

大学物理实验课程的通识教育探究 ——以“拉伸法测定弹性材料的杨氏模量”为例

张晓磊^{1,2} 张钰伊¹ 尹亚玲² 陈丽清²

(华东师范大学¹精密光谱科学与技术国家重点实验室;

²物理与电子科学学院物理实验教学中心,上海 200241)

摘要 “大学物理实验”课程是理工科学生较早接触的实验操作类课程,涵盖了力学、热学、电学、磁学、光学等多个分支领域。华东师范大学大学物理实验教学团队在实验教学中坚持将学科知识和通识元素有机融合,将综合育人的理念贯穿始终。本文以“拉伸法测定弹性材料的杨氏模量”为例,从“实验背景、目标要点、通识融入、案例挖掘”入手,探讨如何在大学物理实验教学过程中实施通识教育,以期兼顾“授业解惑和传道育人”,践行立德树人的教育初心。

关键词 大学物理实验;通识教育;杨氏模量

EXPLORATION OF GENERAL EDUCATION OF COLLEGE PHYSICS EXPERIMENT COURSE —TAKING “DETERMINATION OF YOUNG’S MODULUS OF ELASTICITY BY TENSILE METHOD” AS AN EXAMPLE

ZHANG Xiaolei^{1,2} ZHANG Yuyi¹ YIN Yaling² CHEN Liqing²

(¹ State Key Laboratory of Precision Spectroscopy;

² School of Physics and Electronic Science, East China Normal University, Shanghai 200241)

Abstract “College Physics Experiment” is the earlier experimental operation course what the science and engineering students usually first learn. It covers many branches of physics, such as mechanics, thermodynamics, electricity, magnetism, optics and so on. The physics experiment teaching team of East China Normal University perseveres in effectively integrating general education into the subject knowledge in experimental classes, implementing the concept of comprehensive education through the entire process. In this paper, “Determination of Young’s modulus of elasticity by tensile method” serves as an example showing how to develop general education in the college physics experiment teaching, via experimental background, key objec-

收稿日期: 2023-09-07

基金项目: 华东师范大学“人类思维与学科史论”通识教育课程建设项目;2019 年上海高校课程思政领航计划(重点改革领航学院);2022 年度华东师范大学课程思政示范课培育项目。

作者简介: 张晓磊,华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室副教授,xlzhang@admin.ecnu.edu.cn。

通信作者: 尹亚玲,华东师范大学物理与电子科学学院物理实验教学中心副教授,ylyin@phy.ecnu.edu.cn。

引文格式: 张晓磊,张钰伊,尹亚玲,等. 大学物理实验课程的通识教育探究——以“拉伸法测定弹性材料的杨氏模量”为例[J]. 物理与工程,2024,34(2):87-91,97.

Cite this article: ZHANG X L, ZHANG Y Y, YIN Y L, et al. Exploration of general education of college physics experiment course—Taking “determination of young’s modulus of elasticity by tensile method” as an example[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(2): 87-91, 97. (in Chinese)

tives, general education integration, and excellent cases. It is expected to provide valuable teaching experiences to balance the “imparting professional knowledge, resolving doubts” and “propagating the doctrine, educating people”, adhering to the original intention of fostering virtue through education.

Key words college physics experiment; general education; Young’s modulus

通识教育是高等教育的必要组成部分,是造就具备远大眼光、通融识见、博雅精神和优美情感的人才的高层文明教育和完备的人性教育^[1]。“大学物理实验”课程是物理专业的基础课程之一,是很多理工科院系在本科阶段较早开设的实验操作类课程,学期多、学时长、参与面广,涵盖力、热、电、磁、光等多个分支领域;非常适合通识理念的融入,引导学生在巩固知识、熟悉方法、训练技能的同时,树立忠诚爱国的家国情怀、养成自主独立的学习习惯、提升理性务实的专业素养、秉承严谨求真的学术道德、淬炼辩证反思的创新精神、践行格物致知的智慧思想。物理实验课程的学科知识和通识元素有机融合,有助于知行合一的智慧创获,有助于务实求真的态度养成,有助于探究求索的思维训练,有助于正心修身的品性陶冶,有助于民族复兴的使命担当。

