

大学物理实验“基础-进阶-高阶”教学模式的探索

赵国俭 徐丽红 王佳乐 王 旗

(东北大学理学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要 大学物理实验是理工科学校培养学生实践创新能力的基础核心课程。如何优化教学过程、改善教学环境、提升教学质量一直是相关教学工作者思考的严肃课题;随着信息化技术的不断发展,大学物理实验也面临着新的机遇和挑战。针对目前实验教学中存在的问题(如学生多为动手操作,少有实验设计和实验思考),我们实验教学团队特建立了“基础-进阶-高阶”新型实验模式,利用信息化教学手段提升了教学效果,也提升了学生学习兴趣和效率。这种教学模式旨在提升学生的实验设计能力,思考问题和解决问题能力,将课程提升至培养实验物理人才的层次。

关键词 大学物理实验;信息化教学;基础;进阶;高阶

EXPLORATION OF THE TEACHING MODE OF “BASIC-INTERMEDIATE-ADVANCED” IN COLLEGE PHYSICS EXPERIMENT

ZHAO Guojian XU Lihong WANG Jiale WANG Qi

(College of Sciences, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110819)

Abstract College physics experiment is a basic core course for science and engineering schools to cultivate students' practical and innovative ability. How to optimize the teaching process, ameliorate the teaching environment and improve the teaching quality has always been a serious topic for relevant teaching workers. With the continuous development of information technology, college physics experiment is also facing new opportunities and challenges. In view of the problems existing in the current experimental teaching process, such as students only do the experiment and almost no experiment design and thinking, our experimental teaching team has specially established a new experimental model of “Basic-Intermediate-Advanced”. The use of information-based teaching means not only improves the teaching effect, but also improves the students' interest and efficiency in learning. The purpose of this teaching model is to improve students' ability to design experiments, think about and solve problems, and upgrade the course to the level of training talents in experimental physics.

Key words college physics experiment; information technology; basic; intermediate; advanced

收稿日期: 2022-07-14

基金项目: 教育部 2020 年产学研合作协同育人项目: 面向新工科人才培养的物理实验课程建设, 项目号 202002068004

作者简介: 赵国俭, 男, 副教授, 主要从事物理类教学工作, zhaogj8585@163.com; 徐丽红, 女, 讲师, 主要从事物理基础课程教学工作, xulihong@mail.neu.edu.cn; 王佳乐, 女, 助理实验师, 主要从事物理实验教学管理工作, 945683809@qq.com; 王旗, 男, 副教授, 主要从事物理类教学工作, wangqi@mail.neu.edu.cn。

引文格式: 赵国俭, 徐丽红, 王佳乐, 等. 大学物理实验“基础-进阶-高阶”教学模式的探索[J]. 物理与工程, 2022, 32(6): 148-152, 158.

Cite this article: ZHAO G J, XU L H, WANG J L, et al. Exploration of the teaching mode of “Basic-Intermediate-Advanced” in college physics experiment[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(6): 148-152, 158. (in Chinese)

1 大学物理实验现有上课模式及问题

目前的大学物理实验教学实践是利用实验室配备的教学仪器进行物理量定量测量,很大程度上是不断机械地重复和验证已有的定理和定律;其上课模式一般分为原理讲解、操作演示、学生操作以及数据处理四个部分^[1]。这种教学模式存在的问题包括:(1)课前教师对实验所进行的详尽原理讲解,会使学生过分依赖这种刻意的引导,导致学生学习积极性不高,预习效果差。(2)上课过程中,教师进行操作演示后,学生只是简单地复制教师做实验的过程,不会独立思考。(3)学生操作过程中,碰到难题不会思考,缺乏努力探索精神,难以自主获取知识。(4)课后数据处理时,如果实验数据冗杂,对误差分析要求较高,就会出现部分学生不愿处理,部分实验报告抄袭现象^[2]。

大学物理实验是连接理论教学过程中学生从对理论知识的感性认知到实际可操控的实验科学知识的桥梁^[3]。教学应是教师和学生双边的互动过程,教师要采用恰当的教学方法引导学生用发散性的思维去思考问题,这样才能挖掘实验的深层内容和实验项目之间的联系,激发学生创造性地研究问题、解决问题的兴趣。在教育部提出“两性一度”即高阶性、创新性、挑战度的金课标准后,我校大学物理实验教学课程也作出了相应的改革,即大学物理实验“基础-进阶-高阶”的教学模式。

