

DIS 实验新探

DIS 静电计

冯容士、李 鼎 (上海市中小学数字化实验系统研发中心 上海 200072)

前言

静电是中学物理教学内容中非常独特的一个部分,也是非常难教的一个部分。说它独特,在于这部分内容与其他部分的关联程度不大,相对孤立,且较为抽象;但因为它又是中学物理教学中少有的能将学生导向原子物理乃至量子论的基础知识,从这个意义上讲,静电内容不可或缺。说它难教,则在于静电的特性和传统实验仪器的限制,导致静电实验难做,教师的压力大。著名物理教学专家袁哲诚先生就在自己的《库仑定律》教案中强调:保持绝缘良好(包括空气干燥)和器材洁净,是做好演示的关键。笔者曾多次目睹涉及静电的公开课因阴雨天气而使实验彻底失败,教师一脸沮丧、学生充满困惑的场景。这也在多年以前就激发了笔者用新技术改造静电实验装置的想法。

一、传统静电计简介

中学物理教学中常用的静电计又称电势差计或指针验电器(图 1),主要用于检测电荷和电势差。其历史可以追溯到 18 世纪后期贝内特发明的验电器。

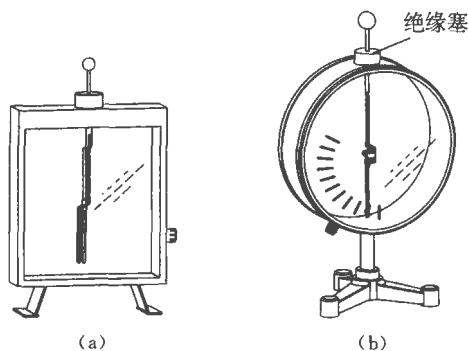


图 1

1. 原理

该类型的静电计从原理上来说就是一个电容器。用绝缘塞与外壳固定的指针(包括固定针、转动针、金属杆、金属球)相当于一个极板,外壳相当于另一极板。其电容量可认为是一个定值(多在 3—5 pF,一般小于 5 pF),根据 $C=Q/U$ 可知 $U \propto Q$,即指针和外壳的电势差跟指针上所带电量成正比。工

作时,可动指针和固定针因带有同种电荷互相排斥,导致可动指针能够张开一定角度。携带的电量愈大斥力愈大,从张开的角度大小可判断指针和金属外壳间的电势差。

2. 不足

该类型的静电计原理清晰、结构简单,就当时的物理学发展状况而言,已经属于了不起的发明了。但其不足也显而易见:电容量小(3—5 pF),只要带上少量电荷,电势就会升得很高。这就犹如一个底面积很小的容器,只要注入少量的液体,液位就会升得很高那样。而因为电势很高,与外界的电势差过大,因此该类型的静电计所带的静电荷很易泄漏;而电荷容量本来就小,往往造成一漏而光。

尽管科学家使用了高阻抗的绝缘塞(一般 $R > 10^{12} \Omega$),尽量把处于在高电势下的那点有限的电荷留住,但难以从抵消环境湿度和温度造成的影响,不能从根本上解决漏电问题。

另外,该类型静电计主要用于静电现象的定性观察,难以将实验导入定量。

二、电子静电计的尝试

1. 让思维跳出传统的局限

解决问题的方法可多种多样,关键是自己能否跳出传统的局限。

在《物理实验的创造技法和实验研究》一书中,笔者就提到了逆向创造技法:“每个人几乎都有自己的习惯思路,遇到问题总喜欢往早已形成定势的圈子里套。但是好主意、好方法可能只有在摆脱了习惯性思维才会产生。大凡成功者都是从人们习惯的思维中摆脱出来,从事物的各个方面,尤其是相反的方面去分析,见人所未见,思人所未思,从而有所创造。逆向技法是改变一般思维程序,即把事物反过来看,并由此解决问题,产生新的成果的创造技法。”

