

文章编号:1005-4642(2022)01-0057-03



基础教育

定量探究平行板电容器的电容

石晓兰, 王树超

(北京市十一学校, 北京 100039)

摘 要:平行板电容器的电容是高中物理电学部分的重要演示实验. 教材中的探究方案只能定性研究, 且理解难度大, 实验效果不明显. 为解决以上问题设计了简单稳定且能定量探究平行板电容器电容决定因素的实验装置. 实验装置采用单面覆铜板作为电容器极板, 利用 A4 纸或塑料文件夹做电介质, 通过实验探究得出平行板电容器电容与极板正对面积成正比, 与极板间距成反比.

关键词:平行板电容器; 电容; 定量探究

中图分类号: G633.7

文献标识码: A

DOI: 10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.01.011

1 教材演示实验的不足之处

电容器是重要的电学元件, 平行板电容器是最简单的电容器, 任意非平行板电容器都可看作由若干小型平行板电容器串联或并联而成. 现行人教版物理教材的“平行板电容器的电容”采用如图 1 所示装置研究平行板电容器电容的决定因素. 实验中, 保持极板上的电荷量 Q 不变, 采用静电计测量已经充电的平行板电容器两极板之间的电势差 U . 利用控制变量法, 改变两极板的正对面积 S 、两极板间的距离 d 和极板间的电介质, 通过静电计指针的变化得到 U 的变化. 根据电容的定义式 $C=Q/U$, 由两极板间电势差的变化判断电容的变化, 从而得到 S 、 d 和电介质对电容 C 的影响. 但是该装置在实际教学实施过程中会面临一些问题:

1) 静电计与验电器非常相似, 学生不明白测电量的仪器如何测量电压, 教师需要花费额外的时间解释静电计测量电压的原理, 容易偏离教学的重难点, 难以取得良好的教学效果;

2) 该装置只能定性地反映 S 、 d 和电介质对电容 C 的影响, 无法定量测量;

3) 当空气湿度较大时, 极板上的电荷量 Q 难以保持不变;

4) d 越小, 电容 C 越大, 静电计偏角越大, 此时才能观察到明显的实验现象. 由于 C 与 d 成反比, 所以 d 较小时, C 对 d 的变化很敏感, 改变 S 时, 难以保持 d 不变, 所以演示时容易出现与理论分析不符的结果.

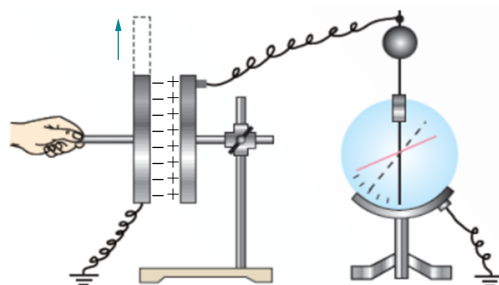


图 1 平行板电容器电容的决定因素演示仪器

鉴于以上问题, 已有改进方案: 通过电容器的串、并联改变 d 和 S ^[1-2]; 借助导轨确保改变 S 时, d 不变^[3-4]; 利用铝箔胶带自制平行板电容器, 通过 pad 钢化膜实现大介电常量和极小极板间距 d , 从而获得大电容^[5], 但需要学生自己裁剪铝箔胶带, 且该实验对铝箔的平整度要求很高, 对学生操作能力要求较高. 为此设计了简单、稳定的实验装置, 让学生能够在短时间内定量探究平行板电容器电容的决定因素.

收稿日期: 2021-07-18; **修改日期:** 2021-09-08

基金项目: 海淀区教育科学“十四五”规划 2021 年度重点课题(No. HDGH20210150)

作者简介: 石晓兰(1988—), 女, 江西九江人, 北京市十一学校中学一级教师, 博士, 主要从事中学物理教学. E-mail: shixiaolan@bnds.cn

2 实验装置

实验装置如图 2 所示,采用 2 块价格低廉、平整的单面覆铜板充当电容器极板(基底为玻纤材料 FR-4,厚度约 1.5 mm,覆铜厚度约为 $17\text{ }\mu\text{m}$),小覆铜板单面整体覆铜,大覆铜板单面部分覆铜.小覆铜板在大覆铜板的覆铜边界附近可左右自由移动,以此来改变正对面积.由于部分覆铜区域与无铜区域的板材厚度只相差 $17\text{ }\mu\text{m}$,加上基底具有较高的机械性能和高平整度,可以避免改变正对面积 S 时覆铜板发生形变,确保极板始终平整.通过普通数字式万用表(型号:UT58,2 nF 挡,最大误差 4%,测试频率 522 Hz)测量电容器的电容值;采用游标卡尺测量电介质厚度(精度为 0.02 mm);利用直尺测量极板尺寸.电介质可使用常规 A4 纸或者透明的聚丙烯 pp 塑料文件夹.

