

# 关于电容器的电压测量引起的问题研究

张红明

(北京师范大学附属中学 北京 100052)

(收稿日期:2023-08-28)

**摘要:**人教社新课标教材物理必修第三册第十章第4节“电容器的电容”,教学中涉及观察电容器的充放电实验,在实验中用数字电压表测电容器两端电压,同时在该节的拓展学习部分,涉及探究影响平行板电容器电容大小的因素,在该实验中是通过静电计测量电容器两端的电压.基于对电压表测量电压、静电计测量电压原理的了解,学生会对电容器充放电实验提出问题——电容器充放电结束时为什么可以用电压表测量电压?笔者对此问题作了比较深入的研究,对解决此问题的困惑会有帮助,而且此类问题在物理中很有普遍性,值得教师们在教学中加以关注.

**关键词:**高中物理;电容器充放电;电压表;静电计

## 1 问题提出

人教社新课标教材物理必修第三册第十章第4

节“电容器的电容”,教学中涉及观察电容器的充放电实验.实验电路如图1(该电路曾出现在北京2022年的高考物理试题中),实验中用的是数字电压表测

## 4 结论

理论推导出用测旋转液体最低液面高度法测量重力加速度的计算公式,将之前的利用液面高度差测量重力加速度的测量方法进行了优化,减少了所测变量的个数,只需要单方向测量,大大减小了误差.实验方法的改进、关键步骤的简化,以及针对不同实验方法选择不同的旋转周期的研究,对提升物理实验教学效果具有一定的指导意义.

## 参考文献

- [1] 刘维慧,孟丽华,于阳.大学物理实验教程[M].北京:高等教育出版社,2022:174-178.
- [2] 王碧鸿,张皓晶,张雄,等.旋转液体测量重力加速度[J].物理教师,2017,38(8):51-52,54.
- [3] 魏奶萍.旋转液体实验仪测定重力加速度的研究[J].大学物理实验,2017,30(3):102-104.
- [4] 赫文豪,李懂文,李帅霖,等.旋转液体特性实验测量重力加速度实验误差研究[J].大学物理实验,2023,36(2):40-45.

# Study on the Measurement of Gravitational Acceleration by Rotating Liquid

YU Yang SONG Hongwei LIU Weihui

(College of Electronic Information Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590)

**Abstract:** Using FD-RLE-A rotary liquid comprehensive experimental instrument, the previous measurement method is optimized, which reduces the number of measured variables and makes the measurement results more accurate under the same measurement conditions. A simple and fast method for adjusting the incidence of laser beam parallel to the rotating axis is given. How to select the rotation period when measuring the acceleration of gravity by the method of measuring the minimum liquid surface height of rotating liquid and the method of measuring slope of laser beam parallel rotation axis incidence is studied.

**Key words:** rotating liquid; acceleration of gravity; rotation period

量电容器两端的电压.

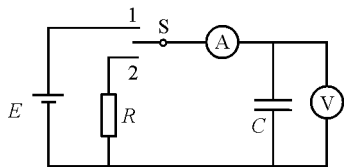
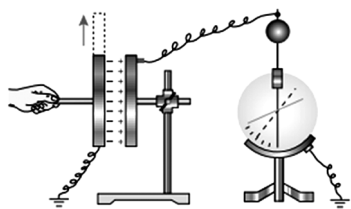


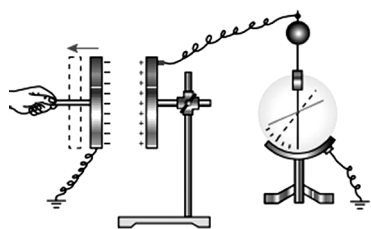
图1 电容器的充放电实验电路图

同时在该节的拓展学习部分,探究了影响平行板电容器电容大小的因素,实验装置图如图2所示.

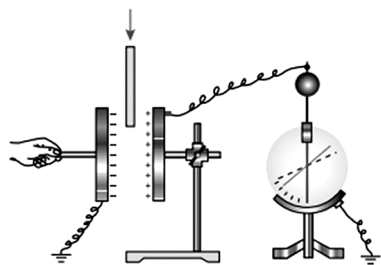
探究实验原理是利用电容的定义式  $C = \frac{Q}{U}$ , 当电容器带电荷量  $Q$  一定时,电压  $U$  越大,则电容  $C$  越小. 这样可以通过测量电容器两端的电压变化间接得到电容器电容的变化. 在该实验中是通过静电计测量电容器两端的电压.



(a) 正对面积  $S$  对电容  $C$  的影响



(b) 两板间的距离  $d$  对电容  $C$  的影响



(c) 电介质对电容  $C$  的影响

图2 探究影响平行板电容器电容大小的因素

教学中教师们会对静电计的工作原理做一个大致的介绍:静电计是由验电器改进而来,它的本质是电容器.当静电计两极电压越大时,由于静电计的电容一定,则它的带电荷量就越大,于是静电计指针和固定金属杆间因带同种电荷而产生的排斥作用力就

越大,指针的张角就越大.这样就可以利用静电计指针的张角大小来测量静电计两极间电压的大小.当静电计的两个电极分别和平行板电容器的两个电极相连时,由于静电平衡,静电计测出的电压亦即平行板电容器两极间的电压.

