

电场、电场强度的创新演示^{*}

居 津 (江苏省苏州实验中学 江苏 215011)

摘 要 人教版物理教材教师指导用书在“电场 电场强度”一节中提出“通过实验观察建立电场概念的教学目标”^[1]。然而电场看不见、摸不着,其产生本身就会受到天气、环境等因素的影响,导致对静电场的实验观察很难在课堂实现。通过反复尝试,作者原创自制创新实验器材、改进实验演示方法,能直观地让学生感知电场强度大小的影响因素、场的空间性、矢量性等重要特征,将“抽象神秘”的电场变得“直观可见”,为学生感知静电场的性质,深入理解“电场”这一抽象物理概念打下坚实基础。

关键词 直观展示 电场强度 创新实验

文章编号 1002-0748(2025)8-0026

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

前不久,笔者参加了 2024 年全国名师课堂展示交流,课题为人教版新教材“电场 电场强度”。在备课过程中,查阅了大量关于“电场”实验演示的资料,发现查阅的资料里几乎没有实验器材可以让学生“看到”静电场的存在,直观感知场的性质。笔者通过请教电子技术老师,反复尝试,设计制作了“电场强度探测器”,并改进了教材“蓖麻油头发丝电场线模拟实验”,从而实现了“电场”这一客观物质的直观感知和“电场强度”这一抽象概念的可视化展示。

1 创新实验设计

1.1 电场能的感知

人教版新教材对老教材进行了重新编排,将静电场由原来的一章分为现在的两章,旨在突出电场具有力和能两大性质。在“静电场及其应用”章节中,利用带电体附近的带电小球静止时悬线倾斜,让学生“看到”了电场力的存在,而在“静电场中的能量”章节讲述电场能的性质时,教材未涉及演示(分组)实验让学生直观感知静电场的能量。笔者设计了以下两个实验,让学生体会静电场是具有能量的。

实验 1: 感应起电机点亮日光灯管实验。

实验装置如图 1 所示,将一根普通日光灯管用铁架台固定住,将感应起电机的一个金属小球与日光灯管靠近,但不接触。可以发现日光灯管并未连接电源,也没有与起电机接触,但在摇动感应起电机

时,灯管能发光,且能明显观察到:摇动越快,灯越亮;离起电机越近处,灯越亮。此实验通过灯管的发光和能量守恒原理说明静电场具有能量。

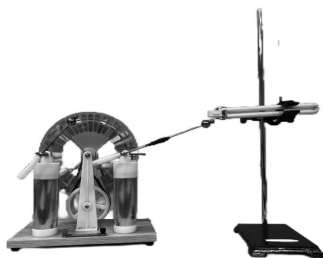


图 1 手摇起电机点亮日光灯管实验装置

实验 2: “静电铃铛”实验^[2]。

如图 2 所示,将平行金属板固定在绝缘支架上,中间固定一个绝缘轨道。绝缘导轨调至水平,将一空心轻金属小球静置于绝缘轨道上,靠近其中某一块金属板。用导线将感应起电机两金属杆与平行金属板相连接,摇动手摇起电机,观察到小球沿绝缘导轨在两金属板间来回运动,并发出“叮叮当当”的响声,图 3 中小球正向右极板运动。本实验利用手摇起电机使平行金属板带电,在两板间形成电场。当金属小球靠近某一平行板静止释放时,由于电场可以吸引轻小物体,故将小球吸引至金属板,小球与极板相接触使其与极板带上同种电荷,金属小球被排斥,在电场力的作用下,向对面极板方向运动;碰到

^{*} **基金项目:** 本文系苏州市教育科学“十四五”规划课题“大概念视角下物理 P-STEAM 课程的教育实践研究”(课题编号:2022/LX/091/10)的阶段性研究成果。

另一块极板后带上与该极板同种的电荷,又被排斥弹回,在电场力的作用下向相反的方向运动,重复上述过程。所以,可以观察到金属小球在两板间来回运动,从而演示了电势能与动能的相互转化。

