

近真空环境下库仑定律 定量探究演示实验的研究

何梁才 (平湖市新华爱心高级中学 浙江 314200)

摘 要 本文通过对人教社新版普通高中物理教材中的库仑定律教学演示实验装置的改进后,即采用近真空环境下来探究库仑定律相关的一些规律,得到较为精准的测量数据和结果。

关键词 库仑定律 演示实验 定量探究 近真空环境

文章编号 1002-0748(2021)11-0021

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

库仑定律定量研究实验方法和实验思想是高中物理实验思维和实验方法教学的一个重要素材。人教社 2019 版《高中物理(必修三)》教材继续沿用上一版教材给出的两个演示实验方案^[1],一个是定性探究演示实验方案,如图 1 所示。该演示实验通过带电体 A 和静电摆 B 带上同种电荷,改变带电体 A 与静电摆 B 球之间距离,观察静电摆与铅垂线之间夹角的变化,从而分析库仑力 F 的变化,得出 F 与 r 之间关系。在定性探究库仑力 F 与电荷量之间关系时,通过改变带电体 A 所带电荷量,来观察静电摆 B 偏离的角度,从而分析 F 与 Q 之间的关系。以上实验原理简单易懂,但存在如距离和夹角的测量稳定性差问题导致误差较大,还有如实验过程中带电体电荷量在空气环境中电荷较易流失等问题导致实验出现较大误差不利于教学开展^[2]。教材给出的另一实验是库仑扭秤实验(如图 2 所示),旨在引导学生对电场力、电荷量和距离间关系进行定量探究,但由于实验操作难度较大和实验数据的获得比较困难,演示实验成功率不高。有不少教师对库仑定律实验进行了创新设计,比如运用分析天平对库仑定律演示实验中库仑力进行测量等^[3],但都存在空气

环境下带电体漏电现象以及距离测量不精准等情况导致库仑定律定量研究实验不够准确,从而影响演示实验效果。根据以上情况,笔者对库仑定律演示实验做了如下改进以确保在近真空环境进行库仑定律的定量研究演示实验。

1 实验原理与仪器

改进的库仑定律近真空环境定量探究演示实验仪器原理简图如图 3 所示,实物图如图 4 所示,整个装置主要由 0.000 1 g 精度分析天平、带抽气孔的亚克力底座、亚克力半球形真空罩、带电金属球、授电金属球以及与其连接的绝缘棒组成,另外完成此实验还需要起电机和抽气机。此实验装置有 4 个主要创新点:

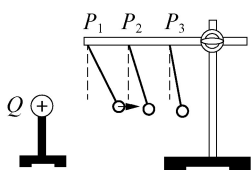


图 1 库仑定律演示实验



图 2 库仑扭秤实验

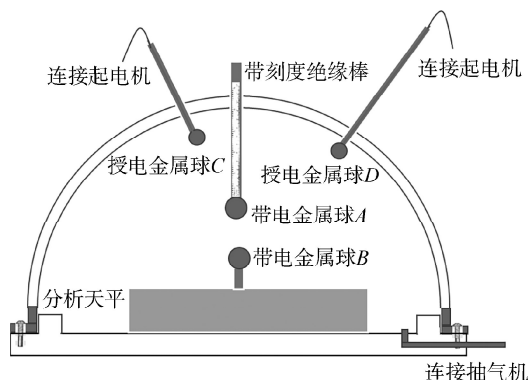


图 3 库仑定律近真空环境定量探究演示仪原理简图

(1) 精心选材,确保设备气密性良好。利用巧妙设计的亚克力材料球壳、底座和其他自制密封元件使得内部形成一个较好的气密环境可以较长时间保持其内部的近真空状态,以确保实验过程中不受

空气影响。

(2) 精巧制作, 确保动态精准测量。由于两个带电金属导体球所带异种电荷相互吸引, 使得两球电荷中心间距近似等于两球顶端距离, 利用这个特点在与带电金属球 A 连接的绝缘棒标上相应刻度, 可以直接从刻度尺上准确读出电荷中心间距离, 同时还可以通过伸缩控制棒便捷稳定地改变带电体之间的距离。

(3) 灵活授电, 确保密闭环境下便捷授电。通过可以自由伸缩且分别与起电机两端连接的两个授电金属球 C、D 分别对金属球 A、B 授电或平分电荷, 这样可以确保在不破坏实验空间气密性的同时灵活改变金属球的电荷量, 提高实验的准确性, 也体现了实验探究的科学性。

(4) 选择天平的精度, 确保库仑力精准测量。通过选择使用 0.000 1 g 精度的分析天平来达到精确测量两个带电体之间的库仑力的目的, 使得本实验库仑力的测量精度能够达到 10^{-6} N。

