



英国奥林匹克物理竞赛实验操作 试题特色分析

肖婵娟 陈航燕 袁海泉

(苏州大学物理科学与技术学院 江苏 苏州 215006)

(收稿日期:2022-05-03)

摘要:实验是中学物理教学的重要组成部分,而实验操作能力则是物理实验能力的核心内容.以 IGCSE 考试物理课程标准为依据,分析英国物理奥林匹克竞赛实验操作项目,发现试题具有实验内容与知识背景依赖程度低、实验背景引入内容丰富多样、学生安全意识导向明确、实验报告要求具体充实、重视科学态度要求 5 个方面的特色.据此提出对我国实验操作试题的命题启示.

关键词:英国奥林匹克物理竞赛 物理实验操作 试题特色分析

倍受关注的英国奥林匹克物理竞赛(British Physics Olympiad,简称 BPhO)是为 10~13 年级(即 14~17 岁)的中学生提供的不同级别的竞赛.实验项目竞赛(experimental project)于 2007 年引入 BPhO,分为两个组别:A 组,针对 12~13 年级的学生;G 组,针对 10~11 年级的学生.该竞赛是一种开放式考试,学生可以选择在校内或家中完成,旨在通过引导学生进行实验研究、积累实践经验,让学生亲身体验实验研究是如何实施的,包括计划、着手实施开放实验、独立研究、团队合作等.

IGCSE 考试作为面向 14~16 岁国际普通中等教育认证考试,是全球最流行的国际课程体系之一.参加 BPhO 实验项目竞赛的学生,通常为 IGCSE 课程在读或已完成该课程的学习.笔者查阅了 IGCSE 考试物理课程标准中关于实验技能的要求如下:(1)了解如何应用技术、装置、材料完成实验;(2)观察实验记录结果和数据;(3)解释实验结果,评估实验数据;(4)制定、评估实验计划和方案,并给出提高实验精度的优化建议^[1].

因此,笔者选取了近 9 年 BPhO 实验项目试题为代表^[2],以 IGCSE 考试物理课程标准为依据,分析英国物理奥林匹克竞赛实验操作试题的命题特

色,从而提出对国内实验操作试题命题的建议.

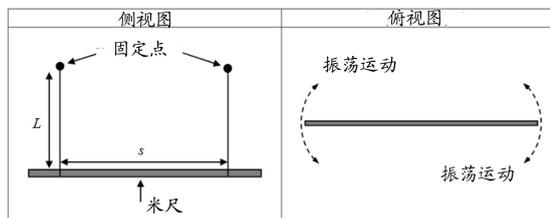
1 实验内容与知识背景依赖程度低

实验所需的物理知识内容与实验技能训练和考查的关系,在不同教育体制和学生学习的不同时段有不同的处理方法.具备了相关的物理知识基础再去做有关的实验是我国基础教育阶段的一贯做法.

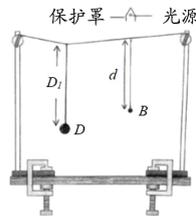
然而,英国物理奥林匹克实验项目虽然分为年级不同的 A 和 G 两组,但是两组同学使用的竞赛题为同一套试题.竞赛题表现出了实验内容与知识背景依赖程度低的特点,具体表现在以下几个方面.

1.1 试题内容大多超出已有知识框架体系

通过对 9 套 BPhO 试题分析发现,考查频次相对较高的内容是振荡,共考查了 3 次,分别是双线摆[图 1(a)]、共振[图 1(b)]和复摆.其他考查内容包括比热容、杨氏模量、碰撞、刚体运动、弹簧运动和等厚干涉.其中对于 G 组同学来说,杨氏模量、复摆、振荡、刚体运动、等厚干涉均为未学习过的物理知识;对于 A 组同学来说,振荡中的复摆和双线摆、刚体运动和等厚干涉均为未学习过的知识.可见 BPhO 的实验考试内容,对学生的物理知识背景依赖程度低.



