物理实验室

中学物理实验改进的问题与策略探析

郑柔纯 麦宜平 李德安 （华南师范大学物理与电信工程学院 广东 510006）

摘 要 基于目前实验改进中存在的问题，提出实验改进与创新的四个策略：生活化实验可作为专业常规实验的拓展与补充；数字化实验应发挥其在实验改进中的辅助作用；集成化实验可朝着积件式方向发展；直观化实验应重视学生概念、规律建构的过程。

关键词 实验改进 存在问题 改进与创新 策略探析
文章编号 1002－0748(2024)4－0022 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

实验作为物理学的基石，是物理科学研究思想与方法的重要载体，也是学生构建物理知识的重要策略，更是培养学生物理学科核心素养的重要途径[1]。在“素养为本”的全球性教育改革趋势的大背景下，在落实学生科学探究素养和创新能力培养的新课标要求下，广大中学物理教师掀起了对物理实验改进与创新的研究热潮。

在已有的实验改进与创新研究中，有学者根据生活化创新实验的特点列举了一系列实验改进案例[2]；也有部分学者从数字化角度切入，将手机传感器应用于演示多普勒效应[3]、拓展单摆实验[4]、验证波意尔定律[5]等；同时，有学者认为实验改进应力图将实验现象直观化、显性化，例如有学者利用“旋转的液体”将安培力的方向可视化[6]。然而，在“改进热”“创新热”的浪潮下，有学者认为当下实验改进存在的问题主要是忽略了实验操作的简便性、成功度、定量性[7]；也有学者认为实验的“可视化”改进容易因为材料的增添替代、效果的放大等手段造成原实验的失真，也可能因为产生的效果“一眼洞见”从而限制了学生进一步的思考与探究[8]。目前已有的文献大多只是简单地阐述了实验改进存在的部分误区，但在系统地总结实验改进存在的问题并对此提出针对性策略方面仍有很大的研究空间。

基于此，本文结合近年来中学物理实验改进的主要方向，总结了目前实验改进中出现的问题，并提出了实验改进与创新的策略研究，以期真正发挥物理实验的育人功能，为后续研究提供建议与参考。

1 实验改进与创新的问题

物理实验的改进与创新，是教师基于教学实际需要，在不损害教材原实验的固有价值和育人功能的前提下，对教材原实验的不足之处进行优化或全新设计，从而更好地服务于实验教学。这是教师专业成长的必由之路，然而在具体实施过程中，不少教师陷入了“为改而改”的歧途，未能全面理解教材原实验的设计意图，从而降低甚至损害原有实验的固有价值和育人功能，反而得不偿失。

1.1 片面热衷实验生活化，忽视物理学科特质

生活化实验旨在将生活中常见的物品资源巧妙地融入到物理实验中，从而拉近物理抽象世界与学生感性世界的联系，激发学生学习物理的兴趣[9]。但在追求实验生活化的同时，不应忽略物理的学科特质及对学生规范实验操作、培养严谨态度的训练。例如，在“探究凸透镜成像规律”实验中，有教师为了让实验材料贴近生活，将教材中使用的实验器材均替换成了生活中常见的物品（见图1）。这样的生活化设计虽然取材便捷、成本低廉，让学生感受到物理源于生活，但制成的实验器材不够标准，可能会导致

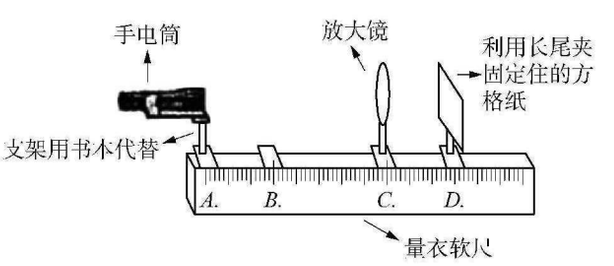

图1 探讨凸透镜成像规律实验

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

装置稳定性不足、学生在操作时很难确保凸透镜和光屏的中心跟手电筒的中心大致在同一高度上等一系列实验问题。此外，该实验作为初中物理的学生必做实验之一，对学生良好的实验技能、习惯的养成和科学探究能力的发展均有重要的作用。而该实验改进过度热衷于生活资源的应用，不顾及学生对基本物理实验仪器使用的训练和严谨科学态度的养成，损害了原有实验的教学价值和育人功能，可谓因小失大。

