

数字化教育背景下大学物理实验 MOOC 教学模式探索与实践

裴艺丽¹ 张师平² 陈 森¹ 李 莉¹ 谢子昂² 吴 平²

(北京科技大学¹物理实验中心;²数理学院,北京 100083)

摘 要 本文以北京科技大学“大学物理实验”教学为例,通过不断探索和教学反馈形成了数字化背景下大学物理实验 MOOC 教学模式;利用 MOOC、仿真实验、实时数据后测系统、报告系统等线上手段最终形成了针对本校学生的线上异步 SPOC 课程与线下同步实验课程相结合的教学模式、线上线下混合式实验教学的操作模式。该操作模式有机融合了学生预习、交互式学习、操作个性化指导、数据检验、报告提交、线上答疑等各个方面,并实行过程性考核与结果性考核有机结合的多样评价和过程跟踪的考核方式,实现学生智慧学习的个性化、数字化和交互式,以此激发学生的学习兴趣和提高学习质量。此外,针对外校学生和社会学习者的 MOOC 与仿真结合的同步教学模式,行之有效,让实践课程可以突破校园边界,具有一定的推广价值。

关键词 数字化教育;大学物理实验;慕课;仿真实验;教学模式

EXPLORATION AND PRACTICE OF MOOC TEACHING MODE IN COLLEGE PHYSICS EXPERIMENTS UNDER THE BACKGROUND OF DIGITAL EDUCATION

PEI Yili ZHANG Shiping CHEN Sen LI li XIE Ziang WU Ping

(¹ Basic Experimental Center of Natural Science;

² School of Mathematics and Physics, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

Abstract Taking the teaching of “College Physics Experiments” at Beijing University of Science and Technology as an example, a digital MOOC teaching model for college physics experiments has been formed through continuous exploration and teaching feedback. By utilizing online methods such as MOOC, simulation experiments, real-time data post-testing systems, and reporting systems, a teaching mode combining online asynchronous SPOC courses with offline synchronous experimental courses, as well as an operating mode of mixed online and offline experimental teaching, has been formed for students in our school. Organic integration is implemented in student preview, interactive learning, personalized guidance for operation, data verification, report submission, online Q&A, and various evaluation and process tracking assessment methods that organically combine process assessment and outcome assessment are implemented to achieve personalized, digital, and interactive intelligent learning for students, thereby improving their learning interest and quality. In addition, the synchronous

收稿日期: 2023-05-23

基金项目: 本文受北京科技大学 2021 年度本科教育教学改革面上项目(JG2021M54)以及北京科技大学 2021 年度本科教育教学改革重点项目(JG2021Z05)资助。

作者简介: 裴艺丽,北京科技大学物理实验中心工程师,yilipei@ustb.edu.cn。

通信作者: 吴平,北京科技大学数理学院教授,pingwu@sas.ustb.edu.cn。

引文格式: 裴艺丽,张师平,陈森,等. 数字化教育背景下大学物理实验 MOOC 教学模式探索与实践[J]. 物理与工程,2024,34(2):136-145.

Cite this article: PEI Y L, ZHANG S P, CHEN S, et al. Exploration and practice of MOOC teaching mode in college physics experiments under the background of digital education[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(2): 136-145. (in Chinese)

teaching mode combining MOOC and simulation for students from other schools and social learners is effective, allowing practical courses to break through campus boundaries and have certain promotion value.

Key words digital education; university physics experiment; MOOC; simulation experiment; teaching mode

随着我们国家的快速发展,我国从制造大国转变为创造大国,这也为我们实验教学提出了更高的要求,也就是既要让教学满足培养创造性人才的需求,又要适应我们大国国际化的情况。2016年2月,高等教育版《地平线报告》明确指出:混合式学习的设计与应用将是未来高等教育发展的重要趋势之一^[1]。习近平总书记在中共中央政治局第五次集体学习时强调:教育数字化是我国开辟教育发展新赛道和塑造教育发展新优势的重要突破口^[2]。另外,“互联网+教育”对教育理念的革新和发展,使信息技术在教学中得到了广泛的应用,MOOC就是其中之一,线上教学可以此为基础开展^[3]。高等教育在智慧教育的助力下,进一步完成数字化,这可以使学生的学习个性化、终身化,也可以为优质教育资源覆盖面的扩大和教育现代化提供有效支撑。另外,数字化教育可以让大学一流课程突破校园边界,以此照顾到有特殊需求的本科生、留学生、中小学的科普教育,以及部分中西部兄弟院校的教学情况。

“大学物理实验”课程涵盖“工科物理实验”“基础物理实验”和部分“理科物理实验”,是高等院校理工科专业学生必修基础课,教授学生科学实验的基本知识、方法和技巧,培养学生的创新实践能力,为学生进行科研、应用技术工作奠定实验基础^[4]。此外,“大学物理实验”也在引领学生的正确价值观上起着至关重要的作用。然而,大学新生普遍存在学习兴趣缺乏,自主学习能力差,主动探求问题的意识薄弱,难以适应大学粗线条、研究性教学的形态。为此,我校录制了32个实验的MOOC课程,并基于3D引擎开发了与课程配套的虚拟仿真实验,结合我校早已开发的实时数据后测系统、报告系统等线上手段,探索与实践出在数字教育化背景下的MOOC教学模式,尝试解决学生学习难、兴趣缺乏的问题。

