

一种探究电容器的“带电荷量与电压关系”的实验

刘红梅

(银川市第六中学 宁夏 银川 750001)

(收稿日期:2019-05-14)

摘要:设计了一个简单可行的方法来解决电容器定义式得出的难点.一般都是通过DIS传感器积分的方法来求电荷量.本文通过已知将电压表内阻将电压表两端电压转化为流过电压表的电流,通过 $q = It$ 通过Excel表格来绘制图像来求解电容器电荷量,通过不同的电容器放电将比较 $\frac{Q}{U}$ 的比值的物理意义不同.

关键词:电容器电容 电荷量 电压

现行高中教材中,关于“电容器与电容”的教学内容,限于实验教学器材等各种因素的限制,教材都是轻松的一带而过,由大量的实验事实可知:电容器所带的电荷量 Q 与电容器两端的电压 U 成正比,在此基础上提出了电容器的电容这个物理量,并用比值法定义了电容器的电容.当然,这样做的好处是减少了许多麻烦,节省了许多时间,让教师更容易完成课堂教学任务.然而,本实验具有很高的研究价值,无论是从培养学生的实验能力、数据处理能力,还是从学生的成长发展,以及对电容概念的形成与物理意义的理解掌握,都具有很大的现实意义,并能充分体现对学生物理核心素养的培养.

1 优化电路结构 提升学生分析解决问题的能力

由于本实验研究的是电容器所带的电荷量 Q 与电容器两端的电压 U 的关系,在测定电压的同时还必须对电荷量实现同步测量,而电荷量又是通过 $I-t$ 图像间接测定.由此可见,实验中应记录不同 t 时刻的电压 U 和电流 I ,这对实验数据的采集增加了困难.下面是实验设计方案的优化过程.

图1是电容器充电过程的实验电路.实验现象:

(1) 电容器两端电压逐渐变大,充电电流逐渐变小.说明电容器所带电荷量越大,电容器两端电压越大.

(2) 电压表示数稳定后,电流表指针并没有指零.这一现象说明了什么?电压表示数稳定表明电容器充电结束了,此时电流表流过的是电压表中的电流.由此引导学生思考:

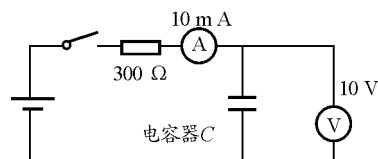


图1 电容器充电过程电路图

1) 实验数据采集是采用电容器充电过程,还是采用电容器放电过程.由于充电过程有电源的存在不利于实验操控和测量,选择电容器放电过程更加合理.

2) 能否只记录不同时刻 t 的电压 U (或电流 I)的其中一个数据,这样就可以解决数据采集的困难.

图2为4种放电过程电路设计方案.

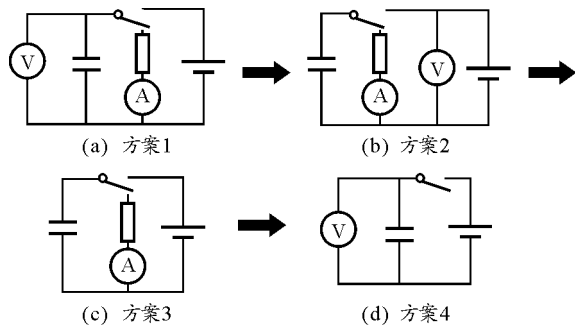


图2 电容器放电过程电路设计方案

方案3和方案4很明显的优点是:只要测量出电流 I (或电压 U)随时间 t 的变化关系,就能同时知道电流 I 和电压 U 随时间 t 的变化关系.方案3中, $U = I(R + R_A)$;方案4中, $I = \frac{U}{R_V}$.笔者采用的是方案4,也就是图1的实验电路,先让电容器充满电,之后切断电源,电容器经电压表完成放电过程,由于电压表内阻大,放电时间长给测量带来了很强可操作性.

