

物理实验室

概析测电阻方法的溯源设计教学策略*

陈 钰 (南通市海门区东洲中学 江苏 226100)

缪跃林 (如东县新店初级中学 江苏 226432)

摘要 中学物理中测量电阻的方法很多,但若回归本源,其实皆可溯源至“伏安法”。文中采用“再造电表还源头”的方法,实现测量法的多法归一,一脉相承,激发学生的多种思维力。

关键词 测电阻方法 再造电表 溯源设计 多种思维力

文章编号 1002-0748(2025)3-0017

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

新课标中将“用电流表和电压表测量电阻”作为9个测量类学生必做实验之一,是因为此测量能涵盖中学电学测量类实验,并兼顾了初、高中的衔接。笔者认为,初中所有测电阻(或测电功率)的方法,归根结底都可追溯到“伏安法”这个本源,而基于本源的“再造电表”的设计,可以由浅入深地激发学生的科学思维,锻炼他们在应对现实情境时解决问题的能力。

“再造电表”回归本源的测量法,理论依据是原点思维。所谓原点思维,就是让我们回归规律的本源,启发式地思考新问题的思维模式。这一理论强调无论何种思维方式,最重要的是“回归原点”,可多角度、多维度地审视原点和从原点出发的基本逻辑,发现规律的本质和来龙去脉,尝试找到解决问题的妙方。

1 “伏安法测电阻”的教学策略

测量电阻最基本的方法是伏安法,欲形成完善的测量方案,可采用以下五个紧密相连的师生互动环节:①根据测量原理 $R_x = \frac{U_x}{I_x}$,需要的测量工具是什么?说出测量工具;②要测量待测电阻的电压和电流,两个表与它的连接方式是什么?分别画出两表与待测电阻的连接

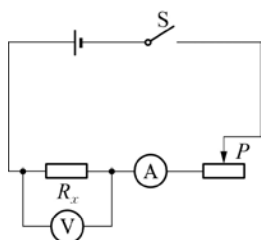


图1

方式;③要构成完整的电路,还需什么?画上电源和开关;④若采用多次测量的方法减小误差,如何改变测量的量?电路中串联一个滑动变阻器,构成如图1所示的电路;⑤测定值电阻的阻值和测小灯泡的阻值方案对比,多次测量的目的有什么不同?操作有什么不同?对于不同的测量目的,是否要排除温度影响是关键。这种在不断冲突中层层深入的互动,有利于学生逐步理解测量要点。

奥苏伯尔有意义学习理论认为,在原有认知结构中找到有关观念作为新知识的固定点,这样才能将新知识的意义纳入到自己原有的认知结构中,同时原有的认知结构也发生一定的变化。将伏安法测电阻这个原知作为其他特殊法测电阻新知的固定点,采用不断改进原有测量电路的方法,设计出其他不同方案。

2 特殊法测电阻的溯源重构

2.1 还原设计,模式初构

建构主义的同化理论认为,个体受到新的情境刺激时会把它们纳入头脑中原有的图式之内,使其成为自身的一部分。特殊法测电阻是在缺电表或器材变化时的新设计方案,如何将新方案归入原有图式——伏安法测电阻,使知识同化,回归本源,关键是实现电表的再造。图1中如果缺了电流表,若要用剩下的电压表造出电流表,按 $I = \frac{U}{R}$,可把电压

* 基金项目:本文系江苏省中小学教学研究课题“基于学测分析重构中学常态物理实验教学区域研究”(课题编号:2021JY14-CSFX-ZB15)的研究成果之一。

表并联在一个已知阻值的定值电阻 R 两端,测其电压值,算得电流,如图 2(a)所示;若缺了电压表,要用电流表造出电压表,依 $U = IR$,将电流表与 R 串联,测其电流值,算得电压,如图 2(b)所示。有了这种最基本再造原理的分析,溯源设计就彰明较著了。

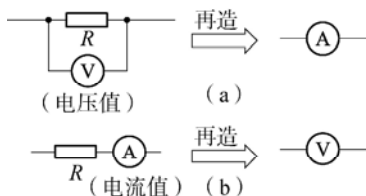


图 2

教学中从回顾伏安法测电阻的完整测量步骤开始,以“原电路中缺电流表,如何测电阻”为例,教学片段可呈现如下。

师:图 1 中若缺电流表,如何利用电压表和一个已知阻值的定值电阻 R_0 再造电流表,测出电阻?

