

基于人工智能技术的虚拟物理元实验及其在项目式教学中的应用

陈直 胡国胜

(上海电子信息职业技术学院, 上海 201411)

摘要: (目的) 有效地把相对抽象的物理知识转化为学习者乐于接受的形象化表达一直都是物理教学所面对的核心问题。(方法) 基于人工智能技术, 构建了具有沉浸式逼真体验感的虚拟物理元实验, 实现了在虚拟物理元实验系统内自主选择虚拟实验仪器, 设计满足相同实验目标的不同实验方案。(结果) 该虚拟物理元实验还提供丰富的技术背景、理论知识和操作流程, 并且实验界面友好, 具备人机交互性。(结论) 教学实践表明, 基于人工智能技术的虚拟物理元实验能够有效提升项目式教学的效果, 在促进学生的学习成绩与改善学生的学习态度两个方面贡献明显。

关键词: 人工智能; 虚拟物理元实验; 项目式教学

人工智能技术的高速发展为现实世界与虚拟世界之间的链接和交互提供了坚实的技术基础, 催生了区块链、数字孪生、元宇宙等新概念。元宇宙 (Metaverse) 也称作超级宇宙, 是一个平行于现实世界的数字孪生空间。在元宇宙中, 虚拟现实、增强现实、数字 3D 等技术构建起了类似于现实世界的各种元素, 使得生产生活中的各类活动得以在虚拟空间中开展。物理实验作为一项重要的教学活动, 旨在培养学生的实验操作能力, 通过实验现象发现物理规律的归纳总结能力, 以及设计物理实验研究科学问题的统筹规划能力。在现实世界中开展物理实验所需的仪器设备和实验材料可以被虚拟化到元宇宙中, 从而形成元物理实验室, 以供给学生开展虚拟物理元实验。

依据发生认识论的具体运演、形式运演和逻辑运演三阶段的需求, 学生在小学、中学和大学都可以从物理实验中获取认知, 以此完善自我的知识体系, 提高自我的实践技能, 加深自我的思维水平。物理实验的这些作用充分说明了它对教育学的重要价值。经过多年来持续的教学改革实践, 物理实验的教学目标逐渐明晰, 教学内容不断完备, 人才培养成效显著。然而, 近年来随着数字化教学资源建设的不断推进, 以实体设备和器材为基础的实验类课程的数字化面临着极大的挑战。尤其, 线上教学作为一种新兴教学业态, 离开了实体教室、仪器设备、实验材料的支撑, 给实验教学提出了新要求。现行的物理实验教学主要存在、物理实验室建设成本昂贵、实验教学场地受限、教师对学生的指导有限、难以多次重复实验、无法切实有效开展物理实验考试等问题, 使得物理实验教学往往处于走过场、边缘化、不重要的位置, 没能充分发挥出其在教育教学中的应有价值。为了解决上述问题, 我国从 20 世纪 90 年代中叶开始着手物理仿真实验的设计工作, 对物理实验教学模式的改革创新起到了巨大的推动作用。通过软件建模设计, 物理仿真实验系统为学生提供了一个虚拟实验环境,

允许学生在该虚拟实验环境中开展实验、记录并分析实验结果, 从而达到模拟真实实验过程的目的。然而, 现有的物理仿真实验系统多以二维 flash 动画技术为基础, 不够生动逼真, 缺乏感官体验, 无法让学习者体会到身临其境的感觉。与之相对比, 具有三维仿真建模能力的虚拟现实技术是构建虚拟化场景的核心技术, 已经在影视娱乐、体育竞技、操作训练等多个领域展现出了良好的应用价值, 有望应用于虚拟物理元实验的设计中。此外, 信息技术与教育学的高度融合是现代教学方法的一个重要发展方向。随着科技进步, 数字设备已经越来越多地被应用于学习和教育中。1997 年至 2006 年期间, 计算机与互联网作为辅助学习工作被逐渐接受; 2007 年至 2016 年期间, 线上数字教学开始普及。在这两个时期, 一些具有教学应用潜力的信息技术被广泛研究, 例如: 教学环境仿真, 移动设备端教学程序开发, 和计算机网络教学设计等。近年来, 虚拟现实技术在教育、教学和培训领域蓬勃发展, 已经与各种教学方法相融合, 在提升学生的学习成绩与学习态度方面体现出了一定的优势。项目式教学把教师由一名讲述者转换成一名指导者, 让教师把一个具有独立整体性且目标明确的项目布置给学生, 要求学生独立搜索相关信息、设计项目方案、实施项目规划、给出项目结果。学生通过项目式学习进程, 主动地了解项目所需的相关知识, 理解项目中的各个技术环节, 动手实施项目的具体规划。项目式教学已经被应用到很多学科中, 培养学生运用知识和技能解决实际问题的能力, 以及团队合作精神, 起到了各类知识融会贯通的效果。然而, 目前的项目式学习多以师生互动的形式开展, 只是辅助以简单的投影屏幕和公共互联网资源, 严重缺乏课程设计, 很难让学生有效地进入到一个整体的项目环境中。部分项目式教学, 例如: 物理类项目式教学需要专业的仪器设备与试验材料, 不仅成本昂贵, 而且需要专门的存放场地, 使得很多学校难以开展。

