

文章编号:1005-4642(2022)09-0048-06



## 学习进阶视域下的高考物理实验 试题分析与教学策略

——以2022年全国甲卷物理实验试题为例

董友军<sup>1</sup>, 朱建山<sup>2</sup>, 刘芳<sup>3</sup>

(1. 北京师范大学广州实验学校, 广东 广州 510700;

2. 深圳市光明区马山头学校, 广东 深圳 518106;

3. 北京教育学院丰台分院, 北京 100073)

**摘要:**以2022年全国甲卷物理实验试题为例,探索学习进阶视域下的高考物理试题分析与教学策略.发现学习进阶层级与科学探究水平存在对应关系:经验层级对应水平1,映射层级对应水平2,关联层级对应水平3,系统层级对应水平4,整合层级对应水平5.得到学习进阶视域下的高考物理教学策略:用“一量多材”突破映射层级试题,用“一理多用”突破关联层级试题,用“以点为面”突破系统层级试题,用“以法为心”突破整合层级试题.

**关键词:**学习进阶;科学探究;高考试题分析;教学策略

**中图分类号:**G633.7

**文献标识码:**B

**DOI:**10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.09.009

高考是普通高等学校招生全国统一考试的简称,是国家选拔优秀人才的重要方式,其考查功能为“立德树人、服务选才、引导教学”,考查内容为“核心价值、学科素养、关键能力、必备品格”,考查要求为“基础性、综合性、应用性、创新性”.

物理学是一门实验科学,实验是物理学发展的基础,也是物理学研究的方法.《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》中指出“物理学基于观察与实验,构建物理模型,应用数学工具,通过科学推理和论证,形成系统的研究方法和理论体系”.高中物理学业质量根据问题情境化程度、知识结构化程度和思维方式综合化程度等划分为5级水平,这是高考试题命题的重要依据.高考物理实验试题通过题型创新和应用已学的物理知识考查学生的科学探究能力<sup>[1]</sup>.因此,高中物理实验教学不是只落实科学探究1个方面的物理学科核心素养,而是落实4个方面的物理学科核心素养,即帮助学生形成物理观念、提升科学思维、训练科学探究能力、培养科学态度与责任<sup>[2]</sup>.

高考物理实验试题不仅可以引导学生经历科学探究过程,体会科学研究方法,培养科学思维习惯,还可以增强学生的创新意识,提高学生的实践能力.因此,高考学业质量5级水平与“学习进阶”的进阶水平的内在逻辑一致,具有对应关系.本文基于学习进阶理论,通过对2022年全国甲卷物理实验试题的分析,提出了学习进阶视域下的高考物理教学策略.

### 1 学习进阶简介

学习进阶是当前国内外教育教学研究热点,被誉为提升学生学习效率的“灵丹妙药”<sup>[3]</sup>.学习进阶融合了布鲁纳的“螺旋式课程设计”、维果斯基的“最近发展区理论”和奥苏贝尔的“有意义学习理论”等,对指导中学物理教学、发展科学探究核心素养具有推动作用.

#### 1.1 学习进阶内涵

学习进阶是对学生在较大时间跨度内学习和研究某一主题时所遵循的连贯、逐渐深入的思维

**收稿日期:**2022-07-15

**基金项目:**广东教育学会“十四五”教育科研重点课题(No. GDESH14002)

**作者简介:**董友军(1976-),男,湖南衡阳人,北京师范大学广州实验学校高级教师,学士,从事中学物理教学. E-mail: dongyoujun55@163.com

路径的描述<sup>[4]</sup>,或者是对学生各学段学习同一主题概念时所遵循的连贯、典型的学习路径的描述<sup>[5]</sup>.它包括进阶起点、进阶水平、进阶终点、进阶变量和测评工具等要素(见图1).进阶起点指学生的现实情况,包括学生已有知识、思维能力和前概念等;进阶水平指学生的预期学习表现,是进阶起点通向进阶终点的台阶;进阶终点指教学目标,当前教学目标主要是发展学生的物理学科核心素养;进阶变量指核心概念和关键能力;测评工具指针对进阶教学的评价试卷.