2 关注实验过程 培养学生的团队协作精神

实验操作要求:断开电源开关,电容器开始通过电压表放电,当示数为 8.0 V 时开始计时,之后电压示数值为 7.0 V, 6.0 V, … 0.4 V, 0, 分别按次记录对应时间值,由若干个计时小组分别记录从 8.0 V 开始到各自电压下的时间 t ,同时教师由多媒体秒表计时器对各个电压的时间加以记录,完成对电压 U 和时间 t 的数据采集.数据收集过程中同一小组学生进行合作,一位学生观察电压表的数值,另一位学生观察多媒体投影秒表数值.

设计数据表如表 1 所示.

表 1 电容器放电过程设计的实验表格

U/V	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0
t/s	0.00					
U/V	2.0	1.6	1.2	0.8	0.4	0
t/s						

3 合理数据分析 深化图像面积意义理解

对某电容器 C_2 进行实验测量.实验过程中通过多媒体投影秒表记录各电压对应的时间,如图 3 所示.将测得的数据填入设计的表格,如表 2 所示.由测得的数据作出 $U-t$ 图像如图 4 所示.

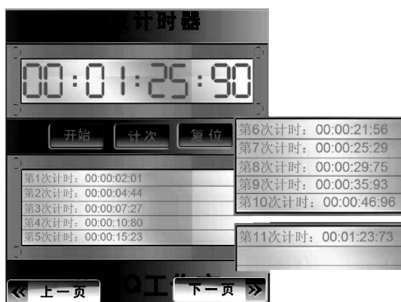


图 3 多媒体投影秒表计时

表 2 电容器放电过程实验数据

U/V	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0
t/s	0.00	2.01	4.44	7.27	10.80	15.23
U/V	2.0	1.6	1.2	0.8	0.4	0
t/s	21.56	25.29	29.75	35.93	46.96	83.73

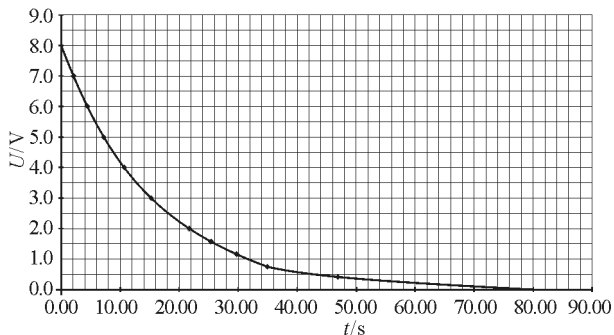


图 4 电容器两端电压随时间变化的 $U-t$ 关系

用 Excel 作出 $U-t$ 图像(图 4),又由于 $I = \frac{U}{R_V}$, 所以可通过数格数的方法,分别求出不同电压下电容器所带的电荷量值(图像的面积),数据记录如表 3 所示,由表 3 中的数据作出图 5 所示的 $Q-U$ 图像,发现电容器所带的电荷量 Q 与电容器两端的电压 U 成正比.

表 3 通过 $U-t$ 图像记录格数及电荷量

15.0	电压 U/V	格数 n	$Q/(\times 10^{-4} C)$
13.2	8.00	124.2	124.2
11.6	7.00	109.2	109.2
10.2	6.10	96.0	96.0
8.9	5.45	84.4	84.4
7.8	4.75	74.2	74.2
6.8	4.20	65.3	65.3
6.0	3.70	57.5	57.5
5.4	3.25	50.7	50.7
4.7	2.80	44.7	44.7
4.1	2.50	39.3	39.3
30.5	0.00	0.0	0.0

注: $R_V = 10\ 000\ \Omega$, 每小格电荷量 $1 \times 10^{-4} C$.

