

也谈电摆法探究库仑定律的实验设计思想与建议*

马朱林

(苏州实验中学 江苏 苏州 215011)

(收稿日期:2017-04-14)

摘要:通过研读文献并运用电摆实验装置进行反复试验、改进,最终总结出实验原理简单、可操作性强、成功概率高的实验设计,并提炼出实验设计中所涉的物理思想和注意点,形成此文,以飨读者。

关键词:库仑定律 设计思想 近似思想

1 问题的提出

在现行人教版《物理·选修3-1》第一章第二节“库仑定律”教学中,由于静电实验对环境的严苛和成功概率较低的原因,不少教师会选择播放视频或动画模拟来替代现场演示实验,若学校有库仑扭秤,教师也会优先选用现成的库仑扭秤做演示实验。虽有不少文献对该实验探究提供了实验设计方案,但笔者按照文献提供的方案进行实验后发现,大部分实验方案在实际实验时其实验结果与预设相差甚远,甚至无法呈现文献中所描述的实验现象。无论是《物理课程标准(实验)》中三维目标提出的“过程与方法”,还是即将推行的“物理核心素养”中提出的“科学探究”,其共同点都是着重强调“学生的物理观念、方法、思想的构建是在教师的引领下通过自主、探究、合作、活动的学习方式形成的”,“探究”依然是物理教学核心理念。实验探究是科学探究的重要组成部分,对于以实验为基础的物理学科显得尤为重要。用视频和动画替代现场演示实验的缺陷就是学生无法直接参与实验设计和操作,缺乏真实性和说服力;用现成的库仑扭秤做演示实验虽具真实性,但实验原理和设计思想并非源自学生,而且实验原理中涉及学生没有接触过的力矩、扭力矩、力矩平衡等物理概念和原理,而这些概念、原理并非本节所要求的内容,加重了学生思维负担和理解难度。

学生通过阅读教材文本“探究影响电荷间相互作用的因素”后会很自然地联想到通过运用电摆装

置进行库仑定律的实验探究。但是,要做好电摆实验必须解决好3个问题:

- (1) 干燥的环境;
- (2) 摆球的制作及带电;
- (3) 库仑力的定量测量。

干燥的环境可以通过空调长时间抽湿和大功率灯泡加温来实现,然而(2)、(3)两个问题的解决确实存在不少困难。

笔者查阅了大量的文献资料并按照文献所提供的方法逐一实验,其结果令笔者惊诧:一部分实验所呈现的现象差强人意,误差很大,而另一部分实验根本无法出现文献中所描述的实验现象。为此,笔者通过研读文献并运用如图1所示的电摆实验装置进行反复试验、改进,最终总结出实验原理简单易懂、可操作性强且成功概率较高的实验设计,并形成此文,以飨读者。

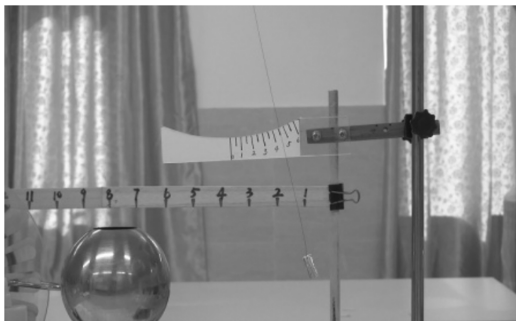


图1 电摆实验装置

2 实验设计的思想和方法

实验的开发如同一项发明,由原理设计和技术

* 江苏省“十三五”规划课题“基于核心素养的普通高中学校课程优化统整的研究”研究成果之一,项目编号: B-b/2016/02/63

试验两个部分构成,原理设计是最关键的部分.而原理设计中包含实验设计目标、设计思想和设计方法,其中实验设计思想和方法又是重中之重,是实验开发最核心的内容.物理实验的设计中必须体现物理思想和物理方法,这不仅是实验设计的需求,也是物理教学的要求.物理教学的目的是什么?是以物理知识为载体将物理思想和物理方法根植于学生心中,学生能灵活运用物理思想和方法去解决其他问题,尤其是物理学科以外的问题.运用电摆装置探究库仑定律的实验设计中主要运用了3种物理思想方法.