(a) 2019年双线摆实验示意图



(b) 2015年共振实验示意图

图1 BPhO实验项目示意图

1.2 与常见的生活经验相关联引入新的考查内容

针对学生未知的知识点,试卷从定义、原理推演、生活情境关联、参考示意图、实验内容解读等多角度拓展学生的知识,呈现试题涉及的物理概念,通过解释物理原理使学生构建起与实验模型有关的物理概念,学生通过实验学习新的物理知识,打破了建立在已知知识框架体系下对实验能力考查的限制。

以2013年木制米尺的弹性特性实验项目为例,项目示意图如图2所示。

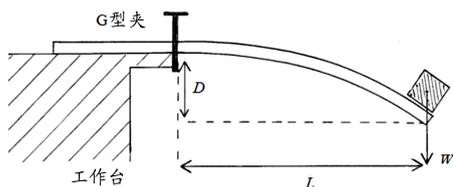


图2 2013年木制米尺的弹性特性实验项目示意图

项目导言的描述中,首先对弹性材料进行介绍,给出了弹簧、橡皮筋等生活中常见的弹性材料,构建“弹性”这一概念。借助常见材料降低陌生知识带来的恐惧感。再打破传统弹性材料的框架,引入木材、钢筋混凝土的弹性特性进行解释说明,进而给出杨氏模量的概念,详细介绍测量木头的杨氏模量的方式。为了帮助理解杨氏模量在生活中的应用,进行了如下描述:“如果圆盘旋转得非常快,它就能储存动能,这常应用于巴士。当巴士减速时,动能转化为飞轮的旋转能量。在离开车站时飞轮的能量被用来加速巴士。这些飞轮是由复合轻量化材料制成,杨氏模量是设计这种飞轮的一个重要因素。”紧接着,试题省略公式推演,直接给出公式,将重点放在介绍测量木质米尺弹性特性的实验器材、安全说明、实验报告内容以及实验报告要求。通过完整的实验项目介绍,将要求测量的物理量概念,及其与日常生活经验的关联,十分明晰地呈现于学生面前,起到了现学现用

的作用;实验仪器、实验流程及安全注意事项的描述,为学生搭建了初步的实验流程框架,使得考查着重于体现完整操作流程及实验结果可靠性评估的实验报告中。试题中虽然对于杨氏模量的知识建构严谨性不足,但是在该实验中并不影响数据的测量和图表绘制。

1.3 完整呈现实验内容 省略复杂公式推演步骤

为了摆脱原有知识框架的限制,试题完整呈现了实验内容。2013年木制米尺弹性特性实验中,给出了详细的描述,以引导学生从静态及动态两个方面,呈现木制米尺的弹性特性。其中,实验一的静态形变测量步骤介绍如下:“将木制米尺夹在工作台上,使它悬在工作台的边缘,一端用G型夹固定在工作台的边缘,如图2(从工作台下面拧紧G型夹,以免将螺丝的一端磨进尺子)。借助卡纸等方法,将木块固定到末端。其中L是从工作台边缘到通过重心的垂线的水平距离,D是尺的末端到水平位置的垂直位移,测量L和D,注意不要超过米尺的弹性极限。绘制D和L的图形,并获得最佳的直线拟合。假设

$$D = \frac{WL^3}{3IE} \quad (1)$$

其中

$$I = \frac{4}{3}ab^3 \quad (2)$$

E是木尺的杨氏模量,求出E的值。”该实验的完整内容省略了复杂的原理推演,明确指出所需要测量的物理量,并将杨氏模量的数值计算公式呈现出来。

实验二为测量木制米尺动态属性,描述如下:“与实验一相同安排,测量D和L值的范围及重物的振荡周期T(一个振荡周期是指重物上升和下降所花费的时间),假设

$$T = kL^\alpha \quad (3)$$

其中 k 和 α 是常量,绘制一个合适的图来确定 k 和 α 的值。”通过描述,学生能够清晰地了解实验中所需要测量的物理量,需计算的物理量及其呈现的方式。

1.4 试题考查方式不以验证已知实验结果为导向注重探究过程

BPhO 考试试题的呈现也很符合科学家进行物理科学研究的过程. 试题从科学家发现解决问题、思考和分析发现的过程来考查学生. 以具体的实验项目作为考查学生科学思维发展的载体,通过一小段文字的阅读使学生领悟知识点,学生需要对知识点进行拓展,从而得出相应的结论和发现,符合学生的认知发展过程.