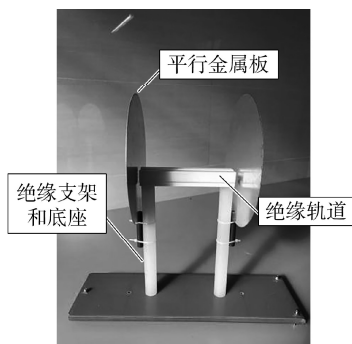


图2 “静电铃铛”实验装置



图3 “静电铃铛”实验效果

上述两个实验装置取材方便,成本低廉、制作简单,现象明显,直观易懂,对环境要求较低,很容易被广大学生接受。

1.2 电场强度的直观感知

本创新实验装置用到的主要材料有:红、蓝两组二极管灯带、集成电路、导线、电池等。实验装置如图4所示。

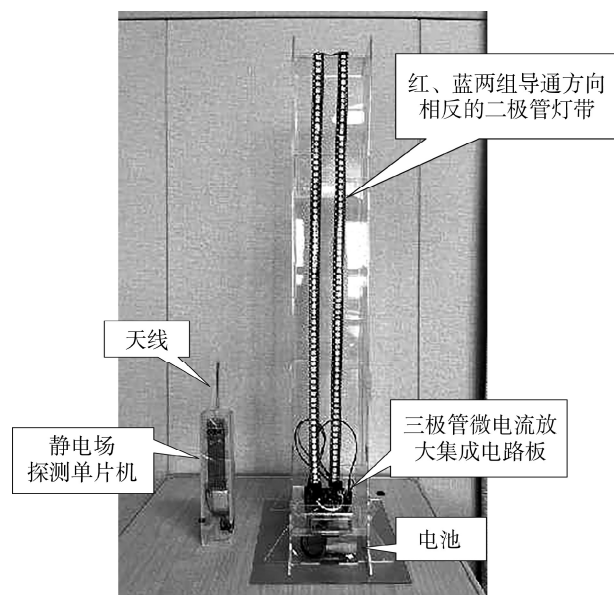


图4 静电场探测仪

“静电场探测仪”利用CMOS管,检测到静电场的正负电荷后分别导通红、蓝二极管使其发光,场强强弱决定了漏极电压。利用单片机和三极管将微电流放大,漏极电压的大小用LED灯的数量显示出来(见图5)。本自制器材可以演示以下四个实验。

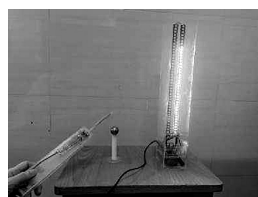


图5 探测带电小球

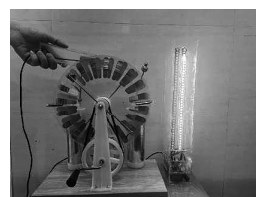


图6 在金属球空间四周进行探测

演示一:电场存在于整个空间。

摇动感应起电机,使其金属球上带电,用探测仪的探测头在金属球四周进行探测,发现整个过程灯带都在发光,说明金属球四周都有电场。实验效果如图6所示。

演示二:电场强度是矢量。

将探测头分别对感应起电机的两个金属球进行探测,发现一个金属球所带电荷导通了红色灯带,另一个金属球导通了蓝色灯带,说明电场强度是有方向的矢量。实验效果如图7(a)、(b)所示。

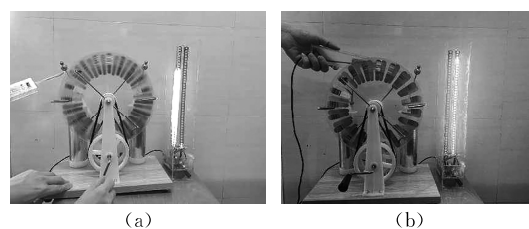


图7 在两个金属球附近探测

演示三:电场强度的大小与场中位置、场源电荷的电荷量有关。

用毛皮摩擦塑料棒,使塑料棒带电,将探测头分别放置在离塑料棒远近不同的位置,发现离塑料棒较远时,LED亮灯个数少,说明电场较弱,反之电场较强。说明场强大小与距场源的远近成反相关,其实实验效果如图8(a)、(b)所示。将探测头与感应起电机的某个金属球保持距离不变,缓慢摇动感应起电机,使金属球上的带电量逐渐增多,发现灯带上LED亮灯个数也随之逐渐增多;反之,如果给金属球放电,亮灯个数就减少。说明场强大小与场源电荷带电量多少成正相关,其实实验效果如图9(a)、(b)所示。

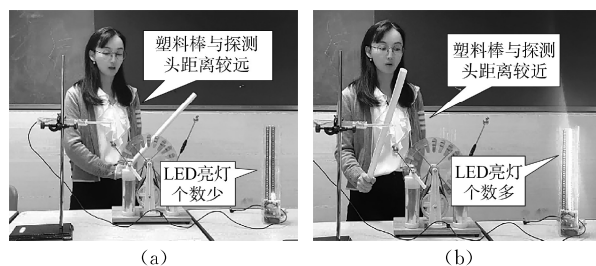


图8 电场强度大小与场中位置的关系

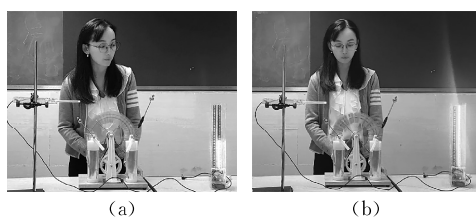


图 9 场强大小与场源电荷带电量的关系

演示四：静电屏蔽现象。

保持探测头与感应起电机位置和感应起电机带电量不变,分别用金属、塑料等材料罩住探测头,发现当金属筒完全罩住测量头时,灯带检测不到电场,说明电场可以被金属屏蔽,其实验效果如图 10(a)、(b)所示。