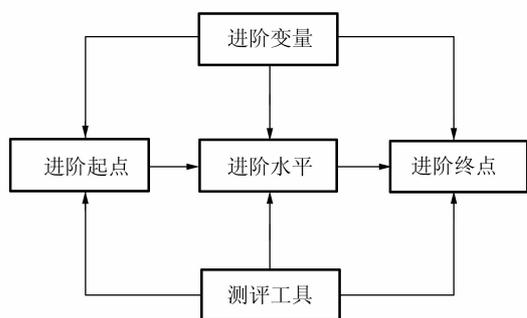


图1 学习进阶要素

进阶起点、进阶水平和进阶终点组成了学习进阶视域下高中物理教学通路,并通过进阶变量的引领和测评工具的修正把各自独立的课时教学

内容整合到物理学科核心概念之中,从而让每节物理教学既能培养学生的关键能力,又能发展学生的核心素养.

## 1.2 学习进阶层级

针对学习进阶理论,郭玉英教授团队总结出学生认知发展可描述为5个层级<sup>[6]</sup>:a.经验(Experience),即学生具有尚未关联的零散事实;b.映射(Mapping),即学生建立事实与术语之间的关系;c.关联(Relation),即学生建立术语与多个事实关系;d.系统(System),即学生从系统角度协调变量关系;e.整合(Integration),即学生有学科观念与跨学科概念.根据层级描述,可以看出学生的认知发展水平是从零散到系统、从具体到抽象、从简单到复杂的过程.

## 2 学习进阶层级与科学探究水平的对应关系

科学探究是物理学科核心素养之一,主要包括问题、证据、解释、交流等要素.高中物理课程标准把科学探究划分为5级水平,其中科学探究水平2是“学考”的命题依据,科学探究水平4是“高考”的命题依据.学习进阶层级与科学探究水平的对应关系如表1所示.

表1 学习进阶层级与科学探究水平的对应关系

学习进阶层级	科学探究水平
经验	水平1:具有问题意识;能在他人指导下使用简单的器材收集数据;能对数据进行初步整理;具有与他人交流成果、讨论问题的意识.
映射	水平2:能观察物理现象,提出物理问题;能根据已有的科学探究方案,使用基本的器材获得数据;能对数据进行整理,得到初步的结论;能撰写简单的报告,陈述科学探究过程和结果.
关联	水平3:能分析物理现象,提出可探究的物理问题,作出初步的假设;能在他人帮助下制订科学探究方案,使用基本的器材获得数据;能分析数据,发现特点,形成结论,尝试用已有的物理知识进行解释;能撰写实验报告,用学过的物理术语、图表等交流科学探究过程和结果.
系统	水平4:能分析相关事实或结论,提出并准确表述可探究的物理问题,作出有依据的假设;能制订科学探究方案,选用合适的器材获得数据;能分析数据,发现其中规律,形成合理的结论,用已有的物理知识进行解释;能撰写完整的实验报告,对科学探究过程与结果进行交流和反思.
整合	水平5:能面对真实情境,从不同角度提出并准确表述可探究的物理问题,作出科学假设;能制订有一定新意的科学探究方案,灵活选用合适的器材获得数据;能用多种方法分析数据,发现规律,形成合理的结论,用已有的物理知识进行科学解释;能撰写完整规范的科学探究报告,交流、反思科学探究过程与结果.