MOOC和SPOC教学模式,与传统教学模式相比,是在线学习、学伴协作、多元管理融为一体的学习流程,是集规模化、开放化、网络化和个性

化为一体的教育教学模式,SPOC和可视化的仿真实验以及线下教学有机融合,可以促进智慧学习,提高学习兴趣和学习质量。针对本校学生,我们确定了线上SPOC异步教学的开课模式、线上异步SPOC课程与线下同步实验课程相结合的教学模式、线上线下混合式实验教学的操作模式。2023年2月13日,中国教育部部长怀进鹏在世界数字教育大会上的主旨演讲《数字变革与教育未来》中提到,数字教育应是公平包容的教育。数字技术具有互联互通、即时高效、动态共享的特征,能够快速高效地把分散的优质资源聚合起来,突破时空限制,跨学校、跨区域、跨国家传播分享,让那些深处不同环境的人都能够平等地获得教育资源的机会和渠道。针对外校学生和社会学习者,我们确定了MOOC课程与仿真实验的结合,学生通过MOOC课程进行学习,通过仿真实验进行操作和数据处理,为社会学习者提供可以学习也可以操作的物理实验课程学习资源。图1展示了经过探索形成的数字化教育背景下大学物理实验MOOC教学模式。

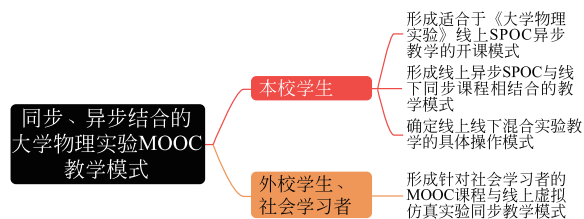


图1 数字化教育背景下大学物理实验MOOC教学模式

1 形成适合于“大学物理实验”线上SPOC异步教学的开课模式

我校大学物理实验课程目前针对不同的专业有48学时和64学时,每个实验项目为3学时,对于线上学习,学生的自觉自主性占很重要的因素,将一定的开课学时分配给线上学习,有助于督促学生的自觉学习。目前,绪论课采取线上学习,线

下课堂不再讲解,要求学生线上学习后完成相应的检测题;而且绪论课内容较多,如果老师在线下讲解完成以后,不可避免地学生没有吃透或者容易忘记,那么放在线上学习,学生在以后的实验过程中随时返回查看。绪论课 SPOC 内容很细化,便于学生查找。另外,在以往大学物理实验课程考试方式探索时我们发现平时考核更能够注重学生学习过程考查和学生能力评价^[5],那么 SPOC 里是可以通过适当发放作业、讨论题、考试的方式对学生的平时学习情况作过程性考核的。

综上所述,我们研究了适合于大学物理实验

线上 SPOC 异步教学的开课模式,系统地考虑到学时分配、考查题目、考核机制等方面,也通过教学反馈来进行修正。如图 2 所示,目前我们已经开展了 2 个学期针对本校学生的 SPOC。本项目开展的 SPOC 选课人数累计 8948 人。

图 3 展示了 SPOC 课程计分方式,由单元测验(30%)、单元作业(30%)、课程讨论(10%)、考试(30%)组成,其中单元作业为同学互评,未参与互评的学生将给予所得分数的 50%,未完成互评的学生将给予所得分数的 80%;课堂讨论以活跃度(即在课堂讨论中回复的数量)作为评分标准,

MOOC课程与学期 SPOC课程与学期 课程学期汇总表

SPOC课程类型	主要内容	课程后能否申请成为MOOC
同步SPOC	完全照搬一门正在开课的源课程学期,老师仅可补充内容;不能修改源课程原有内容	否
异步SPOC	拷贝一门已经结课的源课程学期内容,老师可以删减原有内容也可以新增补充内容	否
独立SPOC	单独创建一门SPOC课程。老师可根据自己的教学安排发布一门专有课程。	是 (由学院管理部门审批申请)

工科物理实验II (SPOC) 编号: 20210803001 独立SPOC

第二学期	吴平	正在进行	2023年02月21日开课	查看学习页面	发布内容
第一学期	吴平	已结束	2022年06月14日结束	查看评价	

理科物理实验 (SPOC) 编号: 20210715002 独立SPOC

第二学期	吴平	正在进行	2023年02月24日开课	查看学习页面	发布内容
第一学期	吴平	已结束	2023年01月10日结束	查看评价	

工科物理实验I 编号: 20210715001 独立SPOC

第二学期	吴平	已结束	2022年12月25日结束	查看评价	
第一学期	吴平	已结束	2021年12月31日结束	查看评价	

图 2 中国大学 MOOC 上针对本校学生的 SPOC 课程与学期

总分设置

参与计分类型	总分占比(%)
☒ 单元测验	30
☒ 单元作业	30
☒ 考试	30
☐ 新版考试	
☒ 课程讨论	
设置积分维度	
☒ 活跃度: 请输入获取满分用户需要在“课堂讨论”中回复的数量 2	10
☐ 内容质量: 请输入获取满分用户需要在“课堂讨论”中回复内容被赞的数量	