2 大学物理实验“基础-进阶-高阶”教学模式的探索

2.1 “基础-进阶-高阶”教学模式

所谓的“基础-进阶-高阶”教学模式,就是在教育部提出金课标准后,我校大学物理实验中心提出的一种教学模式探索。首先为了达到不同层次同学的学习要求,将每个实验内容设计成 A-B-C 三级,组成了基础-进阶-高阶的实验内容体系。“基础”实验是学生必须完成的实验,要求学生掌握一些基本物理量的测量方法,了解常用的物理实验方法,熟悉实验室常用的仪器性能,掌握测量误差的基本知识以及正确处理实验数据的基本能力。“进阶”实验的内容设计则充分考虑实验方法和知识在未来的实际应用,结合不同工科专业的

实际需求,要求学生利用已掌握的原理以及实验仪器,做一些较为简单的设计实验。这部分内容在慕课和教材介绍较少,但实验过程及测量结果是成形的,有确定的答案。“高阶”实验不再仅考察学生的基本能力,而是更加侧重综合性、设计性以及创新性。“高阶”实验部分是探索研究型实验,看重的是学生的研究能力,供学有余力的同学深入探究。这部分学生可以参加大学生物理学术/实验竞赛以及大学生创业创新计划项目,其学习过程就是一个完整的科学研究的过程。在“基础-进阶-高阶”教学模式的新课堂中,教师与学生会翻转角色,通过视频资源与电子教案为学生设计问题,在学生实验的过程中答疑解惑并指导创新。学生根据目标问题进行自主学习,培养团队协作能力以及实践创新能力,如图 1 所示。

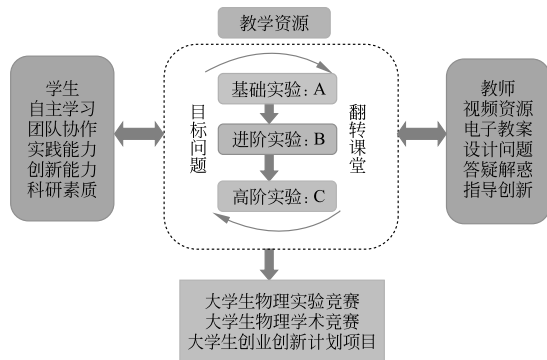


图1 “基础-进阶-高阶”教学模式

2.2 “基础-进阶-高阶”教学模式的评价方式

教学评价是依据教学目标对教学过程及结果进行价值判断并为教学决策服务的活动,是对教学活动现实的或潜在的价值作出判断的过程。教学评价一般包括对教学过程中教师、学生、教学内容、教学方法手段、教学环境、教学管理诸因素的评价,但主要是对学生学习效果的评价和教师教学工作过程的评价。

“基础-进阶-高阶”教学模式对教师教学工作的评价,包括教学设计评价,要求教师在课前录制视频资源,拟定电子教案以及设计课程问题,上课过程中为学生答疑解惑、指导创新等;对于教学实施评价,要求教师真正地实现教学目标,促进学生自主学习,使其创新能力得到良性发展^[4]。

对学生学习的评价,分为相对评价和绝对评价两个部分。相对评价包括学生是否达成知识与技能学习的目标、学生是否在课前自主学习、在课

上的团队协作表现,以及学生是否具有创新能力等。绝对评价是五分制的评价方法,其中基础部分占 80%,进阶部分与高阶部分各占 10%。其中基础部分课前预习成绩占 20%,操作成绩占 40%,实验报告成绩占 40%。这样的评价方法既可以将学生的优良区分出来,又可以让大部分学生在 5 分制的成绩中拿到 3 分合格。作为学生学习结果的反馈,合理的评价方式既可以为教师改进教学提供依据,又可以进一步增强学生的学习动力。

2.3 以“光栅衍射测量光波波长”实验为例

光栅衍射测量光波波长实验要求学生利用分光计,平面透射光栅以及低压汞灯、钠灯观察光栅的衍射现象,理解光栅的衍射特性。在实验过程中进一步熟悉分光计的调整和使用方法,掌握测定光栅常量、角色散率以及光波波长的方法^[5]。