目前,物理实验中通识元素的挖掘主要涉及学科历史、思想渊源,学者品质、研究特点,领域前沿、学科短板,知识延展,思维内涵等^[2-8]。但如何避免脱离学科知识的“生硬牵强”“刻板机械”,落实通识内容的“融盐入汤”“润物无声”,除了政策上的引导鼓励和推进落实,还需要一线教师在通识意识、精神风尚,学术水平、人文素养,教学方法、课例设计等方面不断地学习和提升。尤其是如何在具体的实验课堂中以学生乐于接受的方式,行之有效地兼顾“授业解惑和传道育人”,仍值得教育工作者更加深入地思考和探索。

为此,本文以华东师范大学“大学物理实验”中的“拉伸法测定弹性材料的杨氏模量”实验为例,从实验背景、目标要点、通识融入、案例挖掘等方面,探讨如何将通识理念融入大学物理的实验教学,以期为理工科实验教学科学地开展通识教育提供一定的借鉴和参考。

1 实验背景和目标要点

“拉伸法测定弹性材料的杨氏模量”实验教

学,可以从杨氏模量的“定义概念”“适用条件”“基础意义”“应用价值”“测量理念”“实验方法”等实验背景出发,明确实验课程“理论巩固”“操作训练”“设计改进”“习惯培养”“精神熏陶”“思维拓展”等目标要点。

1.1 实验背景

杨氏模量,因英国物理学家托马斯·杨于1807年定义了材料力学中的弹性模量概念而得名;描述了弹性限度内,弹性体材料抵抗外力产生形变的能力,是机械设计和材料性能测试中必须考虑的重要的力学参量,数值上等于产生单位应变的应力;基于光杠杆放大的拉伸法,是测定材料杨氏模量常用的方法。具体方法如下(图1):原长为 L 、截面积为 S 的、粗细均匀的金属丝,下端砝码托盘上增加负载 F 之后,钢丝伸长 ΔL ,光杠杆后足 C 随之下移距离 ΔL ,在金属丝的弹性限度内,应力 F/S 与相关应变 $\Delta L/L$ 成正比,比例系数 E 即为该金属丝的杨氏模量。如图1所示,光杠杆镜面连同横架一起绕前两足 A 、 B 连线转过一微小角度 θ ,从望远镜中能清楚地看到平面镜反射的直尺读数变化 $y-y_0$;当 θ 很小时,可由几何关系得出 $\Delta L = \frac{K}{2D}(y-y_0)$,其中, D 为直尺与光杠杆的距离, K 为光杠杆前后足间的垂直距离。如此,不易测量的 ΔL 即可通过易测量的 K 、 D 以及反射镜中的直尺读数间接获得,进而得出杨氏模量 E 值^[9]。

