辉光球的演示实验设计

吕　颖　　李德安

（华南师范大学物理与电信工程学院　广东 广州　510006）

（收稿日期：2019－02－25）

摘　要：本文说明了辉光球的发光原理及此前有人用辉光球进行演示实验的现状，在此基础上设计了几种用辉光球进行的课堂演示实验.

关键词：辉光球　发光原理　演示实验

1　辉光球简介

辉光球又称为电离子魔幻球、等离子球，其发光现象属于稀有气体在高频高压电场作用下的辉光放电，如图 1 所示. 辉光球的玻璃球壳内充有低压的稀有气体，中心有一电极，与底座的震荡电路板相连. 打开开关，振荡电路板将 220 V 的交流电或 12 V 的直流电转化成高频高压，经电极释放出来，形成一个强电场. 空腔内的带电粒子在电场作用下运动，与中性气体分子发生非弹性碰撞，将能量传递给气体分子. 吸收能量后的气体分子有两种状态，即激发态和电离态，处于激发态的原子很不稳定，它们会很快地回到基态并以光子的形式释放能量. 辉光球发出的光就是大量原子在能级间跃迁的结果，光线显示了带电粒子在电场中运动的路径.

图 1　辉光球实物图

由于处在电场中的导体达到静电平衡的时间约为 $10^{-17} \sim 10^{-19}$ s[1]，远小于辉光球的交变电场周期，因此可以把辉光球产生的电场当做静电场，利用其演示静电实验现象.

2　研究现状

辉光球作为一种电子娱乐产品，因具有安全性高、神秘梦幻的特点被有些科技馆、学校用作演示器材. 有些教师设计了关于辉光球的发光现象、手触摸球壳时壳内辉光变化及辉光球点亮日光灯等系列实验的展示过程[2]，也有教师开发出了一系列辉光球使日光灯发光的演示实验[3]，接着又有教师用辉光球来探究静电现象，如模拟点电荷周围电场线的分布、展示强度的变化[4] 以及演示静电屏蔽现象[5]，更有教师将辉光球应用于中学物理“静电场” 和“电子结构” 两个部分的教学中[6].

事实上，这些实验多数是用日光灯和氖管作为实验器材开发出来的，实验原理也大同小异. 那么，辉光球在物理教学中还有哪些应用呢？接下来笔者就介绍几种用辉光球进行的物理演示实验.

3　辉光球在物理教学中的应用

3.1　模拟点电荷产生的电场及同性点电荷之间的相互作用

实验器材：两个相同的辉光球.

操作步骤及实验现象：如图 2(a) 所示，打开辉光球的开关，可以看到光束以电极为中心向球壳辐射，成球对称分布，与点电荷的电场线分布十分相像[6]. 如图 2(b) 所示，将两个辉光球相互靠近，则两辉光球

的光线不再成球对称分布，两电极连线的中点 O 附近光线稀疏.

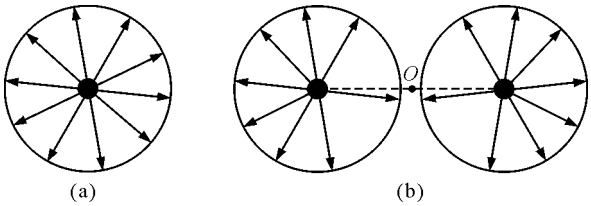

图 2　光线分布示意图

实验原理：辉光球的发光现象属于高频的无极放电，球形电极为一极，另外一极在无穷远处，两电极的极性随电压的改变而改变. 因此，球形电极周围的电场以电极为中心成球对称分布，在极短的时间内与点电荷产生的电场类似. 由于球内气体稀薄，所以带电粒子的运动路径与电场线重合，光线显示了电场线的分布情况. 打开辉光球的开关，便可见一条条明亮的光线在电极附近游动，立体地展示了点电荷电场的分布情况.

