

物理实验



大学生物理实验素养调查分析*

刘佳琪 李春密 黄佳佳 冉露

(北京师范大学物理学系 北京 100875)

(收稿日期:2020-10-14)

摘要:对某大学物理学系低年级本科生开展了抽样调查,发现样本群体的物理实验素养整体处于中上等水平,并从知识、能力、思维等方面具体分析了大学生的物理实验素养现状,讨论了大学生在实验学习中存在的问题,提出了教学建议,为高校进行实验教学改革提供依据。

关键词:大学生物理实验素养 评价实施 调查结果 教学建议

随着时代的发展,创新型、复合型、应用型人才越来越被社会需要.物理学是一门以实验为基础的自然科学^[1],物理实验在物理学中有着特殊的地位.大学物理实验是大学生发展科学素养和各项能力,探寻客观规律的重要环节.然而,相比于中学,关于大学生物理实验素养的针对性研究并不多,对于大学生的物理实验素养现状的实证分析也有待加强.

基于已构建的大生物理实验素养评价体系^[2],对某大学物理学系低年级本科生开展抽样调查,结合大学生物理实验素养的几个重要指标,从被试群体的物理实验素养整体水平、优势、待提高之处等方面分析和讨论了调查结果,发现学生在物理实验学习中的普遍问题,并针对学生物理实验素养的发展提出教学建议,为学生全面发展个人物理实验素养和教师优化教学策略提供必要依据.

1 大学生物理实验素养的内容

大学生物理实验素养是大学生在进行物理实验过程中逐步形成的个人能力和素质,是学生顺利进行物理实验的个体必备基础.在结合了众多教育理念和新型教学理念后,将大学生物理实验的必需要素总结为“知识”“方法”和“情感”,将大学生物理实验的过程概括为“学习”“操作”“分析”和“应用”.大

学生物理实验素养主要包括理论基础、实验操作能力、数据处理与分析能力、设计创新能力、情感态度和科学态度等6个一级指标,其中每个一级指标又被细化为不同的二级指标^[2].这些指标是大学生物理实验素养的具体体现,具有外显性的特征,其发展水平可以通过学生在实验过程中的表现进行测评和推断.

2 评价实施

抽取某大学物理学系28名2018级本科生作为研究对象,以学生学习普通物理实验课程的过程为研究载体,结合多种评价方法制定评价策略、开展评价实施,以获得客观、全面的调查结果.

2.1 评价方法

为实现精准评价,采用客观评价和主观评价两种评价方式,并利用多种调查方法,拟定计分权重,综合评价大学生物理实验素养指标.

2.1.1 客观评价

(1) 试题测试

针对理论基础与设计创新部分两个指标编制试题,主要考查学生对于“力、热、电、光”部分的物理理论和实验理论的理解情况和学生对于已操作过的实验的思考.题目难易适中,普遍针对学生学习时的

* 2019年北京师范大学“本科科研训练与创新创业”项目(校级),项目编号:2019-271

作者简介:刘佳琪(2000-),女,在读本科生.

通讯作者:李春密(1966-),男,博士,教授,主要从事物理课程与教学论研究.

易错点,在多次预测试和意见调查后最终确定。

(2) 访谈法

针对学生的实验操作能力和设计创新能力两部分对学生进行访谈,包括“是否能在实验中形成清晰的操作思路,对于实验的外延知识是否有自己的思考”等访谈问题,旨在通过讨论交流过程反映学生对于实验的思考。

(3) 问卷法

针对情感态度与科学态度两个指标编制题目问卷,主要调查学生做实验的计划性、目的性、积极性和认真程度,在实验中是否能保证数据的真实性、是否能认真完成实验、是否愿意尝试新方法等。

(4) 分析学生的实验报告

针对数据处理及分析能力制定实验报告分析标准,从准确性、完整性、规范性3个方面对学生的实验报告进行分析评价。

(5) 参考学生的实验考试成绩

实验考试成绩为实验任课教师在特定实验情境下对于学生操作实验的过程进行观察后得到的,是在具体的实验环境下的评价结果,成绩真实有效,具有很大参考价值。

2.1.2 主观评价

拟定“五级自评表”,以自评问卷的形式发于学生填写,进行物理实验素养的自我评价。

2.2 计分办法

采用5分制,即每一个被评价成分的满分均为5分,再结合指标权重计算评价对象的大学生物理实验素养总分数。

特别地,针对大学生物理实验素养的不同一级指标,为其涉及的调查方法拟定计分权重(见表1)。其中,主观评价均占该指标总分的30%,客观评价共占70%。不同指标的客观评价方案是各不相同的。