1.2　片面执着实验数字化，忽略实验操作的训练

数字化实验设计往往容易简化教学过程中观察、体验、比较等环节，忽略学生对实验操作的训练。例如，有教师直接利用DISLab软件平台设计了“闭合电路的欧姆定律”的探究实验，取代了教材中原有的传统实验，虽然实现了实验数据的数字化，且能实时连续地记录实验数据，节省了教学时间，然而相比传统实验，该数字化实验改进的实操性、真实性不够强。同时，学生通过点击鼠标、观看屏幕等操作获取实验数据，进而快速地得出实验结论，虽有快捷之优势，但是针对当前中学生普遍认为在电学实验中电路连接选择难、电表量程选择和读数难、实验误差分析难的教学现状[10]，加强学生对于传统基本电学实验的操作训练则显得尤为重要。在实验操作训练过程中，不仅能使学生加深对实验原理的理解，提高实验器材使用的熟练度，还能引导学生发现问题并解决问题，促进科学探究能力的养成。部分教师一味地追求将传感器等数字化仪器融入物理实验中，以图在提升实验教学的档次、促进实验教学现代化的同时增强学生的积极性，实则是将学生的思想禁锢在机械呈现、缺少思考的牢笼中，将实验推向简单化、形式化、低效化的困境，不利于学生在实验探究过程中训练实验基础技能与培养观察、动手、思考等综合能力。

1.3　片面追求实验集成化，增加学生认知负荷

集成化实验设计容易将简单实验复杂化，部分教师过于追求多个实验集成化，往往容易使实验装置愈加复杂、实验原理晦涩难懂，学生观察目不暇接。例如，某初中教师设计的多功能电路演示器[11]，该装置可以演示串、并联电路的工作特点及灯泡亮暗程度与实际电功率的关系，还创新性地设计了“点火就亮的灯泡”趣味小实验（见图2）。虽然该集成化实验装置将多个电学实验融为一体，但对于初中生而言，其构造涉及多条繁杂的电学线路，实验原理难以理解。在演示过程中，学生不仅需要完成观察实验现象的学习任务，还需厘清每条电路连接的原理，认知负荷不减反增。此外，在课堂上利用该集成化装置演示实验时，由于课时限制及实验原理的复杂性，教师容易忽略引导学生理解实验装置的设计思路，而只是简单地展示实验操作与现象。这种实验设计虽然能节省部分课堂时间，但难度梯度设置不合理，不能很好地顺应学生的认知发展需求和逻辑思维发展，不利于学生科学探究和思维能力的发展。

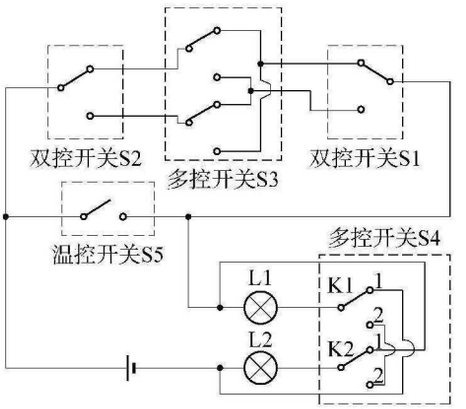

图2　多功能电路演示器电路图

1.4　片面强调现象直观化，弱化学生思维能力培养

直观化实验设计力图将实验现象显性化、放大化，丰富学生的感性认识。然而，部分教师在改进与创新实验时过于强调现象直观化，容易忽略学生思维能力的培养。例如，在初中物理“电功率”一节内容中，人教版教材原实验中通过给小灯泡提供不同电压，让学生比较灯泡发光程度从而定性判断实际电功率与实际电压的关系。在改进实验中，有教师设计了可视化视角下的电功率探究仪（见图3），通过对实验进行量化设计，实现了电流、电压、电功率数值的可视化，帮助学生直观地从实验数据中得出规律。该实验改进虽然有现象明显直观、操作简单、