以 2019 年双线摆项目为例,双线摆为学生未学过的内容,该项目借助苏格兰爱丁堡皇家天文台利用双线摆预测了一场海上地震的例子引出了测量双线摆周期的实验,介绍了双线摆的结构组成. 由于水平横梁是可以调节变化的,因此该实验不存在统一的“正确”答案,其目的并非验证某个已知的结论,而是更加注重考查实验结果的探究发现过程.

2 实验引入内容丰富多样

BPhO 实验操作题目的引入内容丰富多样,给学生创设了良好的情境,从生活、现代科技或者对于某些问题的研究角度着手,引出实验项目主题. 从学习心理学的角度看,在解决实际问题时,要经历两个迁移过程:知识迁移、能力迁移^[3]. 学生通过阅读引入部分文字将其对物理学的知识以及思维能力迁移到具体的试题情境中.

例如 2014 年的重力辅助弹弓实验项目中,试题描述的是五十多年前,太空旅行完全由火箭燃料推进剂的数量和功率决定. 然而,美国实验室通过“重力辅助弹弓机动”使航天器通过行星时,速度可以大幅提高. 在飞行过程中,行星和航天器系统的能量和动量守恒. 在这两个物体的相对速度范围内,行星将损失极小部分的能量,而宇宙飞船将获得这种能量,大大增加其能量和速度.

弹弓效应后来被用于太空任务. 最早始于旅行者 2 号的外行星任务,飞船飞越了木星等星球. 在每次飞越中,由于弹弓效应,它的速度明显地增加了. 在 12 年的时间里到达了海王星,如果没有弹弓效应的引力帮助,这段旅程将花费 30 多年的时间. 而对于水星和金星这两颗内行星的任务来说,要减慢航

天器的速度,否则就会被太阳的引力场加速. 在这种情况下,可以用弹弓效应来降低航天器的速度,行星从宇宙飞船获得能量.

在此题中,从现代的科技角度出发,描述弹弓效应在航天技术方面的应用,丰富了学生对于现代科学技术的了解,提高学生的兴趣,进而提升学生对实验项目的投入程度. 而国内目前的题目引入部分简短,有部分生活实例,但是缺少对学生兴趣的激发,缺少递进式的衔接,很难调动起学生深入研究的实验动机.

3 对学生安全意识导向明确

BPhO 实验操作题目十分关注实验安全,不仅是实验室安全部分,还包括具体的实验程序涉及的安全细节. 试题中针对不同项目给出明确的操作指示,同时规定实验报告必须包括提高实验安全的措施. 实验过程中,学生可以与教师讨论自己的想法,教师要给出必要的安全预防措施建议.

例如 2012 年比热容实验项目中,对于实验安全的要求包括:

(1) 通过与老师讨论你的方法,获得安全预防措施方面的建议;

(2) 不要把烧杯的热水放在长凳上以免打翻它(被烫伤);

(3) 应避免使用蒸汽或者在火焰中加热金属;

(4) 不要敲打大块的砖头,建议老师提供一些砖头碎片(敲打大块砖头时碎片可能会飞溅出来,建议佩戴护目镜);

(5) 当进行实验时必须意识到安全措施,你的报告也应该包括具体的安全参考.

题目中对于实验的安全要求可以说是非常的细致明确,对于可能发生的危险都有具体的提示,要求学生在做实验时处处牢记实验安全.

4 实验报告要求具体充实

实验报告是实验项目考核的主要依据,试题中对报告内容的要求包括物理量测量及其分析,即实验过程描述、提高准确性和安全性的措施、测量表、对误差的估计、结果计算、对准确度和结果的结论性讨论和实验装置照片. 学生可以根据自己的合理分析给出影响实验结果的猜想,具有更多的包容性和创新空间.