表1 大学生物理实验素养各一级指标的针对性计分办法

指标	计分办法
理论基础	自评问卷得分 $\times 30\%$ + 试题得分 $\times 70\%$
实验操作能力	自评问卷得分 $\times 30\%$ + 访谈得分 $\times 55\%$ + 成绩参考 $\times 15\%$
数据处理与分析能力	自评问卷得分 $\times 30\%$ + 分析实验报告得分 $\times 70\%$
设计创新能力	自评问卷得分 $\times 30\%$ + 访谈得分 $\times 50\%$ + 试题得分 $\times 20\%$
情感态度	自评问卷得分 $\times 30\%$ + 题目问卷得分 $\times 70\%$
科学态度	自评问卷得分 $\times 30\%$ + 题目问卷得分 $\times 70\%$

对于每一个指标,以1分为一个水平级次(0~1分为水平1,1~2分为水平2,以此类推)。被试者在调查中获得分数可以直观反映学生的各项素养水平。

2.3 数据处理

本次调查对某大学物理学系2018级的4个班级进行了抽样测试,每班调查人数均衡,共30人,共收回有效结果28份,调查结果信效度分析良好,有效保证了调查结果的真实性与可靠性。对统计数据相关性检验,还可以发现不同成分之间的相关关系,找出影响大学生物理实验素养的因素。

3 结果分析与讨论

李春密在研究高中生物物理实验操作能力及其品质发展时发现:物理实验操作能力的发展是一个漫

长的过程,即便对于一生从事实验教学的实验人员来说,操作能力达到满分也是极难实现的。按照年龄段来分,人的实验操作能力发展可粗略分为3个时期,分别为:快步发展期、稳步发展期和定型期。其中,大学阶段学生的物理实验操作能力正处于稳步发展期^[3]。实验操作能力是物理实验素养的一部分,与物理实验素养的发展经历相同的过程,和物理实验素养中的其他成分互相影响,协调发展。因此,物理实验素养的发展与实验操作能力发展应该有近似的规律。

基于以上内容,将学生的物理实验素养水平划分为3个阶段:入门期(表现为水平1和水平2)、熟练期(表现为水平3和水平4)和定型期(表现为水平5),作为分析学生物理实验素养的标准。

3.1 被试群体物理实验素养的整体水平

根据调查结果,被试群体物理实验素养总体和各一级指标的水平分布情况如图1所示。

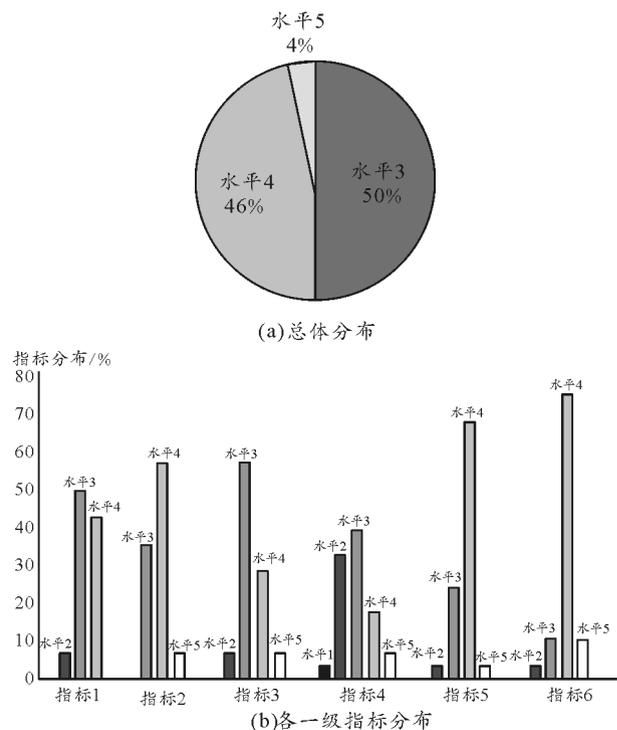


图1 被试群体物理实验素养水平分布图

从总体分布来看,学生的物理实验素养集中在水平3和水平4级次,且无低水平者。说明在普通物

表2 被试群体物理实验素养各一级指标的平均水平

一级指标	理论基础	实验操作能力	数据处理与分析能力	设计创新能力	情感态度	科学态度
平均分	2.89	3.24	2.89	2.48	3.29	3.41
与总分平均分的差	-0.15	0.20	-0.14	-0.56	0.26	0.37