(1) 控制变量法

在物理定律的定量研究中,涉及3个及其以上物理变量之间的定量关系时,常运用控制变量法.库仑定律主要体现了两个带电体之间的库仑力 F 与带电体电荷量 q_1 和 q_2 及间距 r 之间的定量关系,涉及到4个物理变量,所以选择运用控制变量法.笔者在进行实验时,先让一个带电体的电荷量 q_1 和间距 r 保持不变而改变另一带电体电荷量 q_2 ,找出库仑力 F 与 q_2 的半定量关系,即 $F \propto q_2$,再让 q_2 和 r 不变而改变 q_1 ,可得到关系 $F \propto q_1$,以上两个关系式可以合并为 $F \propto q_1 q_2$.再让 q_1 和 q_2 不变,改变 r ,探究 F 和 r 之间的半定量关系,可得 $F \propto \frac{1}{r^2}$.最后根据两个半定量关系式即可以得到 $F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$.

(2) 倍增半分思想

在探究带电体电荷量 q_1 和 q_2 与库仑力 F 的关系时,理论上应需要测量出两个带电体电荷量 q_1 和 q_2 具体数值,但是,在实验室不具备数字电荷量测量仪的条件下,带电体电荷量 q_1 和 q_2 具体数值的测量是很困难的.重新审视库仑定律的表达式不难发现,库仑力 F 与电荷量成正比,即 $F \propto q_1 q_2$,如果保持一个带电体电荷量不变而将另一带电体电荷量成倍增加时,库仑力 F 也随之同步成倍增加,那么就可以确定 $F \propto q_2$ 和 $F \propto q_1$ 的关系.然而,从实验技术和操作简单性原则层面看,电荷量的成倍增加也是比较难操作的,相反,让电荷量减少倒是容易操作.如果一个带电体的电荷量减半,即 $Q, \frac{Q}{2}, \frac{Q}{4}$,库仑力也同步减半,即 $F, \frac{F}{2}, \frac{F}{4}$,同样可以得到 $F \propto q_2$ 和 $F \propto q_1$ 的关系.以上实验探究运用的物理思想为“倍增半

分思想”,常用于探究两个难以测量具体数值的物理量之间的半定量关系.该物理思想方法也曾运用于人教版必修2第七章第六节“探究功与速度变化之间的关系”的实验探究中,学生对该思想方法有印象,所以,教师只需引导学生回忆已学过的物理实验,唤醒学生头脑中已有的实验方法,将两个实验中的设计难点进行对比、分析并找出共同特征,尝试将该思想方法迁移运用到新实验中.

(3) 近似思想

在运用如图1所示的电摆装置探究库仑定律时,通过测量金箔筒的质量 m 和摆角 θ ,巧用三力平衡原理可达到测量库仑力 F 的目的.对带电金箔筒进行如图2所示的受力分析,通过库仑力 F 和金箔筒的重力 mg 之间的几何关系,即可得到金箔筒所受库仑力 $F = mg \tan \theta$.

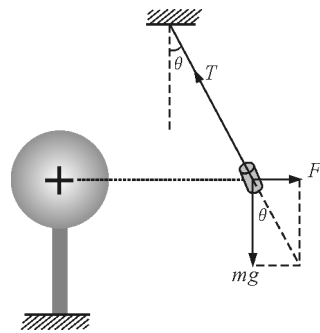


图2 带电金箔筒的受力分析图

探究 r 不变库仑力 F 和电荷量 q 之间的定量关系时,当其中一个带电体的电荷量减半时,两带电体之间的库仑力也随之减半,那么,金箔筒的摆角也当相应减小.然而,当金箔筒摆角减小时,金属球与金箔筒的间距 r 也会作相应改变,这违背了“ r 不变”的前提,为实验所不容许的.而且,随着摆角的大幅度变小,难以保证金箔筒受到的库仑力在水平方向, $F = mg \tan \theta$ 的关系就不能成立.为了解决以上两个难题,笔者将金箔筒的摆角 θ 设计得很小,使得最大摆角值不超过 10° ,当库仑力减小时,金箔筒摆角亦随之减小,但是由于摆角的改变量 $\Delta\theta$ 很小,故金箔筒与金属球球心之间距离的改变量 Δr 也极小,相对于 r 而言可忽略不计,其所受到的库仑力 F 依然可视作水平方向,所以,当金箔筒平衡时,其受到的库仑力 F 与重力 mg 之间依然满足关系式 $F = mg \tan \theta$.