图 3 本校学生参与的 SPOC 课程计分方式

回复超过 2 次即可获得相应分数。单元作业请同学互评的得分方式,以及课堂讨论的设计,均可以调动学生线上异步学习的主动性和积极性。

另外,在 SPOC 课程的讨论区,为学生提供课后在网上分享、探索和研究的平台,课后学生在线上分享式地提出问题和讨论问题,形成课后学生对物理问题进行研究、探索和讨论的机制,形成大

学物理课程研究性学习方式。如图 4 所示,同学们回复热情较高,老师也会参与讨论,且有同学倾向于在网上问问题和参与讨论,这是对我们线下实验课堂的有效补充。

SPOC 拍摄的视频,每一个实验均含有三板块内容,如图 5 所示,有引言与实验原理、实验仪器介绍以及实验操作及注意事项。实验操作及注

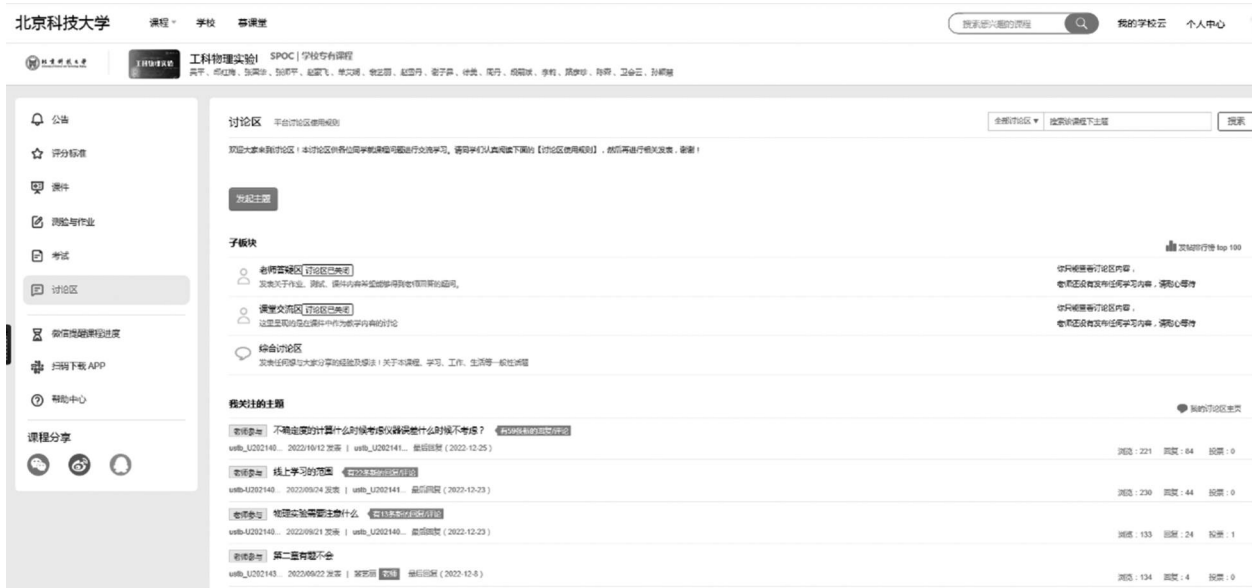
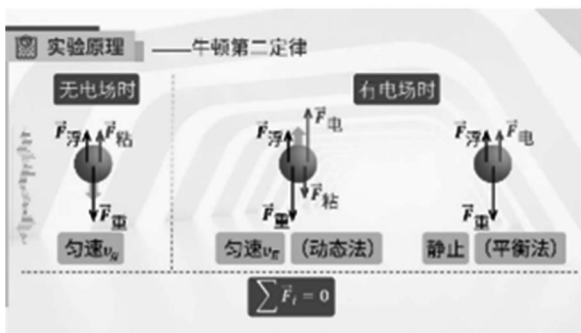
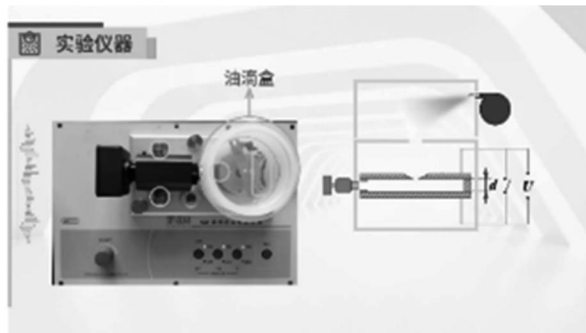


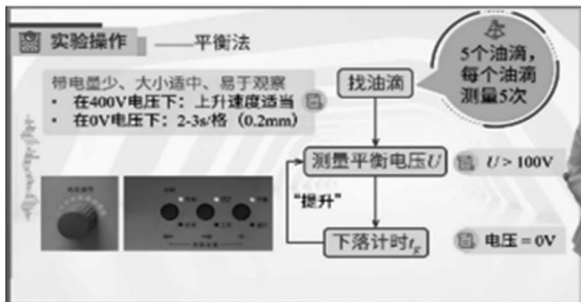
图 4 本校学生 SPOC 课程的讨论区页面截选



(a)