从表2中看,学生的实验操作能力、情感态度和科学态度均已达到水平4,处于熟练期内的高水平阶段,在调查中显现出了明显的优势。学生的理论基础、数据处理与分析能力和设计创新能力处于中等水平(水平3),相比于物理实验素养中的其他成分,在整体发展中相对滞后。可见,在多项指标中,学生的实验素养具有一定优势及有待提高之处。

接下来,结合调查结果及调查过程,从知识、能力、思维层面具体讨论学生各项实验素养的状况。

(1) 知识层面

现代认知心理学将知识分成了两大类,分别是陈述性知识和程序性知识。从知识的作用上,陈述性

理实验课程的学习中,学生的物理实验素养普遍得到了发展,均已步入熟练阶段。在长期的学习和积累中,学生已经能正确理解基础物理理论和实验理论,能顺利完成实验、得出实验预期结果,具备基本的实验探究能力以及良好的情感态度和科学态度。

对于大学生物理实验素养的各项一级指标,处于水平3和水平4级次的人数均是最多的,各成分的发展程度基本一致,说明在当前的教学模式下,学生的物理实验素养没有严重的短板,得到了综合性的培养。

此外,由图1可见,有4%的学生的物理实验素养整体水平已经达到高水平(水平5),且对于具体的某一项素养来说,也有个别水平较高的学生。说明被试群体的物理实验素养相比于一般规律发展更加迅速,有部分学生已经步入从熟练期向定型期过渡的阶段,可以达到综合运用各种知识、灵活解决实验中的问题、独立完成实验、进行创新实验设计等较高要求。

3.2 物理实验素养情况的具体分析与讨论

为了进一步探讨学生物理实验素养的情况,统计被试群体各项素养的平均得分及其与总分平均分的比较结果如表2所示。

知识是回答“是什么”问题的知识,程序性知识是回答“怎么做”问题的知识。其中,程序性知识又被具体划分为动作技能、智慧技能和认知策略,包括方法、策划、实践、程序、常规、策略、技术、窍门等^[4]。

从性质上看,学生的物理理论隶属于陈述性知识,而实验理论隶属于程序性知识。在指标中,理论基础指的就是学生对于物理理论及实验理论的掌握情况。

在调查中发现,学生的物理理论水平较高。大部分学生对物理学基本物理量及相关知识概念、基本实验方法等掌握情况较好,学生不仅可以准确写出题目有关的知识 and 概念,并能够对其进行细致地解

释.但是,相比之下,学生对于常用仪器的原理和使用方法、常用数据的处理方法等实验理论的掌握情况略有不足.一些学生无法将实验与实验方法相对应,如学生不能说出在“金属丝杨氏弹性模量的测量”实验中,为测量金属丝长度的微小伸长量所设计的“光杠杆法”应用了放大法这一实验方法.对于常用仪器,如示波器和多用电表,学生可以正确地操作仪器,但对于仪器的原理理解不够深入,导致在不同的实验环境下,学生在读取数据和理解图像所表现出的物理规律上,有时会出现困难.

从程序性知识的形成过程来看,学生的物理理论的形成主要依赖于对实验过程的反思和总结,是一个长期的积累过程,需要在具体应用中不断自我完善.在实验学习中,学生操作实验具有一定的模仿性,如果学生缺乏主动探究的过程,将不能形成长久记忆,不易在实验过程中自觉内化知识进行理论充实.此外,如果学生缺乏对于实验的反思精神,对于知识仅一知半解,也将不利于学生深入理解仪器原理,灵活使用实验仪器.所以,在教学中多强调知识的反思和总结,学生的物理理论会得到进一步巩固,实验理论也会得到有效提高.

(2) 能力层面

学生的物理实验素养中以能力形式存在的内容主要表现为实验操作能力、数据处理与分析能力和设计创新能力.

在调查中发现,被试群体的实验操作能力发展处在各项素养前列.学生的实验操作能力发展已相对成熟,会操作基本的实验仪器,能够得到准确的测量数据、排查实验故障、顺利完成实验.许多学生对于常用仪器的使用方法和规范已经十分熟悉,操作仪器时效率较高,测量结果较准确.在操作实验时,绝大部分学生思路清晰、动手能力较强,有能力灵活处理实验中的各种问题.尽管在调查中发现学生在实际操作实验时所展现的能力呈现波动性,在操作不同的实验时展现出来的水平呈现忽高忽低的现象,但是对于处于熟练期而未实现实验素养定型的大学生而言,这是正常的.