针对以上问题, 发展基于人工智能技术的虚拟物理元实验不仅可以解决现有物理实验教学中的固有问题, 而且有利于物理类项目式教学的实施与优化。本文阐述了现行物理实验存在的基本问题和解决方法, 利用人工智能技术开发了虚拟物理元实验, 并把它与项目式教学相结合达到了比较理想的教学效果。

一、现行物理实验的不足与解决方法

物理实验作为自然科学的一大基础, 贯穿小学、中学和大学教育阶段, 是一个人认识自然现象和理解自然规律的必修课, 在培养一个人的科学思维方面具有不可替代的作用。我国从 20 世纪 80 年代开始在各阶段教育中普遍开设了物理实验课程, 对各类人才的培养起到了积极作用。近年来, 科技进步日新月异, 计算机、

互联网、人工智能等前沿技术逐渐融入到教育教学中,对现有的物理实验提出了新的挑战。一些长期存在于物理实验课程中的问题亟须解决,主要包括以下几点。一是传统的物理实验教学必须依靠实验设备和器材,不仅要求较高的资金投入,而且需要较高的维护成本;二是开展实体物理实验教学需要特定的场地存放实验设备与器材,往往对实验室的面积、电力、温度、湿度等条件要求苛刻;三是传统的物理实验教学延续了教室教学的风格,仍然采用以一对多的现场指导方法,效率较低,难以达到教学目标,更难以适应设计性和探究性实验的要求;四是有限的实验器材和实验室开放时间使得学生只能在短时间内操作实验,不利于学生的实验能力提升,起不到培养学生从实验现象归纳总结物理定律的科研能力。五是传统的物理实验考试往往都会因为缺少足够的实验器材而采取分组的方式进行考试,达不到对每个学生精准评价的目标。而且,学生操作实体物理实验的步骤难以记录,只能由教师凭借对学生的印象和最终实验结果做出判断,显然缺少客观性,从而导致物理实验教学长期处于低水平运转状态,甚至出现了“走过场”的现象。

针对这些问题,我国在20世纪90年代中叶开始了物理仿真实验的设计与建设,几十年来对于物理实验教学模式的创新与发展起到了巨大的推动作用。物理仿真实验系统为学生提供了一个计算机虚拟实验环境,允许学生在该虚拟实验环境中开展物理实验,从而达到模拟真实实验过程的目的,具有以下优点。一是物理仿真实验使实验教学在时间和空间上都得到了延伸,营造了学生自主学习的良好环境,使得学生可以更加自由地学习物理实验课程;二是计算机仿真实验把实验设备、教学内容、教师指导和学生的思考、操作等融为一体,形成了可操作的数字教学资源;三是仿真实验能够把各种教学资源数字化,从而实现最大限度的教学资源利用率,为开放式实验课堂提供了技术基础;四是仿真实验把课堂搬到了计算机网络上,使得教师可以随时在每一位学生的电脑屏幕上演示实验过程,并且可以随时利用点对点通信对每一位学生进行指导,从而有效地解决了实体实验中指导效果不佳的问题。五是仿真实验可以记录每一名学生的实验步骤,给教师多角度考查学生的实验效果提供了必要条件,有效解决了实体实验考核中缺少实验操作考查依据的难题。