(b)



(c)



(d)

图 5 SPOC 讲解

(a) 引言与实验原理; (b) 实验仪器介绍; (c) 实验操作及注意事项; (d) 操作视频页面截选——“电子电荷 e 值的测定”实验

意事项部分的关键步骤插入了实验操作视频。学生课前通过实验原理部分进行预习,在上课过程中的关键操作步骤可以依据自身情况观看相应操作视频完成个性化指导。

此外,大学物理实验中蕴含丰富的思政元素,例如,辩证唯物主义观树立并增强学生的世界观;严谨、尊重科学、吃苦耐劳、团结协作以及创新精神等明确学生的人生观;国家发展、名人故事等激发塑造学生的价值观,因而,探索大学物理实验课中开展思政教育的方法和方式是十分必要的^[7]。SPOC 的拍摄内容由课程组把关,引入了思政和前沿科技,进行反溯法教学,有效减小了传统教学手段每个教师讲解内容把关的难度。图 6 以“声速的测量”实验为例展示了 SPOC 讲解中的思政元素与前沿科技引入方式。引言中通过“蛟龙号”上所应用的通信声学系统介绍,使学生理解声呐探测原理,并进一步了解到超声波的探测手段在海水作业中优于光学和电磁波手段,同时对我国的载人潜水器水平有一定了解。通过实验拓展让学生了解声压的概念,以及声悬浮这种应用前景广阔的悬浮技术的物理机理。



图 6 SPOC 讲解

(a) 思政元素与; (b) 前沿科技引入——“声速的测量”实验

经过我们的探索,最终确定了合适的线上

SPOC 异步教学开课模式,能够激励学生主动观看与学习,将 SPOC 这种新颖的教学手段引入我们的实验教学中。

2 形成“大学物理实验”线上异步 SPOC 与线下同步课程相结合的教学模式

要解决好“大学物理实验”的 SPOC 课程与传统线下教学之间的关系,关键是课程的内容设计与建设。由于线上 SPOC 教学的实施,可以节省上课教师讲解实验项目基础原理的部分时间,教师可以将实验与他的科研结合,讲解一些与实验相关的科技前沿,激发学生的学习兴趣,也可以根据学生的情况补充一些实验扩展、操作过程特殊情况的讲解,也给学生节省了线下实验基本操作的时间,给有余力的同学增添相关的实验拓展操作。

此外,我们做了学生检验数据的后测系统,如图 7 所示,每个实验数据均有标准数据计算模板,学生课后在后测系统里输入数据和计算结果,系统根据标准数据对学生的数据处理部分进行实时给分和反馈。另外,我们确立了“大学物理实验”的成绩组成,SPOC 成绩占总成绩的 10%。这样可以有效地督促学生完成线上学习,培养学生独立学习的能力,且使学生有更多的时间完成实验操作。我们采取过程性考核与结果性考核有机结合的多样评价和过程跟踪的考核方式。过程性考核(占课程总成绩的百分之 60%)能够促进学生深度学习和创新思维。其中过程性考核有,学生的报告成绩(40%)、平时成绩(10%)、SPOC 成绩(10%),结果性考核为期末考核成绩(40%)。

小球的下落速度 $v_1 = \underline{0.937} \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (0.05 分)

评分规则:

计算偏差在 $-0.001 \sim 0.001$ 之间,有效数字保留正确(保留 3 位或者 4 位有效数字)得 0.05 分

计算在 $-0.001 \sim 0.001$ 之外,则显示“计算结果不正确”

有效数字不正确则显示“有效位数不正确”

参考数据:

$$v_1 = \frac{L}{t_1} = \frac{30.0}{32.02} = 0.937 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

