

注重科学思维考查 提升学生科学探究能力*

——以2021年1月浙江省选考物理实验题为例

叶晟波 戎杰 陈琼

(浙江省慈溪中学 浙江宁波 315300)

(收稿日期:2021-02-18)

摘要:2021年1月浙江省物理选考实验题突出实验的基础性、探究性和电路设计的开放性,作为权威性的人才选拔考试,把实验与育人目标紧密结合在一起,注重科学思维考查,指导高中物理教学,提升学生科学探究能力和物理学科核心素养.

关键词:实验 科学思维 科学探究能力

物理学是基于观察和实验的一门自然学科,高中物理课程提倡学生具有科学探究意识,了解和掌握探索自然科学的科学思维与方法,而物理实验是训练学生进行科学探究的最佳途径,实验能力也是物理《高考考试大纲》明确要求考查的“五种能力”之一.2021年1月浙江省物理选考试题中的两个实验题,既强调基本知识、基本方法和基本规律,又适当引导学生拓展创新和变式训练,考查了学生的物理实验基本技能和科学思维,提升了学生物理核心素养中的科学探究能力.

1 探究性实验考查学生思维

1.1 基于教材的力学探究性实验

高中物理实验可以大致分为验证性实验、探究性实验和测量性实验,其中探究性实验是人类探索未知的重要手段,它侧重培养学生的思维方式和方法.

【例1】(2021年1月浙江省普通高校招生选考物理试题第17题力学实验题^[1])(1)用如图1所示

装置进行“探究功与速度变化的关系”实验.装有砝码的盘用绕过滑轮的细线牵引小车,盘和砝码的重力可当作牵引力.小车运动的位移和速度可以由打点纸带测出,以小车为研究对象,改变砝码质量,便可探究牵引力所做的功与小车速度变化的关系.

(1)关于这个实验,下列说法正确的是_____;

- A. 需要补偿小车受到阻力的影响
- B. 该实验装置可以“验证机械能守恒定律”
- C. 需要通过调节定滑轮使细线与长木板平行
- D. 需要满足盘和砝码的总质量远小于小车的质量

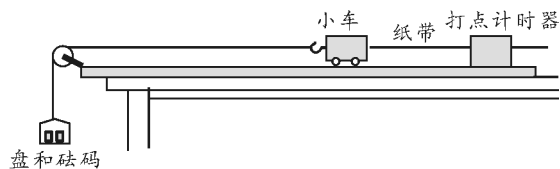


图1 “探究功与速度变化的关系”实验装置图

(2)如图2所示是两条纸带,实验时打出的应是第_____条(填写“Ⅰ”或“Ⅱ”)纸带;

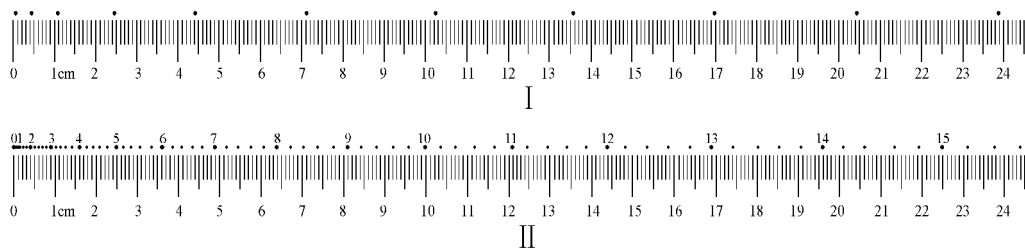


图2 实验打出的两条纸带

* 浙江省宁波市教育科学规划2021年立项课题“强基背景下物理创新素养的培养研究”研究成果之一,项目编号:2021YGH127

(3) 根据实验数据,在坐标纸上画出的 $W-v^2$ 图像是一条过原点的直线,据此图像_____ (填“能”或“不能”) 求出小车的质量.

“探究功与速度变化的关系”是普通高中课程标准实验教科书物理 2 第七章中的一节实验探究课,课程目标是通过实验让学生认识功和速度变化的关系,为下节课定量描述动能和动能定理打下基础.教材中提供了两种实验方案:分别从“恒力做功与速度变化的关系”和“变力做功与速度变化关系”两个角度对这一规律进行探究,本次选考的力学实验从恒力做功的角度进行了测试.功的大小等于小车所受的合力与小车位移的乘积,当盘和砝码的总质量远小于小车的质量及补偿小车受到阻力后,功

的大小等于盘和砝码的重力与小车位移的乘积即 $W = Fx \approx mgx$ [2].