例如2018年肥皂膜项目中,报告内容需要包括:

- (1) 对实验过程的简明描述,包括图表和照片.
- (2) 对观察到的现象进行简要描述.
- (3) 描述对于提高准确性或减少不确定性的措施,以及实验中对操作过程的修改.
- (4) 为安全而采取的预防措施.
- (5) 不确定度和准确性估计.

这一部分试题主观性较强,根据具体的要求,学生可以进行合理分析,给出各种可能的猜想和合理化的结论,给了学生更多的思考空间.再看试题中的报告指导部分,这部分针对实验报告的要求进行补充,学生需要对报告中展现的内容进行具体详细的说明.

以2020年复摆项目为例,实验报告的细节要求呈现内容如下:

(1) 所提交报告页数不超过12页,需简单扼要地描述实验进程和得出结果的方式,说明实验中的发现和结果.在扉页写上标题、日期、姓名和学校名字,并在页脚写上姓名和页码.允许提交电子版或者手写版.

(2) 必须附上实验计划,以便他人能根据计划重复实验.写下其他的观点,比如使用的特殊仪器、采取的预防措施、对减少测量不确定度的想法、有测量困难的物理量及原因.无需写大段文字,仅需对每个好的想法做简短描述.

(3) 如果觉得结果不对,也不要把它们删除,但需指出它们可能存在的问题.目的是表明你已经对这个设备进行了研究和实验,让读者知道你在做什么.实验可能会出错,但需要展示你如何克服挫折得出正确答案的.如果删除了你认为不对的所有内容,读者可能会看到一个很好的最终结果表,但他们不知道你为得到这些结果付出了多少调查及努力.

试题中实验报告的要求占据较大篇幅,通过实验内容要求和报告指导两部分对实验报告进行规范,通过具体详细的要求,让学生明确实验报告应该包含的内容,做到有的放矢地总结整个实验.

5 重视科学态度要求

在BPhO实验操作考试中除了重视学生的实验技能,还通过对实验过程和报告的要求,有目的地对学生多方面的科学态度提出要求.

一方面,科学态度不是自然形成的,许多科学态度是由模仿他人行为而获得的^[4].因此,试题中注重强调实验科学家的行为习惯,使学生习得相似性行为.例如在报告指导中描述“学生要保存实验日志簿,用一个A4笔记本,其中页面不能撕掉,本子里粘贴表格、图表、评论和记录你的实验想法.同时帮助记录你的进步,并收集所有的实验信息.所有物理学家都有这样的笔记本.”该部分要求学生模仿物理学家行为,从而养成相似习惯,通过日常实验记录积累实验技能和经验,逐步培养学生的科学态度和实验习惯.

另一方面,科学态度的养成是系统而严谨的,在明确实验目的的基础上,规范实验操作要求,如实记录和分析实验现象,思考总结结论,在整个过程中培养学生实事求是的态度.例如2015年共振实验中要求:“应该对实验过程作全面而简明的描述,以不同形式表明你的想法.报告不需要太长,但要解释清楚实验的进程和结果.描述这两个钟摆是如何随时间移动的,以及它们的摆动是如何相互关联的?”既能让学生从实际出发、尊重事实,又让学生通过认真分析养成科学推理的习惯.

6 启示

在研究BPhO物理实验项目命题特色的基础上得出对实验操作命题的以下启示:

(1) 淡化对知识体系的依赖,降低题目中对于实验原理的考查比例.注重考查对已有信息的运用,培养学生拓展信息的能力.

(2) 注重实验安全意识培养,从细节着手给出详细的实验安全指导,逐步构建起学生的实验安全意识.

(3) 注重良好的科学态度的养成,不过分追求实验结果的正确性.

参考文献

- 1 姜楠,袁海泉.英国IGCSE物理实验笔试特点分析及启示[J].中学物理,2019,37(12):7~9
- 2 Robin Hughes. British Physics Olympiad[EB/OL]. British University of Oxford. <https://www.bpho.org.uk>
- 3 黄红波.物理高考中的试题情境[J].物理教师,2016,37(6):83~85,87
- 4 覃党山.物理实验教学中培养学生科学态度的探讨[C].2014年2月现代教育教学探索学术交流会议论文集,2014.119~120