因此,围绕传统静电计的弊端,当大多数实验者想方设法确保其绝缘性和实验环境、实验器材的干

燥洁净的时候,笔者想到了应用当时属高科技技术的场效应管,利用静电感应的原理设计了一款电子静电计。

2. 电子静电计的设计

在上述思路的指导下,我们尝试利用高输入阻抗的场效应管设计了一台能判断电荷正负,并能在一定程度上相对指示静电电压高低的电子静电计。

图 2 所示是这种简易电子静电计的电路图。图 3 所示是它的外形图。

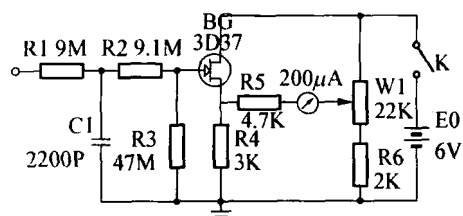


图 2

实验时接上电源后调节 W_1 使电流表半偏。输入端插入金属小球。试用手碰一下金属小球,这时如看到表针回转,说明电路正常。这样,当输入端感应负电荷时,表针向左偏转;当感应正电荷时,表针向右偏转,据此可以判断所测电荷的极性。

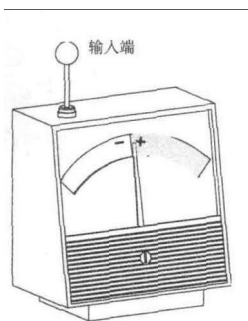


图 3

3. 成功与不足

这款电子静电计采用感应方法检验电荷,效果良好,不但能满足实验室的需要,而且可作为学生离开实验室广泛研究静电现象的工具。但是由于这款电子静电计的原理是静电感应,测试结果在带电体离开后不易保持,实验教学中还是存在诸多不便。但即便如此,这款电子静电计还是在当时引发了老师们的极大兴趣,并积累了一些教学应用经验。

三、DIS 静电计的研发

1. 寻求根本解决方案

采用场效应管来设计电子静电计并非笔者当年的首选。笔者实际上更想采用增大静电计电容量的方法。这更符合“逆向创造技法”的思路。其基本设想如下:

如果静电计电容量增大,其携带的电荷不仅显著增多,带电荷之后电势的升高也显著放缓,与环境的电势差也会随之大大减小。这就犹如底面积很大的容器,注入很多的液体,其液位也不会升得很高。

这样的静电计不仅不易泄露,即便有泄露也经得住泄露。使用这样的静电计做实验,对环境、器材及操作手法的要求就会降低,实验效果将会得到保障。

但是,受限当时的技术手段,这个设想始终没有实现的机会。

2. DIS 系统完善推动静电计的研究

进入新世纪,信息技术的突飞猛进、电子器件的不断升级,犹如成熟的果子等待我们享用。上海《中学物理课程标准》引入了 DIS 之后,我们已经通过近十年的时间积累了相关技术,这使得基于大电容量的 DIS 静电计的设想得以实现。而此时,不仅要求“知识、技能”,同时强调“过程、方法”的课改纲领,已经使师生对静电实验的期望由单纯的现象演示、定性观察上升到了定量研究和过程把握的高度。这同时也为 DIS 静电计的研发确定了基准目标。

(1) DIS 静电计的基本构成

经过近两年的努力和完善,目前上海市中小学数字化实验系统研发中心已完成了两款 DIS 静电计(I 型)和(II 型)的外形图。静电计的输入端可插入金属小球或法拉第圆桶(又称法拉第冰桶)等器材。

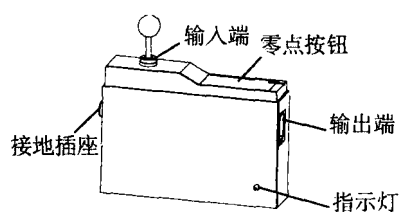


图 4

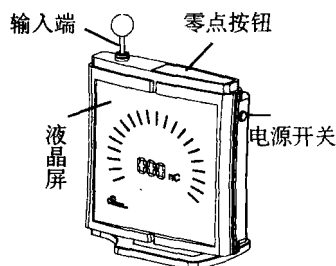


图 5

图 6 是它们的电路结构简图。可见,两种型号的电路类同,只是 I 型的信号通过 USB 接口由计算机专用软件显示,包含数字、指针和波形等显示方式(图 7);II 型自带液晶屏,亦可通过将数据传输到计算机上显示,可用于学生实验,便于室外使用。