那么如何改变恒力做功? 采用控制变量法:(1) 不改变小车拉力,测量不同位移下的速度变化,在拉力确定的情况下,功与位移成正比,测出砝码和盘的质量 m ,测出不同位移 x 及其对应的小车速度 v . 这种方案可以分两种,在表 1 中具体讨论.(2) 通过改变质量 m 改变小车拉力 F ,测出小车不同拉力 F 下功 W 与所对应的速度 v . 这节实验课重在培养学生的科学思维,下面从实验原理、是否平衡摩擦、如何减小系统误差、图像法处理实验数据、如何形成合理结论 5 个方面,分析此实验对学生科学思维的考查,如表 1 所示.

表 1 分析学生科学思维的考查表

考查科学思维	探究恒力做功与速度变化的关系: 测量功及初末两个状态的速度	
控制变量法:研究物理量关系的一种重要方法	(1) 不改变小车拉力.分两种情况:不测量功的具体数值;需要定量测出功	(2) 改变小车拉力.需要定量测出功
不测量功的具体数值探究思路:令位移 x_1 时的功为 W ,位移 x_2 时的功为 $\frac{x_2}{x_1}W$,以此类推……这是类似于倍增法解决问题的思想方法.此方法设计思想新颖,巧妙地避开了测量功的具体数值,避免了牵引力近似等于砝码和盘的重力带来的系统误差,使实验误差小、简洁,而且可以很好地考查学生对实验原理的理解,也可以将此探究方法进行迁移,应用到变力做功,使橡皮筋对小车所做的功按比例倍增		
解决摩擦力做功对研究问题的影响:调节木板的倾斜度,巧妙地利用动力学知识使小车重力的分力与小车运动时的阻力平衡,理论与实际相结合,解决实验过程中的实际问题	(1) 不测量功的具体数值:不需要补偿小车受到的阻力 (2) 需要定量测出功:需要补偿小车受到的阻力	需要补偿小车受到的阻力
本实验小车拉力 F_T 实际上是小于 mg ,如要 $F_T \approx mg$ 需要 $m \ll M$,这样处理使得功的理论值大于实际值,当 m 越大,两者误差也越大.误差分析是实验的灵魂,不少重要的发现是通过误差来源和大小仔细分析得来的.高中阶段对部分学生实验尝试误差分析,可以使学生对实验有更深入的认识,促进学生思考,通过对实验误差的控制,训练学生严密的科学思维,提高他们的科学实验探究素养	(1) 不测量功的具体数值:不需要使 $m \ll M$ (2) 需要定量测出功:使 $m \ll M$ m :砝码和盘的质量 M :小车质量	使 $m \ll M$
分析猜想 W 与 v 之间的函数关系,用数学方法进行实验数据处理,利用图像简明、直观地探寻研究物理量之间变化规律.给学生提供发散思维的空间,训练学生应用所学数学知识解决问题,引导学生体验透过现象发现本质的科学思维过程,从中学到科学方法,发展科学素养	图像法处理数据:在坐标纸上做出 $W-v$ 或 $W-v^n$ 图像(n 是某个整数或者分数),认为很可能 $W \propto v^2$ 那就以 W 为纵坐标, v^2 为横坐标作图.做出的图像是一条过原点的倾斜直线,说明两者的关系是 $W \propto v^2$	
把物理问题通过图像转译成物理规律,形成合理的结论.17 题第(3)题赋予斜率 k 以物理意义,从而迅速、简捷、合理地测出小车的质量	规律:在坐标纸上画出的 $W-v^2$ 图像是一条过原点的直线.第(3)题根据直线规律:斜率 $k = \frac{1}{2}M$,据此图像求出小车的质量	

1.2 高于课本的电磁学探究性实验

【例2】(2021年1月浙江省普通高校招生选考物理试题第18题电学实验题^[1]) (2) 在“探究变压器线圈两端的电压与匝数的关系”实验中,可拆变压器如图3所示.为了减小涡流在铁芯中产生的热量,铁芯是由相互绝缘的硅钢片平行叠成.硅钢片应平行于_____ (单选).

