都有独立的实验室,实验系统事先组装好,固定在实验台上不会移动。学生每次做不同的实验会前往相应的实验室,每次指导实验的教师也不同。这样才能确保在教师人手有限的情况下,满足所有学生对实验课的需求。西湖大学的招生规模较小,因此我们借鉴了美国大部分高校采用的固定实验室的模式,每个学期的实验都安排在同个实验室。学生每次做实验去的都是固定的实验室,整个学期面对的是同一位教师,更有利于学生与教师建立紧密的联系和互动。

5 实验仪器模块化,学生自主搭建

西湖大学的物理学实验室建设面积约为 100 平方米,每个实验室配备 6 张 2 米×1.5 米的实验桌,每张实验桌可容纳两组学生。实验室两侧设有收纳柜,用来存放实验器材。这样,每个实验室最多可容纳 24 名学生。如前所述,每个学期的所有实验都安排在同个实验室。物理学实验 1 和 2 的实验室分别命名为力学与热学实验室,电磁学与光学实验室。

实验室大部分实验仪器从美国的 PASCO 公司采购^①,该公司采用的是模块化的设计理念,实验仪器体积小,集成度高,各仪器之间的适配性强,多数仪器可在不同实验中复用。例如,转动传感器(Rotary Sensor)在 2 个力学实验、3 个电磁学实验以及 3 个光学实验中都有使用。这种模块化的设计优势之一是精简实验仪器的数量,减少收纳空间,使我们能够在一个实验室中收纳并且教授 12 个实验。

模块化的实验仪器体现在教学中的优势在于,学生可以自主搭建实验系统。国内传统高校由于面向的学生数量庞大,大部分实验系统都是预先搭建好的,学生经常与组装好的“黑匣子”打交道。在西湖大学的物理学实验课上,教师只提供此次实验需要的部件和实验手册,学生需要按照指导自行将整个实验系统搭建起来,再进行数据的测量。PASCO 的数据传输主体设备是 850 接口^②,可以连接各种有线和无线的传感器,实时测量不同的物理量。数据分析则使用 PASCO 自行开发的 Capstone 软件^③。学生在个人电脑上安装 Capstone 软件,将电脑与 850 接口连接,即可直接在电脑上实时观测和分析采集的数据,无须借助第三方的设备和软件来显示和处理实验数据,极大地提高了实验的效率。

这种实验模式不仅有效地锻炼了学生的动手能力,还能够帮助学生了解整个实验的底层逻辑,以及如何用相应的仪器测量每个基本的物理量。学生在不同实验中重复使用相同的模块化仪器,也减少了学习新仪器的时间,可以将更多的时间和精力投入到实验操作和数据采集分析中,进一步提高了实验教学的效率。

6 实验促进理论学习,考试结合实验内容

大学物理的理论课和实验课的内容高度关联。因此,教师不仅能通过课堂讲授,还能在实验过程中关注学生对相关理论的理解。如果在实验中发现学生对某些理论的理解不足,教师可以及

① <https://www.pasco.com/>

② <https://www.pasco.com/products/interfaces-and-data-loggers/850-universal-interface>

③ <https://www.pasco.com/downloads/capstone>

时和学生进行讲解和讨论。由于我们的大学物理教师同时参与理论课和实验课的教学,如果在实验中发现大部分学生存在某些类似的问题,教师还可以在理论课上再次强调和讲解,促进学生对相关理论的进一步理解。

与此同时,我们还尝试在理论课的考试中加入与实验相关的题目,在实验的框架下考查学生对相关理论的掌握情况。大多数高校的大学物理实验课并不设置考试,其困难之处主要在于实验考试的操作要求较高,评判较为复杂,而且需要全程观察记录每个学生的实验过程,耗时量大,无法做到像理论课一样让大量学生同时进行笔试。因此,实验课的分一般区分度不高。如前所述,西湖大学的大学物理理论课与实验课高度结合的教学模式,使得教师可以在实验中观察学生对理论的掌握程度,并在理论课上有针对性的再次强调和讲解,进一步加深学生对所学知识的理解。在此基础上,我们还尝试在理论课的考试中加入与实验相关的题目。这种考核方式并不需要学生额外投入大量时间复习实验课的内容,但是学生必须对相关实验过程和结果理解得非常透彻。教师在考试前也会告知学生考试中会有和实验相关的题目。我们不希望给学生加重学习负担,考查的也不是对实验步骤的记忆,而是结合实验来考查学生对相关知识的理解。

例如,在 Electrostatic Charges 这个实验中^①,有一个步骤是使用法拉第冰桶 (the Faraday Ice Pail) 验证静电感应。学生使用的实验器材如图 3 所示,静电计 (Electrometer) 接在法拉第冰桶的内壁和外壁测量内壁和外壁的电势差,从而推导出内外壁上电荷的变化;头部带有白色和黑色圆盘的起电棒 (Charge Producers) 用于摩擦产生电荷。