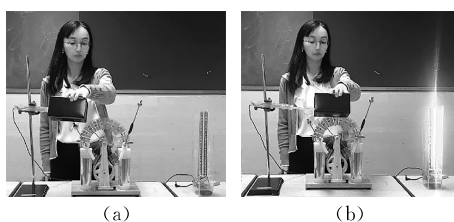


图 10 静电屏蔽现象实验

1.3 模拟电场线的实验改进

除了可以用数学表达式定量描述电场外,还能用电场线形象地进行定性描述。现有的描述电场线的方法基本都是让头发碎屑悬浮在蓖麻油里,加上电场后,碎屑就按电场强度的方向排列起来,显示出电场线的分布情况(见图 11)。此方法已较为成熟,但耗时较长且不能显示出电场的矢量性。因此,笔者对该实验进行了改进。

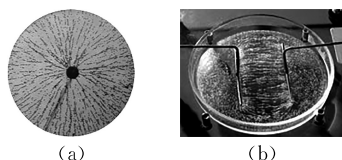


图 11 用头发碎屑模拟电场分布

改进实验用到的主要材料有:高锰酸钾颗粒、稀硫酸钾溶液、滤纸、直流电源(电压 60 V 以上)等。

操作方法:用硫酸钾溶液浸泡滤纸后,将高锰酸钾小颗粒尽可能均匀地撒在滤纸上,在相距约 2~3 cm 间距处连接直流电源的正负极,可以看到带负电的红色高锰酸根离子会在电场力作用下向电源正极移动,并形成拖尾痕迹,实验效果如图 12 所示。

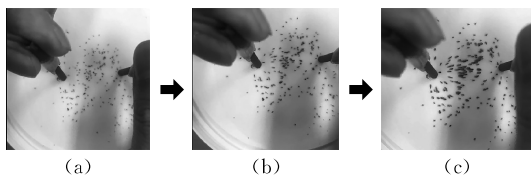


图 12 用负离子运动模拟电场线实验效果图

此改进实验不仅能在较短时间内对电场分布进行动态展示,还能让学生清晰地“看到”电场的方向。

2 本套演示实验装置的创新点

(1) 具有教学性。电场强度探测仪符合基础教育课程改革基本理念^[3],能很好地将不可见的静电场展示出来,让学生身临其境地感知电场的存在,具有极其突出的直观性,有利于激起学生的学习兴趣,培养他们的探究精神。

(2) 具有科学性。电场强度探测仪能体现电场力的性质与能的性质的统一性,有助于学生树立科学意识,掌握科学探究的一般方法,更好地理解物理学科本质。

(3) 具有创新性。电场强度探测仪和电场线的模拟改进实验在静电场的感知中属于首创。探测仪组成部分设计新颖,外观精美,电场线的模拟操作简便,且将物理与电子技术、化学等学科知识进行融合,克服了以往静电场无法被直观感知的难题,具有高度的创新性。

(4) 具有启发性。探测仪的四个演示实验分别演示了静电场的空间性、矢量性、场强影响因素和静电屏蔽现象,包括电场能的性质的演示对后续静电场的教学具有很强的启发引导作用,明显的实验现象能引发学生思考,适用于探究式教学,有利于学生主动参与、互动和合作交流。

(5) 具有实用性。本自制实验仪器易于操作,性能稳定,节能可靠,造价低廉,外形美观,便于推广,有助于环保和可持续发展。

本电场强度探测仪曾多次在课堂上演示,其利用三极管将捕捉到的静电场形成的微电流进行放大,即使是非常微弱的静电场,实验效果也很明显。尤其是有一次在 2024 年 10 月中旬,室外下大雨,天气很潮湿,课堂演示前,笔者用无水酒精将感应器起电机擦净,用电吹风将感应起电机吹干干燥立即实验,实验现象依旧非常明显,或者用范式起电机也能有良好的实验展示效果。

模拟电场线的改进实验成功率也较高,学生对于高锰酸根离子的动态模拟过程感到十分惊讶。在某种程度上,这也显现出了物理学科与化学学科的融合教学。当然在进行本实验前要提醒学生注意电路安全和化学药品安全等相关问题。

3 结 语

物理是一门实验学科。新课改、新课标、新高考越来越重视学生科学探究能力的培养,如何让学生

(下转第 52 页)