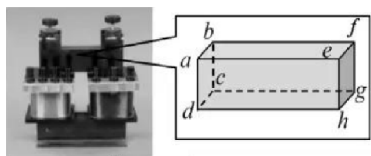


图3 可拆变压器

- A. 平面 $abcd$ B. 平面 $abfe$
C. 平面 $abgh$ D. 平面 $aehd$

“探究变压器线圈两端的电压与匝数的关系”是普通高中课程标准实验教科书物理选修3-2第五章中的一节学生实验探究课.实验考查的角度比较新颖,通过可拆变压器硅钢片的叠放位置考查学生对实验仪器的熟悉程度和如何减小涡流.教材中有“可拆变压器零部件”和“组装后的变压器”两幅图^[3],如果学生亲自拆装过变压器,那么自然会知道变压器的硅钢片如何叠放,也会在实验情境中发现和提炼问题,硅钢片为什么这么叠放?能让学生在观察和体验后有所发现、有所联想,萌发出科学问题,这有利于学生物理核心素养的培养.学生解决问题能力的高低,取决于学生将实验情境与知识相联系的水平,本题中学生需要立足教材的基本概念与规律,分析铁芯中的磁路,用能量观念思考并运用科学思维分析,当铁芯叠放和磁路方向垂直时,产生的涡流通过的电阻面积最小,电阻最大,从而使涡流引起的能量损耗最小.

高考探究性实验题对科学思维的考查,对中学教师课堂教学有积极导向作用.它促使教师设计高阶学习活动培养学生的高阶思维能力和素养,对提高学生科学思维、应用数学处理物理实际问题的能力以及创新思维有极大的益处.

2 设计性电学实验的考查提升科学探究能力

电学实验的测量方法具有多样性、开放性、探究性的特点,有助于培养学生的实践能力和科学探究能力,从而提高学生的科学素养.

【例3】(2021年1月浙江省普通高校招生选考

物理试题第18题电学实验题^[1]) (1) 在“测定电池的电动势和内阻”实验中:1) 用如图4所示的电路图测量,得到的一条实验数据拟合线如图5所示,则该电池的电动势 $E = \underline{\hspace{2cm}}$ V (保留3位有效数字);内阻 $r = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω (保留2位有效数字).

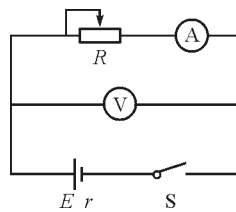


图4 实验电路图

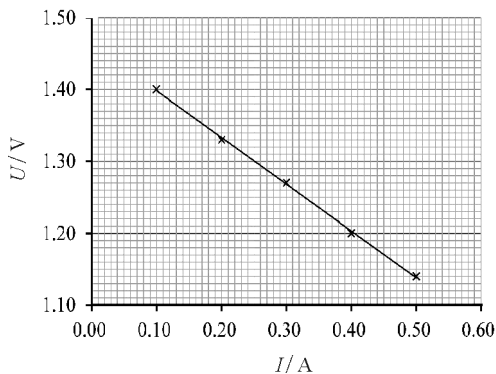


图5 实验数据拟合线

2) 现有如图6所示的实验器材,照片中电阻箱阻值可调范围为 $0 \sim 9\,999\ \Omega$,滑动变阻器阻值变化范围为 $0 \sim 10\ \Omega$,电流表G的量程为 $0 \sim 3\ \text{mA}$ 、内阻为 $200\ \Omega$,电压表的量程有 $0 \sim 3\ \text{V}$ 和 $0 \sim 15\ \text{V}$.请在图6中选择合适的器材,在答题纸相应方框中画出两种测定一节干电池的电动势和内阻的电路图.



图6 实验器材

2.1 突出电学实验的基础性 鼓励学生探究

“伏安”法测电阻,是高考电学实验试题常见的一类试题,它注重考查学生基础知识的掌握情况和应变能力.类比伏安法测定值电阻,本实验(1)中的第1)题采用“伏安法”测电源的电动势和内阻.试题给出了实验电路图和体现实验规律的 $U-I$ 图像,学生

需要理解相关概念,搞清楚实验所根据的物理知识,再用物理知识把物理问题通过 $U-I$ 图像转译成物理规律,赋予斜率、截距图像元素内阻和电动势的物理意义,从而简捷、合理地测出干电池的电动势和内阻. 第1)题考查的问题能很好地体现学生对基本方法的掌握情况,该题重视实验的基础,积极鼓励学生掌握物理基本理论,引导教师在物理实验教学中注重基本实验技能、实验的教学和实践操作的指导,从而提高学生实验原理应用能力和科学探究能力. 此题还考查了有效数字,任何测量都是有误差的,有效数字运算的确定原则比较复杂^[4],中学阶段不做要求,但其对学生养成正确记录与计算实验数据的习惯,培养学生严谨的科学思维和实验探究的素养有重要作用,所以高中阶段需要学生理解误差和有效数字概念,而实验

运算结果一般取2位或3位有效数字就可以了.