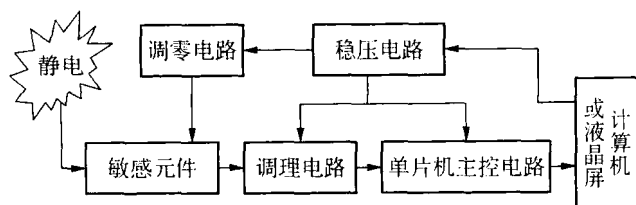


图 6

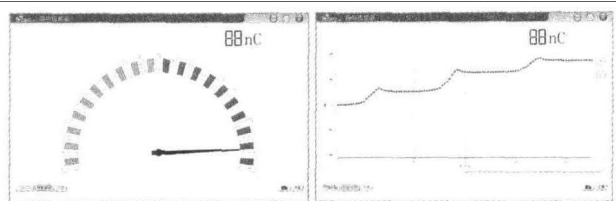


图 7

(2) DIS 静电计的技术性能

DIS 静电计采用了与传统的静电计相同的“电容式”结构。只不过传统静电计借助仪器本身构成了电容，而 DIS 静电计则在仪器内部设置了大电容电路，电容量比传统静电计大了若干个数量级，带电后的电势也相应降低。借助 DIS 系统日益成熟的信号采集功能，即可对静电实验中的数据进行动态实时显示和记录存储。

DIS 静电计相对于传统静电计的性能提升：

- 极性指示：当需要判断极性时，传统静电计必须有一个参考电荷，而 DIS 静电计可以直接指示极性。

- 高灵敏度且灵敏度可调：DIS 静电计的灵敏度显著高于传统静电计且灵敏度可以调整，静电实验的范围可以因测量工具的升级而扩大。

- 定量研究：DIS 静电计的一个重要优势在于有线性标度。与只能粗略测量的传统静电计相比，精度更高。因此可以用 DIS 静电计来验证物理定律是线性还是指数关系。这使得实验中脱离了定性观察状态，进入到了测量、分析阶段。

- 过程研究：DIS 静电计可以借助示波显示方式实时动态地展示、记录静电实验的过程，这不仅优于传统静电计，同时也使得笔者当年设计的电子静电计相形见绌。

- 可供大型演示使用：DIS 静电计与计算机相连，专用软件有数字、示波、仪表等多种显示模式，可与投影、白板等现代化电教手段联用。

四、DIS 静电计实验案例

由于 DIS 静电计的性能提升，一些经典的静电实验都能借此相对方便地获得较满意的效果。

以下是多个使用有显示屏的 DIS 静电计(Ⅱ

型)进行的静电实验案例。

1. 电荷守恒(两种电荷)

电荷守恒是说明电子论的重要实验。两个物体相互摩擦时总是一个物体得到电子，另一个物体失去电子，因此它们同时带有异种电荷而且所带的电量相等。

此实验需要三个带有绝缘手柄的圆形起电板，起电板分别用金属、硬橡胶和有机玻璃制成(图 8)。

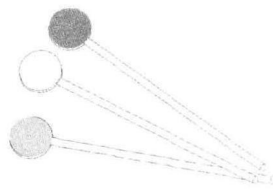


图 8

(1) 实验装置如图 9 所示，在 DIS 静电计输入端插上一个法拉第圆筒。

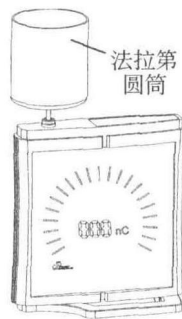


图 9

(2) 实验时任选两块起电板，用布擦干净后，放在酒精灯火焰上方掠过，以消除板上的残余电荷。

(3) 手握起电板绝缘柄，把两板相互轻轻摩擦一下，先后插入桶内，静电计将显示两板所携带的是等量异种电荷；把两板叠合在一起再放入桶内，静电计不显示电荷，说明两板携带相同电量的异种电荷。