生:将 R_0 放到原电流表的位置,电压表改接在 R_0 两端测其电压获得电流,再造电流表,如图 3(a)所示。

师:你能说出测 R_x 阻值的具体步骤吗?

生:开关闭合,将滑动变阻器滑片移至某一位置,读出电压表示数为 U_x ,再把电压表改接在 R_0 两端,记下电压 U_0 ,得到串联电流 $I_0 = \frac{U_0}{R_0}$, R_x 的表达式为 $R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{I_0} = \frac{U_x}{U_0/R_0} = \frac{U_x}{U_0} R_0$ 。

师:若原 R_x 两端的电压表位置不动,如何使这个电压表既能测 R_x 的电压,又能测 R_0 的电压?

生:如图 3(b)所示,再将电压表右端从 1 改连 2,测 R_x 和 R_0 的总电压 U ,获得 R_0 电压 $U_0 = U - U_x$,算出电流 $I_0 = \frac{U - U_x}{R_0}$ 。

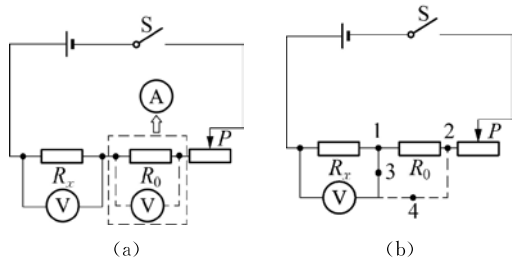


图 3

续问:图 3(b)中若通过添加开关的方法实现目标,开关应怎么接? 学生易想到添加在 3、4 两个位置。追问:若用一个单刀双掷开关替代两个单刀开关,又怎么添可使控制更便捷? 学生经过交流,完成

图 4 所示电路的设计。

基于“伏安法”的再造电流表,教师可鼓励学生运用已有的知识主动大胆设计与尝试,得到多种可能的设计方案,生生、师生互评,从“毛坯”至“精装”逐步优化电路,完善测量步骤,达成一致的认识,深刻理解再造的价值。有了电路设计的经历,详细阐述测电阻的步骤就不在话下了。再造电流表的图式被激活后,学生对“再造电表”的思维也就被打开了。

2.2 类比迁移,方法进阶

类比迁移是一个结构映射过程,源问题各因素之间的关系即结构被提取并被用于解决靶问题。“再造电流表溯源法”的逻辑结构可以系统地迁移映射到解决“再造电压表溯源法”这个靶问题中去。“再造电压表”教学中,可让学生进行自行设计和小组合作交流,进一步加深对溯源设计的领悟。

主问题:借鉴再造和替换电流表的过程与方法,若图 1 中缺电压表,又如何再造电压表进行溯源测电阻呢? 注意与图 3 中设计的联系与区别,由拙入巧设计出测量电阻 R_x 的电路,并写出实验步骤和 R_x 的表达式。生生互动,启发式领悟学习,逐步形成设计:电流表兼顾两个方面——测 R_x 的电流、与 R_0 串联造出电压表,经历与图 3 类似的从一个电流表的拆接到原电流表位置不动的导线一端在 1、2 点的变动,再到在 3、4 位置安装开关,终成最快捷的控制方式,即如图 5(a)、5(b)、图 6 所示, R_x 的表达式为 $R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_0}{I_x} = \frac{I_0 R_0}{I_x}$ (或 $\frac{(I - I_x) R_0}{I_x}$)。

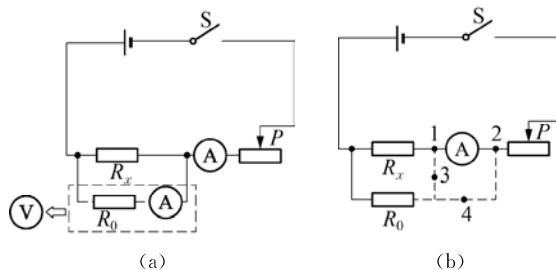


图 5

通过类比迁移学习,引发学生在原有基础上多角度、更宽泛地思考,这将更有利于培养学生思维的灵活性和深刻性,印证和诠释了初中物理学科关键能力——迁移能力的内涵:学生能将所学的思想方