2.2 增强实验设计方案的开放性 提升科学思维

第18题的第2)题是采用现场拍摄实验场景,将照片呈现在考生面前,让学生身临其境. 照片给出7种电学实验器材,让考生选择合适的器材,设计测定一节干电池的电动势和内阻的2种方案. 与以往相比,除了注重对实验基本原理、数据处理的考查,新增了实验设计能力的考查,此题学生的错误率还是比较高的,我们先来看一下学生出错的几个主要原因.

(1) 由于滑动变阻器具体阻值未知,学生设计的电路无法测出 E 和 r , 最常见的滑动变阻器分压接法如图7(a)所示,流过滑动变阻器的电流未知如图7(b)和(c)所示. 这种错误,学生根本不理解实验的原理.

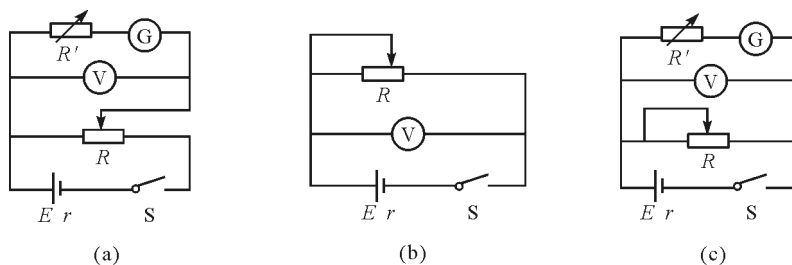


图7 常见的错误电路图

(2) 选择实验仪器有3大原则,安全、精确、方便. 本实验已知电流表 G 的量程为 $0 \sim 3 \text{ mA}$, 内阻为 200Ω , 滑动变阻器阻值变化范围为 $0 \sim 10 \Omega$, 如图8(a)所示电路的路端电压最大是 $3 \text{ mA} \times 210 \Omega =$

0.63 V . 如果从精确性角度考虑测量数据应使电压表能达到 $\frac{1}{3}$ 偏, 即 1 V 以上, 那么通过 G 表的电流必将超过量程, 不满足电路设计的安全性原则.

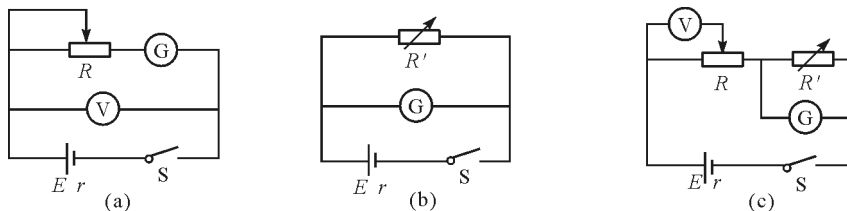


图8 常见的错误电路图

(3) 在第18题第1)题中,由图像得到电池的电动势 $E = 1.45 \sim 1.47 \text{ V}$; 内阻 $r = 0.63 \sim 0.67 \Omega$. 如图8(b),若 G 表两端的电压达到满偏 0.6 V , 电源(假设 $E = 1.45 \text{ V}$, 内阻 $r = 0.65 \Omega$) 内阻分得的电压约为 0.85 V , 那么 G 表和电阻箱的并联电阻为 0.45Ω , 电阻箱的电阻约为 0.45Ω , 而照片中的学生用电阻箱最小挡位是 1Ω , 不能调到零点几欧, 因此不符合实际情况.

(4) 如图8(c)把 G 表和变阻箱并联, 改装成较大量程的电流表, 再把滑动变阻器作为定值电阻使用进行串联, 显然学生没有搞清楚滑动变阻器的工作原理, 也无法测出电池的电动势和内阻.

作原理, 也无法测出电池的电动势和内阻.

(5) 还出现的一些常见错误, 如学生对滑动变阻器、电阻箱电路符号不会画; 电路原理图上没有加开关; 没有弄清题意, 如电路图中出现多个相同用电器; 题中出现了没有给的用电器; 将 G 表画成安培表等.

