

巧用简单装置演示“电场中的电势能”^{*}

居 津 (苏州实验中学 江苏 215011)

摘 要 “电势能和电势”的概念抽象难懂,不易理解。教学过程中通常出现“教师讲得明白,学生听得糊涂”的现象。如何能让学生直观地“看到”电势能一直是广大教师追求的目标。笔者利用实验室常见的仪器感应起电机和平行金属板,进行简单设计,将“抽象神秘”的电势能变得“直观可见”。

关键词 平行板电容器 感应起电机 电势能 动能

文章编号 1002-0748(2020)6-0025

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

“电势能和电势”是静电学中最为抽象的概念,大部分教师在教授此概念时多采用“类比”教学法,将“电势能与重力势能”“电场力做功与重力做功”进行类比展开教学。然而实际教学中发现:不少学生学完后依然一头雾水,效果不尽如人意。甚至有学生产生这样那样的困惑:“将电势能与重力势能进行类比真的可靠吗?”“电荷在电场中真的具有电势能吗?”针对以上出现的教学问题,笔者设计利用实验室常见的装置,进行简单设计,让“抽象隐形”的电势能变的“直观可见”。

1 实验设计

(1) 实验目的

演示电势能与动能的相互转化。

(2) 实验装置

手摇感应起电机,一对直径为 20 cm 的平行金属板,一个直径约为 30 mm 的空心轻金属球(重约 8 g),一段光滑的绝缘导轨(长约 20 cm),两根绝缘支架,一块绝缘板底座。实验装置如图 1 所示。

(3) 实验操作与现象

将绝缘导轨调至水平,轻轻地将轻金属球静置于绝缘导轨上,靠近其中某一块金属板。用两头带鳄鱼夹的导线将感应起电机两金属杆与平行板电容器金属板相连接,摇动感应起电机。观察到轻金属球在绝缘导轨上两金属板间来回运动,并发出“铛铛”的响声。图 2 中小球正向右极板运动。

(4) 实验定性分析

手摇感应起电机使平行金属板带电,在两板间

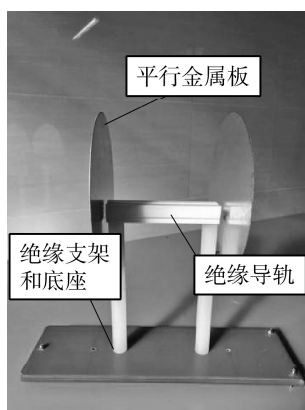


图 1 实验装置图

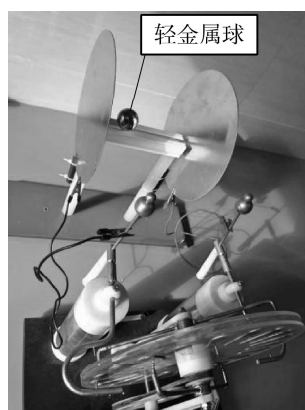


图 2 实验效果图

形成电场。将轻金属球静置靠近某一平行板,由于电场可以吸引轻小物体,故将轻金属球吸引至金属板,金属球与极板相接触使金属球与极板上同种电荷,轻金属球被排斥,在电场力的作用下,向对面极板方向运动,碰到另一块极板后带上与它同号的电荷,又被排斥弹回,在电场力的作用下向相反的方向飞去,重复上述过程。所以可以观察到轻金属球在两板间来回运动,实现电势能与动能的相互转化。

2 相关估算

2.1 建立模型

(1) 理想平行板电容器

与手摇感应起电机相连后,平行金属板间近似形成匀强电场。设两极板间电压为 U ,则两板间的匀强电场为 $E = \frac{U}{d}$,其中 d 为两金属板间距。此时某

^{*} 基金项目: 本文系苏州教育科学“十三五”规划重点课题“核心素养视阈下体验式实验系统开发的研究”(项目编号: 191004028)阶段性成果。

一极板上的电荷密度为 $\sigma = \epsilon_0 E$ (其中 ϵ_0 近似为真空介电常量, 即 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$)。

(2) 带电后的轻金属球理想化

将轻金属球看作直径为 D , 质量为 m , 电荷分布均匀, 带电量为 Q 的球壳。在金属球与某极板分离的瞬间, 球面有电荷分布的部分与极板的电荷密度相等, 也为 σ (此处亦取近似的结果)。

2.2 简单估算

本实验中, 若要让轻金属球能到达另一极板, 需要在两金属板间加多大的电压?