将两个相同的辉光球相互靠近，由于二者输入的是同一电源，且将其转化为高频高压的驱动电路相同，因此两辉光球电极的极性变化是同步的，可看做是完全相同的两个点电荷. 仔细观察，可以发现两个辉光球光线的分布不再成球对称，两电极连线的中点 O 附近光线稀疏，形象地展现了同种电荷的电场线分布情况. 将这两个实验先后在课堂上演示，可以帮助空间想象能力弱的学生建立立体的电场线分布模型.

3.2　演示静电感应现象

实验器材：铝罐，辉光球.

实验现象：将铝罐罩在辉光球上，打开辉光球的电源开关，用手触摸铝罐表面，则手指会有触电的感觉(图 3).

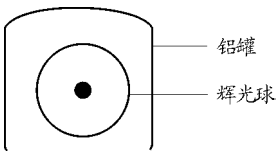

图 3　静电感应实验装置

实验原理：辉光球电极产生的强电场，会使铝罐发生静电感应，出现宏观带电的现象. 静电感应对中学生来说比较抽象，因此将这个实验作为课堂演示实验，会增加学生的感性认识，加深其理解.

3.3　演示静电屏蔽现象

实验器材：辉光球，日光灯，金属笼，接地导线.

操作步骤及实验现象：如图 4(a) 所示，打开辉光球开关，手持日光灯的一端，将另一端靠近辉光球，日光灯亮了. 如图 4(b) 所示，将接地金属笼罩在辉光球上，重复以上操作，日光灯没有发光.

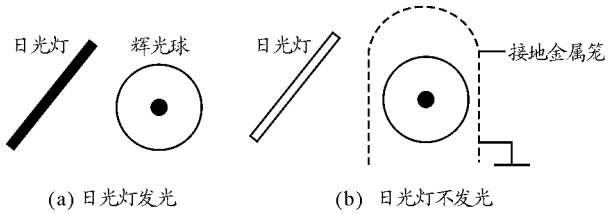

图 4　用日光灯和辉光球演示静电屏蔽现象

实验原理：这是因为将日光灯置于辉光球产生的强电场中时，灯管两端有电势差，使管内的汞气体分子被激发，辐射出紫外线. 紫外线作用在管壁的荧光粉上使其发出可见光. 将接地金属笼罩在辉光球上，屏蔽了辉光球产生的电场，因此日光灯不发光. 这个实验相较于其他静电屏蔽的演示实验，步骤简单，取材方便且实验现象更加明显，能够让学生直观地感受到金属笼的静电屏蔽效果.

3.4　演示交变电场对电子表计时精度的影响

实验器材：电子表，辉光球.

操作步骤及现象：打开辉光球开关，记录下电子表显示的时间以后放在辉光球的玻璃球壳上(图 5)，待 2 ～ 4 min 后取下，可发现电子表显示的时间大幅度改变.

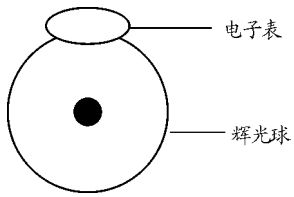

图 5　辉光球对电子表计时精度的影响

实验原理：电子表内部有一个震荡频率十分稳定的石英水晶振子. 石英振子由门电路产生一个通常是 32.768 kHz 的稳定震荡频率，再经过电子分频器的

15 次分频后，得到秒脉冲. 秒脉冲送到步进电机，每秒钟推动步进电机一次，从而达到计时功能. 因此电子表的计时精度主要取决于石英晶体的振荡频率. 石英晶片之所以能构成振荡电路（谐振）是基于它的压电效应[7]. 若在其晶片的两个极板间加一电场，会使晶片发生形变；反之，若在极板间施加机械力，又会产生相应的电场，这种现象称为压电效应. 如在极板间加上交变电压，石英水晶振子就会产生机械变形振动，同时机械变形振动又会产生交变电场. 这种机械振动的特点是频率稳定度很高，精度不易改变. 将电子表置于外加交变电场中时，外加电场会使石英晶体的震荡频率发生改变，从而使电子表的计时出现偏差.