从这些常见错误可以发现学生在电学实验中存在的问题: 基本的实验操作能力比较弱, 可能只做了黑板上的实验; 没有深度理解和掌握实验原理; 缺乏科学探究的思维, 不会灵活迁移, 见到“新面孔”发懵. 如何解决这个问题呢? 首先要向“基础”学方法. 实验方法一般源于最基本的实验原理, 电学实验

原理是求解实验题的出发点和依据,本实验设计原理立足于教材中的3种基本思路:1)伏安法如图9(a)所示,其闭合电路欧姆定律表达式 $E=U+Ir$,测出两组 U 和 I 就能算出 E 和 r 。2)伏阻法如图

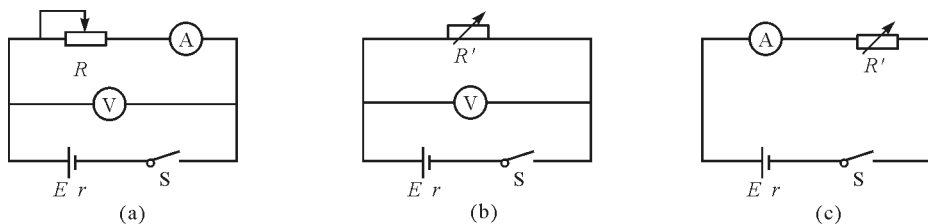


图9 教材中的3种基本实验电路图

再向“创新”要成绩.本实验设计方案源于教材但不拘泥于教材,将3个基本方案与题目中问题信息相互作用,利用题中已有信息,得出2种合理的方案.“伏安法”需要合适量程的电压表和安培表,已给的G表的量程为3 mA可以并联一个电阻箱,阻值约为 $1\ \Omega$,改装成量程为0.6 A的电流表,如图10(a)所示.“伏阻法”可以根据教材基本电路图用变阻箱和电压表来测电源的电动势和内阻如图9(b)所示,类比伏阻法,图10中(b)、(c)、(d)也可以测量.那么此题能否用变阻箱和电流表利用“安阻

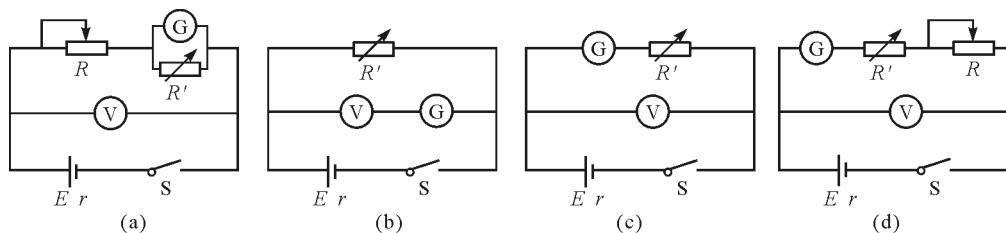


图10 其他可行的电路图

顺应教育发展的高中物理教育应以发展学生的核心素养为目标^[6],我们的高考实验试题应紧随社会发展,顺应时代变化,指导教师结合学科核心素养要求开展科学探究活动。(1)坚持物理概念、规律与方法的深度学习,理解知识的本质,建构知识的意义,形成科学探究的基本素养。(2)把实验活动的思想、方法转化为学生的认识能力和思维方式。(3)通过对探究性实验和设计性实验的考查,使教师的物理教学过程成为学生科学探究能力的形成过程,使学生学会方法迁移,加强对知识的感悟,精心培养学生的探究能力和高阶思维能力,最终提升学生的物理素养。

参考文献

1 《浙江考试》编辑部.物理试题[J].浙江考试,2021(01):

9(b)所示,其闭合电路欧姆定律表达式 $E=U+\frac{U}{R}r$,测出两组 I 和 R 就能算出 E 和 r 。3)安阻法如图9(c)所示,测出两组 U 和 R 就能算出 E 和 r ^[5]。

法”来测定呢?从误差角度来看,电学实验的电路设计方案需要考虑测量结果的精确度,“安阻法”可以准确测定电动势,但测得的内阻 $r_{测}$ 实际为电源内阻 $r_{真}$ 和安培表内阻 r_g 之和,而安培表内阻为 $200\ \Omega$,那么 $r_{真}=r_{测}-r_g=r_{测}-200$,实验中由于仪器、读数、数据处理方式等引起的误差会全部降落在电源内阻上,加之电源内阻比较小,有可能为负值,此方法测量电源内阻误差可能会比较大,所以此题的电路图用伏安法、伏阻法比较合适.学生如能对3种基本电路图原理清楚,必能灵活迁移。

21~23

- 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2[M].北京:人民教育出版社,2010
- 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3-2[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.普通高中课程标准实验教科书物理·必修1[M].北京:人民教育出版社,2010
- 5 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3-1[M].北京:人民教育出版社,2010
- 6 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,2018.51~53