·教育理论研究·

论科学探究的构成要素及其对科学教育的启示

邢红军[1] 王宇鹏[1] 程 柏[2]

(1.首都师范大学教师教育学院,北京 100048;2.深圳市格致中学,广东 深圳 518131)

摘 要:通过对科学探究研究的回顾与分析,在深入分析科学探究的步骤视角与要素视角的基础上,基于科学探究构成要素从科学学科出发进行建构的研究思路,依据物理学知识—能力结构,建构了科学探究构成要素,包括:科学知识、科学方法、技能、科学思维、实验、数学知识、科学精神,并诠释了科学探究构成要素的内涵,这为在核心素养背景下培养学生的科学探究能力提供了有益启示.

关键词:科学探究;步骤;要素;整体论;还原论

科学探究作为公民科学素养的重要培育方式,已经成为世界各国科学教育的关注重点.世界各国在科学教育改革中,均将培养学生的科学探究能力作为主要目标.[1]这是因为,科学探究作为科学知识的重要获取途径,能够引导学生从未知出发从而获得新知.并通过一系列的探索与实践,逐步深化对科学现象的认识.

然而,当我们进一步深入研究科学探究时,却发现人们对科学探究的认识还存在着一个很大的误解,这就是把探究步骤当作探究要素,从而在一定程度上影响了学生对科学探究本质和价值的理解与认识.因此,对科学探究中的这一理论问题展开深入研究,使学生能够真正理解科学探究并有效运用科学探究进行科学实践,就显得尤为重要.

1 文献综述

在现代教育史上,美国著名哲学家和教育家杜威是首位提出“科学探究”的人.因此,科学探究的教育思想可以追溯到杜威的“做中学”.为了将探究过程具体化,杜威提出了问题解决的五阶段理论,即:(1)暗示.设置疑难情境,使学生对学习活动有兴趣;(2)问题.提出疑难在什么地方,让学生进行思考;(3)假说.提出解决问题的各种假设;(4)推理.推出每个步骤所含的结果;(5)验证.进行试验,验证或反证假设,通过实际运用,检验方法是否有效.[2]这就是科学探究最早提出的步骤说,国内的探究“六步法”“七步法”皆受此影响.

直到20世纪中期,探究学习才作为一种重要的教学方式流行起来,其首倡者为施瓦布.他认为探究性课堂应包含两种探究,一是引导学生经历科学知识的探究过程,即“科学即探究”;二是在教与学过程中的教学方法、方式上的探究,教与学的过程本身就是一种探究,即“探究性教与学”.[3]杜威和施瓦布等人的推广使得探究式的学习方式被广泛应用于中小学科学教育领域.到了20世纪90年代,科学探究开始以美国国家教育政策形式出现在学校教育教学中,并逐渐成为世界科学教育的共识.1996年美国颁布的《国家科学教育标准》,将科学探究作为科学学习的核心,强调让学生通过探究来学习,以及培养学生的科学探究能力,并在开篇将探究定义为科学家研究自然界并在证据基础上建构解释的各种方式,[4]从而引领了全球科学教育的变革.

美国对科学探究的认识也深刻地影响着我国基础教育课程改革,对探究的这种理解基本上以原貌进入了我国2001年课改后的各学科课程标准.[5]自2001年起,科学探究正式被纳入我国理科课程标准之中,标志着我国科学教育理念的重大转变.如表1所示,这一转变在各个学科课程标准中得到了明确体现.

表1 义务教育物理(化学、生物)课程标准(实验稿)中科学探究的表述

科目	科学探究的表述
物理	科学探究要素有:提出问题、猜想与假设、制订计划与设计实验、进行实验与收集证据、分析与论证、评估、交流与合作(7个)
化学	科学探究涉及提出问题、猜想与假设、制订计划、进行实验、收集证据、解释与结论、反思与评价、表达与交流(8个)等要素
生物	科学探究过程包括提出问题、作出假设、制订计划、实施计划、得出结论、表达与交流(6个)

不难发现,除了生物学科在阐释科学探究时明确采用了“探究过程”的表述外,物理和化学学科在表述科学探究时,均采用了“探究要素”的描述.但事实上,这种要素仅仅是科学探究的步骤或

中国知网 https://www.cnki.net

过程，并非探究的要素.

值得注意的是，这种对科学探究的理解在我国各科学学科课程标准中一直被保留和传承.特别是在高中阶段，通过最新研制的各个理科学科课程标准(如表 2 所示)，我们可以观察到这种延续的具体体现.

表 2 普通高中物理(化学、生物)课程标准(2017 年版 2020 年修订)中关于科学探究的表述

科目	科学探究的表述
物理	科学探究：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.主要包括问题、证据、解释、交流等要素
化学	科学探究与创新意识：认识科学探究是进行科学解释和发现、创造和应用的科学实践活动；能发现和提出有探究价值的问题；能从问题和假设出发，依据探究目的，设计探究方案，运用化学实验、调查等方法进行实验探究；勤于实践，善于合作，敢于质疑，勇于创新
生物	科学探究：指能够发现现实世界中的生物学问题，针对特定的生物学现象，进行观察、提问、实验设计、方案实施以及对结果的交流与讨论的能力.学生应在探究过程中，逐步增强对自然现象的好奇心和求知欲，掌握科学探究的基本思路和方法，提高实践能力；在探究中，乐于并善于团队合作，勇于创新

以《普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)》为例，其科学探究的表述表明了我国课程改革似乎认识到了将科学探究步骤理解为要素所存在的问题，因此在描述时有意对科学探究进行了更为精炼和要素化的表达，以强调科学探究能力的综合体现，但“科学探究”中的“问题、证据、解释、交流等要素”实际上仍然是探究的步骤.