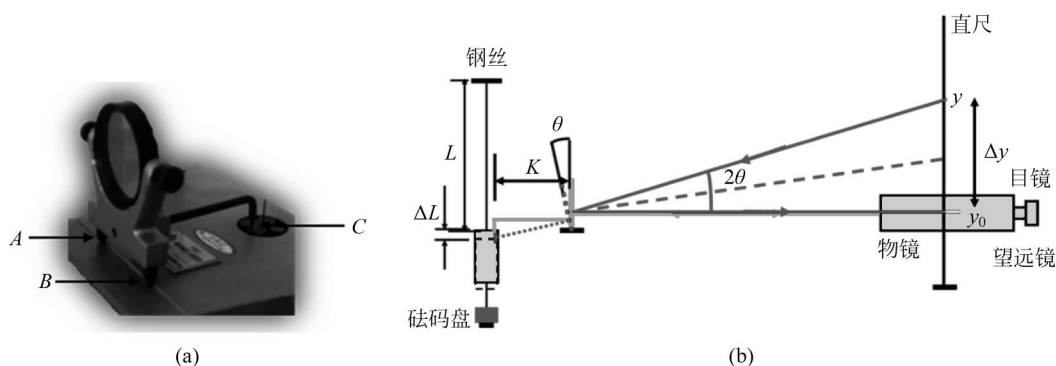
1.2 目标要点

(1) 指导学生掌握光杠杆的放大原理和实验的具体流程,在熟悉步骤的基础上细致耐心地完成每个操作;

(2) 在学生了解“化难为易”物理测量思想之后,引导其对现有实验提出反思和改进设想;

(3) 规范学生在实验中养成准备充分、条理清晰、细心严谨、实事求是的科研习惯;

(4) 适时融入历史传承、科技发展、学者风范,在潜移默化中增进学生的学科认同和思想

图1 光杠杆结构图(a)和放大原理图(b)^[9]

共鸣；

(5) 在学生充分掌握实验的基础上,将实验中的杠杆理念拓展到学科分支领域,引发学生的思维热情和创新视点。

2 通识融入和案例挖掘

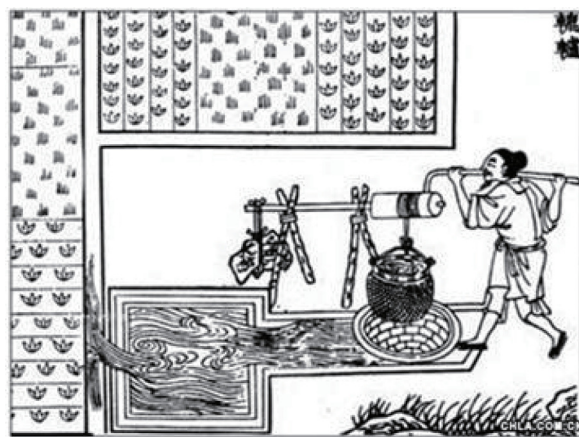
2.1 历史回溯

习近平总书记曾多次提到中国人的“文化自信”,指出:“在 5000 多年文明发展中孕育的中华优秀传统文化,在党和人民伟大斗争中孕育的革命文化和社会主义先进文化,积淀着中华民族最深层的精神追求,代表着中华民族独特的精神标识。”物理实验课程中也可以发掘出中国传统的文化元素;老师可以在介绍“光杠杆”的原理时,引入“杠杆”的溯源,从《墨经》“本短标长”的权衡之器、《乐府诗集》“烽微桔槔远,桥峻辘轳难”的汲水工具(图 2),展现中国古代劳动人民的伟大智慧。

此外,在经典物理发展史上,力学杠杆和库仑扭秤启迪了卡文迪许扭秤的诞生。阿基米德曾想过利用力杠杆撬动地球,而卡文迪许则利用光杠杆称量地球,他精妙地利用了转化与放大的思想,使得扭秤的大、小球之间微小的万有引力得以呈现。具体做法是将力转化为力矩,并利用平面镜的转动,得到二倍角变化的反射光线,再增大镜与标尺的间距,实现微小变化的显著放大,从而有效提高测量精度;后人根据其结果得出地球的质量以及万有引力常数 G 值。拉伸法测定杨氏模量所用的光杠杆(图 1)正是源于卡文迪许扭秤的方法。

2.2 先进技术

光杠杆的转化与放大,不仅在卡文迪许称量地球、拉伸法测定杨氏模量等实验中发挥精度优



(a)

