

物理核心素养的试题命制与评价策略研究

——以科学探究评价为例

蒋炜波 (清华大学附属中学 北京 100084)

赵 坚 (昆明市五华区基础教育科学研究中心 云南 650031)

摘要 以科学探究为例,如何命制试题评价学生的科学探究能力?又如何对所命制的试题进行评价?结合科学探究的能力层次要求,在实践中总结了可以借鉴的试题命制与评价的方法策略。

关键词 科学探究 试题评价

文章编号 1002-0748(2020)4-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

1 科学探究

科学探究是指基于观察和实验提出物理问题、形成猜想和假设、设计试验与制定方案、获取和处理信息、基于证据得出结论并作出解释,以及对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思的能力^[1]。物理学建立在实验的基础上,实验奠定了物理学的实证基础,基于实验的科学探究是当代物理教育的核心实践活动,是发展学生物理学科核心素养的重要途径。

经过物理学习以后,学生的科学探究能力究竟发展到了什么程度?这就需要进行相应的检测评价。

2 科学探究的试题评价

《普通高中物理课程标准(2017年版)》(以下简称“课标”)对科学探究发展水平进行了5个水平等级划分,其中水平1代表入门等级,水平2代表毕业合格性等级,水平3介于合格性等级和高考选拔要求之间,水平4代表高考选拔性等级,水平5代表中学阶段的最高等级^[1]。

不同的水平等级阶段所要求的科学探究能力有所不同,每一个水平层次都在提出问题、猜想假设、设计方案、获取证据、处理信息、得出结论、交流讨论等方面提出了明确要求。鉴于试题评价仍然是当前最为重要的评价方式,那么我们可以设计不同类型的试题来完成对学生科学探究的水平等级评价。

不过在实际操作中,课标水平等级内的很多内容并没有办法通过试题的形式进行测评,它们更适合在教学中进行过程性评价。比如提出可探究的科

学问题一项,虽然5个水平层次都提出了相应的要求,但命题的时候基本上不涉及到。再比如交流讨论一项,命题的时候也不会涉及到。

试题命制的时候往往将科学探究的考查集中在实验题部分,主要针对科学探究中的问题、证据、解释和交流展开^[2]。关于科学探究的试题评价,高中物理的命题或碍于试卷篇幅,或碍于答题时间,因此一直相对涉及较少。

高中物理中科学探究常见的评价策略有对实验方案进行评价,包括补充设计方案、实验原理选择、实验仪器选择等等。同时还可以对实验评估进行考查,比如提出疑问、发现实验的不足、方案改进以及误差分析等等。此外还可以单纯地考查学生的实验数据信息处理能力,比如表格数据分析、图象数据处理等等。

2.1 从实验方案进行科学探究评价

实验方案是科学探究的重要环节,课标中的水平1层级不要求实验方案,水平2层级要求能根据已有方案完成实验,水平3要求能在帮助下制定实验方案且使用基本器材即可,水平4要求独立制定方案且选用合适的器材,水平5要求独立制定有创造性的实验方案且灵活地选择器材。

在高中阶段的命题实践中,水平1和水平2不涉及实验方案的制定和器材的选择,故而无法考查。水平3的考查主要以让学生补充步骤以完成实验的方式进行。水平4和水平5的考查一般要避免大量的文字表述,可以在实验器材上要求学生选择,此外水平5还应该包含学生对实验方案的评估和选择。

(1) 命题策略

高中阶段的实验方案的命题主要以实验方案的补充完善为主,包括操作步骤补充、实验仪器选择和实验方案的评估选择等。此外也可以要求学生制定方案,可以创设新的情境进行考查,比如用 A 实验的方案让学生完成 B 实验,甚至用全新的实验方案让学生完成实验等等。

(2) 对所命题的评价

对比课标水平要求可以发现,单纯的补充实验步骤的命题属于水平 3 等级评价,实验仪器的选择和实验方案的制定一般属于水平 4 等级评价,若涉及到实验方案的评估选择,或者较为创新的情景,则应属于水平 5 等级评价。

(3) 实例展示

例题 1 一多用电表的电阻挡有三个倍率,分别是 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 。用 $\times 10$ 挡测量某电阻时,操作步骤正确,发现表头指针偏转角度很小,为了较准确地进行测量,应换到_____挡。如果换挡后立即用表笔连接待测电阻进行读数,那么缺少的步骤是_____,若补上该步骤后测量,表盘的示数如图 1 所示,则该电阻的阻值是_____ Ω 。在“描绘小电珠的伏安特性曲线”实验中,所用器材有:小电珠(2.5 V 0.6 W)。粗测小电珠的电阻,应选择多用电表_____倍率的电阻挡(选填“ $\times 1$ ”“ $\times 10$ ”或“ $\times 100$ ”)。