### 3 学习进阶视域下的高考物理实验试题分析

全国甲卷物理实验试题有2题,总计7个设问:映射层级设问1个、关联层级设问3个、系统层级设问1个、整合层级设问2个,没有经验层级设问(见表2)。映射层级主要考查实验器材(气垫导轨)的使用,关联层级主要考查物理量(电学物理量、力学物理量)之间的关系,系统层级主要考查物理规律(动量守恒定律、机械能守恒定律)的理解,整合层级主要考查物理规律(欧姆定律、动量守恒定律、机械能守恒定律)的应用。分析还发现,2个实验试题的第1个设问,都是整合层级,即最高层级,说明实验试题的思维起点高、综合应用强,且后面的设问又与第1个设问有关联,相互牵制、一荣俱荣、首错俱错。

表2 设问层级

学习进阶层级	22题(电学实验)	23题(力学实验)
经验	—	—
映射	—	设问2.2
关联	设问1.2	设问2.3,设问2.5
系统	—	设问2.4
整合	设问1.1	设问2.1

2022年全国甲卷物理试卷22题:某同学要测量微安表内阻,可利用的实验器材有:电源 $E$ (电动势1.5V,内阻很小)、电流表 $A$ (量程10mA,内阻约 $10\Omega$ )、微安表 $G$ (量程 $100\mu\text{A}$ ,内阻 $R_g$ 待测,约 $1\text{k}\Omega$ )、滑动变阻器 $R$ (最大阻值 $10\Omega$ )、定值电阻 $R_0$ (阻值 $10\Omega$ )、开关 $S$ 、导线若干。

(1)在答题卡上将图2中所示的器材符号连线,画出实验电路原理图\_\_\_\_\_;

(2)某次测量中,微安表的示数为 $90.0\mu\text{A}$ ,电流表的示数为 $9.00\text{mA}$ ,由此计算出微安表内阻 $R_g = \underline{\hspace{2cm}}\Omega$ 。

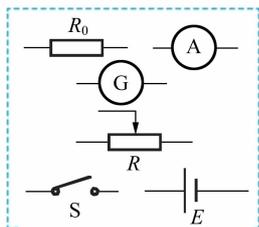


图2 22题题图

设问1.1为考查电路设计。由于设问1.2要测量微安表 $G$ 的内阻 $R_g$ ,根据部分电路欧姆定律 $R_g = U_G / I_G$ ,其中 $I_G$ 可以通过微安表 $G$ 直接读出, $U_G$ 可以由微安表 $G$ 的电流 $I_G$ 、电流表 $A$ 的电流 $I_A$ 和定值电阻 $R_0$ 计算得出 $U_G = R_0(I_A - I_G)$ ,根据串并联电路的结构特点进行电路设计,对器材符号连线,画出实验电路原理图(见图3)。要正确解答本设问,学生需要掌握电流表原理、并联电路特点、部分电路欧姆定律,即“能制订有一定新意的科学探究方案,灵活选用合适的器材获得数据”,属于整合层级。

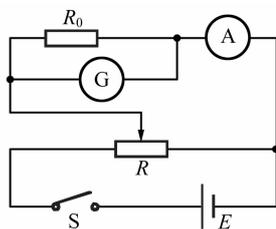


图3 原理图

设问1.2为求出微安表内阻。通过设问1.1可知微安表内阻 $R_g = \frac{R_0(I_A - I_G)}{I_G}$ ,把 $R_0 = 10\Omega$ , $I_A = 9.00\text{mA}$ , $I_G = 90.0\mu\text{A}$ 代入上式,可得 $R_g = 990\Omega$ 。本设问与设问1.1关联,是对设问1.1微安表内阻 $R_g = \frac{R_0(I_A - I_G)}{I_G}$ 的理解与应用,即“能分析数据,发现特点,形成结论,尝试用已有的物理知识进行解释”,属于关联层级。

2022年全国甲卷物理试卷23题:利用图示4的实验装置对碰撞过程进行研究。让质量为 $m_1$ 的滑块 $A$ 与质量为 $m_2$ 的静止滑块 $B$ 在水平气垫导轨上发生碰撞,碰撞时间极短,比较碰撞后 $A$ 和 $B$ 的速度大小 $v_1$ 和 $v_2$ ,进而分析碰撞过程是否为弹性碰撞。完成下列填空:

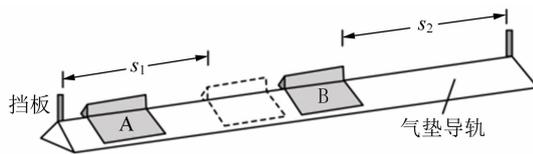


图4 23题题图

(1)调节导轨水平;