对于实验操作能力,根据已有的心理学研究,它的一个显著特征是可以练习而改进^[5].

结合学生的学习环境,基础物理实验课程的学习、演示实验室的开放、实验竞赛等活动的开设为学生充分创造了练习的机会.可见,如果多多鼓励学生走进实验室,参加实验活动,将加速学生实验操作能力的内化,进一步巩固学生的实验操作能力.

关于学生的数据处理与分析能力,从被试者的实验报告来看,大部分学生处理数据的能力较强,可以规范记录数据、利用正确的方法处理数据、制作符合要求的标准图像,个别学生还可以应用较高级的计算软件如 Matlab 和 Origin 等进行绘图,以更加直观清晰的方式展现实验规律.然而相比之下,学生的分析能力相对薄弱,分析实验现象、分析误差来源、构建实验结论的能力水平相对较低.一些学生只注重实验结果的呈现,却很少分析产生这一结果的原因;在误差分析时,这些学生往往不能发现产生误差的本质原因,分析不够细致、全面,缺少对于减小误差方法的思考,对于实验过程的分析有所欠缺.

在调查中发现:分析能力较强的学生的实验报告往往具有规范性、深刻性和独创性的特点,能够有意识地分析实验过程、比较实验结果、总结实验经验,并能在原有实验的基础上进行知识拓展,这说明分析能力的提高有赖于日常学习中的反思和总结.

在物理实验素养中,学生的设计创新能力是提升空间相对较大的一项.被试群体的设计创新能力平均分为 2.48,处于刚刚从入门期进入熟练期的阶段.从试题测试和访谈的结果来看,有的学生不能及时总结实验经验并进行知识迁移,如在回答“迈克尔逊干涉仪除测量钠光波长外还有哪些应用”时,学生不能联系光学所学的知识,提出“迈克尔逊干涉仪还可以用来测量牛顿环半径”等类似的实验想法;学生“提出问题—寻找证据—作出解释—讨论交流”的科学探究能力欠佳,自主提出完整的实验改进方案和设计方案的科学探究能力需要加强.

但是,在调查中也有个别学生展现出了较强的设计创新能力.在访谈中了解到,创新能力较强的学生均受过诸如实验竞赛、实验设计活动等创新实验训练,已经形成了一套较为成熟的认知策略.这说明创新能力的提高依赖于新情境的创设,设计性思考和活动可以使逐渐学会运用所学的知识解决

新情境中的问题.

(3) 思维层面

为表征在思维层面上学生物理实验素养的发展程度,将统计数据计入大学生物理实验素养的三维结构模型中^[2],标记学生在各个思维层面的发展水平(如图2).由图2可见,纵坐标对应于水平3和水平4之间的点的个数是最多的,这与学生的大学生物理实验素养水平有着相同的整体趋势.

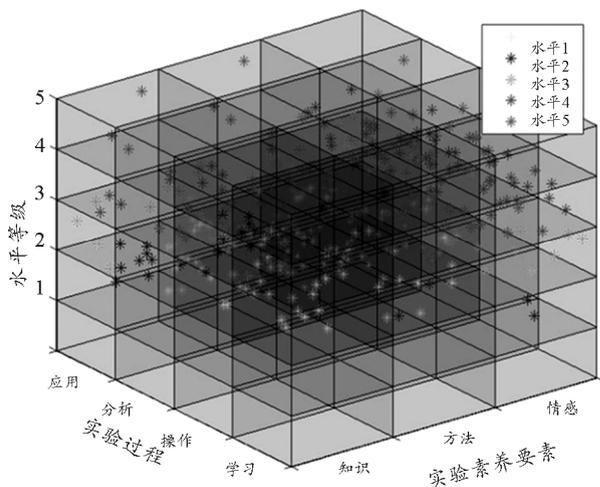


图2 被试群体物理实验素养的思维发展水平

表3记录了模型中每个重要成分下对应于各水平的点的个数.由表3可见,在思维层面上,学生对知识和方法的分析和应用思维水平均集中在第2和第3个水平级次,相比于这两者在学习和操作层面上的思维水平要低一些.

知识和方法的分析与应用思维在物理学科上主要体现在模型建构、科学推理、科学论证和质疑创新等要素上.从调查结果上看,学生能够初步形成思维习惯,但在思维水平的构建上还不够成熟.学生在遇到灵活性较高的问题或在解释现象时,有时会无从下手,习惯于凭借直觉进行判断,而缺乏合理有力的推理过程.

