

在物理实验教学中培养学生的科学实验素质和能力^{*}

——以变阻器的使用与电路控制为例

梁 莹

(华东理工大学理学院 上海 200237)

(收稿日期:2016-05-20)

摘 要:物理教学包括理论教学和实验教学,重点阐述了在大学物理实验教学中培养学生科学实验素质和能力的重要性.以变阻器的使用与电路控制为例论述了如何启发和指导学生对实验要求自行设计实验方案、开展实验实践、分析实验数据,根据实验结果对实验方案和实验实践进行改进.通过设计性实验,让学生深刻理解科学实验的全过程,进而培养学生的科学实验素质和能力,实现大学物理教学的最终目标.

关键词:科学实验 设计性实验 变阻器

科学实验是人类认识自然的科学方法,是科学理论的源泉.辞海中对“科学实验”的定义为“根据一定目的,运用一定的仪器、设备等物质手段,在人工控制的条件下,观察、研究自然现象及其规律性的社会实践形式.是近代自然科学产生和发展的重要基础之一.是获取经验事实和检验科学假说、理论真理的重要途径”^[1].科学实验使人类从蒙昧无知到文明开化,从对大自然的恐惧敬畏到合理利用和改善,推动了人类的进步和发展.物理实验是科学实验的重要组成部分,大学物理实验教学的任务旨在使学生们掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能,加深对物理学原理的理解,学会在实践中运用和检验理论知识,进而培养学生从事科学实验的素质和能力.作为大学物理教学的重要组成部分,大学物理实验教学意义重大、任重道远.

在大学物理实验教学中,我们发现有一部分学生对实验课很不重视,在实验中机械地按照既定步骤完成实验流程,不愿主动思考、分析,他们对实验课的重视远远不如理论课.究其根本原因,是学生没有明白一个道理:物理实验教学的最终目标是要学生们具有科学实验的能力和素质,而科学实验对理论原理具有指导和检验的作用,能帮助我们更

好地理解和应用理论知识,没有经过实验实践检验的理论是不被信服的.那么,如何才能让学生认识到科学实验的重要性、具有科学实验能力呢?我们认为,在对学生进行一定数量的基础实验训练后,具有科学实验训练性质的设计性实验教学是十分必要的.事实上,许多高校的物理实验教学都是这样安排的,而采取什么样的教学方法和模式则需要不断地摸索和改进.在这里,根据笔者个人的教学经验提出几点体会和建议.

1 向学生灌输科学实验的思想

基础物理实验的实验目的、实验原理、实验内容、实验步骤、实验仪器、数据处理以及实验注意事项都是设定好的,属于继承和接受前人的知识和技能,学生只要参照课本或讲义,再通过教师的讲解和指导进行操作即可,这种模式是被学生熟悉并易于接受的.而科学实验往往是针对一个课题自行完成设计、实践和分析一系列流程,考查学生的综合实验能力,可进一步提高学生的实验素养.在教学中,首先要向学生介绍科学实验的全过程.

如图1所示^[2],科学实验的第一步是确立课题.可以根据国内外研究动态、前沿自拟课题,也可以是

^{*} 上海市教育委员会科研创新项目,项目编号:14ZZ057

作者简介:梁莹(1980-),女,博士,副教授,主要研究方向为新型能源材料.

政府下达的既定课题,或是为解决企业难题而设立的课题.课题确立后,首先要查阅相关资料,对资料进行整理、分析,取其精华,向专业人士咨询、探讨,从而了解课题研究背景和现状,明确课题的可行性和难点.在对课题具有一定认识的基础上设计实验方案,然后再查阅资料判断实验方案是否合理、可行,进一步调整和优化.根据实验方案进行实验实践,观察实验现象,分析并处理遇到的问题,根据实验过程中的具体情况对实验方案进行改进,甚至有可能需要重新制定实验方案.分析实验数据和结果,在分析的过程中需要查阅资料,与合作者或同行进行讨论交流.如果实验结果不合理或误差不满足要求,则需要寻找原因、重新实验.确定实验数据合理有效后撰写完整的论文报告.特别要向学生强调的是:在科学实验的全过程中,严谨求实的科研态度是必须的.