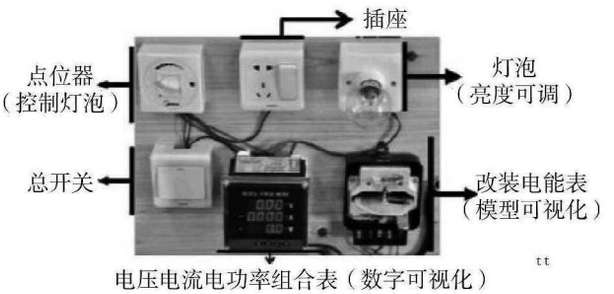

图3　可视化视角下的电功率探究仪

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

读数方便快捷等优势，具有一定的创新性，但从教学价值视角来看，该实验改进直接从定性实验跨越到定量实验，不能很好地为教材后续设计的“测量小灯泡的电功率”定量实验做好铺垫，失去了教材原实验设计的内涵价值。此外，该实验改进虽有灵活、高效之优点，但将电功率这一物理量可视化的手段掩盖了实验中“电功率”概念建构的过程，弱化了学生逻辑思维能力的培养。因此，实验设计在强调现象直观化的同时，还需仔细领会教材原实验装置的内涵价值，强化学生思维能力的培养。

2　实验改进与创新的策略探析

教师在进行实验改进与创新过程中，应以教材实验原型为依托，引导学生通过了解实验原理、体验操作过程、发掘实验构思与方法，进而培养学生的创新意识和动手能力，真正发挥物理实验的育人价值。因此，教师需充分领悟、把握教材与实验原型的设计意图、内涵价值，以教学价值为立足点探寻创新路径，谨慎把握好实验改进与创新的具体方向。

2.1　生活化实验可作为专业常规实验的拓展与补充

如上文所述，有些教师在实验改进中盲目寻找实验材料的生活替代品，而忽略了部分专业实验对实验设备、场所、时间等方面的统一性要求，且疏于对学生进行实验规范性、严谨性的训练，这是不可取的。生活化实验作为专业常规实验的有效延伸与补充，有利于将物理教学融入生活实际，提高学生的学习兴趣、创新思维及实践能力，可更多地应用于创设与生产生活相关的物理情境、学生课后拓展实验、家庭实验等方面。例如，有教师在讲解完电动机原理后，鼓励学生课后利用生活材料自制“跳舞的弹簧电动机模型”[12]，加深对相关原理的理解，促进学生创新精神和动手能力的发展。总而言之，生活化设计重要但不能盲目追求，对于需要规范操作相关专有仪器设备的实验，在教学条件允许的情况下，应尽可能减少生活化创新实验，以促进学生熟练掌握基本实验仪器的操作规范，养成严谨的科学态度。

2.2　数字化实验应发挥其在实验改进中的辅助作用

前文提到，滥用数字化实验容易将教学推入形式化、低效化的困境，不利于学生的科学思维和探究意识的发展。广大教师应合理利用数字化实验，发挥其在教学中的辅助作用，而不是完全替代传统实验，真正做到“辅助而不泛滥”。例如，在演示“超重与失重”现象时，粤教版教材中采用了人站在体重计上下蹲和起立的方式，然而这种方式往往存在着实验现象持续时间短暂、学生很难直观地看到结果等缺点。为克服这些缺点，有教师利用手机加速度传感器模拟电梯上下运行过程中加速度随时间的变化，从而巧妙地将超重、失重现象与加速度间接地联系起来[13]，使实验达到了实时连续定量测量的目的，不仅突破了学生的认知困难，还能使学生体会到传统实验器材与现代信息技术相结合的重要性，提升了学生的问题解决和科学探究能力。值得注意的是，数字化创新实验并非简单地利用计算机操作平台取代原有的传统实验，而是将数字化技术融入原有实验中，从而实现动态采集实验信息，并将实验中不易观察到的实验结果直观化、定量化、简约化的教学目的，进而增强实验效果，促进学生的积极参与。