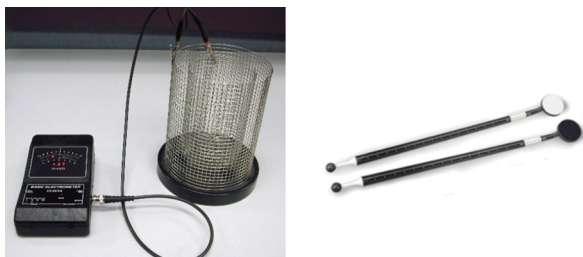


图 3 静电感应实验装置

验证静电感应的实验分为以下几个步骤。

(1) 将两根起电棒头部的圆盘互相摩擦,使其带上相反电荷。

(2) 将带白色圆盘的起电棒放入桶中,记录静电计的读数。

(3) 保持起电棒在桶内,学生先用手指将内壁和外壁导通,然后移除手指并记录静电计的读数。

(4) 将起电棒从桶中取出,再次记录静电计的读数。

(5) 用带黑色圆盘的起电棒重复此实验。

实验中,出乎意料的是,大部分学生对于第三步的理解不够清晰。尽管学生在理论课上做过类似的题目,但是在实际操作中,他们都无法解释第三步中法拉第桶内外壁电荷分布的变化,以及导致的静电计读数变化。我们意识到理论课题训练仅让学生们记住了结论,学生遇到类似题目能快速写出答案,但是对其中的物理原理并没有理解透彻。因此,在接下来的理论课中,我们结合该实验,对静电感应再次进行了针对性的讲解和分析,确保学生真正理解其中的物理原理,而不仅仅是记住了结论。在接下来的期中考试中,我们编写了一道题目,描述了这个静电感应实验,并给出了一份典型的实验数据,要求学生根据实验数据解释整个过程中电荷分布的变化,以及背后的物理原理。通过实验发现学生的知识盲点,再返回到理论课上结合实验进行强调和讲解,最后在考试中进行针对性的考核,这种理论和实验深度结合的方式可以全方位地帮助学生理解所学的物理知识。

7 结语

大学物理与大学物理实验作为理工科人才培养的核心基础课程,其教学模式的创新对于提升学生的科学素养、实践能力和创新思维具有重要意义。西湖大学在借鉴国内外先进经验的基础上,构建了理论教学与实验训练深度结合的新型教学模式,通过课程体系重构、实验方法创新和评价机制改革,实现了理论课与实验课的有机结合与相互促进,具体体现为以下三点:第一,通过学

^① <https://www.pasco.com/products/complete-experiments/electromagnetism/electrostatic-charge-experiment>

分联动和选课系统强制关联,建立了理论课与实验课的系统性耦合机制,解决了传统教学中两门课程缺乏关联的问题。第二,采用模块化实验仪器和分组协作模式,不仅提升了学生的动手能力和团队合作意识,还通过自主搭建实验系统加深了学生对物理原理的理解。第三,实施交叉赋分和双向考核机制,使实验表现能够科学地反映在课程总评中,强化了实验教学的重要性。我们相信通过理论与实验深度结合的教学模式,可以促进“理论-实验-应用”的螺旋式学习闭环,全面提升学生的学习体验和效果。

参 考 文 献

- [1] 教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会. 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(2023年版)[M]. 北京:高等教育出版社,2023: 5-16.
Teaching Guidance Committee for University Physics Courses in Higher Education Institutions of the Ministry of Education. Basic requirements for Physics teaching in Science and Engineering Universities (2023 edition)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2023: 5-16. (in Chinese)
- [2] 魏斌, 李岩松, 安宇, 等. 人工智能赋能大学物理课程教学的探索和实践[J]. 物理与工程, 2025, 35(2): 241-249.
WEI B, LI Y S, AN Y, et al. Research on artificial intelligence-assisted college physics teaching[J]. Physics and Engineering, 2025, 35(2): 241-249. (in Chinese)
- [3] 张晓锋, 王青, 戴剑锋. 大学物理在线教学中非标准化考核模式的探索与实践[J]. 物理与工程, 2021, 31(4): 64-68.
ZHANG X F, WANG Q, DAI J F. Exploration and practice of non-standardized assessment model in university physics online teaching[J]. Physics and Engineering, 2021, 31(4): 64-68. (in Chinese)
- [4] 顾晨, 张留碗, 魏斌, 等. 清华大学 H5 数值仿真物理实验建设[J]. 物理与工程, 2022, 32(4): 125-130.
GU C, ZHANG L W, WEI B, et al. Construction of H5 numerical simulation experiment of physics in Tsinghua University[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(4): 125-130. (in Chinese)
- [5] 王亚伟, 乐永康, 钱飒飒, 等. 大学物理、大学物理实验两门课程现状调查报告及总结[J]. 物理与工程, 2016, 26(4): 45-54, 57.
WANG Y W, LE Y K, QIAN S S, et al. Investigation report and summary on present situation of college physics and college physics experiment courses in China[J]. Physics and Engineering, 2016, 26(4): 45-54, 57. (in Chinese)
- [6] American Association of Physics Teachers. AAPT Recommendations for the Undergraduate Physics Laboratory Curriculum [EB/OL]. http://www.aapt.org/Resources/upload/LabGuidelinesDocument_EBendorsed_nov10.pdf.