实验原理就是将一束平行的单色光垂直地照射在光栅平面之后,透过光栅狭缝的光沿着各个方向传播。经过透镜后,焦平面会形成一系列间隔不等的明条纹,相邻明条纹中间被相当宽的暗区隔开。根据光栅衍射理论,产生衍射明条纹的条件为

$$d \sin \varphi = k\lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2 \cdots) \quad (1)$$

其中, d 为光栅常量, $d=a+b$, a 为光栅中每个单缝宽度; b 为相邻两缝间的不透光部分宽度; φ 为衍射角; λ 为入射光的波长; k 为光谱级次。

当入射光方向和光栅表面不垂直时,光栅方程为

$$d(\sin \varphi + \sin i) = k\lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2 \cdots) \quad (2)$$

其中, i 为入射光与法线夹角; φ 为衍射光线与光栅法线夹角。衍射光与入射光夹角称为偏向角 δ 。

在实验教学“基础-进阶-高阶”的教学模式探索下,将光栅衍射实验项目分为 A、B、C 三个实验部分。

A 部分为基础部分,就是利用垂直入射法测量光栅常量和角色散率。这一部分会给定入射光的波长,通过实验首先测定中央明条纹的角位置,然后再测定光波左右衍射第一、二级的角位置。然后算出各级谱线的衍射角,代入式(1),计算出光栅常量。

B 部分为进阶部分,就是利用最小偏向角测量汞灯黄谱线的波长。这一部分实验会给定光栅

常量,通过实验确定第一级待测黄谱线,转动光栅,改变入射角,使黄谱线沿着最小入射角方向移动,直到确定最小偏向角位置。

当入射光方向与衍射光方向在光栅法线同侧, $\delta=\varphi+i$ 。当 $i=\varphi$ 时, δ 有极小值,用 $\delta_{\min}$ 表示,当 $\delta=\delta_{\min}$ 时,有 $i=\varphi=\frac{\delta_{\min}}{2}$,代入式(2)得

$$2d \sin \frac{\delta_{\min}}{2} = k\lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2 \cdots) \quad (3)$$

利用上述公式即可根据光栅常量 d ,求出谱线波长 λ 。

C 部分为高阶部分,利用实验台上的现有仪器,在对光栅衍射特性了解清楚的情况下,可用发散性思维,开发创新性实验新项目。该部分的评价方式应有别于 A、B 两部分,其要求和目的已发生了根本性变化,不能单纯看实验结果而忽略对实验过程的评价,应强调评价主体及评价过程的多元化,注重学生的个性差异,要能够反映学生的动态变化。实验结果及实验过程都不拘一格,充分发挥学生的想象力和创造力,让学生对过程充满自信,对结果满怀期待。如自组光栅分光系统,图 2 所示为自组分光系统的实验设计。利用光栅将不同波长的“复合光”分为一系列单一波长的“单色光”。从设计到组装,最后看到结果,会有强烈的自豪感和成就感。

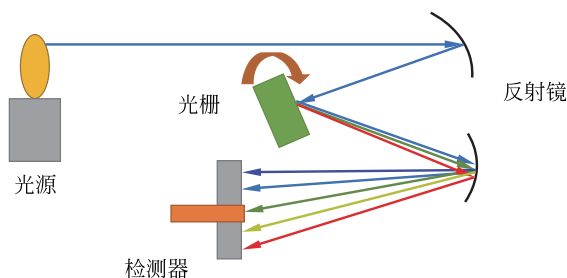


图 2 自组分光系统的实验设计图

2.4 以“电桥使用”实验为例

电桥按照使用条件,可以分为平衡式电桥和非平衡式电桥。其中,平衡电桥是基于电位比较法进行测量的仪器,非平衡式电桥是基于流过“桥”上的电流与待测量之间的一定对应关系进行测量的仪器。“电桥使用实验”要求学生掌握电桥的测量原理,学会电桥测量电阻的方法,并掌握比较法以及渐进调节法^[6]。