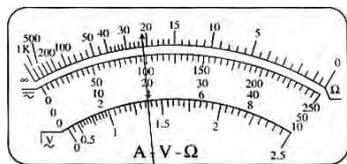


图 1

这是一个考查学生补充实验方案的命题,属于水平 3 等级评价。一般而言这种水平的命题更强调实验的基本操作,突出实验基本步骤和实验仪器的基本特点考查。

例题 2 组装单摆时,应在下列器材中选用_____ (选填选项前的字母)。

- (A) 长度为 1 m 左右的细线
- (B) 长度为 30 cm 左右的细线
- (C) 直径为 1.8 cm 的塑料球
- (D) 直径为 1.8 cm 的铁球

这是典型的对实验仪器选择的命题,属于水平 4 等级评价。仪器的选择是一项很综合的能力,以简单易行而又精确可靠为选择标准,尤其是从减小实验误差角度进行的仪器选择更容易考查出学生的思维推理和科学探究能力。

例题 3 如图 2 所示,用实验室提供的器材设计一个测量电流表内阻的电路。实验室提供的器材为:待测电流表 A(量程 10 mA,内阻约为 50 Ω),滑动变阻器 R_1 ,电阻箱 R ,电源 E (电动势约为 6 V,内阻可忽略),开关 S_1 和 S_2 ,导线若干。

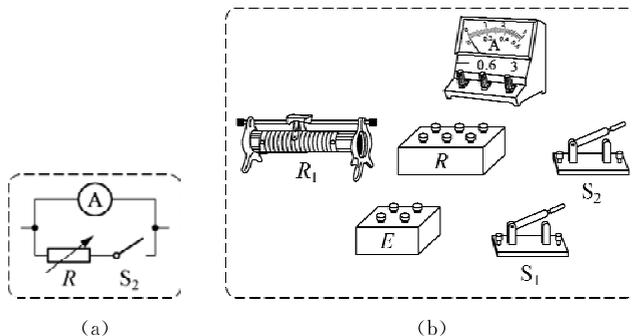


图 2

(1) 根据实验室提供的器材,在图 2(a)所示虚线框内将电路原理图补充完整,要求滑动变阻器起限流作用;

(2) 将图 2(b)中的实物按设计的原理图连线;

(3) 若实验提供的滑动变阻器有两种规格:①10 Ω ,额定电流 2 A;②1 500 Ω ,额定电流 0.5 A。实验中应该取_____。(填“①”或“②”)

这也是典型的对实验仪器选择的命题,属于水平 4 等级评价。电学实验仪器的选择比力学实验仪器选择更为复杂一些,需要综合考虑的因素较多,比如电表量程、仪器电流电压的限制、滑动变阻器是否便于完成实验、实验精度的考虑等等。在考查评价科学探究的同时,也可以很好地考查学生处理多种信息的科学思维能力。

例题 4 用以下器材测量一待测电阻 R_x 的阻值(900 $\Omega \sim 1\ 000\ \Omega$):

- 电源 E ,具有一定内阻,电动势约为 9.0 V;
- 电压表 V_1 ,量程为 1.5 V,内阻 $r_1 = 750\ \Omega$;
- 电压表 V_2 ,量程为 5 V,内阻 $r_2 = 2\ 500\ \Omega$;
- 滑动变阻器 R ,最大阻值约为 100 Ω ;
- 单刀单掷开关 S ,导线若干。

测量中要求电压表的读数不小于其量程的 $\frac{1}{3}$,

试画出测量电阻 R_x 的一种实验电路原理图(原理图中的元件要用题图中相应的英文字母标注)。

这是一道需要学生依据所给器材情况整体设计实验方案的命题。与通常“伏安法”相比,题中显然缺少电流表,这就需要学生利用题中电压表内阻已经明确的条件,通过电压表内阻和对应的电压表显

示数来计算得到电流值。这道题情景较为创新,属于水平 5 等级评价。一般而言电学实验题较为适合用来从实验方案的设计进行科学探究评价,可以通过画电路图的方式让学生制定和选择实验方案,从而进行水平 4 和水平 5 等级评价,此时电路图表达的简洁性被很好地发挥了出来。