当 θ 很小时, $\tan \theta \approx \theta$,故有 $F = mg\theta$ (θ 用弧度制表示).当带电体或带电金箔筒的电荷量减半时,

其库仑力也随之减半,其实验现象直接表现为摆角减半,这样就可以直接通过测量摆角来判断库仑力的大小变化,使得库仑力的定量测量更直接、直观,操作性更强、更简便.

3 实验器材的优选

运用电摆法探究库仑定律的实验中,器材的选择至关重要,对整个实验的成功与否起着决定性的作用.笔者将文献[1~3]中提供的器材和方法逐个试验,归结出如下不足并作出改进.

(1)文献[1]中建议将涂蜡的鱼线作为摆线.在实验操作时,由于鱼线本身的泛性形变能力较强,柔软性不够,涂上蜡层后会进一步减弱其柔性.较短的鱼线本身具有一定的弧度,且因将泡沫小球(文献[1]中提议的实验器材)作为带电体,质量较小,难以将鱼线拉直,故难以形成电摆.

笔者尝试了几种细线后,最终选择了腈纶绣花线,并且将一根绣花线分成4股,选择其中一股作为摆线.绣花线的优点是柔软度和绝缘性能均很好,且质量很轻.

(2)文献[1,3]中建议用小刀将泡沫削成一个小球,再将铅笔芯屑或碳素墨水粘在小球表面从而形成电摆.以上操作存在两大缺陷:一个是用刀削成的泡沫小球难成球形,且表面粗糙,铅笔芯屑粘在球面上很难做到厚薄均匀;另一个是铅笔芯屑带电不易,更加难以做到保持电荷量不变,碳素墨水根本无法带电.文献[2]提出用两片圆形金属箔制作成双线摆,其虽易带电,但稳定性不够.

笔者在制作电摆时尝试了多种材质,如牛油纸(电容器中取得)、用墨粉代替铅笔芯屑等,经多次试验,发现以上材料均难以带上恒量电荷.经多次试验,最终选择金箔筒作为电摆,如图3所示.

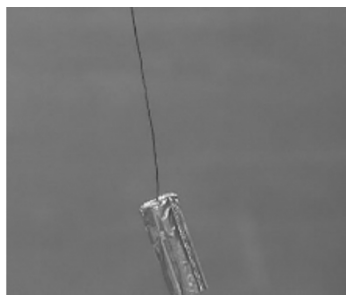


图3 金箔筒

用金箔筒制作的电摆不仅带电容易,电荷量可

在较长时间内保持不变,且稳定性好.具体制作如下:用一矩形锡箔绕在圆柱形铅笔上,制作成一个圆筒状,并将其系于绣花线一端.在卷制时,不要将锡箔弄皱,金箔筒下边沿要剪平.

4 实验操作的注意点

(1)保持环境和实验仪器干燥

在做实验之前将实验室空调打开并设置成抽湿模式,同时运用大功率灯泡照射实验仪器,使得整个实验环境和实验仪器处于干燥状态下.

(2)该实验对带电体的绝缘性要求特别高.在实验时必须使得带电球形导体表面光滑,无任何污渍和锈迹.球形导体的绝缘柄要用丝绸拭擦干净,底座置于干净、干燥的泡沫板上或纯度较高的石蜡板上以保证球形导体不漏电.

(3)球形导体的带电方式有很多种,比较理想的方式是使用范式起电机给其带电.当然,在比较干燥的环境中,运用感应起电机给球形导体和金箔筒带电,其实验现象也是比较明显的,依然可以达到实验的目的和理想的效果.文献[1]中介绍了利用感应起电的方式让球形导体带电也是值得推崇的一种方法,但是在运用该方法时,务必让学生要弄清其物理原理和操作步骤,否则其实验效果也会适得其反.

(4)在运用电荷减半法让球形导体和金箔筒电荷量减半时,务必使得两个球形导体及两个金箔筒相同,否则难以实现电荷等分而产生很大的实验误差,反而会让实验定律失信于学生.