2.3　集成化实验可朝着积件式方向发展

上文提到，集成化实验将多个实验融为一体，不仅容易导致简单实验复杂化，还可能增加学生的认知负荷。针对这一实验缺陷，教师可将集成化实验朝着积件式方向发展。积件式教具，也称系列教具或基元组合教具，这类教具应具备高度的灵活性和可组性，各部分结构便于拆解与组装，可适用于一系列实验现象的演示或物理规律的探究[14]。例如，有学者设计了积件式曲线运动单元系列演示仪[15]，其中：装置1（见图4）中的PVC板被分割为1～6板块并放置于磁性画板中，通过保留与取下不同板块即可演示磁铁小球做曲线运动过程中在A、B、C三点的速度方向，并在磁性画板上留下小球的运动轨迹。装置2包括两个实验，其一是圆盘挡板实验（见图5），拨动小球，使其沿着挡板做圆周运动，取下板块2，再次拨动小球，观察小球的运动轨迹，通过对比实验即可证明是挡板的支持力使其做圆周运动；其二是转盘实验（见图6），通过改变转盘转速，即可画出小球做圆周运动和离心运动的轨迹图。各实验

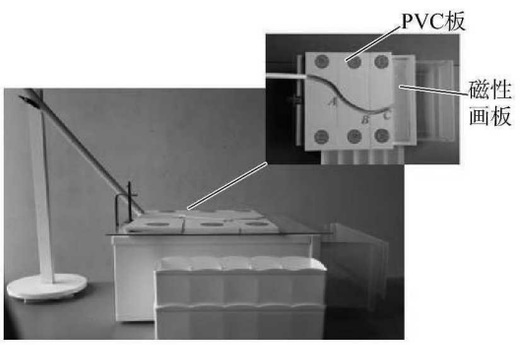

图4　PVC板实验装置

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

结果如图7所示。整体来说，这款积件式教具各部分结构相互独立且直观，便于拆分与重组，教师在演示不同的实验时可以分模块展示教具，有条不紊地讲解实验原理与步骤，达到实验设计高效但不杂乱的目的。该积件式装置具有一定的开放性、启发性与探究性，为集成化实验的设计起到示范作用。

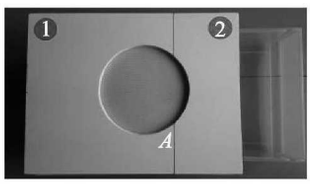

图5　圆盘挡板实验装置

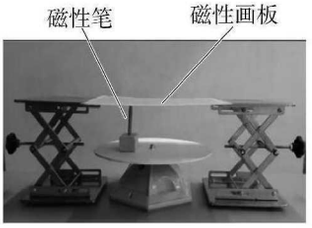

图6　转盘实验装置



图7　各实验结果

2.4　直观化实验应重视学生概念、规律建构的过程

直观化实验应在保证教材原实验的教学功能不被侵损的基础上，追求实验现象的直观、明显，引导学生亲身经历概念、规律建构的过程，根据实验证据进一步得出实验结论。例如，人教版教材在验证“真空不能传声”实验中，利用抽气机逐步抽出玻璃罩中的空气，玻璃罩中的闹钟声音逐渐减弱，据此推断出真空不能传声的结论。学生可能会产生两个疑问，其一是观察不到空气被抽出的过程，如何验证玻璃罩内接近真空；其二是闹钟声音逐渐减弱，是否是因为闹钟停止发声了。针对这两个疑问，有教师基于证据意识对原有实验进行现象直观化改进，具体改进措施如下：在玻璃罩中放置一个充气的小气球（见图8），通过抽气使得罩内与气球内部产生气压差，导致气球膨胀，学生便可通过观察气球体积变大来直观体验罩内空气被抽出的过程。此外，将装有适量泡沫小球的透明塑料杯倒置在发声体（闹钟）上方（见图9），学生可以根据泡沫小球的跳动判断闹钟是在持续发声的[16]。该实验不仅完整地保留了原实验的知识价值，还将未能直接观察到的现象显性化，促使物理观念、科学思维的形成过程更为形象、直观，更好地引导学生在细致观察实验现象的同时养成证据意识和严谨的科学态度与责任。