(4) 小结

虽然真实的实验方案文字量很大,但高中阶段的实验方案的命题考查却要注意尽可能避免大量的文字表述,这既包括命制的试题本身的文字量,也包括学生作答的文字量。这主要受限于试卷篇幅、答题时间和高中物理的自身特点,所以要在尽可能精简的前提下完成命题评价。

2.2 从数据信息处理进行科学探究评价

科学探究最终都会收集到实验数据,只有通过实验数据的分析,才能得出探究结论,解决物理问题。因此,对学生的实验数据信息的处理分析能力的评价,是科学探究试题评价不可缺少的一部分。

课标中的水平 1 层级要求能用简单仪器收集数据并初步处理,水平 2 层级要求使用基本器材收集数据并对数据整理得出初步结论,水平 3 要求在水平 2 的基础上能得出完整结论并可以作出解释,水平 4 和水平 5 的要求相近,熟练掌握各种数据分析方式并得出结论。

(1) 命题策略

第一种命题方式可以直接呈现最基本仪器并要求学生读数即可,针对水平 1 等级评价。第二种命题方式可以要求较为复杂的仪器读数,并且能够利用数据进行简单计算处理,针对水平 2 等级评价。第三种命题方式可以要求简单的误差分析,包括错误数据的处理等等,并且能够利用数据进行分析解释,针对水平 3 等级评价。第四种命题方式侧重数据处理的方式考察,包括复杂的误差分析,针对水平 4 和水平 5 等级评价。

(2) 对所命试题的评价

上述命题方式的试题特征鲜明,区别明显,容易进行水平等级判断。一般水平 1 和水平 2 的试题主要以直接读数的方式出现,而水平 3 的试题已经出现误差分析和利用数据分析,水平 4 和水平 5 的试题则是最高层级的数据信息处理要求,包括各种各样的数据处理方式。

(3) 实例展示

例题 5 测额定电压为 2.5 V 的小灯泡灯丝的电阻时,得到的电表示数如图 3 所示,则电压表的示

数是 _____ V, 电流表的示数是 _____ A。

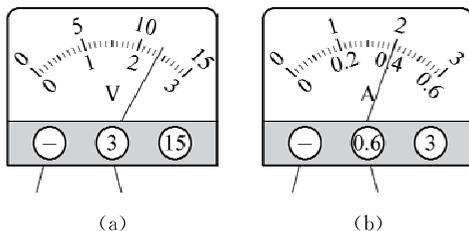


图 3

这是一道直接读数的命题,属于水平 1 等级评价。类似的仪器读数还有刻度尺、停表等,均只需要读数,不涉及到复杂仪器和计算,特征非常鲜明。

例题 6 某同学利用螺旋测微器测量一金属板的厚度。该螺旋测微器校零时的示数如图 4(a) 所示,测量金属板厚度时的示数如图 4(b) 所示。图 4(a) 所示读数为 _____ mm, 图 4(b) 所示读数为 _____ mm, 所测金属板的厚度为 _____ mm。

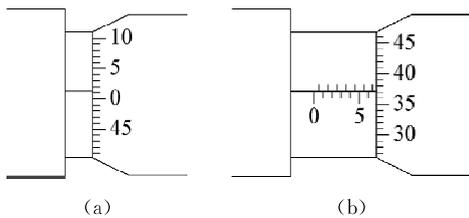


图 4

这一道读数的命题涉及到了较为复杂的仪器,而且还包含了读数和运算,属于水平 2 等级评价。类似的读数仪器还有游标卡尺、万用表、打点计时器等,读数的同时往往伴随着运算。

例题 7 如图 5 所示的电路中,电源电动势为 6 V。当开关 S 接通后,灯泡 L₁ 和 L₂ 都不亮,用多用电表电压挡测得各部分电压是 U_{ab} = 6 V, U_{cd} = 0, U_{bc} = 6 V, 下

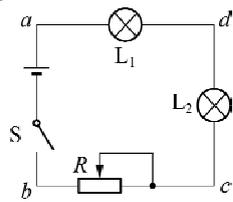


图 5

列关于电路的情形分析中可能的是 ()

- (A) L₁ 和 L₂ 的灯丝都烧断了
- (B) L₁ 的灯丝烧断了
- (C) L₂ 的灯丝烧断了
- (D) 滑动变阻器 R 断路

这道题考查学生通过实验数据分析电路故障。电源电压为 6 V, 而 a、b 间电压为 6 V, 表明 a、b 分别与电源的正极和负极连通, 而 c、d 间电压也为 6 V, 表明 c、d 也分别与电源的正极和负极连通。这样选项 A、B、D 都已经不可能了, 于是只可能是