法应用到新情境中去分析、解决新问题,在解决新的问题时提出某些新的方法、思路 and 手段。

经过两类再造电表溯源设计,学生的求本思想初成,但仍未达至融合境界。此时教师可不失时机地抛出如图 7

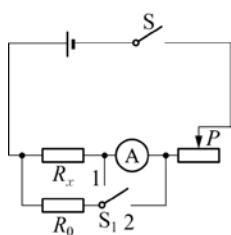


图 6

所示的电路图,以“测量小灯泡正常发光时的电阻 R_L ”为例,让学生填出小灯泡、电阻和电表的符号。将“再造电表的两类设计”和“已知小灯泡额定电压

或额定电流两种情况”兼顾考虑,引导学生意识到设计之首要任务是:让小灯泡正常发光,具体就是关注电表“是先测灯泡电压(电流)值还是先与已知阻值的定值电阻造表测值”。一图四用,学生交流评估实验步骤,设计出虚框内电路元件的填法并得出测量结果,见表 1(其中 U 、 I 分别是小灯泡 L 和电阻 R_0 的总电压和总电流)。

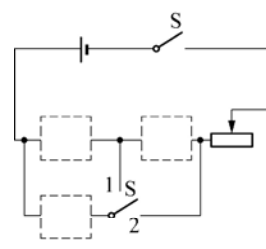


图 7

表 1 测量小灯泡正常发光时的电阻

缺(造)表情况	小灯泡额定电压 $U_{\text{额}}$ 已知	小灯泡额定电流 $I_{\text{额}}$ 已知
缺(再造)电流表	$R_L = \frac{U_{\text{额}}}{I_L} = \frac{U_{\text{额}}}{(U - U_{\text{额}}) / R_0}$ $= \frac{U_{\text{额}}}{U - U_{\text{额}}} R_0$	$R_L = \frac{U_L}{I_{\text{额}}} = \frac{U - I_{\text{额}} R_0}{I_{\text{额}}}$
缺(再造)电压表	$R_L = \frac{U_{\text{额}}}{I_L} = \frac{U_{\text{额}}}{I - \frac{U_{\text{额}}}{R_0}}$ $= \frac{U_{\text{额}}}{I R_0 - U_{\text{额}}} R_0$	$R_L = \frac{U_L}{I_{\text{额}}} = \frac{(I - I_{\text{额}}) R_0}{I_{\text{额}}}$

学生历经上述开放式的综合设计,在对比中,同中存异,异中求同,深化了对再造电表回归本源的认知。学生在愤懑冲突中,智思融合,多元进阶。至于改变电表接法所引起的系统误差在初中阶段暂可不论。

2.3 至简求索,延伸升华

大道至简,返璞归真。简化思维理论认为,可在原认知的基础上附加一些合理条件,对对象进行本质思维加工,达到使问题处理化繁为简的目的,去虚就实,至思维升华。在伏安法测电阻设计的基础上,所谓的“附加一些合理条件”,指的是增加一些器材(比如精度较高的电阻箱)或添加一些已知量(比如电源电压不变、滑动变阻器的最大阻值已知)等;而“对对象进行本质思维的加工”是指简洁的再造电表返还本源的更上位设计,可对图 1 所示电路作两种处理:“再造电表等效全替”和“剩余器材再造电表”。

“再造电表等效全替”:图 1 中若电压表或电流表缺了一个,如何设计一种方法再造电表等效替代测出 R_x 阻值? 受用定值电阻再造电表的耦合影响,

学生会想到用电阻箱再造电表,并借用串联电路的特点,以电阻箱的阻值替代 R_x 阻值。如图 8(a)所示的是两种可能情况的预设准备,让学生自绘草图,交流讨论,形成方案,达成共识,如图 8(b)或图 9 所示。学生完成测量步骤并解释:因为前后两次电阻箱 R_0 和待测电阻 R_x 的电流或电压相等,用电阻箱与电流表再造电压表或用电阻箱与电压表再造电流表,结合电源两端电压 U 和滑动变阻器阻值 $R_{\text{滑}}$ 不变及串联电路的特点,有 $I_x = I_0 \Rightarrow U_x =$