图 1 科学实验全过程示意图

2 启发学生自行设计实验方案 进行实验实践

中国的教育特色以接受型为主,学生往往缺乏主动意识.要学生学会自主行事,需要启发、指导和训练.在大学物理实验教学的后期,可多安排一些设计性实验,培养学生科学实验的能力和素养.以“变阻器的使用与电路控制”为例,在这个实验中学生可自学教材中的相关内容,实验室提供不同规格的实验设备,学生根据老师提出的实验要求自行设计实验方案、选择实验仪器、分析实验数据.虽然这个实验的原则和目的是让学生发挥自主性,培养他们的科学实验精神,但是,由于课堂时间的限制以及传统授课模式的影响,设计性实验并没有起到设想中的效果.在此,我们提出一些改进的建议.

(1) 在讲课模式上采用提问和提示的方式

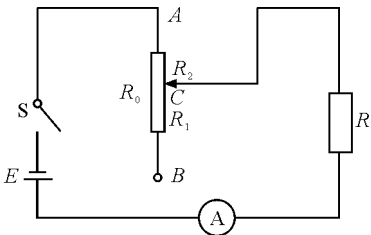
在要求学生做好课前预习的前提下,教师在课上利用 15 分钟的时间就实验原理、电路组成、实验仪器等向学生提问,根据学生的回答进行讲解和提示.就教学方式而言,无论是理论课还是实验课,国

内的授课是相对固定的“内容式教学”,导致了“师生互动”的局限性;国外的授课,则是一种引导学生发现问题,分析问题,寻找解决问题的科学途径的动态式“问题式教学”,具有“师生互动”的开放性.问题式教学一方面可以检查学生的预习效果、接受程度,使讲课内容更有针对性;另一方面可以启发学生进行思考,活跃课堂气氛,提高课堂效率,激发学生的实验兴趣.

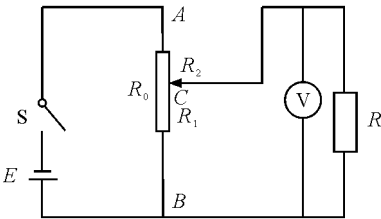
(2) 在讲课内容上只介绍关键知识点

将电路各部分按逻辑进行归纳,让学生明确一点:无论一个电路多么复杂,它都是由 3 部分组成的,即电源、控制电路和负载.本实验主要考察的是学生对控制电路的理解,因此重点讲解控制电路.控制电路最主要的组成元件是滑线变阻器,滑线变阻器有 3 个端点,通过滑动“滑动端”改变变阻器在电路中的电阻,从而控制电路中的电压和电流连续地变化,所以滑线变阻器对电路起到控制的作用.控制电路又分为制流[图 2(a)]和分压[图 2(b)]两种最基本的连接方法.这里,特别要向学生介绍两个参数:电路特征系数(k)和滑线变阻器滑动端(C 端)相对位置(x),其中

$$k = \frac{R}{R_0} \quad x = \frac{R_1}{R_0}$$



(a) 制流电路



(b) 分压电路

图 2 制流和分压电路

(3) 在实验操作上,提出实验要求,启发学生自行完成

实验室提供连续可调的电源;电阻箱;具有不同量程的电流表和电压表;不同规格的滑线变阻器(10 Ω , 56 Ω , 100 Ω , 420 Ω , 1000 Ω , 3 000 Ω),供学生自行选择.

在电路的设计和仪器的选择上可对学生做一些提示.在电路设计上,提示两种电路的特点,制流电路中负载通过的电流不可能为零,所以电流变化不是从零开始;而分压电路中负载两端的电压变化是从零开始的.在仪器的选择上,制流电路中使用的测量仪表为电流表,电流表串联接入电路中,由于电流表电阻较小,因此特别要注意流入电流表的最大电流不可超过量程,同时量程也不可选得过大,以免加大测量误差;在分压电路中使用的测量仪表为电压表,同时电压表也是负载电阻的一部分.电压表内阻与选用量程有关,指导学生学会通过仪器仪表上的说明了解仪器的特性和重要参数.