注意: 其中 t_1 值请用上一空中学生所填 t_1 值为准,不使用原始数据。

图 7 学生提交数据的后测系统中的标准数据计算模板——“用落球法测定液体不同温度下的黏度及温度的 PID 调节”实验

图 8 展示了“大学物理实验同步、异步结合的教学反馈调研”中关于 SPOC 相关的问题,有绝大

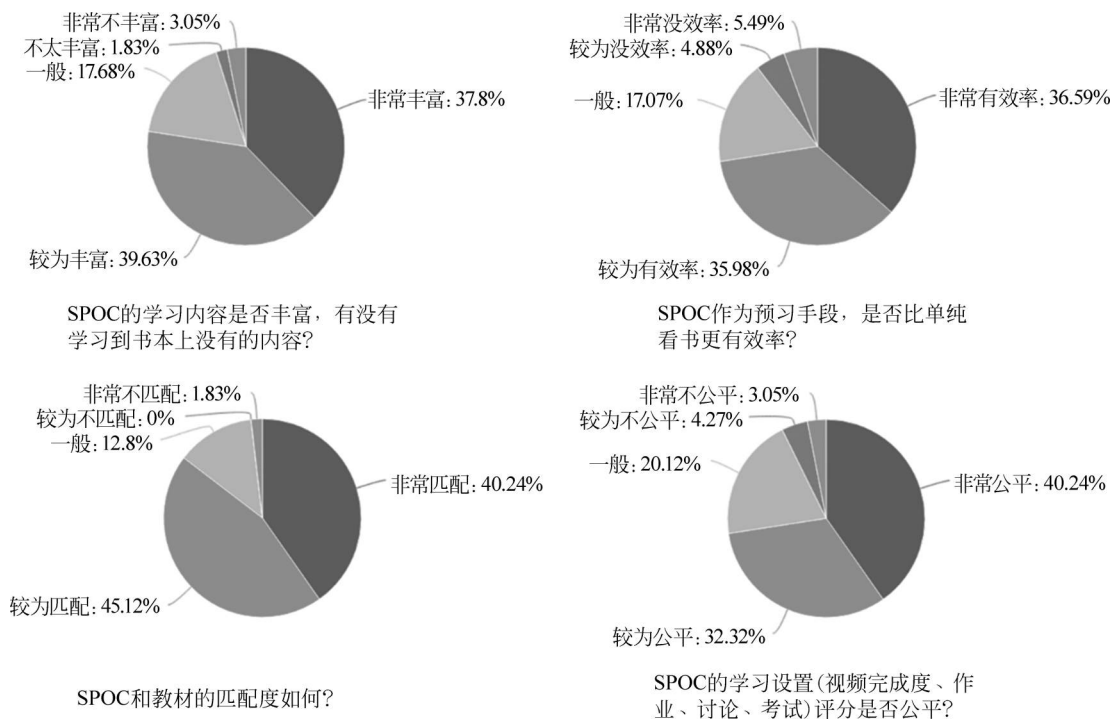


图8 “大学物理实验同步、异步结合的教学反馈调研”中 SPOC 相关问题调研结果

多数同学认为 SPOC 学习内容丰富且学习到了书本上没有的内容,作为预习手段比单纯看书更为有效,SPOC 和教材匹配且 SPOC 的学习设置评分公平。

综上所述,我们确定了线上异步 SPOC 课程与线下同步实验课程相结合的教学模式,此教学模式有着线上 SPOC 和后测系统的加持,可以让学生更好地进行智慧化学习。学生利用 SPOC 进行原理预习,上课过程中通过 SPOC 中操作视频进行个性化指导,课后利用后测系统进行实时检验,在报告系统里提交报告,课后还可以在 SPOC 讨论区进行分享、探索和研究,这样形成一个信息化网络化加持的线上线下相结合的教学闭环。以此模式助力学生完成在线学习、学伴协作、个性化学习的智慧学习。当数字移民(教师)碰到数字原住民(学生)的时候,教师更加需要提高信息素养,在我们的物理实验教学手段中,上课教师已经可以自如地将线上 SPOC、后测系统、报告系统和线下实验课程有机融合,大大提高了教学效率,丰富了教学手段。

3 确定线上线下混合式实验教学的具体操作模式

形成“大学物理实验”线上线下混合式教学模

式的关键在于课程表现方式的设计。在保证 SPOC 课程运行模式的设计与研究时,考虑了 SPOC 和虚拟仿真实验平台的结合,也考虑了这些线上与线下教学手段相结合的具体操作模式,即课堂表现方式。SPOC 讲解较为全面,虚拟仿真实验可以实现计算机模拟可视化,学生可以进行交互式学习,这些手段均可以促使学生课前完成高效的预习。在课后学生还可以进行 SPOC 和虚拟仿真实验平台的再次复习回顾,加深对实验过程和数据的理解。

另外,在 2022—2023 年度上学期的学习中,因为疫情没有返校的学生没有办法参加线下实验,只能通过仿真实验平台完成相应的实验操作任务。针对这样的情况,我们根据教材开发了相应的仿真实验,保证未返校学生用仿真实验平台做的实验内容和返校学生线下内容一致,同样用报告系统提交实验报告,没有影响未返校学生的物理实验学习。我们在每个仿真实验的考查点里设置了操作成绩和数据成绩两项,图 9 以“电桥测电阻”实验为例,列出了此实验中部分隐藏考查点(操作得分)和数据考查点,可以综合考查学生做实验的全过程。

针对本学年学生,我们下发了“大学物理实验

二、数据考查点 (5 分)

实验数据:

1. 用自搭建议电桥测金属膜电阻的阻值 (3.0 分)

自搭建议电桥数据表格 (不评分)

供桥电压 /V	检流计内 阻/ Ω	N	R_0 / Ω	R'_0 / Ω	Δd /格	$ R_{01}-R_{02} $ / Ω
4	2500	1	500.0	500.0	1.0	18.0
4	100	1	500.0	498.5	1.0	8.0
8	2500	1	498.0	497.0	1.0	7.2
8	100	1	499.6	496.7	1.0	4.0

第2~5行第4~7列, 数据正确, 每格得0.075分

一、隐藏考察点 (5 分)

1. 正确连线 (自搭电桥) (1 分)