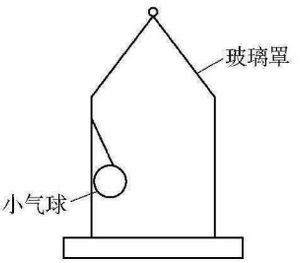

图8　罩内接近真空证据

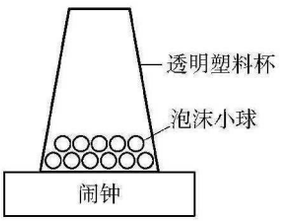

图9　发声体发声证据

3　结　语

总之，教师在改进与创新实验时，不应一味盲目地追求实验现象的呈现，而应在准确把握与理解教材设计意图的基础上，深入挖掘教材实验内容的不足与空白，寻找合理的改进与创新角度。此外，物理实验应立足于学生发展，发挥学生的主体作用。因此，实验创新不应局限于教师的个人活动，而更应该吸引学生积极参与其中，引导学生深入理解实验原理，尝试运用多种科学方法分析并解决问题，在实验改进与创新的过程中激发创新思维，促进物理学科核心素养的发展。

参考文献

[1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准（2017年版）[S]. 北京：人民教育出版社，2018.
[2] 杨喜君. 薄云望月有奇效，优化体验是精品　取生活素材促物理实验改进的策略研究[J]. 物理教师，2017(1)：36　38，42.
[3] 刘银奎. 利用智能手机演示声波的相关实验[J]. 物理实验，2020(7)：58　61.
[4] 刘利澜，李德安，周少娜. 巧用智能手机拓展单摆实验[J]. 物理实验，2019(5)：59　62.
[5] 黎扬飞，郑永青，洪陈超，马颖. 利用手机压强传感器开展波意尔定律实验[J]. 物理实验，2020(4)：62　64.
[6] 张润生，杨诗淇，庄苏维，等. “旋转的液体”　安培力和洛伦兹力可视化实验改进[J]. 物理实验，2022(11)，52　53.
[7] 黄建林. “高见度”实验改进方向的策略研究[J]. 物理教学，2018(5)：37　39.
[8] 陈海深，叶其思，宋善炎. 物理实验“可视化”的探索与实践[J]. 物理教师，2021(11)：47　54.
[9] 王太军. 指向核心素养的生活化创新物理实验研究[J]. 物理教师，2020(3)：32　36.
[10] 陈立其. “原”实验之“理”　“验”原理之“实”　例谈电学实验难点应对策略[J]. 物理教师，2020(7)：50　53.
[11] 袁由均，张文君. 动手动脑学物理，学以致用展能力　以制作多功能电路演示器为例[J]. 湖南中学物理，2022(3)：64　65.
[12] 蒋晓涵，吴伟. 自制教具在中学物理教学中的应用　以自制简易电动机模型为例[J]. 物理教师，2016(11)：43　44，48.
[13] 林春丹，葛运通，成君宝，等. 巧用智能手机做偏振光实验和超重失重实验[J]. 物理实验，2017(9)：17　19.

（下转第28页）

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

0)。随着双棱镜楔角 α 的增大，两者的差别将越来越明显。特别地，当 $\alpha = 5°$ 时，两者的差别将达到 1.35′。

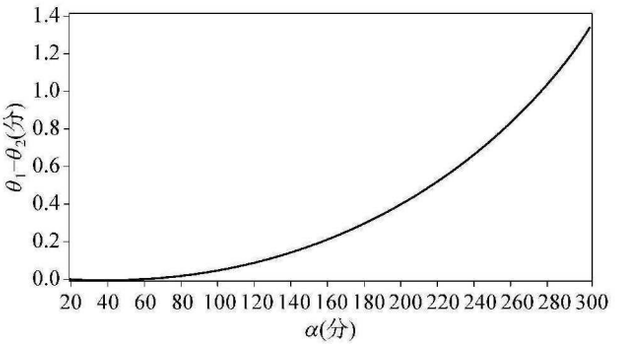

图4　$\theta_1-\theta_2$ 随 α 值的变化关系曲线

接下来，我们分析利用平行光研究双棱镜干涉实验时，平行光入射到双棱镜“平面”AC 面或者“棱面”ABC 面对干涉条纹的间距带来的影响。入射光的波长 λ 保持不变，同样选取 $n = 1.6$，结合公式①，给出两种情况下干涉条纹间距比值 $\Delta x_1/\Delta x_2$ 随双棱镜楔角 α 的变化关系曲线，如图5所示。