在平时的实验操作中,学生所做实验多为验证性的实验,讲义上已给出详细的操作步骤,学生独立思考、独立探究的过程相对较少,这会降低学生的思维发展速度.为强化学生的分析和应用思维的培养,教师可以适当提高对学生的要求,引导学生结合已学知识全方位地分析问题,采用不同的方法和手段制定问题解决方案,力求在日常的学习锻炼中,让学生对于知识和方法的分析与应用达到熟练化.

表3 各重要成分下对应各水平的点的个数统计表

重要成分		水平				
		水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5
知识	学习	0	0	11	16	1
	操作	0	0	12	15	1
	分析	0	1	17	9	1
	应用	1	9	11	5	2
方法	学习	0	2	8	17	1
	操作	0	0	8	17	3
	分析	0	2	16	8	2
	应用	1	9	11	5	2
情感	学习	0	2	9	17	0
	操作	0	0	5	15	8
	分析	0	0	5	19	4
	应用	0	4	16	8	0

3.3 调查中发现的其他现象

3.3.1 学生的情感态度和科学态度与物理实验素养显著相关

学生的情感态度与科学价值观教育是我国教育改革对于当前人才的客观要求^[6].皮亚杰的认知心理学理论认为,所有的行为均具有情感与认知两个

方面,纯粹的认知行为或者纯粹的情感行为是不存在的^[7].情感态度和科学态度是物理实验素养中不可分割的一部分,同时它们对于其他物理实验素养重要成分的发展也起到了重要的推动作用.

在调查中发现,被试群体的情感态度和科学态度较好.大部分学生都能养成良好的实验习惯,形成实验安全意识,能主动完成学习任务,当遇到困难时努力寻找解决问题的方案,并能清楚地认识到实验在物理学中的地位和作用.

此外,根据对调查数据的相关性检验,在情感态度中,学生的实验兴趣对物理实验素养总体水平的影响最大.实验兴趣强烈的学生的物理实验素养均处于中上等水平,而物理实验素养水平较低的学生实验兴趣普遍不高,对于实验表现出来的积极性较差.在科学态度中,学生的求真意识和钻研精神与数据处理与分析能力的相关性最强.态度严谨、认真的学生在数据处理和结果分析时往往更加细致、全面,分析内容也更加准确、到位,数据处理与分析能力差的学生倾向于以参考和询问他人的方式完成结果的处理与分析过程,不愿意独立思考.

在学习过程中,起关键作用的情感态度因素主要为焦虑、自信心、动机等^[7].情感态度和科学态度差的学生在访谈中普遍表现出畏难情绪和不自信的状态,存在退缩性焦虑,逃避学习任务,学习愿望不够强烈.如果能在教学中适当鼓励学生提升情感态度和科学态度,对于学生物理实验素养的发展将是极其有益的.

3.3.2 网络教学手段有利于加强学生对于实验的理解

当前,网络的普及为教育者和学习者提供了很好的互动平台,利用多种数字化、网络化的教学手段开展实验教学成为当前教育研究的热点.许多学校致力于实验预习系统、仿真模拟系统、物理实验精品在线课程等网络手段的开发^[8,9],并在课堂上应用多媒体教学、CCD技术等方式进行实验演示,例如“采用CCD技术演示分光计的调节和使用”等.

在调查中发现,学生对于有录制的视频讲解实验的预习效果远高于仅能单纯阅读实验讲义的实验,对于实验原理的理解也更加深刻.此外,有的实验教师喜欢在课堂上播放实验讲解视频,除帮助学

生细致观察实验仪器的操作方法外,也充分调动了学生学习的积极性和主动性,改善了学生的学习方式.因此,在学生的预习和课堂学习阶段加以网络教学手段的辅助,是一种帮助学生深入理解实验的有效途径.

4 教学建议

4.1 思考与操作并重 提高学生的分析能力

实验课的目的在于从物理现象和规律的发现过程中感悟实验对于物理学理论的推动作用.在实验课程的学习中,操作和思考具有同等地位^[8].因此,为提高学生的分析能力,教师可以在课堂上多设置问题,以问题引领实验操作,引导学生在头脑中经历实验方案的设计过程.在课堂下,通过规范实验报告的格式促使学生在实验报告中体现对于实验现象产生原因、误差来源、实验的不足之处等问题的分析,引导学生主动对实验进行分析、反思和总结,以加强学生对于实验知识和过程的理解.