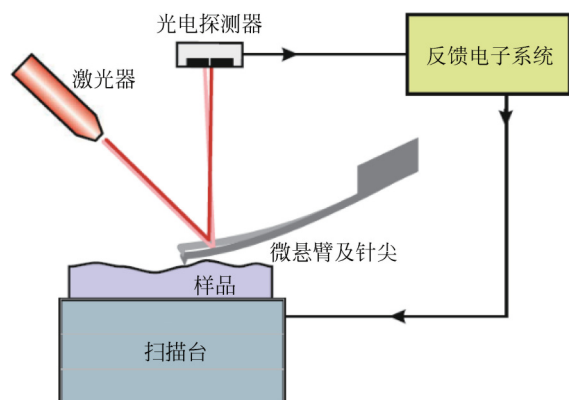


(b)

图2 中国古代的汲水工具

(a) 元 王祯《农书》中的辘轳; (b) 清《耕织图·灌溉》中的桔槔

势,而且能够在现代精密科学仪器中充当不可替代的核心组件。比如物理学家基于“杠杆思维”的放大理念,利用光杠杆实现原子力显微镜(AFM)在微纳尺度的精密测量(图 3)。

图3 AFM工作原理图(借助光杠杆放大)^[10]

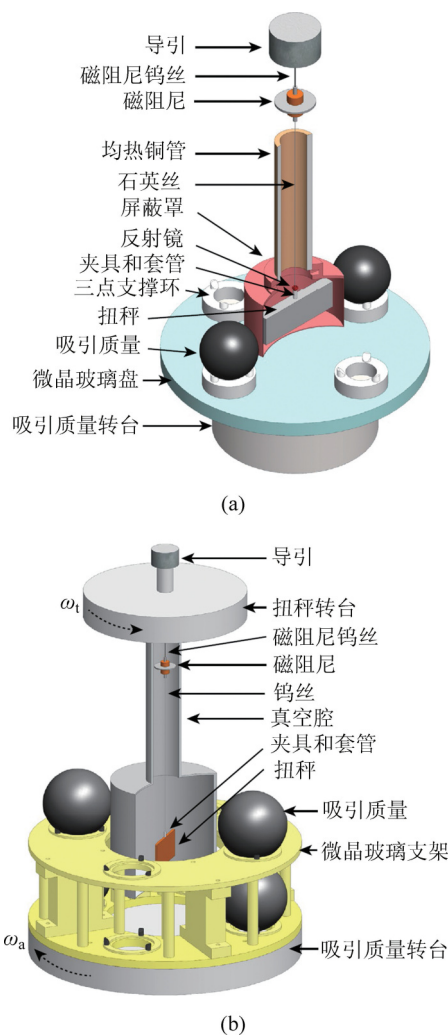
当纳米针尖在样品表面扫描时,针尖和样品间的相互作用会导致微悬臂发生形变;激光照射到悬臂上,基于光杠杆原理,其反射光斑的位置变化给出样品表面信息,实现微纳尺度表征。

2.3 前沿科学

前沿科学,尤其是中国顶尖成果的引入,不仅能够打破单一实验的视域局限,体现学科的时代价值,更能够提升学生的专业认同,增强学生的使命信仰。

近年来,物理测量的放大思想在宇观尺度的研究中大放异彩。比如2017年的诺贝尔物理学奖授予了对直接探测引力波作出杰出贡献的三位科学家,他们构思和设计的引力波天文台LIGO,就是借助两台配置4公里长直线管道的大型干涉仪,利用镜子之间多次反射的激光束延长光程,测量出两支干涉臂的长度变化,从而放大时空中的拉伸或收缩。

中国的科学家也没有缺席引力波的探测,与LIGO关注的短时间、爆发型引力波不同,中国科学院罗俊院士主持的“天琴计划”,其探测对象是可以持续验证的、低频段的连续型引力波。在项目实施的基础阶段,2018年,罗俊院士团队利用开发的精密扭秤技术,分别以扭秤周期法和扭秤角加速度反馈法(图4),测出相对差约为0.0045%的两个不同 G 值^[11],被当期的《自然》杂志评论为:“通过两种方法测出的 G 值的相对误差达到了迄今最小”,入选了当年“中国科学十大进展”,并于次年写入我国普通高中物理教材。2022年3月,罗俊院士在参加十三届全国人大五次会议期间,接受采访时表示我国首次使用国产自主卫星“天琴一号”测量获得全球重力场数据,使我国成为世界上

