

发展实验思维能力 促进实验能力提升*

——2009年至2019年高考全国卷Ⅰ物理实验题分析及教学启示

刘睿 桂维玲

(山东师范大学物理与电子科学学院 山东 济南 250014)

(收稿日期:2020-06-15)

摘要:物理实验思维能力是物理实验能力的核心,提升学生的物理实验能力首先要发展学生的物理实验思维能力.通过建构物理实验思维结构并分析近11年来高考物理实验题对学生实验思维结构中思维内容和过程两方面的考查情况,总结出解决高考重点实验问题所需的实验思维材料以及常用的思维方法,为实验教学中提升思维主体要素、全面促进学生实验思维能力的发展提出合理建议.

关键词:高考物理 实验题 实验能力 实验思维能力

物理实验能力是由实验观察能力、操作能力、思维能力3种能力要素构成^[1].高考作为社会公认的考试评价机制,以实验题为载体考查学生的物理实验能力.在以往的试题分析中,研究者们过于关注试题对学生实验观察与操作能力的考查情况,而忽略了对实验思维能力考查情况的分析,体现出对这一能力要素的轻视.实际上,这一能力要素是至关重要的,有着不可忽视的根基作用.物理实验观察需要实验思维的引导与参与才能使观察的结果全面而深刻;物理实验操作如实验仪器的选择与组装都需要实验思维的协助.分析高考对学生实验思维能力的考查情况和特点,可以为实验教学中培养学生实验思维能力、扎实实验能力根基提供有效指导,发挥高考“引导教学”“以考促学”的作用.

1 物理实验思维能力及结构界定

物理实验思维能力是指具有意识的人脑对客观物理实验事物(物理实验对象、过程、现象、事实等)的本质属性、内部规律及相互关系间接的、概括的、

能动的反映能力^[2].要发展学生的实验思维能力首先需明确其结构.美国心理学家吉尔福特认为,智力是由内容、操作和产物构成的三维空间结构^[3].该结构模型虽然比较全面,但未能体现智力的主体因素即人对智力发展的影响.我国心理学家朱智贤认为思维的结构包括思维的目的、过程、材料或结果、思维的监控或自我调节、思维的品质和思维中的认知因素与非认知因素^[4].这样的思维结构分类全面而具体,但存在分类相包含、界限不清晰的情况.例如,思维的目的即人有意识地改造自然或社会,调节自己最终解决问题,其中每一步都是思维的目的,那么思维的自我调节理应是思维的目的之一.再如,思维的目的、品质、思维认知因素与非认知因素都同属思维主体.因此,以上两类关于智力和思维结构的建构各有优劣.在这两种理论的基础上,笔者认为物理实验思维能力是由实验思维的主体、内容、过程所构成的三维空间结构,如图1所示,三方面彼此影响、相互促进.

* 教育部2018年第一批产学合作协同育人项目“校企共建VR物理实验中心的建设”,基金编号:201801267028

作者简介:刘睿(1994-),女,在读硕士研究生,研究方向为课程与教学论(物理).

指导教师:桂维玲(1965-),女,教授,主要从事物理课程与教学论研究.

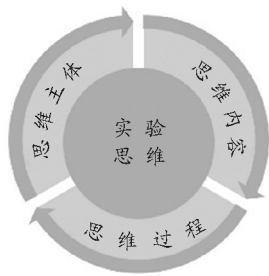


图1 实验思维结构图

实验思维主体要素包括实验思维的目的、品质、实验思维中的认知因素与非认知因素；实验思维内容包括实验思维的材料或结果；实验思维的过程跟随实验进程而展开即运用一系列思维方法（如分析与综合法、等效替代法、比较法、分类法、推理、假设等）发现或明确实验问题、设计实验、获取和处理信息、基于证据得出结论并做出解释的过程。（探究性实验包含猜想与假设过程）。

2 高考物理实验试题分析

笔者通过试题解决路径判断学生经历的思维过

程,解决实验问题所需的思维材料和运用的思维方法.此部分将从实验思维材料和实验思维过程中思维方法的运用两方面进行分析.为了避免分析内容遗漏,笔者选择全国卷 I 近 11 年实验题进行分析统计,将实验题中每空视为 1 小题,共计 100 小题.