(4) 在实验过程中必须注意：勿使带电板与桶内壁接触；起电板上带电量不宜太大；起电板应缓慢放入桶内。如果很快放入桶内，有时很可能得出错误结论。

2. 静电感应和感应带电

静电场中的物体，其自由电荷受到电场的作用而重新分布，从而使其表面的不同部位出现正负电荷，这种现象称为静电感应。教学中，常用这种方法使静电计带电。

(1) 静电感应实验装置为图 10 所示：两个 DIS 静电计用导电杆连接。

(2) 当带电棒(正电)向导电杆一端移近时，由于感应电荷的产生，两静电计显示异性等量感应电荷(图 10a)。

(3) 移开带电棒，两静电计都无电荷显示，说明感应的电荷已中和(图 10b)。若先移走导电杆再移开带电棒，两静电计感应电荷就不能中和，距带电棒近的静电计带有与棒上同种电荷，较远的静电计带有异种电荷(图 10c)。

(4) 用带负电的橡胶棒重复上述实验，静电计可带电荷正负与上述相反。

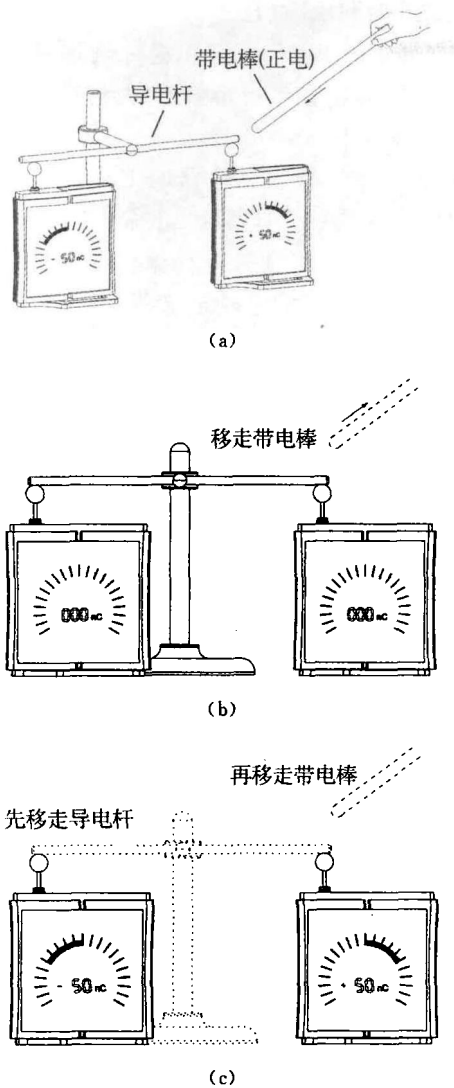


图 10

教学中还常用图 11 所示装置,通过静电感应使静电计携带与带电棒异性的电荷。

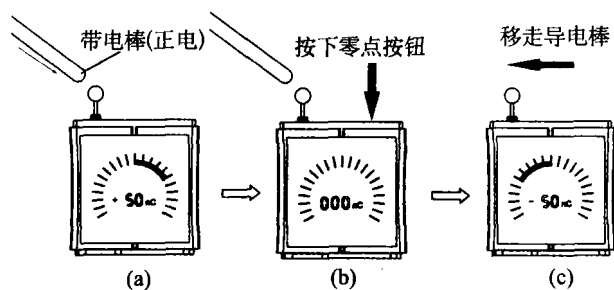


图 11

实验可按下列步骤来进行:实验时把带电棒(正电)移近静电计输入端的金属小球,静电计因感应带上正电荷;按下静电计零点按钮,静电计显示零电荷;再移开带电棒(正电),这时静电计就带上与带电棒异号的电荷(负电)。换上带负电的带电棒重复实