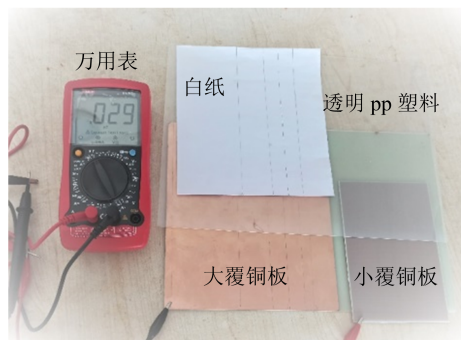


图 2 实验装置图

3 实验方法及数据处理

1) 由于导线之间会出现分布电容,故测量前需要将数字电容表调零,将小覆铜板完全置于大板未覆铜的一侧,红黑表笔两极分别夹在 2 块覆铜板下方,测出导线的分布电容($29\sim 32\text{ pF}$).将每次读出的电容数值减去导线的分布电容,得到平行板电容器的真实电容.为了避免测量过程中导线分布电容变化,测量开始后,应尽量避免移动或触碰导线.此外,应尽量使用较短的导线进行测量.

2) 如图 3 所示,将小覆铜板置于大板覆铜上侧,覆铜面彼此相对,2 块覆铜板之间放入介质(透明的 pp 塑料).保持正对面积 $S_0 = 0.014\text{ m}^2$ 不变,增加 pp 塑料的张数,可获得平行板电容值 C 随极板间距 d 变化的数据,实验数据如表 1 所

示, d_0 为单层 pp 塑料的厚度.由于空气缝隙对电容值影响巨大,需要尽量保证极板与介质、介质与介质间紧密接触,故每次测量时都在极板上放置重物(4 kg),确保测量结果真实、准确.采用能静电吸附的钢化膜作为介质,也能有效减小空气层的影响^[5].



图 3 实际测量装置图

表 1 电容 C 随极板间距 d 的变化 ($d_0 = 0.18\text{ mm}$)

d	d_0/d	C/pF	d	d_0/d	C/pF
d_0	1.00	939	$6d_0$	0.17	228
$2d_0$	0.50	575	$7d_0$	0.14	199
$3d_0$	0.33	425	$8d_0$	0.13	179
$4d_0$	0.25	337	$9d_0$	0.11	162
$5d_0$	0.20	266	$10d_0$	0.10	147

3) 保持极板间距 $d = 10d_0 = 1.8\text{ mm}$ 不变,即 pp 塑料张数(10 张)不变,左右移动小覆铜板,改变极板间的正对面积 S ,可获得平行板电容值 C 随 S 的变化数据,实验数据如表 2 所示, S_0 为本套装置中能实现的最大正对面积.为了便于操作,可以提前在大覆铜板上标记出 $\frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$ 的位置线,透过透明 pp 塑料,能快速、准确地改变正对面积 S ,如果介质不透明,可以在介质上标出位置线辅助操作.

表 2 电容 C 随正对面积 S 的变化

S	C/pF	S	C/pF
S_0	148	$\frac{1}{2}S_0$	81
$\frac{3}{4}S_0$	120	$\frac{1}{3}S_0$	55
$\frac{2}{3}S_0$	103	$\frac{1}{4}S_0$	45

4)控制正对面积 S 和 d 不变,更换极板间的介质,如白纸、pp 塑料、陶瓷、钢化玻璃等,测出不同介质平行板电容器的电容. 可以验证平行板电容器电容与电介质有关.

为了更直观地展示物理量之间的关系,借助 Excel 软件,对测量数据进行线性拟合. 以电容 C 为纵轴, d_0 与 d 的比值为横轴,做出 $C-d^{-1}$ 图像,如图 4 所示. $C-d^{-1}$ 图像出现明显弯曲,为验证数据的可靠性,根据电容决定式 $C=\frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$,通过图像斜率推算出 pp 介质的相对介电常量 ϵ_r ,再与采用更精确方法测量的 pp 塑料介电常量作对比. 查询资料可知^[6],pp 塑料的 $\epsilon_r=1.8\sim 2.4$. $C-d^{-1}$ 图像整体虽然出现弯曲,但是当极板间距处于 $d_0\sim 5d_0$ 和 $5d_0\sim 10d_0$ 时,图像分别呈现很好的线性规律,通过前者计算的介电常量 $\epsilon_{r2}=1.2$,通过后者计算的介电常量 $\epsilon_{r2}'=2.0$,后者与标准结果相符,前者与标准结果差距很大. 在测量白纸介质的电容时,也出现了类似图 4 中的弯折现象. 以正对面积 S 与 S_0 的比值为横轴,作出 $C-S$ 图像,如图 5 所示. 数据显示 $C-S$ 呈明显的线性关系,根据 $C-S$ 图像拟合出的介电常量 $\epsilon_{r1}=2.2$,与查询的标准结果相符^[6].