步骤的合理性等 12 个维度的数据进行采集和分析,能够精准地了解每个学生的学习特点和薄弱环节。例如,如果学生在某个实验操作步骤上花费的时间过长,或者频繁出现错误,平台会及时记录并分析,然后为该学生推荐个性化的学习路径,如提供相关的知识讲解视频、针对性的练习题等,帮助学生有针对性地进行学习和改进。经实践验证,采用该平台后教学精准度提升了 58%,真正实现了因材施教,满足了不同学生的个性化学习需求,提高了教学质量和效果。

3.3 生态重构

团队建立了“校本实验—区域共享—云端协同”三级资源体系,在江苏省内建成 23 个实验教学共同体,年度资源共享量超 5TB^[4]。在过去学校之间的实验教学资源往往相对独立,缺乏有效的共享和交流机制,导致资源浪费和教学质量参差不齐。刘炳昇教授推动建立的这一资源体系,打破了学校之间的壁垒,实现了资源的优化配置和共享。校本实验是基础,各学校根据自身实际情况开发具有特色的实验教学资源,充分发挥学校的优势和特色。区域共享则是将本区域内各学校的优质资源进行整合,实现资源的互补和共享,提高了资源的利用效率。云端协同更是借助互联网技术,将全省乃至更大范围内的实验教学资源进行整合,形成一个庞大的资源库。这种生态重构的方式,促进了教育资源的均衡发展,使不同地区的学生都能享受到优质的实验教学资源,提高了整体教育教学质量,同时也为教师之间的交流与合作提供了平台,促进了教师的专业发展。

4 启示与展望

刘炳昇教授的教育思想在当代文化自信背景下主要呈现了理论、实践、发展三个层面的价值。

在理论层面,构建了具有苏派文化自信特色的实验教学论,填补了传统教育中“知识传授”与“素养培育”间的理论空白^[1]。传统教育中常将二者孤立,刘炳昇教授却强调借助本土化资源的实验教学将二者紧密相连。其“三体联动”理论框架,从本体论、方

法论、价值论系统阐述了苏派“经世致用”文化思想下实验教学对学生知识获取、思维发展和精神培育的重要意义,为我国新时代文化自信实验教学论奠定基础,丰富了教育理论体系。

实践方面,形成了“低成本—高效益”有效教学模式^[2]。该团队通过苏派本土化资源开发、探究化教学设计和素养化评价体系,构建出实用有效的教学模式。该模式利用生活中常见材料开展实验,降低教学成本,同时创新教学与评价方法,提升教学效果,实现低成本与高效益的统一,具备显著的可复制性与可推广性,目前已被多个省份的众多学校所采用。在基础教育物理实验教学改革进程中,它贡献了极具价值的实践经验,堪称苏派文化自信于教育领域的生动彰显。

发展价值方面,为教育数字化转型提供了方法论指导。其“具身认知→虚拟仿真→智能增强”路径与 OECD《教育 2030》框架高度契合^[6],借具身认知让学生在实操中理解知识,用虚拟仿真拓展学习空间,靠智能增强实现个性化教学。这一路径顺应教育数字化趋势,助力我国教育向现代化、智能化迈进。

展望未来,相关研究应聚焦实验教学与人工智能深度融合。在智能教具开发上,研发能自动反馈、调整参数并提供个性化指导的设备,提升实验教学效率与质量。在虚拟实验社区建设方面,打造互动性强、资源丰富的社区,方便学生交流合作,培养合作与创新精神。通过现代技术融合,推动传统教育向现代模式转型,为培育创新人才、发展教育事业注入活力。

参考文献

- [1] 陈炯,叶兵. 刘炳昇实验教学思想研究[J]. 物理教学, 2014(1): 32—35.
- [2] 苏守杰,徐林. 刘炳昇实验教学思想的研究[J]. 实验教学与仪器, 2012(6): 8—10.
- [3] 周晓娟. 物理实验与创新思维培养[J]. 学园, 2014(9): 45—48.
- [4] 蒋文远. 实验教学个性化发展实践[J]. 中学物理, 2019(24): 18—21.
- [5] 杨树峰,叶兵. 继承中求创新 对立中讲融合——浅论刘炳昇物理教育思想[J]. 物理之友, 2018(8): 5—9.
- [6] 课程教育研究所. 实验教学创新研究[R]. 南京: 江苏教育出版社, 2023.

(上接第 28 页)

更直观地感知静电场的存在、更深刻地理解这个抽象的物理概念是一个需要不断研究的长久课题。本文介绍的自制器材和改进方法只是抛砖引玉,期待与广大同仁一起探讨进一步优化实验装置、改进实验方案。

参考文献

- [1] 彭前程,黄恕伯. 教师教学用书 物理(必修第三册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2021.
- [2] 居津. 巧用简单装置演示电场中的电势能[J]. 物理教学, 2020(6): 25—26.
- [3] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.