图4 罗俊院士组测定万有引力常数^[11]
(a) 扭秤周期法; (b) 扭秤角加速度反馈法

能自主探测全球重力场的三个国家之一。

2.4 学者风范

无论是当年的托马斯·杨,还是如今的罗俊院士,其成果的取得无不经历了曲折的求索和信念的执着,其中蕴含的学者风范值得青年学生景仰和学习。

我们知道,除了杨氏模量,托马斯·杨还以杨氏双缝干涉实验而驰名。其实,当初他以此证明光的波动性时,因为有悖于牛顿的光的微粒说,一度被学界权威轻视和讥讽,使光学史上这一划时代成果被压制近20年。但托马斯·杨并未屈服于权威,而是忠于真理、敢持异见,他在《声和光的实验和探索纲要》一书中,写道:“尽管我仰慕牛顿的大名,但是我并不因此而认为他是万无一失的。我遗憾地看到,他也会弄错,而他的权威有时甚至

可能阻碍科学的进步。”正如《思维简史》中所言：“科学是成见和权威的天敌……要想取得革命性的突破，必须具备公然对抗人人都相信的事实意愿，并能用可信的新观念替代旧观念。”这种突破和对抗无不蕴藏着超越常人意志的不易和坚持。

罗俊院士精确测量万有引力常数 G 的艰辛，也能让我们感受到科学家刻苦钻研的精神。虽然 G 值的测量原理从卡文迪许时代已经明确，但高精度的提升需要极其繁琐、苛刻的条件，比如恒温、隔振、电磁屏蔽等。研究初期的 10 多年，罗俊院士几乎每天都在不见阳光的山洞实验室中坚守 10 多个小时；经年累月的阴暗环境，导致其脱发过半、皮肤受损，感冒发烧更是寻常。这一研究也经历了 30 年，最终获得的精度之高，“相当于在一个 1 米杆的一端，放上一粒灰尘千万分之一的重量，也能测量出来”。可见，科学成就的获得既需要高深的学术造诣，也离不开耐得住寂寞、守得住冷清的探索情怀。

2.5 思维拓展

《高等学校课程思政建设指导纲要》指出，“理学类专业课程，要注重科学思维方法的训练……”，“专业实验实践课程，要注重学思结合、知行统一，增强学生勇于探索的创新精神、善于解决问题的实践能力”。这对于物理实验课程来说，尤为重要。

实验课，不是将实验讲义当作说明书机械地模仿，而是应该在技能训练的同时体现思维拓展的价值。老师可以鼓励和引导学生从常规式设计中反思不足，从验证型实验中追问未知，从类似性原理中凝练思想，从章程化操作中领悟规范。教学中可以引导学生思考一些延展性的问题，比如：

师：如何改进设计使得光路更易调节？

生：可以在佩戴护目镜的情况下，像 AFM 的工作方式一样，利用激光笔使得反射光易见；或者直接用激光笔代替反射镜，通过光斑读取标尺数值。

师：除了拉伸法之外，还有哪些可以测量弹性模量的方法？

生：拉伸法是基于定义，静态测量杨氏模量的方法；可以查阅文献，了解脉冲激振法、声频共振法、声速法等方法的原理和特点。

师：所学的其他物理实验中是否也有转化、放

大的思想体现？

生：表面张力系数的测定，涉及微小力的测量，需要结合力敏传感器将不易测的力信号转化为易读的电压信号。

思维训练有助于学生参透课程的知识内核，真正做到学以致用。学生除了可以依靠虚拟仿真实验获得操作体验之外，还可以利用现成的材料，自主设计实验。比如激光笔、化妆镜、直尺、拍照手机等替代实验室中的器材，自行搭建简易的测量装置，完成金属丝杨氏模量的测定。这也有助于学生提高物理兴趣，养成研究习惯，增强科学信心。