验,静电计带上正电荷。

3. 电荷平衡时导体表面是一等势体

导体在静电平衡状态下,导体内部和表面各点电势都相等,整个导体是一个等势体,导体表面是等势面。

(1) 实验装置如图 12 所示。将带有绝缘柄的导电球与静电计的输入端用导线相连。

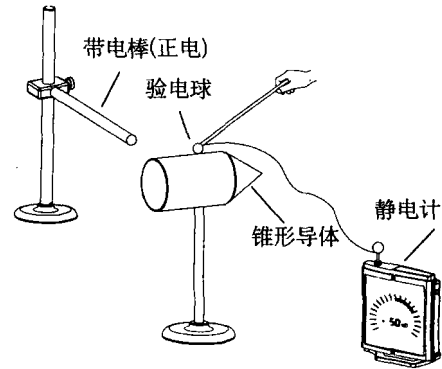


图 12

(2) 实验时将带电棒(正电)靠近锥形导体,使其感应带电。

(3) 手持带有绝缘柄的验电球,按图所示方法让验电球在锥形导体表面移动,静电计显示相同电量,说明导体表面各点的电势相等,因此导体表面是一等势体。

4. 静电屏蔽

用一个导体把外电场遮住,使其内部不受外电场影响,即为静电屏蔽。

(1) 如图 13 所示,把带电棒靠近 DIS 静电计输入端的金属小球,可见静电计感应带电。

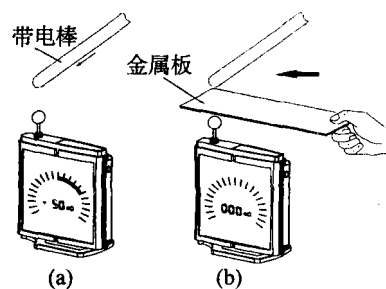


图 13

(2) 手持金属板(或金属网)插入带电棒和金属球之间,静电计不带电,说明静电屏蔽现象。

5. 光电效应

光电效应是说明光的量子性的重要实验。

(1) 用 DIS 静电计做光电效应的装置如图 14 所示,锌板按图所示插入静电计输入端。实验前必

须用细砂纸将锌板打磨干净,除去表面氧化层。紫外线灯管选用 4 w 功率、波长为 2537 埃的那种。

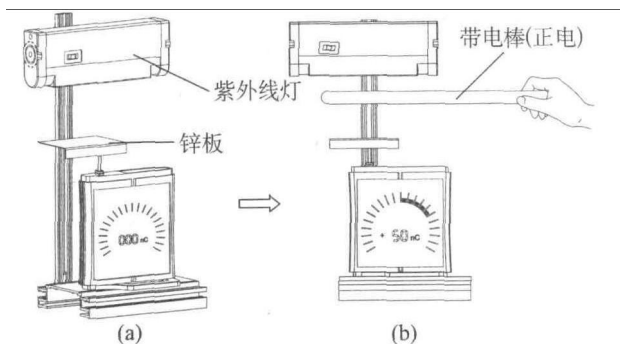


图 14

(2) 实验时用紫外线照射不带电的锌板时,静电计无电荷显示。若此时在锌板附近放置带正电的玻璃棒,可以看到静电计显示正电荷,说明锌板有光电子逸出使锌板带电。

(3) 现象释义:锌板受紫外线作用会逸出光电子,但因逸出的电子聚集在锌板周围形成空间电荷区,使锌板和周围空间电荷区之间形成反向电压,阻碍光电子的连续逸出。只有用带正电的物体吸附了锌板周围的负电荷,才能使锌板逸出较多的光电子,静电计才有明显的正电荷显示。

(4) 紫外线易伤害眼睛,应注意防范。

研发后记

“让静电实验不再成为老师们的畏途”。这是我们研究 DIS 静电计的初衷。实现了这一初衷,亲眼目睹了老师们实验成功的喜悦,我们随之获得了最大的褒奖。有三点研发感受:

首先,在将 DIS 引入上海《中学物理课程标准》之初,对 DIS 在实验教学领域应用尚无明确定论。但是,我们包括 DIS 静电计在内的一系列成果恰恰说明了:十年前,引入 DIS 的决策者们还是极富有预见力的! DIS 不等于传感器,传感器只是 DIS 所应用的大量信息技术手段之一。DIS 的根本特点在于信息技术与实验教学的深度整合,这一概念的提出就等于指出了借助信息技术解决实验教学难题的正确方向。提出 DIS 不是对在物理教学发展史上立下卓越功勋的传统实验仪器的抛弃,而是在这些传统仪器基础上的再创造。而研发中心十年来的工作,更是在践行着这个再创造的过程。信息技术通过 DIS 的模式服务于教学,不仅有效地解决了诸多难题,还逐步改变了实验教学的模式乃至学生的学