设金属球只有半球面带电, 则其带电量为

$$Q = \sigma S = \sigma \frac{\pi D^2}{2}$$

该轻金属球在匀强电场中受到的电场力大小为

$$F = QE$$

进一步得到电场力做功为

$$W = \frac{\pi \epsilon_0}{2} \left(\frac{D}{d} U \right)^2 \cdot d = \frac{\pi \epsilon_0 D^2 U^2}{2d}$$

若轻金属球到达另一极板, 则在光滑绝缘导轨上电场力做功大于等于小球到另一极板时的动能,

$$\frac{\pi \epsilon_0 D^2 U^2}{2d} \geq \frac{1}{2} mv^2$$

整理可得

$$U \geq \sqrt{\frac{mv^2 d}{\pi \epsilon_0 D^2}}。$$

代入数据, 轻金属球直径 $D = 30 \text{ mm}$, 质量 $m = 8 \text{ g}$, 测得轻金属球在极板与光电门间运动间距为 $d = 6.5 \text{ cm}$, 如图 3 所示。利用传感器测出轻金属球到达光电门时的速度为 $v = 0.188 \text{ m/s}$, 解得电压的最小值为 $U_{\min} = 27.1 \text{ kV}$ 。

讨论: 轻金属球的实际带电面积如果为整个球面面积乘以系数 λ , 上述计算过程中取 $\lambda = \frac{1}{2}$ 进行计算。由此, 电压更一般的情况应表示为

$$U > \sqrt{\frac{mv^2 d}{2\pi \epsilon_0 \lambda D^2}}$$

上述估算中, (1) 真空介电常量应替换为一定湿度下空气的介电常量; (2) 轻金属球越大, 球面有电荷分布的电荷密度与极板的电荷密度越接近; (3) 带电系数 λ 与轻金属球的几何形状, 是否滚圆, 漏电情况等因素有关。

3 使用效果和优点

(1) 效果: 本实验装置曾多次在课堂上演示, 尤其有一次在 2019 年 10 月中旬, 室外下大雨, 天气较潮湿, 课堂演示前, 笔者用无水酒精将两平行板擦净, 用电吹风将感应起电机和平行板吹干燥立即实验, 实验现象依旧非常明显。

(2) 装置优点: ①课堂上, 能将“小球静止释放后重力势能与动能相互转化”与本实验中“静止释放后电势能与动能相互转化”现象对比操作, 直观形象, 能让学生迅速理解“电势能”的概念, 且实验效果较好, 能很好地进行类比, 达到实验目的与教学要求。②本实验与静电摆实验装置类似, 但静电摆中轻金属球运动过程中涉及到电势能、动能和重力势能, 对于初授电势能概念的教师而言, 较难解释; 对于初学电势能概念的学生而言, 较难理解。本实验选用相对光滑的绝缘导轨, 只涉及电势能与动能的相互转化, 便于学生掌握。③本实验仪器简单、常见、易取, 成本低。对实验装置的搭建和实验环境要求较低。④实验操作简单, 不仅可以看到小球运动, 还能听到撞击金属板的声音, 实验现象明显, 利于全体学生观察, 且可由学生自己动手操作, 调动学生学习物理的兴趣和课堂学习积极性, 进一步培养学生的观察能力和动手能力。⑤平行金属板间近似可以看成匀强电场, 轻金属球在匀强电场中的运动既可以作为新授课的引入, 还可以作为带电小球在匀强电场中运动的建模使用。

实验是学习物理必不可少的重要手段, 也是提高学生学科核心素养的有效途径, 利用已有装置或常见仪器进行创新或改装实验装置, 使实验效果更佳也是教师一大重要研究方向。希望本文能起到抛砖引玉的作用, 让广大教师受到一点启发, 在实验改进和创新上越走越远!

参考文献

- [1] 何春生, 胡学军, 刘婉君. 一个能够演示电势能的实验[J]. 物理通报, 2014(8): 71.
- [2] 赵恒山. 教学用起电机上演示静电场中的电势能[J]. 物理通报, 1994(8): 33.

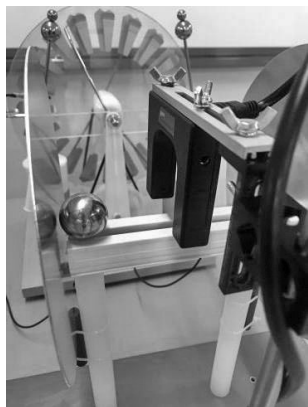


图 3 光电门测球速