(2)测得两滑块的质量分别为 $0.510\text{kg}$ 和 $0.304\text{kg}$ 。要使碰撞后两滑块运动方向相反,应选取质量为 $\underline{\hspace{2cm}}\text{kg}$ 的滑块作为 $A$ ;

(3)调节B的位置,使得A与B接触时,A的左端到左边挡板的距离 $s_1$ 与B的右端到右边挡板的距离 $s_2$ 相等;

(4)使A以一定的初速度沿气垫导轨运动,并与B碰撞,分别用传感器记录A和B从碰撞时刻开始到各自撞到挡板所用的时间 $t_1$ 和 $t_2$ ;

(5)将B放回到碰撞前的位置,改变A的初速度大小,重复步骤(4).多次测量的结果如下表所示;

	1	2	3	4	5
$t_1/s$	0.49	0.67	1.01	1.22	1.39
$t_2/s$	0.15	0.21	0.33	0.40	0.46
$k = \frac{v_1}{v_2}$	0.31	$k_2$	0.33	0.33	0.33

(6)表中的 $k_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ ; (保留2位有效数字)

(7) $\frac{v_1}{v_2}$ 的平均值为 $\underline{\hspace{2cm}}$ ; (保留2位有效数字)

(8)理论研究表明,对本实验的碰撞过程,是否为弹性碰撞可由 $\frac{v_1}{v_2}$ 判断.若两滑块的碰撞为弹性碰撞,则 $\frac{v_1}{v_2}$ 的理论表达式为 $\underline{\hspace{2cm}}$ (用 $m_1$ 和 $m_2$ 表示),本实验中其值为 $\underline{\hspace{2cm}}$ (保留2位有效数字);若该值与(7)中结果间的差别在允许范围内,则可认为滑块A与滑块B在导轨上的碰撞为弹性碰撞.

设问2.1为判断滑块A的质量.设滑块A碰撞前的速度为 $v_0$ ,根据弹性碰撞规律(动量守恒和动能守恒)可得碰撞后滑块A的速度 $v_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_0$ ,滑块B的速度 $v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_0$ .要使碰后两滑块运动方向相反,则有 $v_2 > 0, v_1 < 0$ .要使 $v_1 < 0$ ,由 $v_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_0$ 可得 $m_1 < m_2$ ,故应选取质量为0.304 kg的滑块作为A滑块.要正确解答本设问,学生需要知道动量概念、动能概念和弹性碰撞规律(动量守恒和动能守恒),即“能用多种方法分析数据,发现规律,形成合理的结论,用已有的物理知识进行科学解释”,属于整合层级.

设问2.2为求滑块A和B碰撞后速度大小的比值 $k_2$ .根据水平气垫导轨的运动特点,滑块A和B碰撞后速度大小分别为 $v_1 = \frac{s_1}{t_1}, v_2 = \frac{s_2}{t_2}$ ,

则 $k_2 = \frac{v_1}{v_2} \approx 0.313$ ,再根据要求“保留2位有效数字”,即 $k_2 = 0.31$ .要正确解答本设问,学生需要知道水平气垫导轨的运动特点、平均速度公式和2位有效数字的含义,即“能根据已有的科学探究方案,使用基本的器材获得数据;能对数据进行整理,得到初步的结论”,属于映射层级.

设问2.3为求速度大小比值的平均值.由 $\bar{k} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5}{5}$ ,根据已知和设问2.2可得 $\bar{k} \approx 0.322$ ,再根据要求“保留2位有效数字”可得 $\bar{k} = 0.32$ .本设问与设问2.2关联,要正确解答本设问,还需要知道速度大小比值的平均值公式、2位有效数字的含义,即“能分析数据,发现特点,形成结论,尝试用已有的物理知识进行解释;能撰写实验报告,用学过的物理术语、图表等交流科学探究过程和结果”,属于关联层级.