教学中教师们特别强调静电计测量的电压是限于静电平衡状态下的电压,即静电电压,不同于电压表测量的有电流流过时的电路电压.这也相当于回答了为什么在探究平行板电容器电容的实验中不能用电压表来测量电压的问题.

于是问题便产生了,学生会很自然地提出:在观察电容器的充放电实验(图1)中,充电完毕和放电完毕时,电容器应该处于静电平衡状态,这时为什么又可以用电压表来测量电容器两端的电压呢?教材中介绍器材时提到电压表是数字电压表,难道是数字电压表具有什么神奇的功能吗?

## 2 问题研究

(1) 首先对电容器的充放电过程作一个定量研究,需要对充放电完毕有一个正确的认识.

### 1) 电容器的充电

当图1中的单刀双掷开关接1时,电容器开始充电.

设电源电动势为  $E$ ,电源内阻为  $r$ ,电容器电容为  $C$ ,电压表和电流表均为理想电表.

充电过程根据基尔霍夫第二定律可得

$$E = ir + u$$

$$\text{又因为} \quad u = \frac{q}{C} \quad i = \frac{dq}{dt}$$

$$\text{于是有} \quad E = r \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C}$$

这是一个关于  $q, t$  的微分方程,通过分离变量可得

$$\frac{dq}{\frac{E}{r} - \frac{q}{rC}} = dt$$

两边同时求定积分有

$$\int_0^q \frac{dq}{\frac{E}{r} - \frac{q}{rC}} = \int_0^t dt$$

解得

$$q = EC(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

这是电容器充电过程中带电荷量随时间变化的

规律,再根据公式

$$u = \frac{q}{C} \quad i = \frac{dq}{dt}$$

可得电容器充电过程中电压和电流随时间变化的规律分别为

$$u = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

通过上述电荷量 $q$ 、电压 $u$ 、电流 $i$ 随时间变化的规律式可知,电容器电荷量和电压要达到最大值,电流要等于零,在理论上时间需要趋于无穷大.充电完毕在理论上是一个无限趋近的过程.

## 2) 电容器的放电

当图1中的单刀双掷开关接2时,电容器开始放电.

设放电定值电阻 $R$ ,电容器电容为 $C$ ,电压表和电流表均为理想电表.

放电过程根据基尔霍夫第二定律可得

$$u = iR$$

又因为

$$u = \frac{q}{C} \quad i = -\frac{dq}{dt}$$

于是有

$$\frac{q}{C} = -R \frac{dq}{dt}$$

这是一个关于 $q$ 、 $t$ 的微分方程,通过分离变量可得

$$\frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} dt$$

解得

$$q = ECe^{-\frac{t}{RC}} \quad u = Ee^{-\frac{t}{RC}} \quad i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

上面为电容器放电过程中带电荷量随时间、电压随时间、电流随时间的变化规律,易知电容器放电时电容器电荷量、电压、电流要等于零,在理论上时间需要趋于无穷大.放电完毕在理论上也是一个无限趋近的过程.

(2) 电容器充放电完毕时,电压表是如何工作的?

电容器充放电完毕在理论上是一个无限趋近的过程,实际中可以认为经过一定时间电容器就充放电完毕.此时电容器可近似视为静电平衡状态,通过电容器的电流为零.电压表和电容器并联,始终满足

电压相等.电压表和电源构成一个闭合回路,根据闭合电路欧姆定律电压表测量的是电源的路端电压,在理想电压表的情况下测的就是电源的电动势,通过理想电压表有非常小的电流,这个小电流是必须的,靠它驱动电压表工作.这个电压也是电容器两端的电压.

(3) 问题结论:在观察电容器充放电实验中,无论是充电过程之中还是近似的充放电完毕,电路中始终有电流通过电压表,因此电压表测量电压是合适的.数字电压表和指针式电压表原理相似,都是基于有电流时的电压测量,并不是数字电压表有什么神奇的功能.

## 3 教学启示

(1) 物理中经常会出现物理量随时间的变化规律是指数函数,这样在理论上物理量达到稳定值就需要无穷大的时间,但实际上当物理量非常接近于稳定值时就可以认为达到稳定值了.如机车启动问题中的最大速度理论上要经历无穷大时间才能达到最大值,再如电磁感应现象中的线圈速度趋于稳定值理论上同样需要无穷大时间.

(2) 教学中对于优秀学生可以引导他们进行数学上的定量计算,对于大多数学生只需告诉他们研究问题的方法、思路 and 结论,让他们能理解这个事情即可.

(3) 教学中要真做实验.为了达到明显实验效果,需要对电路元件参数进行选定.通过实验演示和理论分析相结合,能够加深学生对物理研究方法的理解.

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版)[S].北京:人民教育出版社,2017.
- [2] 人民教育出版社,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.
- [3] 人民教育出版社,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选修3-5[M].北京:人民教育出版社,2010.
- [4] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心.新物理教师用书必修3[M].北京:人民教育出版社,2019.