教研员论坛

科学探究核心素养考查的北京探索*

杨 君 (北京教育考试院 北京 100083)

摘 要 科学探究核心素养是物理学科的特色,也是高中物理教学和评价的重点。依据课程标准,在对科学探究核心素养及其构成要素不同质量水平学业成就表现的系统梳理基础上,系统总结了北京高考(等级考)物理卷对科学探究核心素养的考查理念和考查路径,阐释了科学探究"考什么"和"怎么考"两个关键问题,并结合北京等级考命题中的具体试题进行举例说明。

关键词 科学探究 北京等级考命题 学业质量水平
文章编号 1002-0748(2024)6-0048 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

1 引 言

《普通高中物理课程标准(2017年版)》(以下简称新课标)基于学科本质凝练了学科核心素养,并且明确了学生完成本学科学习任务后,学科核心素养应该达到的水平,各水平的关键表现构成评价学业质量的标准,即学业质量标准[1]。学业质量水平既是指导学生自主学习和评价、教师开展日常教学设计、命题和评价的重要依据,也是高中学业水平考试命题的重要依据。

北京自2017年进入高考综合改革试点,2020年新高考改革落地,截止目前,已先后开展了四年的等级考命题,在核心素养的考查路径上进行了丰富的实践[2]。本文以科学探究核心素养为例,分析和呈现北京高中学业水平等级考命题在核心素养考查上所做的探索。

2 考查依据及要求

"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、设计实验与制订方案、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。"科学探究"主要包括问题、证据、解释、交流等要素。

如表1所示,课程标准对科学探究不同要素不同水平均有清晰的、由低到高的递进要求和明确的水平进阶[3]。以"证据"为例,分成探究方案和获得数据两个方面。探究方案方面,水平三要求在他人帮助下制订探究方案,水平四进一步要求学生独立制订科学探究方案,水平五则强调探究方案的新意。获得数据方面,水平一仅要求使用简单器材收集数据,水平二、三则要求使用基本器材获得数据,水平四则要求选用合适的器材,水平五则要求灵活选用合适的器材。再如"解释",水平一仅是初步整理数据,水平二则要求基于数据整理得到初步结论,水平三则需要在数据分析的基础上形成结论并尝试解释,水平四则需要通过分析发现规律,形成合理结论并解释,水平五在水平四的基础上更进一步,要求使用多种方法分析数据,并对结论作出科学解释。

科学探究各构成要素及其不同水平的清晰明确的界定,为学业水平考试命题提供了可操作的实践指南,也是对学生进行学业水平测评的标尺,为命题由"能力立意"向"素养立意"进化奠定基础。

表1 科学探究构成要素不同水平的学业成就表现

	问题	证据	解释	交流
水平一	具有问题意识	在指导下使用简单器材收集数据	初步整理数据	具有交流成果、讨论问题的意识
水平二	观察物理现象,提出物理问题	根据探究方案,使用基本器材获得数据	整理数据,得到初步结论	撰写简单报告,陈述探究过程和结果

* 基金项目:本文系国家社会科学基金"十三五"规划2018年度教育学一般课题"基于核心素养的新高考命题研究"(课题批准号:BHA180149)的阶段性研究成果。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续　表

	问题	证据	解释	交流
水平三	分析物理现象，提出可探究的物理问题，作出初步猜想	在他人帮助下制订探究方案，使用基本器材获得数据	分析数据，发现特点，形成结论，尝试进行解释	撰写实验报告，用物理术语、图表等交流探究过程和结果
水平四	分析事实或结论，提出并准确表述可探究的物理问题，作出有依据的假设	制订科学探究方案，选用合适的器材获得数据	分析数据，发现规律，形成合理结论，进行解释	撰写完整实验报告，对探究过程与结果进行交流和反思
水平五	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	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	多种方法分析数据，发现规律，形成合理结论，作出科学解释	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　考查理念及路径

新课标指出，在高中物理课程中应注重科学探究，尤其应注重物理实验，这在培养学生的探究能力和科学态度等方面具有重要意义。物理实验是培养和评价学生科学思维、探究能力以及创新意识的重要载体。实验探究作为科学探究的重要手段，对提升学生的物理学科素养和实验探究能力及现代社会人才选拔的作用逐步突显，尤其是对科学创新精神和实践能力培养显得更为重要。自主命题以来，北京高考始终把对实验的考查摆在十分突出的位置。作为检验考生能力和水平的重要参照，实验考查也在引导中学物理实验教学和服务人才选拔中发挥重要作用。