实验原理如图 3 所示。

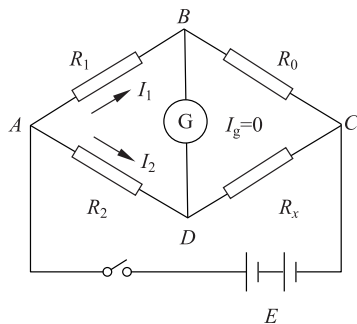


图3 平衡电桥原理图

平衡电桥是平行四边形电阻,其中: R_1 、 R_2 、 R_0 和 R_x 称为电桥的四个臂,对角线 BD 称为“桥”。调节 R_1 、 R_2 、 R_0 可使 B 和 D 两点电位相等,此时检流计中无电流通过。流过 R_1 、 R_0 的电流皆为 I_1 ;流过 R_2 、 R_x 的电流皆为 I_2 ,这种状态称为电桥的平衡,当电桥平衡时,电桥输出电压 $U=0$ 、 $I_g=0$,从而

$$I_1 R_1 = I_2 R_2; \quad I_1 R_0 = I_2 R_x \quad (4)$$

由此可以得到电桥平衡条件为

$$R_1 R_x = R_0 R_2 \quad (5)$$

根据上式可知,由电位的比较转化成了待测电阻 R_x 与标准电阻 R_0 的比较。电阻 R_1 、 R_2 称为比例臂, R_0 称为比较臂。实验一般先选定比例臂比值 R_2/R_1 ,再调节 R_0 ,使电桥达到平衡状态,再求出待测电阻的阻值 R_x 。

非平衡电桥原理, B 、 D 之间接一负载电阻 R_g 。用非平衡电桥测量电阻是保持 R_1 、 R_2 、 R_0 不变, R_x 变化时, E_0 随着改变,再根据 E_0 和 R_x 的变化函数关系,通过检测 E_0 的变化从而测得 R_x 。此时电桥输出电压 $U \neq 0$ 。由于可以检测到连续变化的 E_0 ,所以可以检测到连续变化的 R_x 。

在实验教学“基础-进阶-高阶”的教学模式探索下,将电桥使用分为A、B、C三个实验部分。

A部分为基础部分,组装电桥测电阻,并测量该电桥的灵敏度。根据实验原理电路图接好电路,设置电路参数,采用逐次逼近法,多次测量得到 R_0 的精确值。

B部分为进阶部分,组装非平衡电桥测量热电阻的温度系数,将实验原理图4中的电阻 R_g 换为测量温控器,当测量温度为0时,热电阻阻值为0,此时电桥为平衡电桥,被测温度升高时, B 、 D 两点存在电位差,两点之间的电压与热电阻的阻值成对应关系,经过线性化处理及A/D转换电路,

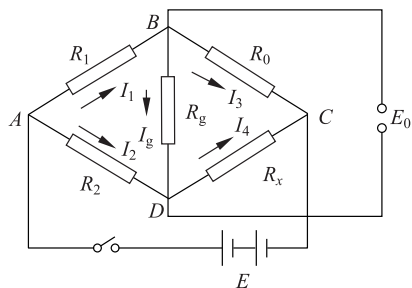


图4 非平衡电桥原理图

就可以测量出电阻的阻值。

C部分为高阶部分,具体是让学生在上述A、B部分对电桥实验原理了解清楚的情况下,利用实验台上的现有仪器,自组电桥仪实现电子秤。实验方案设计流程如图5所示。测量物体质量时,一电阻应变片粘在被测力的弹性元件上,在力作用下该元件会产生相应的应变,其电阻会发生变化,通过电桥转化为电压信号,进而达到测量质量的目的。经讨论分析搭建出实物电路,选用不同连接方式测试灵敏度,对实物进行测量,与成品电子秤称重对比。发挥想象力利用现有条件看是否有其他应用,过程比结果更重要。

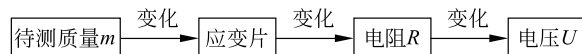


图5 实验方案设计流程图

再举一例:折射率测量实验。该实验的基础部分是插针法测量玻璃块或三棱镜的折射测量,插针法本质上就是光路法,利用折射定律,只需测出空气介质中光线与法线之间夹角 i 以及介质中光线与法线之间夹角 γ ,就可以计算出折射率,这是很基础、很能够锻炼学生动手能力的实验。进阶部分是借助读数显微镜平台,利用视深法测量玻璃块及水的折射率,通过实验过程使学生加深对折射率概念的理解以及熟悉对常规实验仪器的使用。高阶部分是利用阿贝折射仪测量不同浓度蔗糖溶液的折射率,该实验要求学生了解该仪器结构以及使用方法,进实验室前应做好功课预习,否则会影响实验进程及质量。折射率是光学中最基础的概念,对于它的测量也是多广度的,充分利用实验台所提供实验器材,采用开放式思维模式,设计一种可行实验方案,过程方法不拘一格,通过该实验可以考察出学生创新意识及创新能力。表1是我校新模式教学实验项目的实施项目。