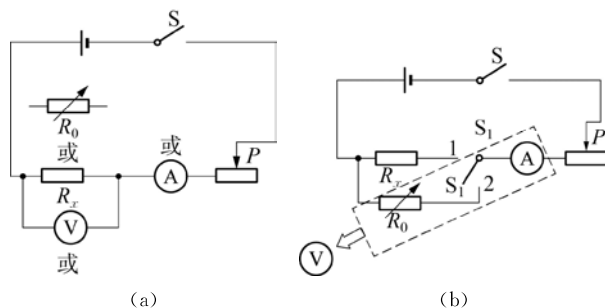


图 8

$$U - I_x R_{滑} = U - I_0 R_{滑} = U_0$$

$$\text{或 } U_x = U_0 \Rightarrow I_x = \frac{U - U_x}{R_{滑}}$$

$$= \frac{U - U_0}{R_{滑}} = I_0, \text{等效替代}$$

$$\text{式为 } R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_0}{I_0} = R_0.$$

对等效替代法测电阻还可鼓励学生创新地设计出“整个电路总电阻的等效替代”的方案。

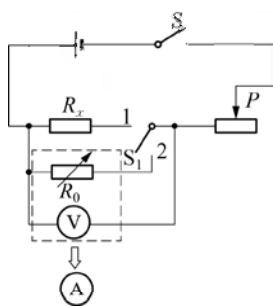


图 9

“剩余器材再造电表”的问题巧设:图 1 中,电压表或电流表缺了一个,若电源两端电压不变,变阻器最大阻值已知,要求不改变电路,用剩余器材如何也能再造电表回归本源测电阻? 此时学生再造溯源的思绪已至火热,慧眼识简图,方案胸有竹。学生首先容易想到的是:将滑动变阻器的滑片移至阻值最大处充当一个已知阻值的定值电阻 R_{max} ,让它和电压表再造电流表 $I_x = \frac{U_{R_{max}}}{R_{max}}$;再拆下电压表去测出 R_x

两端电压 U_x ,如图 10(a)所示,由此得到 R_x , $R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{U_{R_{max}}/R_{max}} = \frac{U_x}{U_{R_{max}}} R_{max}$ 。追问:若电压表位置不变,又可怎么设计? 学生聚焦已知条件说出:将滑片移到左右两端,如图 10(b)所示,分别读出电压 U_1 、 U_2 ,用 R_{max} 与其电压值造出电流表获取电流,表达式为 $R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_2}{(U_1 - U_2)/R_{max}} = \frac{U_2}{U_1 - U_2} R_{max}$ 。

反问:若图 1 中缺了电压表,能测出 R_x 的阻值吗? 学生惯性式地联想到:同样将滑片移到左右两端,如图 11 所示,分别读出电流 I_1 、 I_2 ,一个电流表分别与 R_x 和 R_{max} 造出电压表获得两个电压,表达式为 $R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{I_1 R_x - I_2 R_{max}}{I_2}$ 。至此,学生已意识到坚持追本求源的表达式亦可能是方程形式,需再解方程得到结果: $R_x = \frac{I_2 R_{max}}{I_1 - I_2}$ 。

至此,学生已意识到坚持追本求源的表达式亦可能是方程形式,需再解方程得到结果: $R_x = \frac{I_2 R_{max}}{I_1 - I_2}$ 。

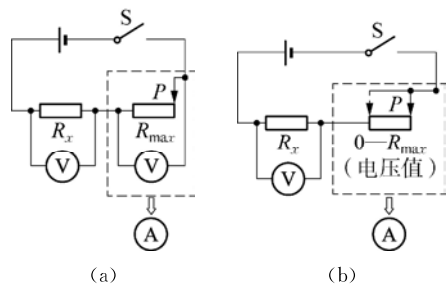


图 10

如若成就点睛之笔,最好再来一究诘:若把变阻器滑片滑到两端当作是一个定值电阻 R_0 被导线短路和不被导线短路,还可怎么设计测量电路?