然而,现有的物理仿真实验大多由二维flash动画技术设计而成,类似于一个包含图片与文字的网页,缺乏真实感,不具备沉浸式体验的功能。具有三维仿真建模能力的虚拟现实技术在展示物理仪器、设备、材料、零件等元素方面占据优势,能够给使用者提供身临其境的体验感。其具体特点包括自由选取实验元素,制定虚拟物理元实验系统,满足不同层次实验教学的要求;在虚拟物理元实验系统内自主选择虚拟实验仪器,实现满足相同实验目标的不同实验方案设计;实验结果体现出不同操作者形成的不同实验误差,具有较强的真实感;提供丰富的技术背景、理论知识和操作流程;实验界面友好,具备人机交互性。

二、电子元器件伏安特性测量虚拟物理元实验的设计与操作

(一) 实验设计

电子元器件的伏安特性测量是物理中电学部分的基础实验,用以让学生通过实验测量的方法发现电子元器件的电压与电流之间存在的客观规律。该实验需要电压源、电流表、电压表等专业的电子仪表,以及电阻、二极管、发光二极管等实验材料。教学实践中,该实验主要存在电压源短接烧毁、电流表与电压表超过量程损坏、电阻与各种二极管元器件烧毁或丢失、滑动变阻器过于敏感不易准确调节等问题。上述问题主要归因于仪器设备和材料等实体的品质与可操控性,可以通过对它们进行虚拟化,把实体物理实验转化为虚拟物理元实验而解决。

利用Unity 3D和Xdreamer设计实现的电子元器件伏安特性测量虚拟物理元实验系统如图1所示。该虚拟物理元实验主要包括以下虚拟元,例如:虚拟电压源、虚拟滑动变阻器、虚拟分压电阻、虚拟电子元器件、虚拟电压表、虚拟电流表和电学参量关系可视化图表等。这些虚拟元本质上是由更基础的虚拟元构成,例如:虚拟滑动变阻器由虚拟接线柱、虚拟丝杠、虚拟滑块等组成,具有模型上的可拆解性,与实体相对应。虚拟物理元实验的这个鲜明特性是学习者产生沉浸式体验感的一个基础,也是以flash动画为基础的现行物理虚拟仿真软件所不具备的。除此以外,良好的人机交互性是沉浸式体验感的另一个基础。在虚拟物理元实验的设计过程中,数字运行逻辑决定了该虚拟物理元实验系统的人机交互体验感。严格遵照电子元器件伏安特性测量的物理过程,我们设计了实验系统中的每一个具有独立功能的元组件,并且提供了交互式操控功能,用以元组件之间的相互连接以及人机交互使用。以半导体二极管为例。作为一种常用的非线性电子元件,半导体二极管主要由一块P型半导体与一块N型半导体组合形成一个PN结,并采用引线引出正负电极封装而成。虚拟元半导体二极管的外形结构设计采用了3D建模,形象逼真。它的虚拟功能严格依照半导体二极管的电流I和电压U之间的关系

$$I = I_s [e^{qU / KT} - 1] \quad (1)$$

在常温条件下,且 $U > 0.1 \text{ V}$ 时,上式可近似为

$$I = I_s e^{qU / kT} \quad (2)$$

式中 $q = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ 为电子电量, $k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度, I_s 为反向饱和电流。

把每个设计好的虚拟元组件,包括虚拟电压源、虚拟滑动变阻器、虚拟分压电阻、虚拟电子元器件、虚拟电压表、虚拟电流表和电学参量关系可视化图表等依此进行逻辑关联。其中,虚拟电压源用于模拟输出测量电路的电压,虚拟滑动变阻器用于调整分压比例,虚拟分压电阻用于分担一部分虚拟电压,虚拟电子元器件作为被测量件具备伏安特性,虚拟电压表用以测量被测量件两端的虚拟电压,虚拟电流表用以测量被测量件两端的虚拟电流,电学参量关系可视化图表用于直观描述虚拟电子元件的电学参量关系。