3.1　考查理念

高考主要采用传统纸笔测试，因其自身的局限性，在实验考查上面临诸多的困难。中学一线的实验教学也始终存在“教师用粉笔讲实验、学生用纸笔做实验”的现象。如何通过纸笔测试实现对实验操作技能、实验创新设计等能力的考查，以实验考查正向引导实验教学始终是高考命题重点关注和亟需解决的问题。

北京高考物理命题，经过二十年的自主命题实践，在持续的改革探索中不断形成了具有“北京特色”的实验考查理念。以物理实验为载体，实现对科学探究核心素养不同要素、不同水平的深入考查，避免“假探究”和“模式化”，引导“真探究”，体现“创新性”。概括起来，就是“通过三个考查重点，发挥三个导向作用，实现三层区分功能”。

(1) 注重基础，引导教学真做实验

通过对实验仪器的选择、实验步骤的安排以及具体实验操作的考查，将做过实验与没有做过实验的考生区分开，引导中学教师认真开展实验教学，踏实带领学生做实验，而不是黑板上讲实验，学生背实验。

如在2017年北京高考理综卷第21题中，在对“平衡摩擦力”这一实验步骤的考查中，若将“小车是否做匀速运动”作为考点，则试题较简单，且区分效度低，若把平衡摩擦力的操作过程中“轻推小车前，计时器是否打点”作为考点，则能将考生是否真正做过实验考查出来，引导考生亲自动手做实验，培养实验操作规范和技能。2018年北京理综卷第15题考查双缝干涉实验时，选项设计为在白光光源与单缝之间加上红色滤光片后干涉条纹的变化，考后数据统计表明有近四分之一的考生错选“彩色条纹中的红色条纹消失”，说明这部分考生对滤光片的功能原理及使用效果不了解，也反映出这部分考生未做过实验或在做实验时未能扎实认真做实验，仅停留在按部就班完成实验的层面。2022年北京等级考物理卷第15题在考查用多用电表测量电阻的阻值时，要求学生选择实验步骤正确的操作顺序，通过对实验仪器的具体操作反映出学生是否了解实验仪器的使用，是否在实验过程中亲历仪器使用的全过程。

(2) 突出分析，引导学生思考实验

在注重实验基础、突出实验技能考查的基础上，北京卷物理高考注重对实验分析的考查，引导一线教学在通过实验操作提升学生实践能力的同时，也注重引导学生通过对实验过程的分析和思考，加深对物理概念、规律的深入理解，重视理性思维的培养。一是加强对实验原理的考查，把考生对实验原理的理解和思考考查出来。二是对实验具体环节深入思考的考查，把实验各环节的内在原理考查出来。三是加强对实验全过程的整体思考的考查，把基于实验原理的实验设计、实验操作、实验数据处理以及实验结果分析的内在逻辑考查出来。通过对实验分析的考查，引导中学实验教学注重对实验原理的理解和实验过程的思考，注重对实验整体设计思考的考查，将做过实验并深入思考实验的考生与做了实验但不思考的考生区分开来，将做过实验基础上是否对实验有整体思考的考生区分开来。

如在2018年北京高考理综卷第21(4)题中，利用打点计时器探究小车速度随时间变化规律时，考查考生对运用纸带计算各计数点的瞬时速度的思考。一方面，许多考生记忆中处理纸带的方法是，通过“一段时间的平均速度等于这段时间中间时刻的瞬时速度”得到计数点对应的瞬时速度，这样计算的

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

前提是已知小车做匀变速直线运动。然而，本实验是通过 $v-t$ 图象研究小车速度随时间变化的规律，在探究性实验中用实验探究的结论处理实验过程中的数据，这是对实验原理的理解不够深入导致实验逻辑上的错误。另一方面，用平均速度$\frac{\Delta x}{\Delta t}$表示各计数点的瞬时速度，为了更精确地描述某一时刻的运动快慢，可以把 Δt 取得小一些，当 Δt 非常小时，可近似把$\frac{\Delta x}{\Delta t}$看作该时刻的瞬时速度。然而，在减小 Δt 的同时，还要兼顾刻度尺的测量误差，Δt 对应的 Δx 不能取得太小，若 Δx 过小，则测量误差增大，应根据实际情况选择 Δx。所以，用平均速度$\frac{\Delta x}{\Delta t}$表示各计数点的瞬时速度，从理论上讲，对 Δt 的要求是越小越好，从实验的角度看，选取的 Δx 大小与速度测量的误差有关。试题通过对上述实验数据分析的思考，深入考查了考生对瞬时速度概念的理解，也完整地考查了考生对实验原理的理解和对实验过程的整体思考。