2.1 实验思维材料考查情况

实验思维材料即学生在进行和解决实验问题的过程中所运用的感觉、知觉、表象、概念、规律、数据等,前三者属于感性材料,后三者属于理性材料.学生在解决高考实验题时,由于脱离了真实具体的事物,无法获得感知觉,所运用的感性材料为感知经验所形成的表象(感知过但又不在于眼前的物理客体形象的一种影像),而运用的理性材料主要为物理概念、规律(包括物理定律、定理、原理、法则、公式)、数据^[5].因此,针对近 11 年高考全国卷 I 物理实验题,笔者归纳出解决实验题所运用的思维材料,如表 1 所示.

表 1 实验思维材料情况

实验思维材料	感性材料(表象)			理性材料		
	时空表象	图景表象	图形表象	概念	规律	数据
示例	物体做匀变速直线运动(斜面或水平面上)、物体做自由落体运动、物体做圆周运动	在脑海中进行实验(操作实验装置、预测实验现象)、电路图转化为实物图	$R(\Omega) - t(^{\circ}\text{C})$ $I(\text{mA}) - U(\text{V})$ $\frac{1}{I}(\text{A}^{-1}) - R(\Omega)$ $\frac{s}{t}(\text{m/s}) - t(\text{s})$	速度、平均速度、瞬时速度、加速度、位移、周期、频率、功率、内阻、串并联电阻、中值电阻、向心力等	电阻定律、串并联电路规律、闭合电路欧姆定律、欧姆定律、胡克定律、滑动摩擦力公式、匀变速直线运动规律、自由落体运动规律、牛顿第二定律、机械能守恒定律等	计算数据、实验仪器读数、题设数据

高考全国卷 I 物理实验题由 1 道运动学或力学实验题和 1 道电学实验题组成.据表 1 可以看出,解决运动学实验问题,主要运用时空表象,明确运动对象的空间位置随时间变化的情况.力学或电学实验主要运用图景表象,在脑海中呈现实验装置甚至操作实验装置.解决 3 类实验都会运用到的表象为图形表象.理性材料如实验数据可以转化为图形表象,通过分析斜率、截距等图像信息求解未知物理量.理性材料部分,运动学问题需要的概念规律较多,电学实验侧重电路规律,力学实验主要考查动力学相关公式.

2.2 思维方法考查情况

通过分析,近 11 年高考全国卷 I 物理实验题主要考查的思维方法有分析与综合法、比较法、演绎推理法、等效替代法,各方法在题目中的考查情况如图 2 所示(1 道题目可能使用多种方法).可以看出主要考查的思维方法是分析与综合法,演绎推理法与等效替代法考查情况相当,较少考查的是比较法.实验常规操作(如读数、根据题给数据作图)、根据已有公式代入数据计算(如计算瞬时速度、逐差法计算加速度)等都属于使用非思维方法的题目.以下例题皆为主要使用某种方法的典例,以此说明该方法

在高考物理实验题中的考查特点.

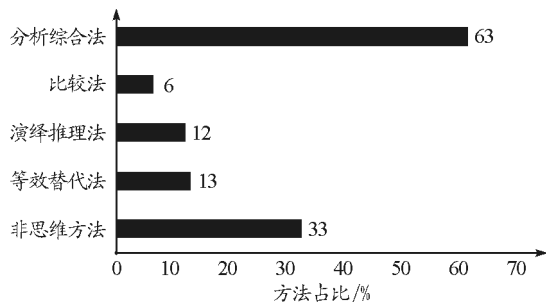


图2 思维方法考查情况

2.2.1 分析与综合法

分析法是指将研究对象剖解为数个部分,考查各部分之间的相互关系与作用,揭示事物本质及内部规律.综合法是指在分析的基础上,从整体把握事物本质与规律.思维方法众多,分析与综合法是最基本的方法,贯穿实验思维过程始终,与其他方法相互交织、相互补充.分析与综合辩证统一,思维总是在分析、综合、再分析、再综合中循环进行.如常用的“控制条件”分析综合法:

【例1】[2019年高考全国卷 I 第23题(3)] 题略.