具体操作过程中,可将学生分成A、B班,A班学生做第一个实验,B班学生做第二个实验,每位学生需单独完成实验.要求学生根据实验要求自行选择实验仪器,连接电路.

第一个实验:已知负载电阻 $R = 42 \Omega$,要求电流控制范围 $I = 0.01 \sim 0.1 \text{ A}$.根据要求选择合适的电路,计算各元件参数,构造实验装置;测量和记录变阻器各位置点的电流值.

第二个实验:已知总负载 $R_{\text{总}} = 1\,000 \Omega$,要求电压控制范围 $U = 0 \sim 3 \text{ V}$ 且 $k > 10$.根据工艺要求,选择合适的电路,计算各元件参数,构造实验装置;测量和记录变阻器各位置点负载的电压值.

3 引导学生分组讨论 交流实验心得

要求A班和B班学生根据自己的数据分别对制流特性曲线和分压特性曲线特点做出说明;讨论在选择电路、计算元件参数时有哪些困惑;实验中遇到过什么问题,如何解决这些问题;自己总结实验注意事项.这种讨论交流的方式可以让学生加深对知识的理解,提高他们的实验兴趣和能力,提高实验自信心.通过这个实验使学生初步体会科学实验的全过程.

对于第一个实验,在电路设计中分几步进行:首

先是选择连接电路.根据实验要求,我们发现电流变化不是从零开始,从这一点来判断,两种电路都可以,但要考虑到实际应用中功率损耗的影响,就应该选择制流电路;其次,由于流过电路的最大电流为 0.1 A,根据测量仪表量程选择规则,电流表量程应选择 150 mA;再者,因为连入电路中的滑线变阻器电阻越小(x 值越大),电路中电流越大,因此当电流最大时($I_{\text{max}} = 0.1 \text{ A}$),电路中只有负载电阻 $R = 42 \Omega$,根据欧姆定律,电压应为 $U = R \times I_{\text{max}} = 4.2 \text{ V}$,而电源电压要求 $E \geq U$,同时 E 不宜过大,根据实验室提供的连续可调型电源,应调节为 $E = 4.2 \text{ V}$;最后,如何选择滑线变阻器,利用 $k = \frac{R}{R_0}$,那么

$$k = \frac{U}{\frac{I_{\text{max}}}{\frac{U}{I_{\text{min}}} - \frac{U}{I_{\text{max}}}}} = \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}} = \frac{0.01 \text{ A}}{0.1 \text{ A} - 0.01 \text{ A}} \approx 0.111$$

则

$$R_0 = \frac{R}{k} = \frac{42 \Omega}{0.111} \approx 378 \Omega$$

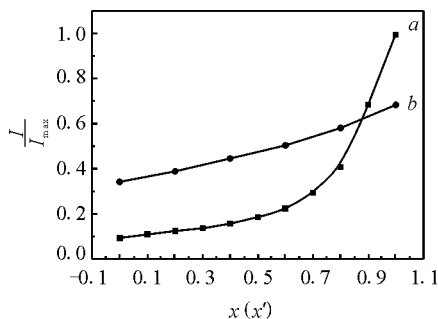
根据实验室提供的滑线变阻器,可选择 $R_0 = 420 \Omega$.在这里,也可以这样计算,我们选择好了电源 $E = 4.2 \text{ V}$,当电流最小时,滑线变阻器全部连入电路中,因此

$$I_{\text{min}} = \frac{U}{R + R_0}$$

则

$$R_0 = \frac{U}{I_{\text{min}}} - R = \frac{4.2 \text{ V}}{0.01 \text{ A}} - 42 \Omega = 378 \Omega$$

电路元件选择好后,根据图 2(a) 连接电路,电路连接好并检查无误后,关闭开关.学生根据测试数据利用计算机画制流特性曲线,如图 3 中的 a 曲线,从图中可以明显看到曲线线性较差,特别是当 x 接近 1 时,电流变化很大,由此判断电路的细调不够,这与讲义中介绍的制流特性曲线 $k < 1$ 的情况相同,因此,可以在主控电路基础上再加上一个起细调作用的变阻器.这里体现了科学实验中查阅资料、确定方案、实验实践和数据分析四者之间的相互关系,学生对科学实验有了切身体会.