学生领悟到:将一开

关与 R_0 并联连接,闭合与断开开关,控制 R_0 被短路与不被短路,形成类似的方案。

2.4 组合设计,求异求新

创造性思维是创造性心理的核心,而求异思维又是创造性思维的独特表现。求异思维指的是对同一对象材料,从不同角度、不同深度、不同结构形式、不同耦合关系,去探索结构的思维方法。溯源设计的创新求异就是组合设计,以某一设计方案为发散点,尽可能多地与另一(或另一些)设计方案联结成具有新价值的组合方案,而组合方案的根源只是多次“伏安法”。

在溯源重构基本设计的基础之上,思维之涟漪在学生头脑中渐次荡漾开来,形形色色的组合设计、附加条件后的设计等会在学生小组合作的基础上被呈现出来。不妨再以“测小灯泡正常工作时的电阻”为例,先在“已知小灯泡额定电压”的情况下设置系列问题,师生互动完成。问:若将图 9 中的电阻箱 R_0 改为滑动变阻器 R_1 ,如图 12(a)所示,滑动变阻器 R_{2max} 已知,倘若依旧想用 R_1 的值等效替代小灯泡正常发光时的阻值 R_L ,应如何设计? 根据已有认知,学生合作交流形成设计:先使小灯泡和滑动变阻器 R_2 串联,调节 R_2 的滑片,使小灯泡的电压为其额定电压,然后让滑动变阻器 R_1 与 R_2 串联,调节 R_1 的滑片,使电压表的示数仍为刚才的额定电压,再参照图 10(b)中的方法, R_1 的滑片不动, R_2 的滑片分别移到两端,在测出 R_1 与 R_{2max} 串联时 R_1 的电压值的同时,结合所测得的电源电压,得到 R_{2max} 的电压值,再用 R_{2max} 的电压值与 R_{2max} 造出电流,进而求出 R_1 ,替代 R_L 。加问:若将变阻器 R_1 换成已知阻值的定值电阻 R_1 ,如图 12(b)所示,还能测出小灯泡正常发光时的阻值 R_L 吗? 到此刻,学生的思维已被调到高潮,可留足够时间给他们,让其尽情发挥。师生互动“剥笋式”分层推理如下:如何先使小灯泡正常发光? 让 R_2 与小灯泡串联,调节 R_2 滑片,使电压表示数为小灯泡的额定电压;如何再利用此时的 R_2 造出电流表呢? 用 R_2 的电压值和电阻值造出电流;又怎么才能知道此时 R_2 的电压值和电阻值呢? 再将 R_2 与 R_1 串联,用电压表和 R_1 造出电流表获

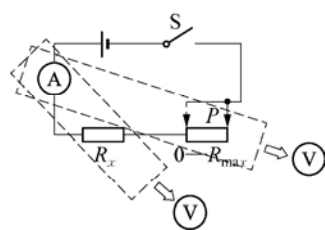


图 11

得电流,再将 R_2 滑片移至最左端,用电压表测出电源电压,经处理可得到刚才小灯泡正常发光时与之串联的 R_2 的电压值、电阻值,实现测量。

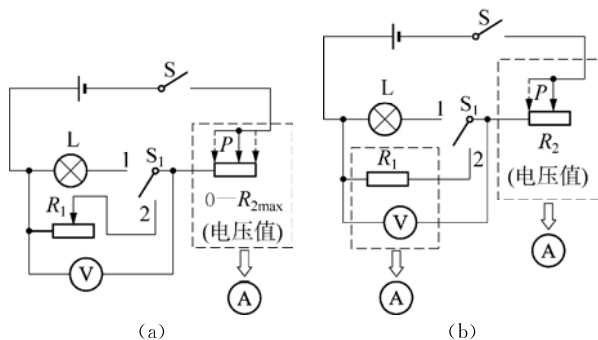


图 12

受此启发,欲测“已知额定电流下小灯泡正常发光时的阻值 R_L ”,若将图 8(b)中的电阻箱 R_0 改为滑动变阻器 R_1 ,原滑动变阻器的最大值 R_{2max} 亦已知,如何替代和造表设计?学生会随即想到与图 11 中的方案结合进行设计。同样,再将滑动变阻器 R_1 换成已知阻值的定值电阻 R_1 ,其测量步骤学生亦会体悟出来——组合设计,两次造表,分获电压,测出电阻。

按类推思维理论,将两个具有相同或相似特征的设计方案进行对比,从一种设计方案的某些已知特征去推测另一设计方案的相应特征,具有启发与激活新思维的功能。这一点在组合设计、求异求新上,体现得酣淋宜恰。

3 溯源思维的能力形成

林崇德教授认为,“智力和能力就是指运用已有的知识与经验,成功地解决某种问题(或完成某种任务),并表现出良好适应性的个性心理特征”。原点思维的价值在于能很好启迪学生的智力,使其源头求证的品质增强,适应了运用“多法归一”的思想方法解决问题的心理。