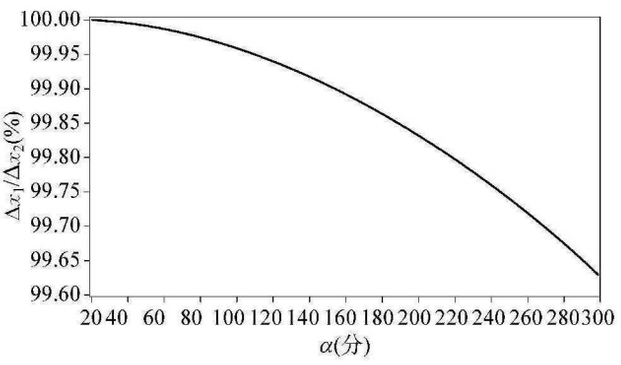

图5　$\Delta x_1/\Delta x_2$ 随 α 取值的变化关系曲线

从图5中可以看出，不论 α 取何值，平行光垂直于双棱镜的“棱面”ABC 面入射时产生的干涉条纹间距，均将比平行光垂直于双棱镜的“平面”AC 面时小，且两者的差别随着 α 的增大而变得更加显著。另外，在双棱镜楔角较小时，两者的差别并不大。特别地，当 $\alpha = 5°$ 时，两者之间的差别也仅有约 0.37%。

3　总结和讨论

在分光计上开展双棱镜干涉实验，可有效培养中学生的物理学习兴趣与实验动手能力。结合多年针对参加中学生物理奥林匹克竞赛培训的教学经验，利用中学生所熟知的折射定律，本文详细解释了使用平行光进行双棱镜干涉实验时，如何利用光学现象判断双棱镜的“平面”和“棱面”，以及平行光从双棱镜不同面入射时，对干涉现象造成的差异。即：通过判断返回到分光计望远镜中像的个数，即可有效判断出双棱镜的“平面”或“棱面”；在双棱镜楔角比较小的情况下，平行光从双棱镜“平面”或“棱面”入射时，对产生的干涉条纹间距影响并不大。该分析结果，从理论上严格解释了学生在分光计上进行双棱镜干涉实验时常遇到的两方面问题。

实际上，当选取实验中的典型参数，例如 $n = 1.6$、双棱镜楔角为 $\alpha = 30'$，通过本文的分析结果可得出：$\theta_1-\theta_2 \approx 0.0013'$，且 $\Delta x_1/\Delta x_2 \approx 99.99\%$，该两项结果实际上均在现有实验仪器的测量精度范围内。因此，这也是在实际的实验教学中，并没有对双棱镜的放置方式做出详细要求的原因。

在关于双棱镜干涉的具体实验教学过程中，实际上还有一些有趣的实验现象，值得学生利用已经掌握的知识去做进一步的分析和研究。例如，如何在分光计上测量双棱镜的楔角大小及折射率、从分光镜中观察到从双棱镜反射回的像的亮度依赖什么实验参数、双棱镜干涉条纹范围与哪些实验因素有关等。对这些实验现象的深入分析，不但能够激发学生学习物理的兴趣，还能进一步培养学生发现问题、分析问题、解决问题的能力，充分发挥出物理实验在中学生能力培养中所起的作用。

参考文献

[1] 全国中学生物理竞赛常委会. 全国中学生物理竞赛实验指导书[M]. 北京：北京大学出版社，2015：127.
[2] 韩佩杉，陆泽辉，樊代和，等. 狭缝和棱脊不平行对菲涅耳双棱镜干涉的影响[J]. 激光与光电子学进展，2019(23)：255　261.
[3] 王素红. 双棱镜干涉实验中虚光源的定位与测量[J]. 物理与工程，2013(5)：25　26.
[4] 杨振军，许景周，庞兆广，等. 利用菲涅耳双棱镜研究光的干涉现象[J]. 物理实验，2017(4)：23　26.
[5] 黄魏，唐召军，周小虎，等. 基于分光计的光栅衍射和双棱镜综合实验设计[J]. 大学物理，2019(10)：37　40，60.

（上接第25页）

[14] 谢桂英，余耿华，许桂清. 中学物理积件实验教学体系的建构与实施[J]. 物理实验，2023(3)：57　63.
[15] 张军朋，许桂清. 中学物理课程与教学论[M]. 北京：北京大学出版社，2022：296　299.
[16] 程宏亮. 创新改进实验器材，传递科学精神　以“真空不能传声”改进实验器材为例[J]. 物理教学，2020(11)：78　80.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net