a 为未加细调变阻器的制流特性曲线

b 为加入细调变阻器后 x 在 $0.8 \sim 0.9$ 范围内的制流特性曲线

图3 制流特性曲线

根据实验结果对电路进行改进,从而实现 x 在 $0.8 \sim 0.9$ 范围内的细调.主控不变,主控变阻器保持 $x = 0.9$,调节细调变阻器.此时细调变阻器应是主控变阻器的 $\frac{1}{10}$,即 $R'_0 = \frac{R_0}{10} = 42 \Omega$.根据实验室提供的仪器,细调变阻器应选 56Ω .完整的电路设计图应如图4所示.然后,改变 x' 值 $\left(\frac{R'_1}{R'_0}\right)$,记录每个 x' 点对应的电流值 I .分析处理数据,用计算机画出了加了细调后的制流特性曲线,并与没加细调时的制流特性曲线进行比较.如图3中的 b 曲线,加入细调后, x 在 $0.8 \sim 0.9$ 范围内的电流变化被放大.在此处又可以进行提问,如:为何加入细调变阻器后, x 在 $0.8 \sim 0.9$ 范围内线性变好? 启发学生进行思考.

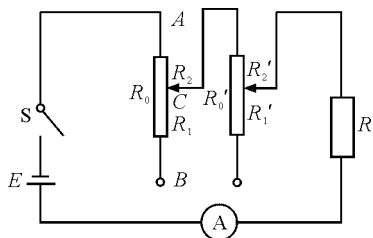


图4 加入细调滑线变阻器的制流电路

第二个实验,根据题设,负载两端电压从零开始变化,因此应选择分压电路,电路图如图2(b)所示;最大电压为 3 V ,因此电源调节到 3 V ,电压表量程选择 3 V ;由于电压表内阻不可忽略,它应作为总负载的一部分,根据电压表规格, 3 V 挡时内阻为 $500 \Omega/\text{V}$,所以电压表内阻 $R_V = 500 \Omega/\text{V} \times 3 \text{ V} = 1500 \Omega$.根据并联电路

$$\frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R}$$

即

$$\frac{1}{1000 \Omega} = \frac{1}{1500 \Omega} + \frac{1}{R}$$

所以 $R = 3000 \Omega$,即电阻箱调至 3000Ω .根据要求, $k > 10$,又 $k = \frac{R_{\text{总}}}{R_0}$,所以 $R_0 < 100 \Omega$.实验室提供的变阻器中符合要求的有 10Ω 和 56Ω ,此时考虑功率损耗,即 $P = \frac{U^2}{R}$,所以选择 $R_0 = 56 \Omega$.连接好电路后,滑动滑线变阻器 C 端从而改变 x 值,记录每个 x 点对应的负载电压值 U .分析处理数据,用计算机画出分压特性曲线,如图5所示.

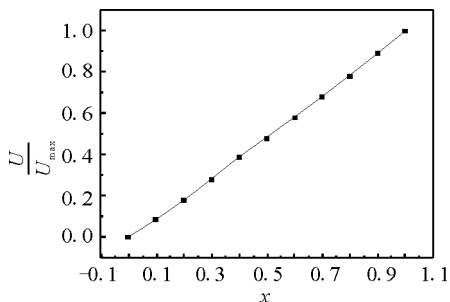


图5 分压特性曲线

4 启发学生总结实验中的问题和解决办法

(1) 如何判断应选择哪种控制电路

在讨论时可适时地提问,看学生对知识点的掌握和理解.比如,在电路的选择上可请学生谈谈如何判断选择哪种连接电路.有些学生讲“因为题目要求测负载电流所以选择制流电路,要求测电压就选择分压电路.”这样判断当然是不正确的,应该根据题目要求和两种电路的特点来选择电路.在讲义中对两种电路进行了详细的介绍,同时教师也做过相关的提示.从学生的回答中我们可以得到这样的反馈,他们没有理解讲义中以及教师的提示中对两种电路特点的讲解.正确的思路应该是:首先,制流电路中负载流过的电流不可能为零,而分压电路中负载电压从零开始变化.如要求负载电流或电压变化从零开始,则不能选制流电路;如没有要求电流或电压变化从零开始,则考虑功率损耗后应选择制流电路.其次,不管是制流电路还是分压电路,当 $k < 1$ 时,特性曲线线性程度差,特别是在 x 接近1时,细调程度不够,应该加入细调变阻器.如果认识到这一点,对于第一个实验,在设计电路时就应该想到加入细调滑线变阻器.学生们通过实验实践深刻体会了科学实验中“查阅资料”这项工作的重要性和意义.查阅资料并不是简单地看过即可,而是要深刻理解其中

精华.