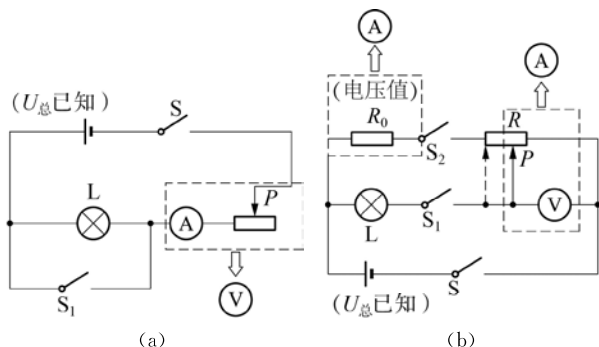


图 13

学生在“特殊法测电阻的溯源重构”学习熏陶之

后,为眷注学生溯源思维能力的形成情况,教学中可安排更灵活、更开放的情境,让学生进行测电阻方案的设计。设计可从以下几个方面展开:①明确目标:测量待测定值电阻 R_x 或灯泡正常发光时的电阻 R_L (已知 $U_{额}$ 或 $I_{额}$);②提供器材:恒压源(学生直流电源)、导线若干、开关、单刀双掷开关、滑动变阻器、电阻箱、已知阻值的定值电阻、电流表、电压表;③主问题设置:以“伏安法”作为本源法,若要测量定值电阻 R_x 的阻值,可选哪些器材?造表情况如何? R_x 如何连入?若要测量小灯泡正常发光时的电阻 R_L ,已知 $U_{额}$ 时如何选择器材?造表情况又如何?灯如何接入?已知 $I_{额}$ 时又怎么设计?与已知 $U_{额}$ 的情形有何不同?④教学组织形式:让学生重温基本的溯源重构设计,结合小组交流讨论,形成初步草案,进而在班级共享,生生和师生冲突、交锋与碰撞,设计方案逐臻完善,多维度、深层次、多变性,跃然于纸上。

据发散思维理论,以“伏安法”作为“思维定桩”,克服自己已有的僵化思维框架,自由选择器材,灵活设计,视野广阔,思维模式可呈一种扩散的状态。从已有条件到再创条件,比如图 13(a)所示,附加“电源电压 $U_{总}$ 已知且不变”,测已知 $I_{额}$ 下的灯泡正常发光时的阻值,只需用电流表和与之串联的变阻器的阻值造出电压表即可,方案实现最简。从直接思维到间接思维,比如图 13(b)所示,为测已知 $U_{额}$ 下的灯泡正常发光时的阻值,可巧用电压表分压式接法(分压、不分流),达成两个“间接”测量:①利用电源电压 $U_{总}$ 已知且不变及 R 滑片滑到左端时的电压表示数,间接获得与之串联的 R_0 的电压值,与 R_0 造出电流,结合小灯泡正常发光时所对应的滑片在某一位置的电压表示数,算出此位置变阻器接入电路的阻值;②用此位置变阻器阻值再和变阻器与小灯泡串联时电压表示数,间接造出小灯泡正常发光时的电流,终获灯泡电阻。其实在整个开放式设计过程中,还要用到“逆向逐级推理”“多向逻辑推理”“横向跨域转化”等变通手段。

4 结 语

“特殊法测电阻的溯源重构”让学生的溯源思维意识强烈印刻于心,区域一线教学实践证明,溯源教学法提升了学生对“测电阻方案”认识水平,具有较高的学术研究价值。一方面,类比迁移,它在特殊法测小灯泡额定功率和特殊法测物质密度等测量类实验中得到推广和应用;另一方面,学生在不断溯源创

(下转第 35 页)

生:像 $A'B'$ 一直变大。

师:如果将箭头 AB 离焦点越来越近,像 $A'B'$ 会如何变化?