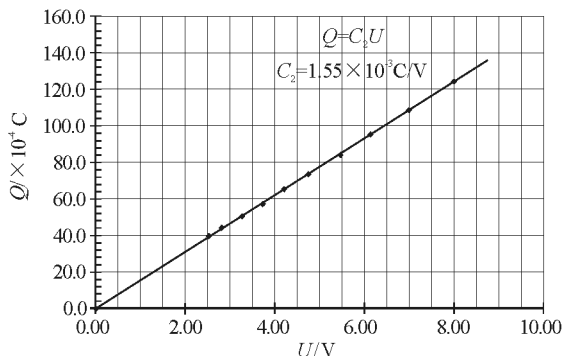


图 5 电容器电荷量与电压关系

4 比较不同电容数据 强化图像斜率的意义理解

表4~表6是3个不同电容器的实验数据,由3个表格对应数据作出它们的 $Q-U$ 图像,如图6所示.

表4 $Q-U$ 实验数据 1

电压 U/V	格数 $n/\text{个}$	$Q/(\times 10^{-4} \text{ C})$
8.0	84.0	84.0
6.6	69.5	69.5
5.5	57.5	57.5
4.5	47.7	47.7
3.7	39.7	39.7
3.1	33.0	33.0
2.6	27.5	27.5
0	0	0

表5 $Q-U$ 实验数据 2

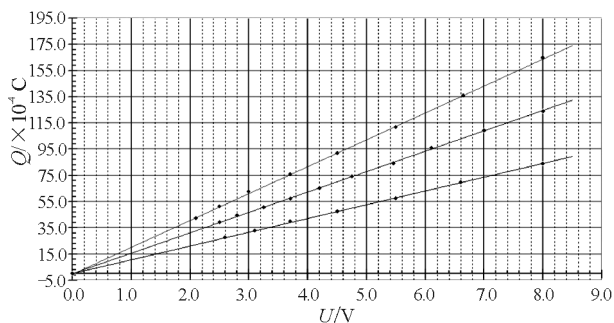
电压 U/V	格数 $n/\text{个}$	$Q/(\times 10^{-4} \text{ C})$
8.0	124.2	124.2
7.0	109.2	109.2
6.1	96.0	96.0
5.45	84.4	84.4
4.75	74.2	74.2
4.2	65.3	65.3
3.7	57.5	57.5
3.25	50.7	50.7
2.8	44.7	44.7
2.5	39.3	39.3
0	0	0

表6 $Q-U$ 实验数据 3

电压 U/V	格数 $n/\text{个}$	$Q/(\times 10^{-4} \text{ C})$
8.0	164.8	164.8
6.65	135.8	135.8
5.5	111.8	111.8
4.5	91.8	91.8
3.7	75.8	75.8
3.0	62.5	62.5

续表 6

电压 U/V	格数 $n/\text{个}$	$Q/(\times 10^{-4} \text{ C})$
2.5	51.5	51.5
2.1	42.5	42.5
0	0	0

图6 3个不同的电容器的 $Q-U$ 图像

除 Q 与 U 成正比,还能得到相同电压下,不同的电容器带电荷量不同,这说明相同条件下不同电容器储存电荷的本领不同,而 $Q-U$ 图像的斜率恰好能反映电容器储存电荷本领的大小,这样用斜率 $\frac{\Delta Q}{\Delta U} = \frac{Q}{U}$ 来定义电容器电容也就顺理成章了.

上述教学实践给笔者的体会是:物理是以实验为基础的自然科学,在课堂教学过程中如果能更多地运用相关实验作为课堂教学重要手段和有效途径,将对每一个学生的终生发展产生积极的影响.此实验的最大亮点是通过实验室的普通电压表解决了电容器定义电荷量求解的难点,在多媒体投影仪上安装“数字电子时钟软件 V2.8 免费版”可以整个班级同步计时,这样增加了学生对课堂的参与度和计时的准确性,减少了误差,利用 Excel 软件绘图使得数值计算具有普遍意义.

更正

本刊2019年第11期第117页,内文左栏第5行,从第1个字起,应为“阎金铎先生”,特此更正.