(3) 强调设计，引导学生创新实验

经过多年命题实践，在注重对课标要求的学生实验的考查，引导教学引导学生认真做实验、深入思考实验的基础上，逐步探索对实验创新的考查。注重考查考生自主设计实验方案、进行实验创新的能力，引导实验教学注重创新思考能力的培养，把是否具有创新思维和创新实践的考生区分开来。一是在传统学生实验中创新实验器材使用，即在实验中变换实验器材，创新实验思路方法。如2020年第16题，在“伏安法测电源电动势和内阻”实验中，使用电阻箱替代滑动变阻器和电流表(电压表)；2021年第16题，在“测量金属丝的电阻率”实验中，创新使用电流传感器测量通过电阻(小灯泡)的电流。二是创设新实验情境，考查考生对新情景新问题的思考。如2021年第13题以某学生设计制作的“竖直加速度测量仪”为问题情境，2022年第13题以“利用压力传感器设计水库水位预警系统”为问题情景，考查考生联系实际分析和解决问题的能力。三是创设情景，考查考生基于情境和要求自主设计实验方案，进行实验交流的能力。如2022年第16题，创设考生居家学习期间，根据水龙头水滴下落的情境，设计运用手机计时功能和刻度尺测量重力加速度的方法，要求考生制订科学的探究方法；第20题要求考生说明在磁感应强度大小、方向均未知的情况下，利用霍尔元件提出测量北京地区地磁场磁感应强度的大小和方向的思路，力求把考生思考的过程完整地考出来。

表2　北京卷物理试题考查实验创新能力的典型试题

年份	题号	题型	实验情境
2020	16	论述题	运用“电阻箱＋电流表(电压表)”测电源电动势和内阻
2021	13	选择题	制作“竖直加速度测量仪”
2021	16	论述题	用电流传感器测定值电阻和小灯泡的电流
2022	13	选择题	利用压力传感器设计水库水位预警系统
2022	16	论述题	居家测量重力加速度
2022	20	论述题	测量北京地区地磁场磁感应强度的大小和方向

由上可见，“北京特色”的实验考查理念通过三类考查，实现了对科学探究各要素的完整考查，体现了对各要素不同学业水平的考查。实验基础的考查主要涉及问题、证据、解释等低阶水平的考查，如对观察现象、提出问题、使用器材、获取数据、整理数据、分析数据、获取初步结论等方面的考查。实验分析的考查则涉及解释、交流等要素的学业质量水平三及以上水平的考查，如要求考生通过分析数据、发现规律、形成结论并解释，要求考生能陈述和交流探究的过程和结果等。实验创新的考查则涉及问题、证据、解释等高阶学业水平尤其是水平四以上的考查，如要求学生能提出并表述可探究的物理问题并独立制订科学探究方案，要求学生对实验过程和结论进行科学解释。

3.2　考查路径

北京高考自主命题二十多年来，对于物理实验的考查，不仅形成了“北京特色”的考查理念，也在命题实践中不断探索并逐步完善了实验探究的考查路径。

首先，在考查内容及素材选取上，不仅包含新课标规定的学生实验，也涵盖了教材涉及的演示实验及其他探究活动。此外，还包括联系学生日常生活实际、符合学生认知特点和高中物理阶段教学特点的科学探究问题。

其次，在问题设计上，一方面问题设计贯穿实验的全流程，既有实验前对实验的总体设想、初步估测等，也有实验过程中的问题分析和实验后的结果思考及反思。另一方面，问题设计覆盖实验能力的各个方面，包括问题提出、方案设计、仪器选择、数据获取、数据分析、结论形成、规律解释、结果交流、反思优化、创新设计等内容。此外，不断探索丰富开放性、探究性的问题呈现，要求学生进行论述、证明，丰富实验试题的能力考查。

第三，在题型设计上，不断突破传统实验试题分步设问的局限，在选择题和论述题中考查实验能力，探索对科学探究和科学思维核心素养的融合考查。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

第四，在学业质量水平上，力求实现对核心素养各要素不同水平的考查。以2022年等级考物理卷为例，学业质量水平的考查情况见表3。

表3　2022年北京等级考物理卷对科学探究核心素养的考查

题号	题型	实验情景	素养要素	水平要求
6	选择题	“绳波”	解释：分析数据、发现特点	水平三
8	选择题	“天宫课堂”与地面实验对比	问题：分析物理现象	水平三
9	选择题	电容器充放电实验	问题：分析物理现象	水平三
13	选择题	利用压力传感器设计水库水位预警系统	问题：分析事实或结论，提出可探究的物理问题。 交流：交流探究结果和过程	水平三
15(1)	论述题	伏安法测电阻	证据：使用基本器材获取数据	水平二
15(2)		多用电表测电阻		
15(3)		测量电源电动势和内电阻	解释：分析数据，形成合理结论	水平四
16(1)	论述题	利用自由落体测量重力加速度	证据：使用基本器材获得数据	水平二
16(2)			解释：整理数据	水平二
16(3)			解释：分析数据，形成结论	水平三
16(4)			证据：制订科学探究方案	水平四
20(3)	论述题	测量北京地区地磁场磁感应强度	证据：制订有一定新意的科学探究方案	水平五
			交流：对探究过程和结果进行交流	水平四