生:像 $A'B'$ 会离凸透镜越来越远,像 $A'B'$ 一直会变得很大。

老师演示将箭头 AB 靠近焦点越来越近的过程,像 $A'B'$ 离凸透镜越来越远,像 $A'B'$ 变得很大,如图 18 所示。

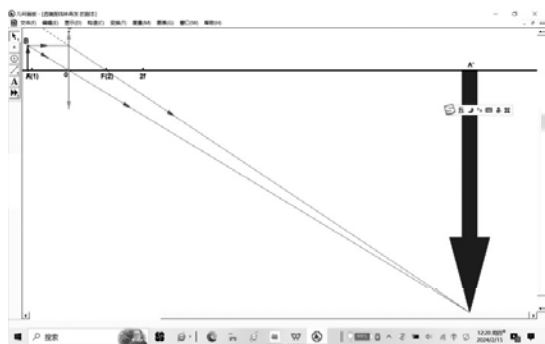


图 18

师:你现在知道为什么把“F”光源放在 10 cm 处会在很远的墙上成一个很大的倒立的实像吗?

生:很可能是此凸透镜的焦距略小于 10 cm,此时物距略大于一倍焦距。

师:如果将箭头 AB 准确地放在一倍焦距处理论上能不能成像?

生:不能。

师:为什么?

生:如果将箭头 AB 准确地放在一倍焦距处,“平行过焦”和“过心不变”两条特殊光线经凸透镜折

射后成两条平行光线,不可能相交成像。

师:完全正确,我们来演示一下。

老师将箭头 AB 准确地放在一倍焦距处,“平行过焦”和“过心不变”两条特殊光线经凸透镜折射后成两条平行光线,确实无法成像,验证了学生的说法。

评析:将一些数学软件运用到实验教学中,能模拟复杂物理情境,培养学生利用数学工具进行物理建模的意识和能力,促进学生高层次认知水平及思维能力的提升。

9 结 语

综上所述,教师要想通过实验推动学生思维能力全面有序提升,在做实验前要思考做这一实验的目的,并挖掘本实验所隐含的思维培养目标。依据实验目的和思维培养目标对实验进行重构,在重构过程中应尊重学生学习的主体性,了解学生的思维特点和思维起点,分析学生的思维困惑,利用精心设置的问题串作为思维进阶的支架。在物理实验教学过程中,教师要借助问题串的指引,让学生在记忆、理解、应用的同时,发展他们的分析、综合、评价和创造的能力,并逐步总结形成有效的初中物理实验教学思维进阶路径,促进学生的思维向高阶发展,提升学生的物理科学思维水平。

参考文献

- [1] 沈孝兵. 初中物理实验教学资源开发策略浅谈[J]. 物理教学, 2013(12): 24—29.
- [2] 沈孝兵. 做好实验,探究杠杆[J]. 物理教学, 2017(7): 42—45.
- [3] 沈孝兵. 做好实验,探究力的相互作用[J]. 物理教学, 2019(1): 39—42.

(上接第 21 页)

造性地处理问题的过程中,思想方法和数学能力受到锤炼,逐步渗透式地让他们体会到思想和方法是对具体的措施、技能的本质认识,是解决物理问题的研究途径和工具,是明确研究思路、获取物理知识的重要保障。

回归本源,测量法的“多法、简洁、统一”是中学常态物理实验教学的重要内容之一。活动中,学生的实验设计、类比迁移、逻辑推理和多元思维等关键能力都得到增强,激励了学生“逢山开路,遇水架桥”解决问题的开拓精神,核心素养落地。期望同行注重测量法的溯源教学研究,继续挖掘其育人功能与价值,积极培养学生的创新思维。

参考文献

- [1] 李成山,王粤. 特殊法测电阻例说[J]. 枣庄师专学报, 2000(5).
- [2] 李伟. 领悟方法本质,促进思维发展[J]. 试题与研究, 2021(12).
- [3] 张信军. 注重“溯源”教学 培养创新思维[J]. 物理通报, 2001(10).
- [4] 曲衍立,张梅玲. 类比迁移研究综述[J]. 心理学动态, 2000(2).
- [5] 吴庆麟. 教育心理学[M]. 北京:人民教育出版社, 2011.
- [6] 滕玉英. 初中“情智物理”教学探索[M]. 南京:江苏凤凰科学技术出版社, 2016.
- [7] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022 年版)[S]. 北京:北京师范大学出版社, 2022.
- [8] 刘炳昇,李容. 义务教育教科书物理(九年级上册)[M]. 南京:江苏凤凰科学技术出版社, 2012.
- [9] 义务教育学科核心素养与关键能力研究项目组. 义务教育学科核心素养·关键能力 测评与教学[M]. 南京:江苏凤凰科学技术出版社, 2018.