

关于新教材“电容器充、放电实验”的商榷*

崔卫国

(南京市金陵中学 江苏 南京 210005)

(收稿日期:2020-07-01)

摘要:在2019年6月第1版(人民教育出版社)普通高中教科书《物理·必修》第三册中,教材提供的电容器充放电电路图与相应的实验描述存在争议.由于电压表直接接在电容器的两端,教材对充放电的表述会让学生误认为电压表对电容器的放电不产生影响.通过实验检验,对教材中的不妥表述进行了更正,并提供了合理且现象明显的充放电电路.

关键词:电容器 充放电 电压表 理性分析 实验检验 改进建议

1 问题的由来

问题源于教材一张图与其描述有争议,见原文.

人民教育出版社在2019年6月第1版普通高中教科书《物理·必修》第三册第38页和第39页的部分内容如图1所示.

观察电容器的充、放电现象

把直流电源、电阻、电容器、电流表、电压表以及单刀双掷开关组装成实验电路(图10.4-1)。

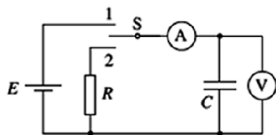


图 10.4-1 电容器的充、放电

把开关S接1,此时电源给电容器充电.在充电过程中,可以看到电压表示数迅速增大,随后逐渐稳定在某一数值,表示电容器两极板具有一定的电势差.通过观察电流表可以知道,充电时电流由电源的正极流向电容器的正极板.同时,电流从电容器的负极板流向电源的负极.随着两极板之间电势差的增大,充电电流逐渐减小至0,此时电容器两极板带有一定的等量异种电荷.即使断开电源,两极板上的电荷由于相互吸引而仍然被保存在电容器中。

(a)第38页内容

把开关S接2,电容器对电阻R放电.观察电流表可以知道,放电电流由电容器的正极板经过电阻R流向电容器的负极板,正负电荷中和.此时两极板所带的电荷量减小,电势差减小,放电电流也减小,最后两极板电势差以及放电电流都等于0。

(b)第39页内容

图1 教科书截图

2 问题的提出

现根据教材提供的电容器充、放电电路图(教材

中图10.4-1)连接实物器材.本次实验选取的器材为:电解电容器 $2\ 200\ \mu\text{F}$ 、J0407-1电流表($-0.2\sim 0.6\text{A}$)、J0408电压表($-5\sim 15\text{V}$)、电阻箱($0\sim$

* 江苏省教育科学“十三五”规划2018年规划课题,课题名称“以物理实验为载体的实践育人路径探索与模式建构”的阶段研究成果,课题批准号:D/2018/02/115

99 999 Ω)、4节干电池、单刀双掷开关、导线。

下面介绍教材中的实验和实验现象。

实验 1:将电阻箱 R 的阻值调为 500 Ω , 闭合 S 接 1, 电容器充电. 充电过程中电流表指针和电压表指针向右偏转明显, 随后电流表示数很快减小至零, 电压表示数增大并逐渐稳定在 6 V, 充电现象明显.

实验 2:断开 S , 电流表示数为零, 电压表示数慢慢回偏至零(电压表示数从 6 V 减小到 0.5 V 的时间约为 90 s).

实验 3:(1) 闭合 S 接 1, 再将 S 从 1 断开后立即接 2, 电容器放电. 电流表略有反偏后很快回零, 电压表指针也较快回偏至零(电压表示数从 6 V 减小到 0.5 V 的时间约为 4 s). (2) 若将电阻箱阻值调为零, 将 S 从 1 断开后立即接 2, 电流表指针较大反偏后迅速回零, 电压表示数也立即为零. (3) 若将电阻箱阻值调为 5 000 Ω , 同样将 S 从 1 断开后立即接 2, 电流表指针几乎不动, 电压表指针出现明显的较慢回偏直至为零(此过程电压表示数从 6 V 减小到 0.5 V 的时间约为 28 s).

现在将实验现象与教材中的描述进行比对.

实验 1 电容器充电过程中“电流表示数很快减小至零”的现象与教材中的描述“随着两极之间电势差的增大, 充电电流逐渐减小为零”基本吻合.

实验 2 中“电压表示数慢慢回偏至零”的现象与教材中的描述“即使断开电源, 两极板上的电荷由于相互吸引而仍然被保存在电容器中”并不符合.

实验 3 中的现象与教材描述“把开关接 2, 电容器对电阻 R 放电”不符合, 这句话值得商榷, 这里的电压表起到明显的放电作用.

问题来了.

问题 1:由于电压表的存在, 电容器充电完毕, 虽然充电电流为零, 但电流表的示数真的为零吗?

问题 2:由于电压表的存在, 放电时, 经过电流表的电流是放电电流吗?

3 理性分析

细加分析, 不难发现电容器两端并联的电压表成了一个重要的影响因子. 这里的电压表除了能够反映电容器两端的电压之外, 它其实还是一个阻值为几千欧甚至几十千欧(本实验中电压表的量程为

— 5 ~ 15 V 时其内阻为 15 k Ω) 的定值电阻.