设问2.4为求速度大小比值的理论表达式.由设问2.1可得,碰撞后滑块A和B的速度大小分别为 $v_1 = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_0, v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_0$ ,由此可以得出 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2 - m_1}{2m_1}$ .本设问与设问2.1关联,并在关联基础上求比值,即“能分析数据,发现其中规律,形成合理的结论,用已有的物理知识进行解释”,属于系统层级.

设问2.5为求速度大小比值的理论值.把 $m_1 = 0.304 \text{ kg}$ 和 $m_2 = 0.510 \text{ kg}$ 代入设问2.4的理论表达式 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2 - m_1}{2m_1}$ 可得 $\frac{v_1}{v_2} \approx 0.338$ ,再根据要求“保留2位有效数字”可得 $\frac{v_1}{v_2} = 0.34$ .本设问与设问2.4关联,只要设问2.4的理论表达式是正确的,代入已知数据,就可以轻松得到正解,即“能分析数据,发现特点,形成结论,尝试用已有的物理知识进行解释”,属于关联层级.

#### 4 学习进阶视域下的高考物理实验教学策略

教学策略是在特定教学情境中,为完成教学目标和适应学生认知需要而制定的教学程序计划和采取的教学措施<sup>[7]</sup>.依据2022年全国甲卷物理实验试题分析结果,从学习进阶的视角对高中物理实验教学提出4点教学策略.

#### 4.1 用“一量多材”突破映射层级试题

“一量多材”是指用多种实验器材测量 1 个物理量。俗话说“巧妇难为无米之炊”，器材如米，实验如炊，没有器材就没有实验。做实验离不开器材的选取，测量 1 个物理量，选取多种器材，既可以促进知识结构的完整，也可以培养学生的发散思维<sup>[8]</sup>。例如设问 2.2 需要测量瞬时速度，既可以用本实验的气垫导轨测量，也可以引导学生用光电门、电磁打点计时器（或电火花打点计时器）、位移传感器、压力式托盘秤等测量<sup>[9]</sup>。通过“一量多材”，学生既能够掌握多种器材的操作程序以增长见识，也能够发展高阶思维，激发学习兴趣，从而突破映射层级试题。

#### 4.2 用“一理多用”突破关联层级试题

“一理多用”是指用 1 个实验原理实现多种用途，即根据原理去挑选实验器材，指导实验顺序，处理实验数据，分析实验误差，等等。原理常为物理规律或物理公式，是物理实验的核心。原理既是实验设计的出发点，也是解决实验设问的归宿点。例如 22 题，其原理是欧姆定律，包括闭合电路欧姆定律和部分电路欧姆定律。通过原理分析，既可以解决设问 1.1，正确画出实验电路原理图，也可以解决设问 1.2，计算出微安表内阻。学生抓住了原理，就抓住了解题思路，找到了解题方向，从而突破了关联层级试题。

#### 4.3 用“以点为面”突破系统层级试题

“以点为面”是指把知识点变为知识面，呈现知识纵横交错，有助于学生对知识的深刻理解。例如 22 题，通过闭合电路知识点，可以变为 1 个知识面：欧姆定律、串并联电路规律、纯电阻电路与非纯电阻电路，以及其对应的电压、电流、电阻、电热、电功率之间的关系。知识既具有独立性又具有关联性，通过以点带面，促进知识结构化、可视化，让知识的联系更加清晰，有助于学生灵活应用物理知识，突破系统层级试题。

#### 4.4 用“以法为心”突破整合层级试题

“以法为心”是指方法是物理教学的中心。高中物理教学，需要以科学方法为中心构建知识体系，如图 5 所示。通过科学方法从自然现象中得到物理知识，通过科学方法从物理知识中得到函数关系，通过科学方法从函数关系中得到拓展应用，科学方法把自然现象、科学知识、函数关系、拓展应用联结起来，处于整个物理教学关系的中心。