表 1 新模式教学的实验项目

实验项目	基础部分	进阶部分	高阶部分
折射率的测量实验	插针法折射率的测量	读数显微镜测折射率	阿贝折射仪的使用
液晶电光效应实验	液晶电光效应	液晶响应时间测试	液晶的实际应用实验
示波器的使用	示波器的使用	利用示波器测量信号频率、相位	整流电路
偏振光实验	马吕斯定律	波片实验	铌酸锂晶体电光效应
声速测量	声音在空气中传播速度的测量	声音在金属材料中传播速度的测量	超声探伤
迈克尔逊干涉仪	测量 He-Ne 激光器波长	测量 Na 光双线波长差	干涉法测量线胀系数
单缝衍射	测量衍射光场分布	测量细丝直径	研究星芒现象

3 新教学模式实施的效果

这种新型教学模式适用于工科院校大学物理实验课程全部实验项目,我校大学物理实验课程是从大二开始运行,例行两个学期,共 56 学时,大二上学期 32 学时,需完成绪论和 9 个实验项目,大二下学期 24 学时,需完成 8 个实验项目;每个实验项目课堂教学时间是 3 课时,其中基础部分课时为 1.5 课时,进阶部分课时为 0.5 课时,高阶部分课时为 1 课时。

要想顺利完成实验项目,还需课前做好充分预习,比如:学习线上 MOOC;结合教材、数字课程、虚拟仿真实验等学习该实验项目所需要的知识,进而做出实验预案。新教学模式在我校运行三年,取得了非常好的教学效果。从基础到进阶再到高阶,不同阶段有不同分数相对应,通过这种教学模式对学生形成一种激励机制,同时促成了学生的学习动力。经期末统计,有近 90%同学完成到实验“高阶”部分,只是完成质量不同,分数不同。

我校有近 3000 名同学需修这门课程,为了比较新教学模式与传统教学模式各自优势和特点,在全校范围内随机取样 300 名同学进行了问卷调查,设定 8 个相同问题对不同模式下的教学方法进行调查,其赞成率统计见表 2。从数据比较可以看出,新模式教学方法表现出的优势,对培养新时代人才具有积极意义。与传统教学模式不同,“基础-进阶-高阶”的教学模式,在授课形式上,通过问题导向,建立分层次实验教学项目,重新构建课堂形式,教师以问题为导向翻转课堂,设立问题情境,激发学生学习兴趣,既体现了教师的主导作用,又发挥了学生的主体作用,既提升了教学内容的高阶性、创新性和挑战度,又实现了个性化培

养、因材施教的教学模式;在教学内容上,改变了传统教学中所有学生学习内容“一刀切”的情况,构建了分阶段、分层次、模块化、阶梯式课程体系。这些改革措施有利于培养学生发现问题解决问题的能力,促其批判意识与创新思维的形成。

表 2 不同教学模式工科学生赞成率问卷调查

问题序号	问卷问题	传统教学方式赞成率	新模式教学方式赞成率
1	大学物理实验是重要的基础课程	90%	95%
2	实验前进行认真预习、充分准备	42%	81%
3	实验中遇到问题积极动手动脑	50%	92%
4	翻转课堂对理论学习起到促进作用	62%	78%
5	教师主导实验是完成实验的必要条件	85%	32%
6	对创新意识、创新能力起到促进作用	51%	89%
7	完成实验是以获取学分为学习动力	80%	25%
8	以科学态度对待每个实验项目	68%	98%

新教学模式的提出,改变了传统课堂上教师“教+演示”,学生“听+模仿”,学生被动地接受知识、被动学习的形式,引入了“自主、合作、探究、创新”先进的教学理念,使学生成为课堂的主人,为学生自主的学习和科研打好基础,改变了学生的科学观和科学态度。

(下转第 158 页)

学生,并不一定必须按照厂家提供的参数来进行实验。实验教学本身就是学生动手参与,从结果中发现问题并进行学习的一个过程。而在实际实验教学中,对于上述存在的问题,可以鼓励学生自行分析探究,采用引导式的方法使学生得到相应的结论,从而增强学生在学习过程中的参与感,满足学生在学习过程中的成就感。