习方式。同时,DIS 也已经成为广大教师和学生们的观察和认识物理现象、探索和提炼物理规律的有力工具,以及支持他们进行再创新、再创造的可靠而高效的平台。

其次,是对实验教学仪器的工具性认识。实验教学所用的仪器必须具备什么特征? 实验教学仪器和科研仪器、工程测量工具有什么本质区别? 什么样的仪器才能充当实验教学仪器? 围绕上述问题,传统实验仪器获得了诸多“捍卫者”,而 DIS 所代表的信息技术工具则曾经广受质疑,难以进入实验教学仪器的主流。其实早在 1956 年,人民教育出版社出版的《物理》高级中学课本第二册(p25)中,即使对实际上不甚复杂的传统静电计也给出了如下的教学建议:“静电计的原理比较复杂,在中学课程里不予学习,现在只讲它的使用方法”。因此,只要能解决实验教学过程中的各种参数的测量问题,工作可靠且成本在学校的可接受范围之内,这样的仪器就可以成为实验教学仪器。因此,DIS 尽管新颖且原理稍显复杂,但并不背离传统。切实解决了实验教学的诸多难题之后,DIS 完全可以与传统实验教学仪器并列。

另外一点,是对 DIS 研发的过程性和复杂性的认识,以及对教学仪器研发的终极意义的探索。DIS 静电计等新仪器、新设备经历的复杂而曲折的研发过程,实际上并不是 DIS 研发所独有的,而是任何一种新事物在被创造的过程中所普遍经历的。就 DIS 静电计的研发来说,在策划、设计和研发的过程中,不断出现思想和实践的冲撞,充斥着不间断的修改与扬弃。正如曾有一个画家对笔者说的:他作画前都有所构思,但实际绘画时手会“自说自画”,最后的作品可能与原来的构思大相径庭。科学研究表明,大脑和双手的外形不但相似(图 15),而且相互融合、相互支撑、相互制约。画家的经历说明:手的动作会反作用于大脑,促进大脑改变思路,大脑再将指令下达到手,从而在一遍又一遍的反馈和修正中达到理想的效果。因此,在经历了手和脑之间的

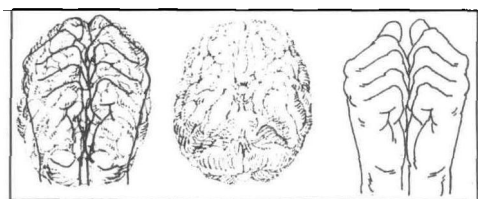


图 15

(下转第 29 页)

据是刘昊月参加第四届全国大学生物理教学技能大赛比赛现场做出的真实数据)。

从以上数据怎么判断 F 与 v 是否成反比呢? 只要看 F 与 v 的乘积(如表 1 所示), 发现它们在实验误差允许的范围内相等, 大约是 0.28 瓦! 说明当功率一定时, 牵引力 F 和速度 v 的确成反比!

那么, F 与 v 的乘积是不是会等于这台电动机的额定功率呢? 看一下这台电动机铭牌上的额定功率(如图 8 所示), 是 0.2 瓦! 发现居然不相等, 而是大于额定功率! 这是为什么呢? 让学生带着这个疑问进入下一环节的学习!