科学方法包括学科方法和思维方法：学科方法属于强认知方法，体现学科特点，可迁移性弱；思维方法属于弱认知方法，贯穿各学科，可迁移性强<sup>[10]</sup>。

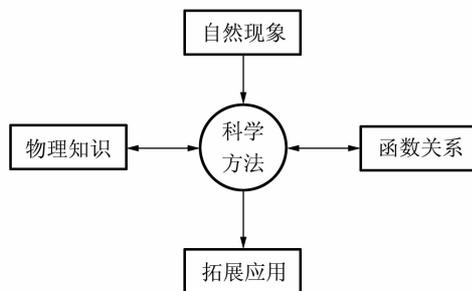


图 5 科学方法中心结构

高考物理实验试题源于教材又超越教材，形变而神不变，即实验原理、器材、过程在变化，但解决问题的方法不变。所以教师在实验教学时，既要要求学生动手操作实验，也要要求学生掌握解决问题的方法。例如 23 题，只要学生掌握气垫导轨测速方法、动量守恒解题方法、机械能守恒解题方法，就可以解决本题。因此，在高中物理实验教学中，教师应引导学生反思实验过程，总结解题方法，从而实现方法迁移，突破整合层级试题。

## 5 结束语

本文在“学习进阶”视域下，通过分析 2022 年全国甲卷物理实验试题，提出高中物理实验教学策略，不仅可以精准把握高考命题的特点，也可以高效指导实验教学的方向，实现“以考促教、以考促学”，从而减轻学生学习负担，发展学生物理学科核心素养。

### 参考文献：

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)[M]. 北京:人民教育出版社,2020:5.
- [2] 董友军,翟春城. 基于物理学科核心素养的实验教学理论模型与实践路径[J]. 物理实验,2020,40(11):57-63.
- [3] 翟小铭,郭玉英,李敏. 构建学习进阶:本质问题与教学实践策略[J]. 教育科学,2015,31(2):47-51.
- [4] Duschl R A, Schweingruber H A, Shouse A W. Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8 [M]. Washington D C: National

- Academies Press, 2007.
- [5] 刘晟,刘恩山. 学习进阶:关注学生认知发展和生活经验[J]. 教育学报,2012,8(2):81-87.
- [6] 郭玉英,姚建欣. 基于核心素养学习进阶的科学教学设计[J]. 课程·教材·教法,2016,36(11):64-70.
- [7] 闫金铎,郭玉英. 中学物理教学概论[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,2019:38.
- [8] 董友军,彭欢,熊宏华. 突出创新思维,考查核心素养——评“八省联考”物理实验题[J]. 物理实验,2021,41(3):59-62.
- [9] 董友军. 赏析测速方法,提高教学效率——以近三年新课标I卷和新课标II卷力学实验题为例[J]. 物理教学,2015,37(12):67-69,11.
- [10] 邢红军. 物理教学论[M]. 北京:北京大学出版社,2015:159-175.

## Analysis and teaching strategies of physics experiment tests in college entrance examination from the perspective of learning progression ——Taking the experiment tests of 2022 national paper A as an example

DONG You-jun<sup>1</sup>, ZHU Jian-shan<sup>2</sup>, LIU Fang<sup>3</sup>

(1. Guangzhou Experimental School Affiliated to BNU, Guangzhou 510700, China;

2. Mashantou School, Guangming District, Shenzhen 518106, China;

3. Beijing Institute of Education Fengtai Branch, Beijing 100073, China)

**Abstract:** Taking the physics experiment tests of 2022 National Paper A as an example, the analysis and teaching strategies of physics experiment tests in college entrance examination from the perspective of learning progression were explored. The corresponding relationship between the level of learning progression and the level of scientific inquiry was found: experience level corresponded to level 1, mapping level corresponds to level 2, correlation level corresponded to level 3, system level corresponded to level 4, and integration level corresponded to level 5. The teaching strategies of college entrance examination physics from the perspective of learning progression were obtained: one quantity and multiple materials was used to break through the mapping level tests, law of multi-purpose was used to break through the correlation level tests, point as the surface was used to break through the system level tests, law as the heart was used to break through the integration level tests.

**Key words:** advanced learning; scientific inquiry; tests analysis; teaching strategies

[责任编辑:郭伟]