C 选项的 L_2 断路。这道题已经涉及到了数据的分析利用,需要学生在数据的基础上作出分析和判断,属于水平 3 等级评价。

例题 8 用伏安法测金属丝的电阻 R_x 。实验所用器材为:电池组(电动势为 3 V,内阻约 1Ω)、电流表(内阻约 0.1Ω)、电压表(内阻约 $3 \text{ k}\Omega$)、滑动变阻器 R ($0 \sim 20 \Omega$,额定电流 2 A)、开关、导线若干。某小组同学利用以上器材正确连接好电路,进行实验测量,记录数据如表 1 所示。

表 1

| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U/V | 0.10 | 0.30 | 0.70 | 1.00 | 1.50 | 1.70 | 2.30 |
| I/A | 0.020 | 0.060 | 0.160 | 0.220 | 0.340 | 0.460 | 0.520 |

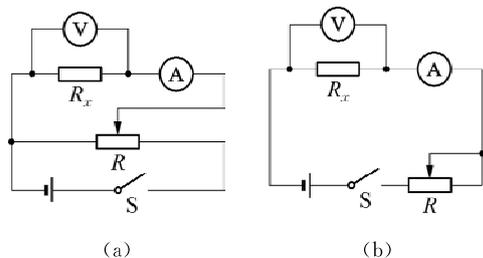


图 6

由表 1 数据可知,他们测量 R_x 是采用图 6 中的 _____ 图[选填“(a)”或“(b)”]。

例题 9 某研究性学习小组利用如图 7(a) 所示电路测量电池组的电动势 E 和内阻 r 。根据实验数据绘出如图 7(b) 所示的 $R - \frac{1}{I}$ 图线,其中 R 为电阻箱读数, I 为电流表读数,由此可以得到 $E =$ _____, $r =$ _____。

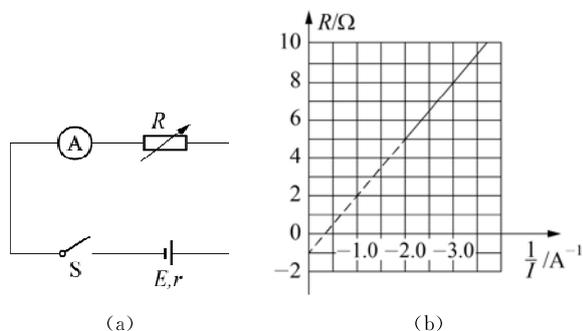


图 7

例题 8 也需要利用数据作出分析判断,不同的是数据的呈现方式以及电路图的选择要求学生有更高的数据分析能力,属于水平 4 等级评价。例题 9

利用图象法分析数据求解出电源电动势和内阻,而且使用的并不是常规的伏安法,图象中涉及化曲为直的思想,即绘制了 $R - \frac{1}{I}$ 图,属于水平 5 等级评价。

(4) 小结

实验数据处理是实验题的常见命题方式,其不但涉及基本的数据获取和分析,往往还涉及更深层次的科学推理论证,是比较综合的一种科学探究的评价方式,考查实验数据信息处理能力是科学探究评价的重要策略。

2.3 从实验评估进行科学探究评价

实验评估是指对科学探究的各个环节进行评判,是科学探究中不可或缺的部分,经过评估可改进实验中存在的问题和不足,以便得到好的实验结果。

实验评估在课标的水平等级中没有直接呈现,但是却体现了相应的等级要求。水平 1 层级和水平 2 层级均不要求学生进行实验评估,水平 3、水平 4 和水平 5 层级均要求实验评估,而且水平 4 和水平 5 的要求相同。

(1) 命题策略

第一种命题方式可以让学生对实验操作和过程进行评价,比如是否存在错误的操作、有无不必要的操作等,也可让学生提出需改进建议。可用于水平 3 等级评价。

第二种命题方式可以让学生分析实验的误差,包括误差的判断、误差的减小、利用误差进行仪器和方案的选择等。可用于水平 4 和水平 5 等级评价。

(2) 对所命试题的评价

这两种命题方式得到的试题差别很大,可通过是否涉及误差分析来判断试题是属于哪一水平等级的评价。要注意的是水平 4 和水平 5 的等级评价试题与之前从实验方案进行科学探究评价的试题会略有重叠。

(3) 实例展示

例题 10 在下列测定金属丝的电阻率的实验中,小明已经完成了金属丝的直径测量,在他接下来的几个实验步骤中,错误的是 ()