(2) 滑线变阻器不灵敏

有些学生在实验中向老师提出“滑线变阻器接触不良”,要换一台变阻器.其实这个问题很好解决,主要是因为接触不好,把滑线变阻器来回滑动几次就行了.这反映了学生们实验经验少,缺乏解决问题的主动性,仍然过分依赖教师.这时候,可以告诉学生一边来回滑动变阻器,一边观察仪表,注意滑动几次之后,仪表变化是否就正常了.

(3) 分压电路中滑动滑线变阻器,电压表变化与预计情况不符

有些学生在实验中抱怨电压表“坏了”,因为变阻器的选择、电源、负载都没有问题,可是滑动变阻器时电压表不是从零开始变化.出现这种问题时,绝大多数原因并不是电压表坏了,而是滑线变阻器的B端根本没有连入电路,这说明学生们没有认真阅读讲义,没有发现在制流电路和分压电路中变阻器

连接方式的不同:在制流电路中,滑线变阻器的A端和C端连入电路,而B端没有连入;在分压电路中,滑线变阻器的3个端点均连入电路中.

(4) 分压电路中电阻箱设置错误

有些学生在做第二个实验时将电阻箱错误地调节到 $1\,000\,\Omega$,出错原因是他们忽略了电压表的内阻,忘记分压电路中的负载电阻包括电阻箱和电压表两个部分.尽管在实验操作之前教师做过提示,但是没有实践来得真实和印象深刻.

设计性实验教学中要大胆改变常规授课方式,体现实验课的互动性和活泼性,鼓励学生发挥自主性,培养他们科学实验的素质和能力.

参考文献

- 1 夏征农,陈至立.辞海(第6版).上海:上海辞书出版社,2009
- 2 张兆奎,缪连元,张立.大学物理实验(第3版).北京:高等教育出版社,2008

Training Students' Scientific Experiment Quality and Ability in Physics Experiment Teaching ——Taking the Rheostat Use and Circuit Control as Example

Liang Ying

(School of Science, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

Abstract: Physics teaching includes theoretical teaching and experimental teaching. This paper focuses on the importance of cultivating students' scientific experiment quality and ability in college physics experiment teaching. By use of rheostat and circuit control as an example, the article discusses how to inspire and guide the students design experimental scheme, carry out experiment, analysis the experimental data, and in further improve the experimental scheme and practice according to the results. Through the designed experiments, so that students can understand the whole process of scientific experiment, and then to cultivate the students' scientific experiment quality and ability to achieve the ultimate goal of college physics teaching.

Key words: scientific experiment; designed experiment; rheostat

(上接第85页)

$$E = I_2 R_2 + I_2 r + I_2 R_A$$

联立可解得

$$E_{\text{真}} = I_1 R_1 + I_1 \times \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1}$$

$$r_{\text{真}} = \frac{I_1 (R_1 + R_A) - I_2 (R_2 + R_A)}{I_2 - I_1}$$

同样可以得到在安阻法中 $E_{\text{真}} = E_{\text{测}}, r_{\text{真}} < r_{\text{测}}$, 误差分析结果与图像法一致, 但是图像法更加简洁直观,

判断时更为快捷.

通过上面的对比分析, 我们可以发现在对于该问题的误差分析时, 图像法有其明显的优势: 原理简单, 易于理解, 处理过程简洁方便, 也更为直观.

参考文献

- 1 张庆. 测定电源电动势与内阻实验的误差分析. 物理教学, 2014(8): 28 ~ 29, 40
- 2 刘晓溅. 测量电源电动势和内阻基本方法之间的关系及误差分析. 物理教师, 2014(1): 52 ~ 53