3.5　证明原子轨道量子化

实验现象：打开辉光球的开关（可参看前面的图 1），会看到光线以电极为中心向四周辐射，近内胆处布满了橘红色的光，中间为淡蓝色细线，靠近外壳处是分叉的橘红色光线，游离的光线仿佛水中游动的水母.

实验原理：辉光球的彩色光束是怎样形成的呢？辉光球产生的电场在短时间内可近似看成是一个点电荷产生的电场. 因此在电极某一位置 r 处

$$E=\frac{kQ}{r^2}$$

公式 $U=Ed$ 虽然只适用于匀强电场，但也可以用于点电荷产生的电场做定性分析. 球体内气体的密度均匀，每次碰撞带电粒子的加速距离 Δr 相等，则碰撞所传递的能量为

$$W=qU=qE\Delta r=q\frac{kQ}{r^2}\Delta r$$

由公式可以看出，每次碰撞之间带电粒子在电场中加速所获得的能量随半径 r 的增大而减小. 既然加速所获得的能量依次递减，而两次加速的距离又比较短，肉眼几乎观察不到，为什么原子吸收能量后辐射出颜色却在很长一段距离里面保持恒定？这要从能级分立的角度进行解释. 原子的能级不是连续的，而是一个个分立的值，因此能级间跃迁所吸收或释放出的能量也是分立的. 经电场加速后的带电粒子与中性分子碰撞，使其处于激发态，接着中性分子以辐射光子的形式释放能量，产生了肉眼可见的辉光. 辐射光子的频率不同，光线的颜色也不一样. 设两个相邻能级为 E_1 和 E_2（$E_2>E_1$），原子从基态跃迁到激发态 E_1 和 E_2 所需的能量分别为

$$E_1=qk\frac{Q}{r_1^2}\Delta r=h\nu_1$$

$$E_2=qk\frac{Q}{r_2^2}\Delta r=h\nu_2$$

当 $r_2<r<r_1$ 时，原子会跃迁到 E_1 能级，释放出频率为 ν_1 的光子，只有当 $r>r_1$ 或 $r<r_2$ 时，原子才会跃迁到另一能级，辐射出光子的频率才会发生变化，即光线的颜色才会发生变化.

4　教学建议

以上的实验 3.1 ～ 3.3 现象明显、原理简单且趣味性强，可以用做中学物理中电学部分内容的课堂演示实验；实验 3.4 和 3.5 原理较为复杂，实验 3.4 建议在讲授电子表工作原理的时候进行演示，实验 3.5 对应的是大学的原子物理知识，建议在讲到能级跃迁、原子轨道量子化等知识的时候演示.

大学课堂里面的演示实验并不多见，将以上两个实验在课堂上进行展示，会大大提高学生学习的积极性，增加他们学习的趣味性，不失为大学课堂中的一抹亮色.

参 考 文 献

1　张祖寿. 导体达到静电平衡所需时间的数量级估计. 物理与工程，2003(02)：20 ～ 21，30

2　熊举峰，谭红明. 辉光球的教学演示设计. 湖南中学物理，2009(07)：42 ～ 43

3　何桂明. 用辉光球与日光灯开展趣味气体放电实验. 物理教学探讨，2010，28(08)：54 ～ 55

4　刘炳昇，仲扣庄. 利用“辉光球”探究静电现象. 物理教学，2011，33(01)：26 ～ 27

5　陈海深，刘剑锋. 用辉光球和氖管演示静电屏蔽现象. 物理教师，2014，35(12)：60 ～ 61

6　孙佩雄，蒋甜甜. 辉光球的发光原理及在物理教学中的应用. 物理通报，2013(11)：123 ～ 125

7　魏群，吕丹. 基于整体误差校正的石英计时器计时精度提高方法研究. 质量技术监督研究，2013(06)：31 ～ 33