5 结束语

首都师范大学邢红军教授认为,我们的物理教学中既不缺少物理知识,也不缺少获取物理知识的方法和途径,缺乏的是物理思想的教学.笔者认为,物理思想的呈现不仅要根植于物理理论探究,实验探究中的实验设计思想也应在物理思想的指导下形成,让学生在实验设计和实验演示中深刻体会到物理思想对设计原理的主导作用.在用电摆法进行库仑定律的实验设计过程中,让学生深刻体会控制变量法对研究多个物理量之间的定量关系之必然,让学生感叹于倍增减半思想研究无法精确测量的物理量间定量关系和近似思想研究微变物理量之巧妙,

(下转第72页)

2.2 大学物理实验报告书写“五化”训练改革实践

作者所在陕西师范大学实验中心——基础物理实验小组,自2014年起对大学物理实验报告的书写进行试改革,采取自愿选择,梯度推进的方针.按照下列的“五化”措施实施:实验预习过程问题化,实验过程、数据记录完整化,数据表格、图线图片规范化,实验数据分析软件化,报告书写形式多元化.

(1) 预习过程问题化

预习过程中需回答以下几个问题:研究背景,研究的目的,原理及方法,实验方案设计,设计实验数据记录表格.

(2) 实验过程、数据记录完整化

实验报告中所涉及的全部数据资料,都应该通过实验所观察到的现象和所获得的数据,不允许随意改动;原始数据记录单须经实验教师认可签字,该数据作为附件必须附在报告后面.

(3) 报告中实验数据表、图线规范化

报告中实验数据表、图线按科技论文要求制作,表格的题目和图片说明应被分别列出来,或者是位于表格之上或图片之下.每个图片和表格都必须足够完整,即所谓图标自明.

(4) 实验数据分析软件化

实验所测变量关系建议采用 Matlab 或 Origin 等专业软件绘制变量变化关系图,比如元件伏安特性实验、霍尔效应等实验中,所研究物理量间的线性关系可通过软件中的二元线性回归进行处理.数据分析中应对每条实验数据图线的变化规律进行定量分析,对图线上特殊的点,比如曲线的拐点、峰值点等所表示的含义进行描述并说明.

(5) 报告书写形式多元化

实验结果以论文形式还是传统实验报告形式提交,学生可自由选择,但提倡学生将所做的实验当作

自己的一项科研活动,用科学实验的观点,经过自己的大量调研和实验,按照科技小论文的写作格式和写作方法来完成对实验报告的书写.

通过实践发现,借助实验报告写作对本科生进行科技写作系列训练,是提高学生科技写作能力的有效方法.同时,这个训练还提高了学生查阅文献资料的能力,培养了学生实事求是、严谨细致的科研态度.陕西师范大学物理学院本科生论文发表数量逐年增多,与此训练不无关系.

3 结论

论文式实验报告写作训练实践发现,通过实验报告书写的改革,不仅可以训练学生严谨的科学态度,同时还能提高逻辑思维能力、语言组织和表达能力,加强学生综合写作能力,不仅为毕业论文写作奠定了基础,而且为学生学术生涯的持续发展打下基础.

参考文献

- 1 管亮.从拘一守旧走向多元创新——大学物理实验报告改革研究综述.高校实验室工作研究,2011(1):88~91
- 2 陈中钧,俞眉孙.大学物理实验教学的思考与建议.实验技术与管理,2014,31(4):186~188
- 3 刘军山,邢红宏,苏学军,等.以能力培养为导向改革大学物理实验教学.实验技术与管理,2014,31(4):189~191
- 4 徐金花.本科生物专业科技文章写作技能的培养.太原城市职业技术学院学报,2014(11):138~141
- 5 张军.计算实验报告的书写规范.实验技术与管理,2010,27(5):161~164
- 6 程爱华,曾社教.提高实验教学质量的几点建议.教育教学论坛,2014(41):216~218
- 7 李永涛,毛巍威,刘猛洪,等.提高大学物理实验教学质量的思考.大学物理实验,2013,26(1):117~119
- 8 黄育红,马杰,张慕华,等.基于MATLAB的二元线性回归在小孔流速实验中的应用.大学物理实验,2016,29(1):94~97
- 2 路文梅.库仑定律实验的简易方案.物理教学探讨,2008(1):10
- 3 吴廷民.验证库仑定律的学生实验.物理教学,1988(1):18
- 4 邢红军.论物理思想的教育价值及其启示.课程与教学,2016(8):61
- 5 马朱林.巧用类比法突破抽象定律教学的难点——以“库仑定律”的教学为例.中学物理教学参考,2016(7):29

(上接第69页)

并能将这些思想方法灵活运用到解决其他物理问题上,这才是物理核心素养的真正体现,也是物理教育者的企望.

参考文献

- 1 居津.对“探究影响电荷间相互作用力的因素”演示实验的一点建议.物理教师,2015(2):48