3 结语

融入大学物理实验课程的通识教育，应以传道、授业的初衷，以希声、无形的技巧，以互溶、接纳的逻辑，将通识元素与专业知识构成有机整体；从而深化学科认知、丰富课程内容、活跃课堂氛围、展现科学魅力。这将有助于学生乐思好学、致知力行，晓理明哲、端正三观，坚定理想、扶正信念；有助于课程教学育人元素的价值体现和立德树人的初心回归。

参 考 文 献

- [1] 卢晓中. 高等教育新论[M]. 北京：高等教育出版社，2016：130-131.
- [2] 樊代和，魏云，刘其军，等. 基于“课程思政”的大学物理实验课程教学案例探讨——以迈克尔孙干涉实验为例[J]. 物理与工程，2022，32(1)：175-178，183.
FAN D H, WEI Y, LIU Q J, et al. Discussion on “Ideological and political Education in Curriculum” in college physics experiment course—Taking Michelson interferometer experiment as an example[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(1): 175-178, 183. (in Chinese)
- [3] 任增元，李欣欣. 重温大师智慧推进“双一流”建设——叶企孙先生高等教育核心思想探析[J]. 大学教育科学，2017，3(3)：63-69.
- [4] 罗乐，赵瑛，陈舞辉，等. 物理实验线上线下混合式课程思政的探索[J]. 物理通报，2022，3：110-113.
LUO L, ZHAO Y, CHEN W H, et al. Exploration on curriculum ideological and political education in online and offline hybrid teaching of physics experiment[J]. Physics Bulletin, 2022, 3: 110-113. (in Chinese)
- [5] 康小平，何仲，赵鲁梅，等. 在大学物理实验中培养学生的创新能力[J]. 高师理科学刊，2018，38(8)：93-95，99.

(下转第 97 页)