① 先测出金属丝的长度,再将金属丝两端固定在接线柱上悬空拉直

② 根据待测金属丝的大概阻值,选择仪器和电路

③ 连接电路时,应先断开开关,并将滑动变阻器连入电路的阻值调至最大

④ 不断改变滑动变阻器连入电路中的电阻值以改变通过金属丝的电流,测量多组数据

⑤ 将记录的数据填入设计的表格内,计算出电流和电压的平均值,再求出电阻

(A) ①② (B) ②④ (C) ②⑤ (D) ①⑤

这是一道实验过程评估题,要求学生头脑中对“测定金属丝电阻率”的实验过程非常熟悉,对实验的操作非常规范,对数据的处理非常到位,然后才能评估出步骤中的错误和不足。属于水平 3 等级评价。

例题 11 有一待测电阻 R_x , 无法估计其粗略值, 某同学按如图 8 所示电路进行测量。闭合开关 S_0 后, 当开关 S 接到 a 时, 测得的数据是 2.9 V、4.0 mA; 当开关 S 接到 b 时, 测得的数据是 3.0 V、3.0 mA。由此可知, 开关 S 接到_____时测量的电阻值误差较小, 测量值 $R_x =$ _____。

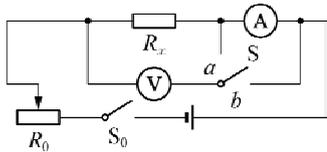


图 8

例题 12 如图 9 所示, 测定玻璃折射率的实验中, 如果所用的玻璃砖 $ABCD$ 的上表面 AB 和下表面 CD 不严格平行 (AD 略大于 BC), 下列说法中正确的是 ()

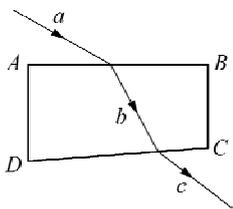


图 9

(A) 用此玻璃砖做实验, 画出的折射光线 c 和相应的入射光线 a 不再平行, 因此对实验结果产生系统误差

(B) 用此玻璃砖做实验, 画出的折射光线 c 和相应的入射光线 a 不再平行, 但不会对实验结果产生影响

(C) 射出光线 c 相对于入射光线 a 有顺时针方向的微小偏转

(上接第 16 页)

结论和解题方法为中心的知识体系, 便于学生理解和记忆。基于核心素养的视角对于物理教学主要有以下启示:

(1) 善于归纳总结, 建构物理模型, 做到“多题归一”;

(2) 鼓励发散思维, 从“多题归一”走向“一题多解”和“一题多变”, 注重思维品质的灵活性;

(D) 射出光线 c 相对于入射光线 a 有逆时针方向的微小偏转

例题 11 和例题 12 均属于误差分析的命题, 包括误差大小的判断以及是否存在误差的分析, 两道题均属于水平 4 和水平 5 等级评价。

(4) 小结

通过实验评估对科学探究进行评价, 要注意难度的把握, 由于不涉及水平 1 和水平 2 层级, 因此所命试题的难度一般都比较大, 并不适合在一套试卷中大量出现。此外对于误差分析, 也要注意难度把控, 高中阶段并不要求过高的误差精度分析, 因此把课标要求的学生实验误差考查评价到位即可。

3 结束语

物理学科核心素养的培养, 是建立在真实的物理情景基础之上的, 在教学的时候是如此, 在评价的时候亦是如此。因此对于科学探究的评价, 不管是哪一种命题策略, 都需要注意必须给学生创设真实的物理实验情景。

如果评价的时候是使用教学中的物理情景, 那么最好能够有一定的创新, 比如从教学实验的情境中衍生出一些类似的可用于对学生进行评价的情景, 抑或是在某一个教学实验情景的某一点进行挖掘。切不可仅仅是反复考查教学中的演示实验或学生实验, 这容易给学生形成固化的思维定式。

实验考查也要有创新点, 比如单摆测量重力加速度的实验中, 是否必须测量摆球的直径。如果利用图象处理数据的话, g 只体现在 $T^2 - L$ 图象的斜率之中, 而摆球的直径或者半径则体现在 $T^2 - L$ 图象的截距之中, 如果只为了测量 g 则自然就不需要测量摆球的直径了。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 郭玉英, 苏明义. 新版课程标准解析与教学指导(高中物理)[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2018.

(3) 注重知识的整合与发展, 强化科学思维体系。

参考文献

- [1] 程稼夫. 中学奥林匹克竞赛物理教程·力学篇[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2013: 54—20.
- [2] 杨榕楠. 更高更妙的物理·高考高分与自主招生决胜篇[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2017: 44—46.