评分规则:

正确连线 得 1 分

未正确连线 得 0 分

2. 正确使用跃接法 (自搭电桥) (1 分)

评分规则:

使用跃接法 得 1 分

未使用跃接法 得 0 分

(1) 供桥电压4V、检流计内阻2500 Ω 待测电阻阻值: $R_x = \underline{\quad 500.0 \quad} \Omega$ (0.3 分)

评分规则:

数据偏差在-0.1~0.1 之间, 得 0.3 分

数据偏差在-0.1~0.1 之外, 得 0 分

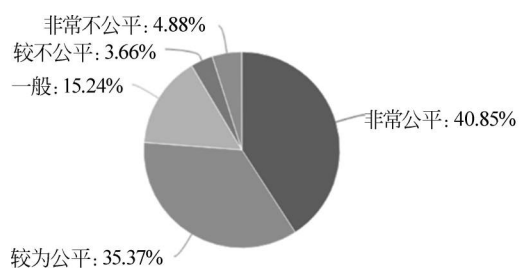
参考数据:

$$R_x = \sqrt{R_0 - R'_0} = \sqrt{500.0\Omega - 500.0\Omega} = 500.0 \Omega$$

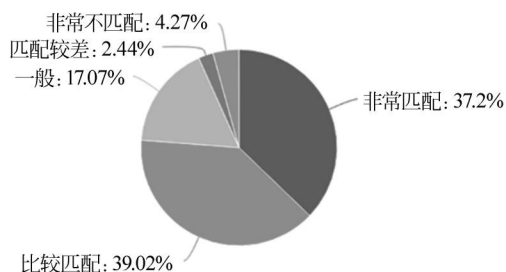
图 9 北科大考核模式评分标准截选——“电桥测电阻”实验

同步、异步结合的教学反馈调研”问卷,图 10 展示了部分关于仿真实验的调研结果,有 79% 的学生认为仿真实验的操作和教材内容契合,有 56% 的学生认为仿真实验和实际实验差别较小,有 77% 的学生认为 SPOC、仿真实验和教材匹配,有 79% 的学生认为仿真实验和教材匹配。

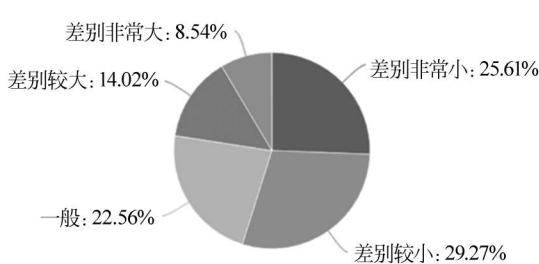
而且对于留学生来说,在国外的留学生由于特殊情况是无法到校的,并且留学生更需要有仿真实验帮他做一些预习,熟悉实验操作。至此,对于本校学习学生、未返校学生、留学生来讲,通过线上 SPOC、后测系统、报告系统、仿真实验的有机结合,均有相应的线上线下混合式实验教学的



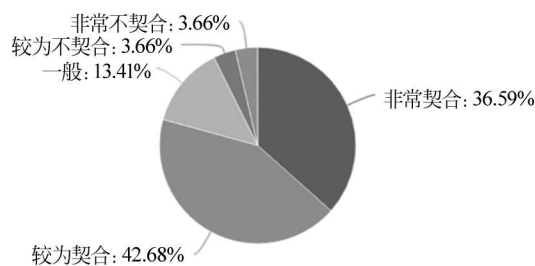
上学期的使用中, 仿真实验的评分是否公平?



上学期的使用中, SPOC、仿真实验和教材的匹配度如何?



您是否觉得仿真实验和实际实验有很大差别?



上学期的使用中, 仿真实验的操作和教材的契合度如何?

图 10 “物理实验虚拟仿真实验体验调研”问卷截选

具体操作模式可供选择,形成教学闭环,同时有效地解决了疫情或者今后可能遇到的特殊情况带来的实验课程上课难题。

4 形成针对社会学习者的 MOOC 课程与线上虚拟仿真实验同步教学模式

通过确定 MOOC 课程与虚拟仿真实验的结合模式,可以使外校学习者在没有实验器材的情况下完成物理实验课程的学习。在此工作基础上,我们就可以做到针对外校学生、社会学习者的线上教学,以及普通中小学的线上科普教学。截至目前,如图 11 所示,我们已经开展了 4 个学期的工科物理实验 I 和 2 个学期的工科物理实验 II 的 MOOC 课程。工科物理实验 I 累计选课人数 2141 人,工科物理实验 II 选课人数 601 人。

我们制定了工科物理实验的给分方式,工科物理实验 MOOC 包括线上学习和仿真实验学习(在仿真实验平台)两部分构成。成绩由 MOOC 中单元测验(15%)、单元作业(15%)、课堂讨论(5%)、考试(15%)以及域外成绩(仿真实验,50%)组成。本课程设有合格证书和优秀证书,总分在 60~85(不含)分之间为合格,有资格申请合格证书;总分高于 85(含)分为优秀,有资格申请优秀证书。