参 考 文 献

- [1] 王杰,司嵘嵘.确定弗兰克-赫兹实验最佳工作参数的方法改进[J].大学物理实验,2018,31(5):1-5.
WANG J, SI R R. An Improved Method of determining the best working parameters of Franck-Hertz experiment[J]. Experiment of college physics, 2018, 31(5):1-5. (in Chinese)
- [2] 河南东微电子材料有限公司.一种延长靶材使用寿命的磁控溅射装置:201910353332.0[P]. 2019-04-27.
- [3] 苟睿健.第一栅压对 F-H 实验曲线影响的研究[J].大学物理实验,2018,31(4):39-42.
GOU R J. Study on experimental curve in Franck-Hertz experiment affected by first grid voltage[J]. Experiment of College Physics, 2018, 31(4): 39-42. (in Chinese)

(上接第 152 页)

4 结 语

大学物理实验的教学模式应该是灵活的、开放的,在教学过程中,应时刻以学生为主体地位,充分发挥学生的主观能动性,用科学态度激发兴趣导向,以使学习效果最大化。大学物理实验是学生在大学中最先接触的最基础实验,是科学实验认知的基础,是培养学生创新能力的基础,抛开基础去谈创新也就成了无源之水、无本之木。大学物理实验在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是各学科科学实验的基础^[6]。它在培养学生严谨的治学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的综合应用能力等方面具有其他实践类课程不可替代的作用。大学物理实验“基础-进阶-高阶”教学模式,通过分层次、分阶段教学,培养了理论联系实际能力、科学实验能力、创新和实验设计能力,使学生受到科学世界观和科学态度的教育,提高了学生的科学素质,为以后课程的学习和科研工作打下基础。

参 考 文 献

- [1] 张燕,谢卫东.大学物理实验教学考核现状及分析[J].科

- [4] 浦贤杰,刘高斌,何光宏,等.弗兰克-赫兹实验不稳定状态的应对措施[J].物理实验,2017,37(7):1-5.
PU X J, LIU G B, HE G H, et al. Solutions for the unstable state in Frank-Hertz experiment[J]. Physics Experimentation, 2017, 37(7): 1-5. (in Chinese)
- [5] 司斌.可调频率禁带设计方法研究——以进气消声器为例[D].安徽:合肥工业大学,2014.
- [6] 白忠,苗仁德,林上金,等.夫兰克-赫兹实验中管极电压对实验曲线影响的研究[J].实验室研究与探索,2015,34(6):59-62.
BAI ZH, MIAO R D, LIN S J, et al. Study on experimental curves affected by tube-pole voltage in Franck-Hertz experiment[J]. Laboratory Research and Exploration, 2015, 34(6): 59-62. (in Chinese)
- [7] 张美芸.阻变存储器参数离散性及阻变机制研究[D].北京:中国科学院大学,2017.
- [8] 陈文岳,韩跃新,陈晓龙.X射线辐射分选的原理及其应用[J].现代矿业,2013,29(4):88-91.
CHEN W Y, HAN Y X, CHEN X L. The principle and application of X-ray radiation sorting[J]. Modern mining, 2013, 29(4): 88-91. (in Chinese)

技风, 2021(36):28-30.

- ZHANG Y, XIE W D. Current situation and analysis of college physics experiment teaching assessment[J]. The Wind of Science and Technology, 2021(36): 28-30. (in Chinese)
- [2] 刘晶.大学物理实验课程学生学习现状调查研究[D].上海:上海师范大学,2017.
- [3] 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.
WANG Y W, LE Y K, QIAN S S, et al. Investigation report and summary of college physics and college physics experiment courses[J]. Physics and Engineering, 2016, 26(4): 45-54. (in Chinese)
- [4] 曹峰,纪伟,邓柏昌.大学物理实验教学考核的几点思考[J].大学物理实验,2019,32(5):126-128.
CAO F, JI W, DENG B C. Some thoughts on the examination of college physics experiment teaching[J]. College Physics Experiment, 2019, 32(5): 126-128. (in Chinese)
- [5] 王旗.大学物理实验[M].2版.北京:高等教育出版社,2019.
- [6] 李永涛,张红光,陈伟,等.大学物理实验课程创新教学改革与实践[J].大学物理实验,2021,34(5):122-124.
LI Y T, ZHANG H G, CHEN W, et al. Teaching reform and practice of college physics experiment course innovation[J]. College Physics Experiment, 2021, 34(5): 122-124. (in Chinese)