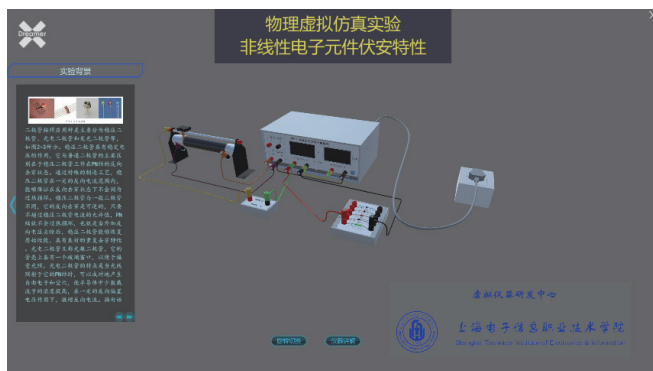


图1 电子元器件伏安特性测量虚拟物理元实验

(二) 实验过程及结果

该虚拟物理元实验系统总共可以开展5个实验，分别是测量1 k Ω 电阻的伏安特性、测量普通二极管1N4004的正向伏安特性、测量稳压二极管1N4735-3V3的伏安特性、测量红色发光二极管的正向伏安特性、测量蓝色发光二极管的正向伏安特性，如图2所示。实验步骤与真实物理实验无异，只是用人机交互代替人与仪器设备的交互。以测量普通二极管1N4004的正向伏安特性为例，首先选择连线，把仪表与器件按照测量原理的要求依次连接。操作者从右侧线缆列表选择合适的导线插入仪表或器件的接线柱，如图3所示。待所有连接完毕后，接通电源，仪表数字显示屏亮起，操作者调整滑动变阻器以改变待测元器件两端的电压，从而测得伏安特性数据，如图4所示。

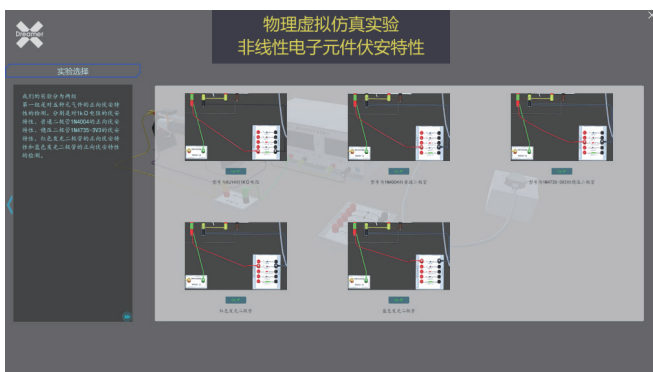


图2 电子元器件伏安特性测量虚拟物理元实验的项目选择

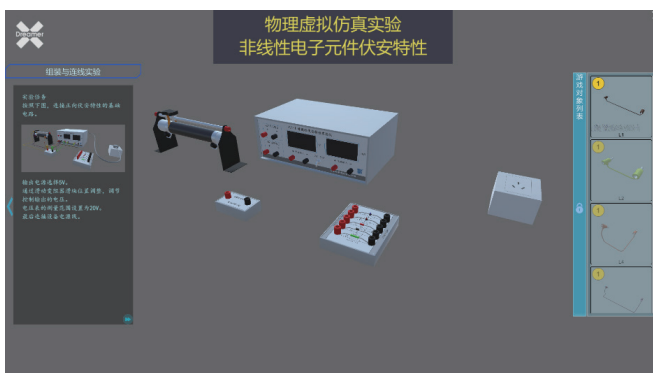


图3 电子元器件伏安特性测量虚拟物理元实验的组装连接

由这些测得的数据可以拟合出元件的伏安特性曲线，所图4中的U-I曲线所示。该U-I曲线符合二极管的真实电学规律，体现出了二极管的物理特性。二极管大约在0.7V电压左右开始导通，此后随着电压的增大而指数攀升。为了提醒操作者减小测量的数据量，我们在0.75V设置了一个阈值电压。当电压大于0.75V后，电流停留在50mA不再变化。这些实验结果不仅证实了该虚拟物理元实验的正确性，还展示了其操作简便、灵活、高效、安全，形象逼真，交互良好的特点。