我们针对我们的教材完成了对仿真实验项目的开发,仿真实验的设计理念是和 MOOC 完美契合、与我校线下实验完全一致。课程配套的虚拟仿真实验基于 3D 引擎开发,给实验者身临其境之

感。仿真实验与 MOOC 的配合将极大地提高同学的学习兴趣与学习质量。图 12 以“空气比热容比的测定”为例,展示了我们开发的仿真实验的实验仪器和我校真实实验仪器是一致的,仿真系统里的数据处理表格和我们教材的实验内容与要求也是一致的。目前,根据本校实验教材改进的仿真实验平台累计使用学生 2673 人。

目前,我们在工科物理实验 I 中引入了 7 个、工科物理实验 II 中引入了 8 个相应的仿真实验项目,总计有 15 个实验项目按照我校的 MOOC 和教材完成了仿真实验的开发。如图 13 所示,仿真实验操作作为每个实验的作业放入了 MOOC 系统。学生完成相应的 MOOC 学习和仿真实验操作,最终,仿真实验的成绩将作为域外成绩导入到 MOOC 系统中。

2023 年我校“大学物理实验”课程被评为“北京高校优质本科课程”。外校学生和社会学习者使用 MOOC 课程与线上虚拟仿真实验同步的教学模式,在一方面实现了怀进鹏部长所讲的智慧教育助力高等教育,让大学一流课程突破校园边界。外校学生和社会学习者完全可以自主完成上课、实验的全过程。形成阅读我校教材、MOOC 线上上课、提交作业、参与讨论和答疑,仿真实验系统完成相应操作,最终成绩统一在 MOOC 系统中,形成教学闭环。可以看出,我们有效地解决了外校学生和社会学习者只能进行 MOOC 线上学习而不能实际操作的难题,这对于物理实验课程是非常重要的。

MOOC课程与学期 SPOC课程与学期 源课程学期汇总表

工科物理实验II 编号: 0702USTB053B				
第二学期	吴平	正在进行	2023年03月06日开课	查看学习页面 发布内容
第一学期	吴平	已结束	2022年12月31日结束	查看存档
工科物理实验I 编号: 0702USTB053A				
第四学期	吴平	正在进行	2023年03月06日开课	查看学习页面 发布内容
第三学期	吴平	已结束	2022年12月25日结束	查看存档
第二学期	吴平	已结束	2022年06月15日结束	查看存档
第一学期	吴平	已结束	2022年01月05日结束	查看存档

图 11 中国大学 MOOC 上的 MOOC 课程与学期

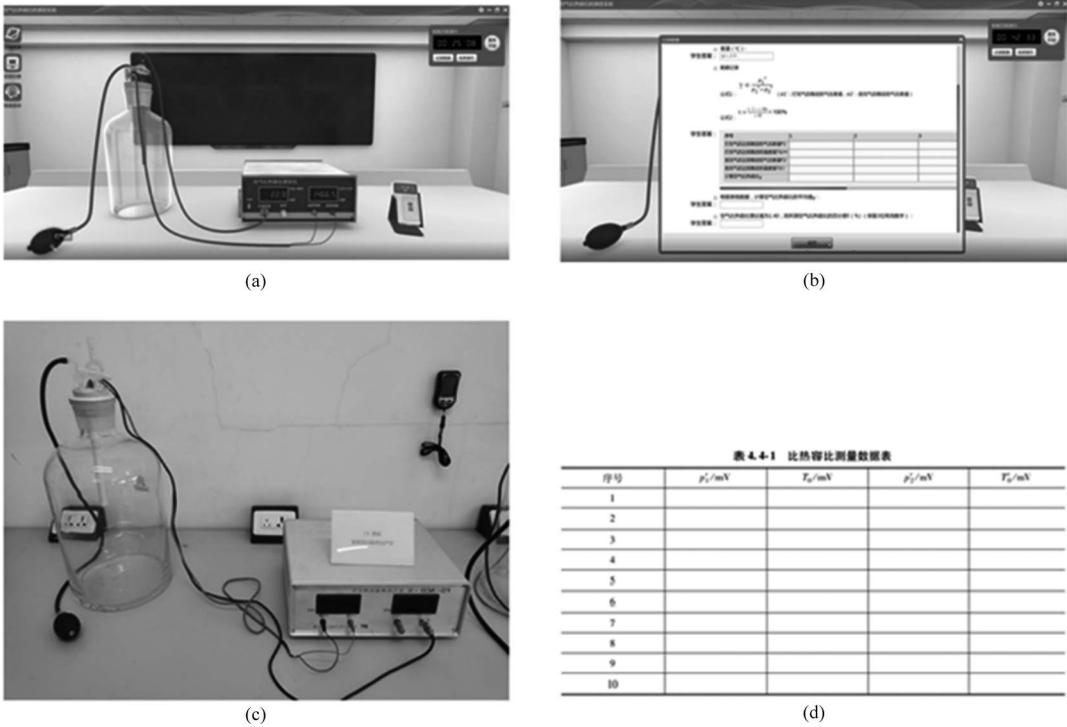


图 12 “空气比热容比的测定”仿真实验和真实实验及数据表格对比
(a) 仿真实验环境；(b) 仿真实验数据表格；(c) 真实实验环境；(d) 教材数据表格



图 13 MOOC 课程布置仿真实验作业的页面截选

5 结语

我校搭建了大学物理实验 MOOC 平台,拍摄了 32 个实验的 MOOC 视频并确定了线上 MOOC 异步开课模式。另外,针对我校教材开发了与之匹配的 3D 引擎虚拟仿真实验,再结合我校早已搭建的数据后测系统和报告提交与智能评判系统,通过不断探索和教学反馈形成了一套行之有效的并且可以持续推广下去的在数字化教育背景下的大学物理实验 MOOC 教学模式。