- [J]. 高教学刊, 2021(5): 189-192.
- SHAN J, LU G Y, TIAN Q D. Research and exploration of teaching design based on ideological and political education [J]. Journal of Higher Education, 2021(5): 189-192. (in Chinese)
- [3] 白亚乡, 汪静. 在物理教学中引入“思政”课程的研究与实践 [J]. 教育教学论坛, 2019 (44): 158-159.
- BAI Y X, WANG J. Study and practice on introducing “Ideological and Political” course in the physics teaching [J]. Education Teaching Forum, 2019(44): 158-159. (in Chinese)
- [4] 陈恒雷, 吴钊峰, 凌海秋. 融入“思政教育”的物理类通识教育课程建设 [J]. 教育教学论坛, 2020, 2 (9): 42-44.
- CHEN H L, WU Z F, LING H Q. Construction of physical general education course with ideological education [J]. Education Teaching Forum, 2020, 2(9): 42-44. (in Chinese)
- [5] 杨威, 陈怀琛, 刘三阳. 大学数学类课程思政探索与实践——以西安电子科技大学线性代数教学为例 [J]. 大学教育, 2020(3): 76-79.
- YANG W, CHEN H C, LIU S Y. Exploration and practice of ideological and political work in college mathematics courses [J]. University Education, 2020(3): 76-79. (in Chinese)
- [6] 高红亚. “数学分析”中课程思政若干案例 [J]. 保定学院学报, 2020, 33 (5): 112-116.
- GAO H Y. Some cases of ideological and political education through all courses in the course of “Mathematical Analysis” [J]. Journal of Baoding University, 2020, 33(5): 112-116. (in Chinese)
- [7] 杜晓宁.《高等数学》课程思政教学改革探讨 [J]. 教育现代化, 2019, 6(52): 60-61, 74.
- DU X N. Probe into the reform of ideological and political education in higher mathematics [J]. Education Modernization, 2019, 6(52): 60-61, 74. (in Chinese)
- [8] 刘大莲, 曹彩霞, 刘佳. 高等数学课程思政探索及经典案例分析 [J]. 北京联合大学学报, 2021, 35(3): 33-38.
- LIU D L, CAO C X, LIU J. Exploration and classical case analysis on the ideological and political education in advanced mathematics [J]. Journal of Beijing Union University, 2021, 35(3): 33-38. (in Chinese)
- [9] 郑苏娟, 陈璐, 嵇敏. 融于理工科拔尖创新人才培养体系中的思政元素——以河海大学大禹学院《工科数学分析》思政教育改革为例 [J]. 大学数学, 2020, 36(6): 35-40.
- ZHENG S J, CHEN L, JI M. The thought and politics elements in the system of the cultivation of innovative talents in science and engineering [J]. College Mathematics, 2020, 36(6): 35-40. (in Chinese)
- [10] 吴国春, 张映辉, 肖长国. 探讨“数学分析”课程思政教学策略——发掘课程思政元素, 构建科学教学体系 [J]. 教育教学论坛, 2021(22): 129-133.
- WU G C, ZHANG Y H, XIAO C G. Study on the teaching strategies of curriculum ideological and political education in the course of Mathematical Analysis: Discovering the ideological and political elements in the course and constructing a scientific teaching system [J]. Education Teaching Forum, 2021(22): 129-133. (in Chinese)
- [11] 梁昆森. 数学物理方法 [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [12] 谷超豪, 李大潜, 陈恕行. 数学物理方法 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [13] 康颖. 大学物理(上册) [M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2019.
- [14] 姚端正. 数学物理方法 [M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2020.
- [15] 吴崇试. 关于数学物理方法课程的若干问答(续 1) [J]. 大学物理, 2011, 30(6): 1-3.
- WU C S. Some questions and answers on the course of mathematical physics methods (continued 1) [J]. College Physics, 2011, 30(6): 1-3. (in Chinese)
- (上接第 91 页)
- KANG X P, HE Z, ZHAO L M, et al. Cultivating students' innovation ability in the physics experiment of college and university [J]. Journal of Science of Teachers' College and University, 2018, 38(8): 93-95, 99. (in Chinese)
- [6] 黄丽, 刘伟龙, 赵海发, 等. “同向同行”的大学物理实验课程思政教学设计与探索 [J]. 物理与工程, 2019, 29(Z1): 37-39.
- HUANG L, LIU W L, ZHAO H F, et al. Design and exploration of ideological teaching in college physics experiment course [J]. Physics and Engineering, 2019, 29(Z1): 37-39. (in Chinese)
- [7] 师玉荣, 马君. 物理实验类通识课程教学模式的探索与实践——以“探究物理现象”为例 [J]. 物理实验, 2021, 41(10): 50-54.
- SHI Y R, MA J. Teaching mode of physics experiment general courses—Take exploring physical phenomena as an example [J]. Physics Experimentation, 2021, 41(10): 50-54. (in Chinese)
- [8] 李鹏. “大学物理实验”课程教学改革策略探索 [J]. 教育教学论坛, 2021, 10: 65-68.
- LI P. Exploration on the teaching reform strategy of the course of college physics experiment [J]. Education Teaching Forum, 2021, 10: 65-68. (in Chinese)
- [9] 柴志方, 胡炳文, 陈廷芳, 等. 大学物理实验 [M]. 高等教育出版社, 2022.
- [10] VOIGTLÄNDER B. Scanning Probe Microscopy: Atomic Force Microscopy and Scanning Tunneling Microscopy [M]. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015: 9.
- [11] LI Q, XUE C, LIU J P, et al. Measurements of the gravitational constant using two independent methods [J]. Nature, 2018, 560: 582-588.