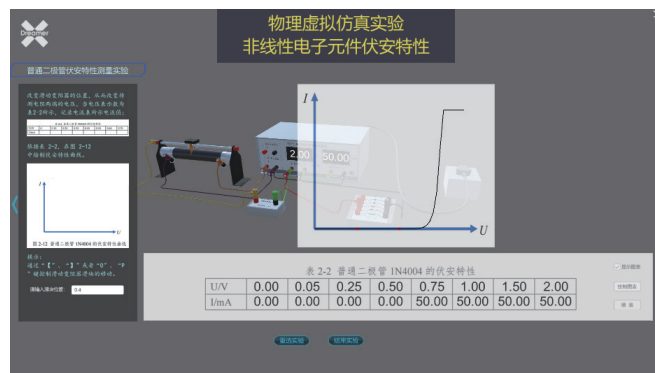


图4 电子元器件伏安特性测量虚拟物理元实验的结果分析

三、电子元器件伏安特性测量虚拟物理元实验在项目式教学中的应用

为了验证虚拟物理元实验在教学中的作用，实际开展了基于电子元器件伏安特性测量虚拟物理元实验的项目式教学。项目式教学是一种以学生为中心的教学方式，是在教师的指导下，学生自己独立承担一个项目，包括信息收集、方案设计、项目实施及最终评价等。整个项目的顺利进行需要学生主动积极地了解并把握每一个环节的基本要求，从而实现以学生为中心的教学方法。项目式教学已经在很多学历层次教育，例如：小学、中学、大学等的很多学科中得到了应用，在培养学生运用知识解决实际问题的同时，还培养了学生的团队合作精神，实现知识的融会贯通的同时，也体会了学习的乐趣。已有研究表明，项目式学习不仅可以提高学习成绩，还可以提升学习态度。然而，作为自然科学基础的物理学被长期当作理论学科对待。重视理论教学，轻视实验实践的情况在物理教学中普遍存在。极少数以物理实体仪器与设备为基础的项目式教学并没有把项目任务与教学方法融为一体，仍然保留了“老师教，学生做”的讲授式教学方法。究其原因，除了教师对于项目式教学方法的不理解外，缺乏项目式教学环境、有针对性的项目式教学设计、项目式教学实验器材等更为关键。

为了研究基于人工智能技术的虚拟物理元实验对物理项目式教学的作用，实际开展了教学实践。来自两个班的总计56名学生，男生34名占比60%，女生22名占比40%，参加了这次教学实践研究。其中，一班27人，二班29人。为了便于分析比较，最终在数据分析时，每班选取27人作为样本数据。一班采用融入虚拟物理元实验的项目式教学方法；二班采用单一项目式教学方法。为了不影响正常教学安排，所有学生都参加了本次教学实践。但是，

为了保证样本数量的平衡，一班与二班都只有经过恰当筛选后的 27 人作为样本参与最终的教学评价。教学评价分为学习成绩评价与学习态度评价两个部分，分课前测试与课后测试两个阶段展开，每个阶段采用的测试题目完全相同。学习成绩评价包含有 20 道题目，每道题目 1 分，其难度与教材习题难度相当。学习态度评价也包含有 20 道题目，每道题目 1 分，旨在评价学生对于学习物理的态度变化。

采用 Shapiro-Wilk 法对学习成绩样本和学习态度样本开展分析，计算显著性概率 p 是否大于 0.05，从而判定统计性描述的显著性。配对样本检验的 t 参数可以被用来比较一个实验组内课前

测试与课后测试的差异。表 1 给出了学习成绩与学习态度的统计性描述及配对样本 t 检验结果。

对于学习成绩，每个实验组的课后测试平均分都高于课前测试平均分。配对样本 t 检验的结果显示，实验组 1 的显著性 p 值接近于 0，水平上呈现显著性，课前测试与课后测试的平均成绩存在显著性差异，其差异幅度 Cohen's d 值为 8.602，差异幅度非常大；实验组 2 的显著性 p 值也近乎为 0，水平上呈现显著性，课前测试与课后测试的平均成绩存在显著性差异，其差异幅度 Cohen's d 值为 3.502，差异幅度非常大；这些结果意味着经过教学后，二个实验组的学习成绩都有了明显改善。