4　典型试题例析

北京自2004年高考自主命题以来，始终重视对实验探究能力的考查。在命题实践过程中，适应中学教学的发展和现状特点，不断优化发展命题理念，涌现出大量独具“北京特色”的试题。尤其是本轮高考综合改革以来，等级考物理卷依据新课标理念，不断探索对科学探究核心素养的考查路径，试题特色更加鲜明。下面以两道试题为例，简述北京卷在科学探究核心素养考查上的特色。

例题1　（2023年第10题）在太空实验室中可以利用匀速圆周运动测量小球质量。如图1所示，不可伸长的轻绳一端固定于O点，另一端系一待测小球，使其绕O做匀速圆周运动。用力传感器测得绳上的拉力为F，用秒表测得小球转过n圈所用的时间为t，用刻度尺测得O点到球心的距离为圆周运动的半径R。下列说法中正确的是　　（　　）

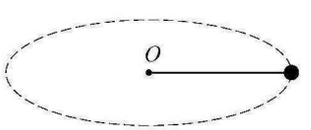

图1

（A）圆周运动轨道可处于任意平面内

（B）小球的质量为$\dfrac{FRt^2}{4\pi^2n^2}$

（C）若误将$n-1$圈记作n圈，则所得质量偏大

（D）若测R时未计入小球半径，则所得质量偏小

分析：试题源于必修教材第一册第四章第3节的“科学漫步”，其中介绍了我国航天员在天宫一号空间实验室中测质量的方法。主要的测量步骤是：航天员把自己固定在支架的一端；另一航天员将支架拉到指定的位置；松手后，支架拉着航天员从静止返回到舱壁；测出支架提供的恒定的拉力F，以及通过航天员的运动情况计算得出其加速度大小a，运用$F=ma$即可求出航天员的质量m。本题虽然也是用动力学方法测质量，但情境却是相对于直线运动而言更为复杂的圆周运动，还涉及对太空中完全失重、误差分析等方面的考查，更侧重于对运用物理规律解决实际问题的考查。

试题在引导教学回归教材，关注教材中各栏目，充分发挥教材的育人作用。本题不仅采用动力学测质量的方法源于教材，而且为减小误差，一些物理量的测量方法也来源于教材。在教材《物理（选择性必修第一册）》第二章第5节中的“实验：用单摆测重力加速度”，涉及摆长的测量和周期的测量，本题采用了和该实验相同的操作方法，即“通过测小球转过n圈所用的总时间来较精确地获得小球圆周运动的周期”和“用刻度尺测得O点到球心的距离作为圆周运动的半径”。因此，试题能为中学教学在回归教材、跳出题海等方面给予一定的启发。

例题2　（2022年第16(4)题）某同学居家学习期间，注意到一水龙头距地面较高，而且发现通过调节水龙头阀门可实现水滴逐滴下落，并能控制相邻水滴开始下落的时间间隔，还能听到水滴落地时发出的清脆声音。于是他计划利用手机的秒表计时功能和刻度尺测量重力加速度。为准确测量，请写出需要测量的物理量及对应的测量方法。

分析：试题基于“水龙头距地面较高，而且发现通过调节水龙头阀门可实现水滴逐滴下落，并能控制相邻水滴开始下落的时间间隔，还能听到水滴落地时发出的清脆声音”的场景，提出“利用手机的秒表计时功能和刻度尺测量重力加速度。为准确测