2 实验步骤与过程

实验准备: 实验前需要先将带电金属球 B 放置于分析天平绝缘支架上, 然后将分析天平去皮调零, 再将其他仪器按照图 4 所示组装好, 用紧固器件将半球压紧固定在带有硅胶垫的底座上, 之后用抽气机将半球内抽成近真空状态。

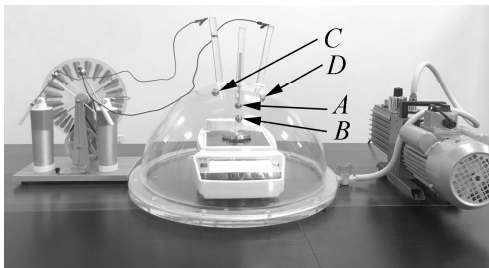


图 4 实验装置图

步骤 1: 使金属小球带电。将授电球通过导线分别与起电机两端连接, 同时分别将两个授电小球伸长至和 A、B 球接触, 转动起电机将 A、B 球分别带上异种电荷, 之后通过伸缩杆收回授电小球 C 和 D。

步骤 2: 保持电荷量不变, 研究库仑力 F 与电荷中心距离 r 的关系。改变 A、B 间距离, 为了更好地分析力与距离间的关系, 实验先由近及远将 A 球远离 B 球, 在表 1 中记录分析天平系列读数, 再由远及近将 A 球靠近 B 球, 在表 2 中记录分析天平 and 刻度尺系列读数。

步骤 3: 保持距离不变, 研究库仑力 F 与电荷量 q 的关系。为保证实验数据的准确性, 需要将 A、B 球重新进行带电操作, 然后逐次改变带电球 A 的电荷量至 $\frac{q}{2}$ 、 $\frac{q}{4}$ 、 $\frac{q}{8}$, 在表 3 中记录分析天平系列读数, 然后再重新对 A、B 球进行带电操作, 逐次改变带电球 B 的电荷量至 $\frac{q}{2}$ 、 $\frac{q}{4}$ 、 $\frac{q}{8}$, 在表 4 中记录分析天平系列读数。

3 实验数据分析与研究

3.1 研究库仑力 F 与电荷距离 r 间关系

分别对 A、B 球授电完成后, 初始时 A、B 顶点间距离为 2 cm, 通过逐渐增加 A 球与 B 球间距离, 观察并记录分析天平读数与距离 r 的读数, 如表 1 所示, 通过计算机作图并进行乘幂拟合 (如图 5 所示), 得出拟合函数 $y = 0.082 2x^{-2.052}$, 拟合度 $R^2 = 0.999 7$, 可以得出当 r 由小到大变化时, F 与 r^2 关系为 $F \propto \frac{1}{r^2}$ 。

表 1 r 由小到大变化实验数据记录

带电球顶端距离 r /cm	0.50	1.10	1.35	1.70	2.10	2.50
天平读数(去负号)/g	0.334 6	0.068 8	0.045 2	0.028 1	0.017 9	0.012 2

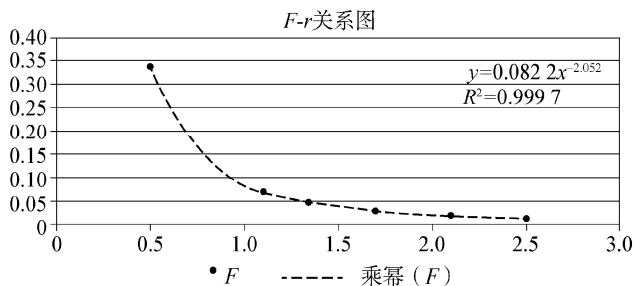
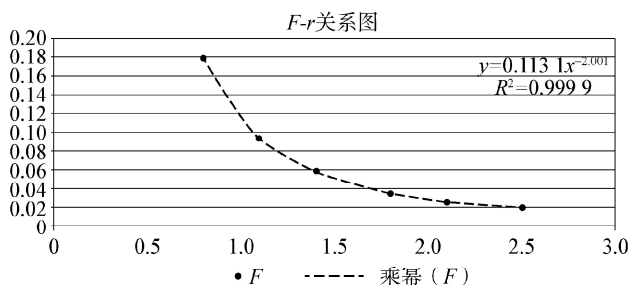


图 5 r 由小到大变化天平读数和距离关系图

另外, 为了提升实验的精准度和可信度, 通过重新对 A、B 球授电, 将 A、B 球距离由大到小进行改变, 观察并得出数据, 如表 2 所示, 通过作图并乘幂拟合 (如图 6 所示) 得出 F 和 r 的关系 $y = 0.1131x^{-2.001}$, 拟合度 $R^2 = 0.999$, 可以得出当 r 由大到小变化时, F 与 r^2 关系为 $F \propto \frac{1}{r^2}$, 综上所述可以得出带电体间库仑力大小 F 与电荷中心间距离 r 存在 $F \propto \frac{1}{r^2}$ 关系。