实验 1 中开关 S 与 1 闭合后, 电流表示数 I_A 应该为电容器充电电流 I_C 和经过电压表中电流 I_V 的总和. 当电容器充电完毕, 尽管充电电流为零了, 但电源、电流表、电压表构成的闭合回路仍然具有微弱电流(估算为 0.43 mA). 电流表示数并不为零! 只是电流表的大量程掩盖了“微弱电流”的观察!

实验 2 中开关 S 断开后, 电流表虽然断路, 但刚刚充满电的电容器与电压表构成放电回路, 电压表示数因而慢慢变小. 因此, 教材中“即使断开电源, 两极板上的电荷由于相互吸引而仍然被保存在电容器中”是不可能出现的.

实验 3 中开关 S 与 2 闭合后, 电容器其实有两个放电回路, 一个是 $CARC$ 回路, 一个是 CVC 回路. 如果电阻箱 R 值为零, 电流表示数中为全部放电电流的值; 如果 R 的电阻大于电压表内阻, 电流表中的电流只有毫安级的电流(电流表观察不到的), 电压表中的电流反而成为主要放电电流(很容易观察).

当然, 仅仅这些理性分析是不够的, 实践是检验真理的唯一方法.

4 实践检验

现在用新的实验器材来验证上述理性分析的正确性.

为了便于使用目前实验室的现有器材, 现将前面实验器材中的电源换成 1 节干电池, 将电容器换为 220 μF , 电压表换成 J0408 电压表(— 1 ~ 3 V)、将电流表换成 J0409 电流计 G(— 300 ~ 300 μA), 并将变阻箱的电阻调为 10 000 Ω .

按照教材原电路图连接电路.

实验 4:闭合开关 S 接 1, 电容器充电完毕后电压表示数约 0.80 V, 电流计示数稳定在 270 μA 附近. 此实验现象表明, 教材 10.4-1 电路图的实验结果是电流计的示数不为零!

显然, 问题 1 中提到的电流表示数不可能为零, 而且就是流过电压表中的电流(此时充电完毕, 充电电流为零)!

实验 5:将 S 从 1 断开并不接 2, 电流计示数立即为零, 电压表示数较快回零. 此实验现象表明, 此时电容器两端的等量异种电荷不能保存在电容器的两

端,而是全部通过电压表放电了.

实验6:(1)若将S从1断开后立即接2,电流计指针很快回零,电压表指针也较快回偏至零(电压表示数从0.8 V减小到零附近的时间约为7 s).(2)若将电阻箱的阻值调为零,会看到电流表指针明显反偏后回零,电压表的示数也很快回零.此实验现象表明,S接2且在电阻箱阻值大于电压表内阻时,电容器经过CARC回路的放电电流极小,经过电压表CVC回路的电流成为主要放电电流.当电阻箱阻值为零时电流计中的放电电流较大且成为主要放电电流.

从实验5和实验6可以看出,问题2中的放电电流应该是电流表和电压表中流过的电流之和,经过电流表中的电流并不是全部的放电电流!

换用电流计的实验实践表明,教材中因电压表的接入而进行的对充放电电流的表述是错误的.怎样改正呢?

5 合理的改进

结合实验室现有的通用器材,为了让电容器的充放电现象更加明显、更加合理,笔者做了如表1中所示的几个实验方案供同仁参考.

表1 效果明显的4个实验方案(实验器材中单刀双掷开关和导线未列入)

改进方案	实验电路图	主要实验器材	实验现象
方案1		电源 6 V 电容器 2 200 μF J0407-1 电流表 (-0.2 ~ 0.6 A)	(1) 电流表指针偏转明显,但幅度较小(指针偏转范围在 -0.06 ~ 0.06 A); (2) 充、放电时间均较短
方案2		电源 6 V 电容器 2 200 μF J0408 电压表(-5 ~ 15 V)	(1) 电压表指针正反偏转幅度较大,充、放电现象明显; (2) 充、放电时间均较长
方案3		电源 1.5 V 电容器 220 μF J0408 电压表 (-1 ~ 3 V)	(1) 电压表指针正反偏转明显,表明充、放电现象明显; (2) 充、放电时间均较短
方案4		电源 1.5 V 电容器 220 μF J0409 电流计 G (-300 ~ 300 μA) 变阻箱取 5 000 Ω	(1) 电流表指针正反偏转幅度较大,充、放电现象明显; (2) 充、放电时间均较短

上面的4个方案中,方案3和4的现象一致,充电和放电时间都不长,电表指针偏转现象都很明显,其实它们的电路本质是一致的.方案4中电阻R与电流计G的串联等同于方案3中电压表的功能.

建议:如果想直接观察放电电流的大小和方向,选方案4比较合理;如果选择更为简单的操作,方案3比较合理.

研究至此,可以看出,教材中的充放电电路图因多加了一个电压表造成了诸多麻烦,甚至错误.在高

中物理课程标准倡导培养物理学科科学素养的大环境下,在落实实践育人氛围越来越浓的今天,新版教材中的实验电路图应该经得起实践检验,不能纸上谈兵.

参考文献

- 1 人民教育出版社.高中教科书物理·必修第三册[M].北京:人民教育出版社,2019.38~39
- 2 中华人民共和国教育部制定.普通高中物理课程标准(2017年版)[S].北京:人民教育出版社,2018