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

量，请写出需要测量的物理量及对应的测量方法”的问题，沿袭了“利用自由落体运动测重力加速度”的实验原理，但在测量方法上对学生提出了创造性的要求。首先是测量水滴下落的高度 h，需要通过多次测量来减少测量误差，这是学生非常熟悉的减少测量误差的方法；其次是测量一滴水自由下落高度 h 经历的时间 t，由于家中的水龙头距离地面一般不超过 1 m，时间 t 一般小于 0.5 s，所以不能准确测量一滴水下落的时间，需要采用“累积法”来测量，这种方法学生在“用单摆测重力加速度的大小”实验中是应用过的，也是学生熟知的。在“用单摆测重力加速度的大小”实验中是利用单摆运动的周期性，采用多个周期“首尾衔接”来累计测量多个周期的总时间。在滴水自由下落的情境中，如何创设多个下落时间“首尾衔接”的情境呢？这是实验方案的难点，也是创新点。一般情况下，每一滴水下落在空中的时间都是相同的，由于“通过调节水龙头阀门可实现水滴逐滴下落，并能控制相邻水滴开始下落的时间间隔，还能听到水滴落地时发出的清脆声音”，所以只要调节水龙头阀门，在刚好听到某一水滴落地时发出的清脆声音的同时，另一滴水刚好从水龙头下落，空中没有其他水滴，这样就创设了多个下落时间“首尾衔接”的情境，只要记录下听见多个声音经历的总时间，或下落多个水滴经历的总时间，就能测得一滴水自由下落高度 h 经历的时间 t。试题设问开放，要求考生面对真实情境，作出科学假设，对“问题”要素的考查达到“水平五”。此外，试题突出创新思维，要求考生制订科学的探究方案，对“证据”要素的考查达到“水平四”。

5　总　结

核心素养是学科育人价值的体现，核心素养的考试评价则是导向学科教学实现育人目标的核心关键。高考(等级考)北京卷物理试题命题虽在核心素养的考查路径上进行了一些探索，也积累了初步经验，但在考查的科学性、系统性和有效性上仍有很多不足。为了适应高考综合改革的目标要求，落实新课标的理念精神，完善素养立意，学业水平考试命题应进一步研究制定核心素养评价框架体系，在此基础上形成核心素养评价指标体系，进一步提升命题的科学性和规范化，促进教、考良性互动，更好地发挥命题的教学导向作用，促进改革的稳步深化。

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)[S]. 北京：人民教育出版社，2018.
[2] 杨君. 小议高考物理实验能力和科学探究素养的考查[J]. 中国考试，2017(3)：26　30.
[3] 张昊旻，沈兰. 物理学科核心素养中的“科学探究”水平研究[J]. 物理教学，2019(12)：48　52.

(上接第71页)

数，不断完善试题的测评目标。

3.3　巧用情境参数，把控试题难度

课程标准在高考命题建议中指出：“科学合理设计试题难度”[2]。试题难度与问题情境的复杂度或新颖性有关，而试题情境的复杂度或新颖性主要由辨别参数和装扮参数决定。新高考物理试题命题在运用辨别参数和装扮参数这些维度中表现十分灵活，既能创设真实情境，又可以从情境方面控制试题难度。如创设真实情境，采用建构情境特征、设置选择判断或解释说明任务类型、采用“文字＋图片”呈现方式，以降低试题的难度；借助真实情境，设置数理推演任务类型、采用“纯文字”呈现方式以及问题与情境紧密结合，以增加试题的难度。故高考物理试题命题可以灵活运用试题情境的辨别参数和装扮参数，如创设多样化真实情境，设置不同层次的期待试题类型和不同形式的情境呈现方式等，并结合物理学科核心素养的水平层次、知识要求的深度或广度等，以设置具有难度梯度的试题。

参考文献

[1] 教育部考试中心. 中国高考评价体系说明[M]. 北京：人民教育出版社，2020：36.
[2] 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)[S]. 北京：人民教育出版社，2020：63.
[3] 罗日叶. 学校与评估：为了评估学生能力的情境[M]. 汪凌，周振平，译. 上海：华东师范大学出版社，2011.
[4] 蒋馨雅，桑芝芳. 高中物理新教材习题情境比较分析　以高中物理必修1运动学部分为例[J]. 物理教师，2021(6)：10　13，18.
[5] 缪昳闻，童大振，刘佳. 情境类型学视角下高考物理试题情境分析框架的改进[J]. 物理教学，2023(4)：59　63.
[6] 程力，李勇. 基于高考评价体系的物理科考试内容改革实施路径[J]. 中国考试，2019(12)：38　44.
[7] 杨科，张雪，张静. 澳大利亚高考物理试题特点分析与启示　以近3年VCE与HSC考试为例[J]. 物理教师，2023(2)：76　81.
[8] 杨科，张文悦，张静. 高中物理模型建构能力的测评及其培养　以2021年江苏、河北、广东、湖南高考试题为例[J]. 物理教师，2022(5)：76　79.
[9] 宋亚杰，胡雨宸. 2008　2017年江苏高考物理卷情境化试题研究及启示[J]. 物理教师，2018(1)：94　97.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net