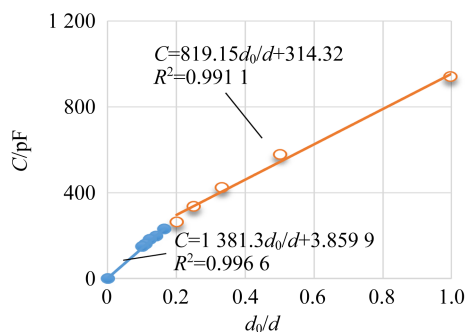


图4 平行板电容器电容与极板间距的关系

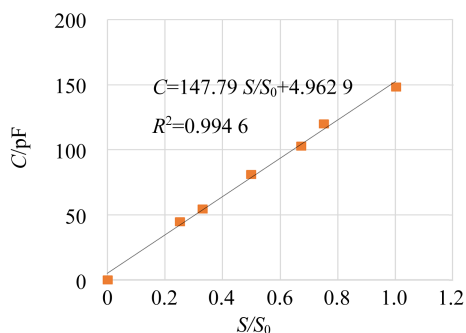


图5 平行板电容器电容与正对面积的关系

当极板间距为 $d_0\sim 5d_0$ 时,图 4 出现了异常规律,这是由于 pp 塑料层数过少时,空气缝隙对电容影响过大,相当于空气介质电容和 pp 介质电容串联,即极板间距过小会导致空气介质电容贡献过大. 根据串联电容的规律,合电容会比理论值小,所以极板间距处于 $d_0\sim 5d_0$ 时,计算出的平均介电常量会低于 pp 介质的实际介电常量. 因此,探究平行板电容器电容 C 与正对面积 S 的关系时,极板间距应大于 $5d_0(0.9\text{ mm})$. 本装置中,采用层状介质时,正对面积为 $1.40\times 10^{-2}\text{ m}^2$ 时,若换算成圆形极板,极板尺寸与间距之比应小于 74.2. 另外,极板间距也不宜过大,极板间距过大会引入边缘效应,根据文献[7-8]的计算结果:极板尺寸与间距之比应大于 16.6,利用 $C=\frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 得到的理论电容值与实际电容值的误差不超过 10%. 此外,图 4~5 的拟合曲线虽然都有截距,但是都很小,是仪表测量误差和操作误差所致.

4 结束语

设计了简单、稳定的平行板电容实验装置,并探究得出平行板电容器的电容与极板正对面积成正比,与极板间距成反比. 自制实验装置取材方便、成本低、不需要导轨或精密测量仪器,学生操作方便、快捷,优化了传统实验教学过程. 针对实验中出现的异常并重复的现象(如:极板间距过小时,电容实测值比理论值偏小),在提升学生处理数据、验证数据能力的同时,还可以引发学生自主思考,激发学生在实验过程中的积极性和主动性,培养严谨认真、实事求是的科学态度.

参考文献:

- [1] 陈岭,李凤英. 定量探究平行板电容器电容的实验设计[J]. 物理教师,2020,41(2):66-68.
- [2] 渠雷雷. 定量探究电容的定义式和决定式[J]. 物理通报,2020,38(2):61-63.
- [3] 尤燕,丁永文. 研制平行板电容器决定式演示仪 定量研究电容大小的影响因素[J]. 中学物理,2019,37(23):36-38.
- [4] 何恩阳. 定量探究影响电容大小因素实验器材改进与创新[J]. 物理教学探讨,2020,38(1):49-50,53.
- [5] 居津. 定量探究平行板电容器电容的简易装置设计[J]. 物理教师,2020,41(1):49-50.

(下转 63 页)

Demonstration experiment of sound velocity

YANG Wen-jian, HE Hui-ying, XIONG Ju-feng

(School of Physics and Electronics, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: The sound velocity demonstration was designed by using the sound wave sensor DIS and tuning fork. Through the sound signal waveform diagram, students could understand the sound qualitatively. According to the waveform diagrams given by the sensor at different positions, the time difference was calculated, and the sound velocity at $27.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ was calculated to be 346.6 m/s . This device could also be used to explore the influence of temperature on the sound velocity.

Key words: sound velocity; tuning fork; DIS

[责任编辑:郭 伟]

(上接 59 页)

[6] 李兆林,王先锋,曹晓珑,等. 用非接触电极测试聚丙烯薄膜的相对电容率和介质损耗因数的研究[J]. 绝缘材料,2005,38(1):4.

[7] 雷建华. 极板厚度对电容边缘效应影响的理论和仿真分析[J]. 电脑与电信,2013(8):52-53,55.

[8] 朱益清,徐坚宏. 计及边缘效应的平行板电容器的电容计算[J]. 工科物理,1998,8(1):6-9.

Qualitative investigation of the capacitance of the parallel plate capacitor

SHI Xiao-lan, WANG Shu-chao

(Beijing National Day School, Beijing 100039, China)

Abstract: The capacitance of parallel plate capacitors is an important demonstration experiment in the high school. The exploration scheme in the textbook is studied qualitatively and difficult to understand, and the experimental phenomenon is not obvious. In order to solve the above problems, a simple and stable experimental device that could quantitatively explore the determinants of parallel plate capacitors was designed. The single-sided copper laminates were used as the capacitor plates, and A4 paper or plastic folders as the dielectric. Experimental investigations showed that the capacitance of a parallel plate capacitor was directly proportional to the area of the plates, and inversely proportional to the distance between the plates.

Key words: parallel plate capacitor; capacitance; qualitative investigation

[责任编辑:郭 伟]