表 1 课前与前后测试的统计性描述及配对样本 t 检验结果

组别	变量	平均值 $\pm$ 标准差			t 值	p 值	Cohen's d
		课后	课前	课后 - 课前			
实验组 1	成绩	16.28 $\pm$ 1.137	9.656 $\pm$ 1.578	6.624 $\pm$ -0.441	44.218	0.000***	8.602
	态度	15.484 $\pm$ 2.293	11.615 $\pm$ 2.302	3.869 $\pm$ -0.009	10.23	0.000***	2.206
实验组 2	成绩	13.152 $\pm$ 1.789	10.926 $\pm$ 1.449	2.226 $\pm$ 0.34	18.082	0.000***	3.502
	态度	13.313 $\pm$ 2.181	13.128 $\pm$ 1.819	0.184 $\pm$ 0.361	1.899	0.032*	0.414

另一方面，学习态度呈现出与学习成绩不同的变化规律。配对样本 t 检验的结果显示，实验组 1 的显著性 p 值近乎为 0，水平上呈现显著性，课前测试与课后测试的平均成绩存在显著性差异，其差异幅度 Cohen's d 值为 2.206，差异幅度非常大；实验组 2 的显著性 p 值为 0.032，水平上不呈现显著性，课前测试与课后测试的平均成绩没有显著性差异，其差异幅度 Cohen's d 值为 0.414，差异幅度较小。这些结果意味着通过课堂教学，使用了虚拟物理元实验的实验组 1 对物理产生了更加浓厚的兴趣，而没有使用虚拟物理元实验的实验组 2 的学生对物理的兴趣没有发生明显的改善。

四、讨论与结论

研究表明，虚拟物理元实验有助于提升项目式教学的效果，比单一的项目式教学更能够提升学生的学习成绩与兴趣。究其原因在于经过精心设计的虚拟物理元实验能够提供逼真的沉浸式学习环境，把书本上那些原本生涩难懂的文字与图片转移到一个元空间中，从而有效地促进学生的知能力。然而，缺少信息技术支持的项目式教学没能够给学生建立起形象的问题情景，使得学生在假设、分析和理解问题时感到与讲授型教学方法同样的无助，从而产生厌倦与无聊。

总之，由于虚拟现实技术不仅对于学习成绩，而且对于学习态度有着十分重要的作用，因此在虚拟现实应用程序的设计中要充分考虑到能否尽可能地激发学生的认知能力与学习热情。与常规的二维建模相比，虚拟现实技术提供的三维建模让学习者的体验感更接近真实水平。除此之外，各种具有人机交互功能的组件，例如：旋钮、开关、传感器等被融入到虚拟现实应用程序中，给学习者提供了良好的沉浸式体验。触觉、视觉、听觉等感知的融合能够对学习者产生综合性刺激，达到集中注意力开展主动学习

的目的。项目式教学方法能够激发学习者的认知行为，与虚拟现实技术的深度融合是未来教育技术的发展趋势。然而，一些问题尚需解决。大多数学科的教师不具备开发虚拟现实应用程序的技能，需要建立具有简单二次开发功能的虚拟现实开发环境与数据库，从而让任课教师可以凭借简单基本的操作实现课程环境的设计，分享教学内容。

参考文献：

[1] 朴颖. 混合式教学模式在大学物理实验课程建设中的应用——评《大学物理实验教程》[J]. 教育理论与实践, 2022, 42 (6) : 1.

[2] 张玉峰, 姚建欣. 基于大概念的三类物理课程：必要性、可行性与设计 [J]. 教育科学研究, 2022 (5) : 7.

[3] 叶碧欣, 桑国元, 邓英华. 项目学习能否提升大学英语教学成效——针对干预实验研究的元分析 [J]. 中国高教研究, 2022 (7) : 83

[4] 王文涛. “以学生为中心”的高职教育课程建设新范式 [J]. 中国高教研究, 2014 (12) : 4.

[5] 朱增力. 基于问题导向的学生管理模型的构建——以五年制高职学生管理工作计划的实施为例 [J]. 中国职业技术教育, 2022 (8) : 4.

[6] 班建峰, 黄军左, 潘露露, 等. 《高分子物理》目标问题导向线上教学初探与实践 [J]. 高分子通报, 2022 (1) : 3.

基金项目: 本文系上海市高等教育学会 2021 年度规划课题“多媒体技术在《大学物理》问题导向型教学中的应用研究”(课题批准号: Y2-75) 的阶段性成果, 陈直为项目负责人。