线上异步 SPOC 课程与线下同步实验课程教学模式,增强了学生自主学习能力、动手实践能力、创新能力。并且,逐步形成了我校物理实验课程的线上线下混合式教学相结合的授课标准,是集规模化、开放化、网络化和个性化为一体的教学模式,让学生可以在数字化智慧化学习手段的加持下完成在线学习、学伴协作、多元管理为一体的学习流程。我们也形成了“大学物理实验”MOOC 课程与其他线上教学手段结合实现同步教学的模式,有针对性地解决了外校学生和社会学习者只能进行 MOOC 线上学习而不能实际操作的困难,让大学实践课程突破了校园边界,有一定的推广价值。

参 考 文 献

- [1] 宋冬灵,张胜海,侯德亨,等. 基于多平台的大学物理线上教学实践探索[J]. 教育教学论坛,2021(20):97-100.
SONG D L, ZHANG S H, HOU D T, et al. Exploration of the online teaching practice of college physics based on multiple platforms[J]. Education and teaching forum, 2021(20): 97-100. (in Chinese)
- [2] 加快建设教育强国为中华民族伟大复兴提供有力支撑[N]. 人民日报,2023 年 5 月 30 日.
- [3] 李雄,王爱星,魏永恒. 基于 MOOC+直播教学的线上教学实践——以大学物理课程为例[J]. 中国多媒体与网络教学学报,2021(11): 182-185.
LI X, WANG A X, WEI Y H. Online teaching practice based on MOOC+live teaching—Taking college physics course as an example[J]. Chinese Journal of Multimedia and Network Teaching, 2021(11): 182-185. (in Chinese)
- [4] 王军,王帆,沙金巧,等. 线上线下相结合的大学物理实验教学教学改革研究[J]. 物理与工程,2020,30(5):26-31+36.
WANG J, WANG F, SHA J Q, et al. Research on the reform of college physics experiment teaching based on the combination of online and offline[J]. Physics and Engineering, 2020, 30(5): 26-31+36. (in Chinese)
- [5] 陈森,吴平,张师平,等. 基于多元智力理论的学生实验成绩量化评价[J]. 物理实验,2017,37(3):37-40+47.
CHEN S, WU P, ZHANG S P, et al. Quantitative evaluation of experimental achievements based on the theory of multiple intelligence[J]. Physics and Engineering, 2017, 37(3): 37-40+47. (in Chinese)
- [6] 史新伟,李杏瑞,祝柏林,等. 实践育人,践行思政——基于大学物理实验的课程思政教学设计[J]. 物理与工程,2023,33(1): 77-82.
SHI X W, LI X R, ZHU B L, et al. Practical education and political practice—Ideological and political teaching design based on college physics experiment[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(1): 77-82. (in Chinese)
- [7] 吴平,张师平,李莉,等. 信息化技术与物理实验教学的深度融合[J]. 物理与工程,2016,26(5):22-26.
WU P, ZHANG S P, LI L, et al. The deeper integration of information technology and physics experiment course[J]. Physics and Engineering, 2016, 26(5): 22-26. (in Chinese)
- [18] KIM K U, SHIN B S. Modeling motion resistance of rigid wheels[J]. Journal of Terramechanics, 1985, 22(4): 225-236.
- [19] MUELLER A. Modern robotics: Mechanics, planning, and control[bookshelf][J]. IEEE Control Systems Magazine, 2019, 39(6): 100-102.
- [20] XU Y, DAI Y, ZHANG H. Strategy arrangement of road cycling individual time trial based on topology optimization algorithm[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Medical and Health Informatics. 2022: 242-246.
- [21] HAAKONSSSEN E C, BARRAS M, BURKE L M, et al. Body composition in female road and track endurance cyclists: Normative values and typical changes in female road and track endurance cyclists[J]. European Journal of Sport Science, 2015:1-9.
- [22] HOPKINS W G, ANDERSON M E, LEE H, et al. The Lmi: A new practical index of lean mass for monitoring athletes[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2002, 34(5): S237.
- [23] ATKINSON G, PEACOCK O, PASSFIELD L. Variable versus constant power strategies during cycling time-trials: Prediction of time savings using an up-to-date mathematical model[J]. Journal of Sports Sciences, 2007, 25(9): 1001-1009.
- [24] James C. Martin, et al. Validation of a mathematical model for road cycling power[J]. Journal of Applied Biomechanics, 1998, 14(3).

(上接第 135 页)