评析:根据选项可以初步判定问题的根源可能是微安表内阻测量错误或 R 值计算错误.任意假设其中一个电阻值准确,分析另一个电阻在电路中的作用,把握其偏大偏小对所在支路的影响,再结合与其他支路的关系从整体上明确对干路产生的影响,此即控制条件先分析后综合.

2.2.2 比较法

比较法即明确事物之间的区别与共性.在实际实验过程中,细致地比较实验预期与实验现状、实验数据之间的关系与特点,促使观察与分析更加全面、深刻,及时发现实验中存在的问题,调整实验操作或修改实验设计.高考实验题会创设上述情境,以此考查学生的比较思维.

【例2】[2019年高考全国卷 I 第23题(4)] 题略.

评析:由题目中的图(c)可以读出微安表的示数为 $160 \mu\text{A}$,比较标准微安表示数,可知微安表量程被扩大了100倍.微安表量程为 $250 \mu\text{A}$,那么改装后实际新量程应为 25mA .实验预期是将量程扩大80倍,根据并联电路规律则有 $I_g R_g = 79 I_g k R$.实

际情况同样遵循并联电路规律,但有 $I_g R_g = 99 I_g R$.比较实验预期与现状的共同之处即遵循相同规律且微安表两端电压相同,联立可知 $k = \frac{99}{79}$.

2.2.3 演绎推理法

演绎推理法是利用一般性原理或结论导出新结论的思维方法,在物理理论研究中具有重要的地位,许多科学预见就是通过演绎推理得到的.例如,爱因斯坦根据两条基本假设导出质能关系 $E=mc^2$.运用演绎推理的思维方法,可以揭示出研究对象与其他影响因素之间的定量或定性关系,从而设计实验进行未知物理量的测量或进行理论验证.

【例3】[2016年高考全国卷 I 第22题(2)] 题略.

评析:题目要求推算 f ,根据

$$mg - F_f = ma$$

$$s_3 - s_1 = 2a \left(\frac{1}{f} \right)^2$$

演绎推理可得

$$f = \sqrt{\frac{2(mg - F_f)}{m(s_3 - s_1)}}$$

从而明确频率与可测量量之间的定量关系,代入数据即可得出答案 $f = 40 \text{Hz}$.

2.2.4 等效替代法

把某些物理事物通过转化来代替其他物理事物解决同类型问题的思维方法叫做等效替代法.高考中常考查使用等效替代法测量未知电阻或对电表进行改装.在实际实验中,很可能遇上实验仪器不符合实际需求的情况,这时就需要根据仪器之间的理论关系对现有仪器进行改装.当遇到某些物理量难以测量时,则需要寻找发挥同等作用的其他可测量物设计可转换的等效实验进行测量.高考中这类题目不仅是考查学生对思维方法的运用,同时也是考验学生随机应变与创新的能力.

【例4】(2018年高考全国卷 I 第23题) 题略.

评析:学生要解决后续问题需准确理解题设情景中的等效替代原理.热敏电阻受温度影响动态变化,无法直接读出阻值大小,调节 R_2 让 R_2 在电路中发挥同等作用, R_2 的阻值大小即为热敏电阻阻值.

【例5】[2017年高考全国卷 I 第23题(1)] 题略.

评析:题目所要求的电压测量范围显然超过了

所提供的电压表的量程,这时需对电表进行改装,将所提供电压表与定值电阻串联,扩大电压表量程至4 V.电压表与定值电阻组合发挥等效替代大量程电压表的作用.