4.2 增加设计型实验活动和实验思考题 促进创新思维的发展

现在实验课程中的实验大多为“菜谱型”实验,即学生按照已有的实验步骤和方法完成实验操作,缺乏自主探究过程^[4].调整教学内容,适当增加设计型实验活动,通过设置情境,让学生以小组或个人为单位经历完整的实验方案设计、实施和总结的过程,可以有效培养学生设计创新能力,从而进一步提高创新思维.此外,一种实验设备往往具有多种功能,也可以在其他实验中发挥作用.因此,教师可以在实验思考题中设置问题,引导学生联系已学知识,自主挖掘仪器的其他功能,以求在日积月累中强化创新思维.

4.3 注重课堂上的情感交流和科学态度的渗透

浓厚的学习兴趣和强烈的求知欲是学生刻苦学习、自我提升的不竭动力.关于情感态度,日常教学中的情感交流可以激发学生的实验兴趣、提高学习意识;增加课堂上的讨论交流环节可以促进教师与学生和学生与学生之间的交流,使每一位学生充分参与到课堂之中.在实验过程中,教师应适当鼓励学生,帮助学生消除畏难情绪,树立自信心,从而从学

生的心理上提高学习的积极性. 在科学态度的培养上,适度的知识拓展可以发挥重要的作用. 课堂上,教师可以讲解与实验相关的物理学发展史或物理学家的事迹,使学生了解科学技术的发展历程,明白从事科研事业的意义,从而优化实验态度,树立正确的科学价值观和责任感.

4.4 丰富教学手段 充分利用多种网络媒介

对于实验步骤的学习,相比于实验讲义,录制的实验视频可以有效辅助学生进行课前预习,将实验理论和实验过程结合在一起. 在课堂上,适当使用多媒体课件配合教师的讲解,可以更加清楚地帮助学生梳理理论知识. 通过上述方法,帮助学生在实验前形成较为清晰的实验思路,理解各实验步骤的设计意图. 此外,在当前成熟的网络教学环境下,模拟仿真系统的使用也将会对教学产生巨大的促进作用.

5 结束语

发展物理实验素养是大学生物理实验学习的最终目的. 本文综合利用多种调查方法,对某大学物理学系的低年级学生开展了抽样调查,分析了样本群体物理实验素养的整体水平,并从知识、能力和思维等方面讨论了被试群体在物理实验学习中的长处和存在问题,针对大学生物理实验素养的发展提出教学建议. 在物理实验教学中,及时的反馈和评价可以

帮助教师了解学生的物理实验素养水平,以更具针对性的教学方式引导学生不断提升个人的物理实验素养,有助于高校实验教学策略的改进和完善.

参考文献

- 1 教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会. 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,2011.2~5
- 2 刘佳琪,李春密,冉露,等. 大学生物理实验素养评价体系的构建[J]. 物理实验,2020,40(07):19~24
- 3 李春密. 高中生物理实验操作能力及品质的发展研究[J]. 物理实验,2002(10):25~29
- 4 皮连生. 智育心理学[M]. 北京:人民教育出版社,2015. 122~272
- 5 侯丽梅,李春密. 高二学生物理实验能力研究[J]. 物理实验,2001(06):23~26
- 6 李丽. 高中物理课程中情感态度与价值观教育研究[J]. 课程教育研究,2020(05):192
- 7 姜琳. 情感驱动的物理教学模式初探[J]. 物理通报,2019(11):35~40
- 8 王海燕,王伶俐. 以培养创新创业型人才为导向的物理学物理实验教学改革与成效[J]. 大学物理实验,2018,31(06):129~131
- 9 言秋莉,李丹,唐玉梅. 标准化、网络化的大学物理实验预习系统的实现[J]. 大学物理实验,2011,24(05):105~107

Investigation and Analysis on University Students' Physical Experiment Accomplishment

Liu Jiaqi Li Chunmi Huang Jiajia Ran Lu

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: Carrying out a sample survey on some undergraduates in the physics department of Beijing Normal University, the authors find that the overall physics experiment literacy of the sample group is at the upper middle level. Besides, the authors specifically analyze the current situation of students' experiment literacy from knowledge, ability, thinking and other aspects, discuss the common problems of students in learning, and put forward some teaching suggestions. This article will provide a basis for the experimental teaching reform in colleges and universities.

Key words: college students' physics experiment literacy; evaluation; survey results; teaching suggestions