表 2 r 由大到小变化实验数据记录

带电球顶端 距离 r/cm	2.5	2.1	1.8	1.4	1.1	0.8
天平读数(去 负号)/g	0.018 3	0.025 2	0.035 0	0.057 9	0.093 3	0.177 1

图 6 r 由大到小变化天平读数和距离关系图3.2 研究库仑力 F 与电荷量 q 的关系

通过授电小球分别让 A、B 球带上异种电荷,保持 A、B 球顶端距离 r 为 2 cm,通过授电小球 C 改变 A 球所带电荷量,观察并记录数据,如表 3 所示,通过计算估计作图并线性拟合,得到线性关系如图 7 所示,可见在 B 球电荷量不变情况下,A、B 电荷间库仑力与 A 球电荷量成正比。

表 3 改变 A 球电荷量实验数据记录

A 球电荷量	q	$\frac{q}{2}$	$\frac{q}{4}$	$\frac{q}{8}$
天平读数(去负号)/g	0.066 7	0.032 9	0.016 2	0.007 9

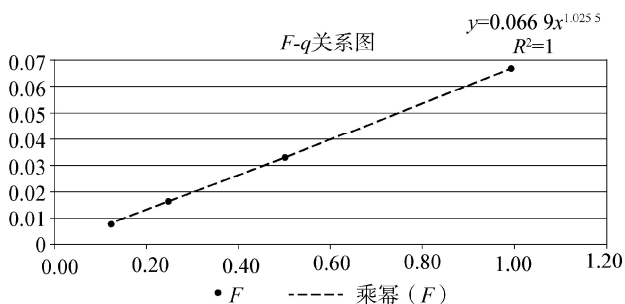


图 7 天平读数和 A 电荷量变化关系图

重新通过授电小球分别让 A、B 球带上异种电荷,继续保持 A、B 球顶端距离 r 为 2 cm,通过授电小球 D 改变 B 球所带电荷量,观察并记录数据,如表 4 所示,通过计算估计作图并线性拟合,得到线性关系如图 8 所示,可见在 A 球电荷量不变情况下,A、B 电荷间库仑力与 B 球电荷量成正比。

表 4 改变 B 球电荷量实验数据记录

B 球电荷量	q'	$\frac{q'}{2}$	$\frac{q'}{4}$	$\frac{q'}{8}$
天平读数(去负号)/g	0.079 1	0.039 3	0.019 2	0.009 5

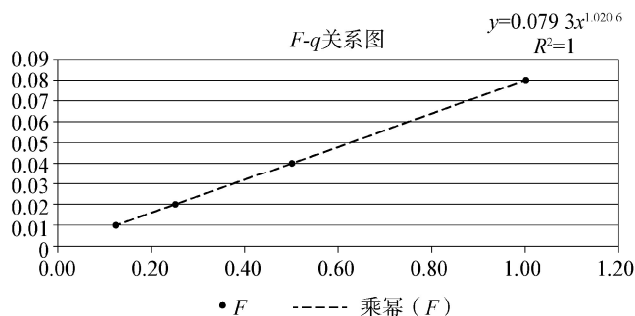


图 8 天平读数和 B 电荷量变化关系图

3.3 实验结论与误差分析

本实验通过以上三个项目的实验和数据分析,在保持两个带电体带电荷量不变的情况下,两个电荷之间库仑力 F 与 r^2 成反比拟合度非常高,可以很好地得出库仑力与电荷中心间距离成反比关系即 $F \propto \frac{1}{r^2}$ 。在保持两个带电体距离不变的情况下,逐渐改变带电体 A 和 B 电荷量,可以得出 $F \propto \frac{q_1}{r^2}$,从而得出库仑定律的关系式 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 。

本实验系统误差主要源自以下几方面:(1) 虽然实验装置内部空气被抽去,但是由于抽气机的抽气极限和自制仪器的气密性还难以达到完全密闭,所以本实验只能做到在近真空环境去进行测量,故还存在缓慢的电荷量耗散情况。(2) 实验中测量的距离为两个金属导体球顶部的距离,但实际实验过程中两个金属小球的电荷中心会因周围其他金属体的分布而受到影响,从而使得距离的测量与实际距离有所偏差。

本实验针对库仑定律演示实验不易操作和测量这一特点进行突破改进。通过实验,较好地激发了学生对知识的探究欲望和热情,培养了学生严谨、科学的科学探究态度,对于提升学生的科学探究意识和探究思维起到了很好的作用。

参考文献

- [1] 课程教材研究所物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书·物理(必修 3)[M]. 北京:人民教育出版社, 2019. 6: 6—7.
- [2] 朱小飞. 如何保证库仑定律演示实验的成功[J]. 物理教师, 2014(03): 40—41.
- [3] 张越,范鸿飞. 库仑定律演示实验的定量研究[J]. 物理教学, 2017(08): 23—24.
- [4] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准[S]. 北京:人民教育出版社, 2018. 1: 51.