3 教学启示

3.1 丰富思维内容

实验思维的进行是以实验思维内容为基础的,形象、科学的思维材料才能保证思维结果的创造性和准确性.通过对高考实验题的分析,明确了3类表象在解决不同实验问题中所发挥的引导作用.表象的形成需以清晰的感知觉为基础,而其来源一是实验现象,二是实验操作,所以应从这两方面去改进当前实验教学中存在的诸如实验视频内容陈旧、实验仪器落后、实验操作繁琐等问题.增强实验细节让学生的感知觉更加深刻.由于表象具有动摇性、模糊性,教学中需遵循记忆规律,创设问题情境让学生反复呈现表象,使表象更加丰富稳定.除了感性思维材料,理性思维材料也不可或缺,实验前师生共同辨析易混淆概念,明确规律适用条件,记忆相关公式,破除思维障碍.在实验过程中,要保证实验操作规范严谨,数据真实可靠,培养学生数形转换习惯,发挥图形表象的作用.

3.2 深化思维过程

实验思维过程随着实验进程展开,各种思维方法充斥其中,方法是思维过程的灵魂所在,方法选择多样才能让实验思维过程更加灵活.因而,做好思维方法教育是实验教学的重点与目标之一.由于思维方法具有较强的抽象性,学生需积累一定程度的感性认识逐步理解方法才能达到迁移应用.因此,应在实验教学中根据各方法的特点和作用渗透方法.例如演绎推理方法,可选择典型的“验证牛顿第二定律实验”,建立 $a - \frac{1}{m}$ 图像分析加速度与质量间的反比关系,让学生体会推导横、纵坐标轴之间函数关系的过程.在此基础上进行变式训练,在未平衡摩擦力的情况下给出 $\frac{1}{m} - a$ 图像让学生独立推导横、纵轴函数关系^[6].当学生对各种思维方法都有一定程度理解时,可以开展思维方法专题教育,让学生对思维方法的认识更加系统、理解更加深刻,达到自然而然运用

方法的目的.

3.3 提升思维主体

实验思维品质是实验思维主体最为核心的要素,也是提升实验思维能力的关键.实验思维品质主要包括深刻性、灵活性、独创性、批判性、敏捷性5个方面^[4].丰富学生实验思维内容、进行思维方法教育、创新实验训练都能有效促进思维品质的提升和完善.提升思维主体不仅要关注思维品质,也要关注思维中的非认知因素,如动机、兴趣、情感等.非认知因素对学生学习活动起着动力作用、定型作用和补偿作用^[7].可以以远景性的实验目的来激发学生的实验动机和兴趣^[8],让学生意识到实验能力的提升能为自身未来发展创造新的可能,思维活动才能更具自觉性.

4 结束语

高考实验题是在脱离实物的基础上考查学生的实验能力,更多体现的是对实验思维能力的考查,其考查内容和特点明确了对学生实验思维能力培养的方向,即完善学生实验思维结构的三方面.对学生实验思维内容的丰富和对思维过程的训练能无形中提升学生的思维品质.实验思维的主体、内容、过程的发展都处在良性循环中,才能实现发展学生物理实验思维能力,促进物理实验能力提升的目的.

参考文献

- 1 张健,李春密.中学生物理实验能力结构浅析[J].物理教师,2013,34(07):8~11
- 2 田世昆,胡卫平.物理思维论[M].南宁:广西教育出版社,1996.4~6
- 3 J·P·吉尔福特.智力的三维结构[J].心理科学文摘,1980(01):46~58
- 4 朱智贤,林崇德.思维发展心理学[M].北京:北京师范大学出版社,2002.42
- 5 邢红军.高中物理科学方法教育[M].北京:中国科学技术出版社,2015.4
- 6 郁梅.在专题教学中落实物理核心素养——对图像“化曲为直”的处理培养“建模和演绎推理”能力[J].物理教师,2019,40(09):13~17
- 7 胡卫平,魏运华.思维结构与课堂教学——聚焦思维结构的智力理论对课堂教学的指导[J].课程·教材·教法,2010,30(06):32~37
- 8 乔际平,邢红军.物理教育心理学[M].南宁:广西教育出版社,2002.209~210