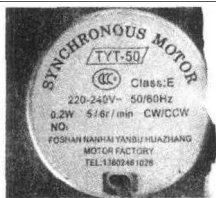


图 8 F 与 v 的乘积与额定功率比较

以上教学过程和精巧的定量探究实验设计, 不仅能消除学生心中的疑问, 进一步加深学生对功率的导出式的理解和掌握, 还能培养学生的质疑、验证的意识和实验探究的习惯和能力。

4. 100 W 的灯泡比 25 W 的灯泡要“暗”的演示实验(串联时)

刚才实验中 F 与 v 的乘积(0.28 瓦)不等于额定功率(0.2 瓦), 这一结果完全在学生的心理预期之外, 能很好地激发学生的探索欲望。可以先让学生认识什么是额定功率, 什么是实际功率。再让学生阅读教材中的相关内容, 了解额定功率跟实际功率的关系。

此时学生自己都可以揭秘, 原来刚才我们算出的 Fv 不是额定功率, 而是实际功率, 电机工作时实际功率通常要小于或等于额定功率, 但在特殊情况时也可以大于额定功率, 但要尽量避免, 刚才实验时是让电机满负荷拉起重物, 显然属于特殊情况, 所以实际功率 Fv 才大于额定功率。

接着提出一个疑问: 额定功率为 100 W 的灯泡

一定比额定功率为 25 W 的灯泡要亮吗? 再演示 100 W 的灯泡比 25 W 的灯泡要“暗”的实验现象(串联时, 如图 9 所示), 引发学生的认知冲突, 让学生对额定功率和实际功率的区别产生深刻印象! 原来额定功率大的, 实际功率不一定大!

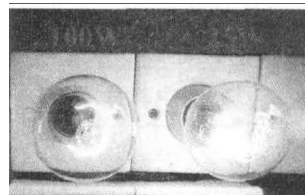


图 9 100 W 的灯泡比 25 W 的灯泡要“暗”

5. 100 W 的灯泡正常工作时比 25 W 的灯泡要“亮”的演示实验

功率更广泛的物理意义是描述能量转化的快慢。

而能量转化的快慢不易察觉, 怎样让学生建立功率大就是能量转化快的感性认识呢? 设计 100 W 的灯泡正常工作时比 25 W 的灯泡要“亮”的演示实验(如图 10 所示)就能达到良好的效果!

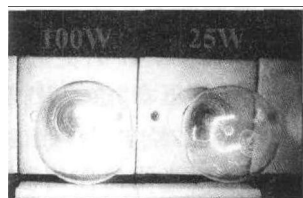


图 10 灯泡“亮”即能量转化“快”

“亮”就是能量转化快! 让学生通过灯泡的亮度来感受功率的大小的确与能量转化的快慢有关, 从而让学生领悟功率是能量转化快慢的度量。

教学是一门艺术, 教学艺术要不断创新和创造, 教师是教学艺术的终极创造者。教学艺术的境界没有最高, 只有更高! 要实现课堂的优质和高效, 有效促进学生的发展和教师的专业成长, 唯有教师不断地进行教学创造!

参考文献

- [1] 吴加谢. 从优秀走向卓越——物理教师的三项修炼探微[Z]. 陕西:《中学物理教学参考》2011. 6
- [2] 刘志敏. 高中物理新课程. 教师教学再创造初探[Z]. 江苏:《物理教师》2010. 6
- [2] 《物理实验创造技法和实验研究》, 冯容士、陈燮荣著, 上海教育出版社出版发行. 1998 年 7 月第 1 版。
- [3] 《上海市中学物理课程标准》(试行稿), 上海市教育委员会编, 上海教育出版社出版发行. 2004 年 10 月第 2 版。
- [4] 《物理》高中二年级第一学期(试用本)(高级中学课本), 上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会编, 上海科学技术出版社出版. 2007 年 12 月第 1 版。
- [5] 《物理学》第三册(高级中学课本), 人民教育出版社编辑出版. 1956 年第一版。

(上接第 24 页)

长期反制与互动, 最终得到 DIS 静电计之后, 笔者衷心期待这样一个创新成果能够在广大教师和学生手中被广泛而深入地使用, 以促进师生们的手脑互动, 使他们在更高的层次上形成认知的飞跃和动手能力的培养, 并在手脑交互的基础上, 取得中学阶段物理学习以及未来科学研究、工程实践等领域的丰硕成果。

参考文献

- [1] 《名师授课录》(高中物理), 中国物理学会教学委员会中学分会编, 上海教育出版社出版发行. 1995 年 9 月第 1 版。