为什么我国对科学探究的理解会存在以步骤代替要素的倾向？究其原因，还是因为从理论上对科学探究构成要素不清楚，导致对“科学探究是什么”的认识存在缺陷，误以科学探究的步骤来替代科学探究要素而不自知，从而导致科学探究的表面化、程式化和肤浅化，最终难以达成发展学生核心素养的目标.有鉴于此，为了建构科学探究的构成要素，厘清科学探究的发展脉络，我们分别沿着科学探究的步骤视角与要素视角对科学探究展开研究，以期为科学探究要素的建构提供启示.

1.1 步骤视角下的科学探究

《现代汉语词典》中对步骤的定义为：“事情进行的程序.”[6]它强调的是事件或动作的顺序和连续性，是完成某个任务或实现某个目标所需经历的一系列操作或阶段.步骤有先后顺序关系，且先后顺序不能颠倒.步骤视角通过把探究能力的培养与探究的外在表现结合起来，希望为科学探究带来实践“抓手”.但由于探究的步骤视角不能深入到探究的内部，结果往往会导致探究的程式化与机械化，对探究的其他部分进行简化甚至省略，导致“探究”变了味儿.最典型的就是将课堂科学探究等同于学习“方法”，将科学探究过程分解成固定不变、按部就班的步骤.

核心素养的本质在于个体对知识的内化、运用和创新，而非简单的知识传递.科学探究的步骤之于科学探究是具有意义的，它为探究的肇始提供了思路和抓手，有助于学生从形象上了解科学探究的外部特征.但当学生仅停留在对科学探究步骤的理解和模仿时，往往会在“如何探究”等问题上思维固化，自然也就无法获得探究能力的提升.从哲学认识论的视角看，步骤视角从根本上是基于整体论展开的.虽然表面上将探究分解成一个步骤接着一个步骤，但在本质上仍然是整体论的体现，并未将科学探究的要素进行真正拆解，当然也就未能触及科学探究的本质.因此，尽管科学探究的步骤貌似系统而全面，但在实际应用中，它们往往无法针对具体问题进行分析和综合.因为，仅仅遵循这些步骤去进行科学探究，根本无法有效解决问题.由此可见，对于科学探究的理解，需要超越步骤视角，从还原论的视角对科学探究进行解构、深入分析其背后的要素构成，才有可能真正培养学生的科学探究能力.

1.2 要素视角中的科学探究

《辞海》对要素的解释为：“是构成系统的基本单元.要素与要素之间既相互联系又相互制约.”[7]在构成事物时，要素是必不可少的，是维持事物运动或系统运作的最小单位.要素无时间先后关系，例如人体可以分为呼吸系统、血液系统等，它们共同构成了人体.

有学者基于心理学视角对科学探究进行了研究，认为科学探究是一种高级的问题解决活动，与问题解决有着相同的加工机制，其核心是思维活动，即科学探究的本质是科学思维，[8]科学探究能力除了需要科学思维的参与外，还需要操作技能的参与.[9]从认知过程来看，科学探究是一个复杂的过程，包括表征问题、识别和定义操作变量、形成假设、设计实验以及评价实验结果等内容，每个阶段需要一定的认知技能和认知策略.描述科学探

中国知网 https://www.cnki.net

究的认知过程的模型以双搜索模型最为典型.该模型认为,科学探究包括搜索假设空间、检验假设和评价证据三个阶段.[10]假设空间是由学习者在探究活动中所提出的各种不同假设构成的,个体先前知识会影响到搜索假设空间;通过搜索假设空间得到可进行探究的假设;检验假设指通过设计适用于当前假设的实验方案、预测实验结果并运行完成实验,观察并记录实验结果,为证实或推翻当前假设提供证据材料;评价证据指根据实验结果评估当前的假设,根据实验积累的证据做出接受或拒绝假设的决定.如得不到正确的结论,可回到"检验假设"阶段.

要素视角是将科学探究视为多维要素有机结合的模型,虽然在理论探索层面得到了一定的关注和讨论,但在实际操作和应用层面仍面临诸多挑战.这一模型强调科学探究的多要素性,认为这些要素互关联、相互影响,共同构成了科学探究能力.由此可见,要素关注的是构成事物或系统的基本元素和特性,而步骤则关注的是完成某个任务或过程所需经历的各个阶段与顺序.因此,要素视角强调科学探究建立客体的转变规律,而步骤视角强调科学探究对客体状态的模仿.两者都是理解和分析事物或现象的重要工具,但对科学探究的要素与步骤应注意区分,不可混淆.

1.3 步骤视角与要素视角的对比

基于上述研究回顾,便可以清晰地辨识出两种截然不同的研究路径.一种路径采用"步骤视角",将科学探究分为问题提出、证据收集、解释阐述与交流讨论等多个环节,旨在从动态、连续的角度描绘科学探究的表象.另一种路径则采用"要素视角",将科学探究视作由多个要素构成的集合体,通过对这些要素进行细致的划分与界定,从而深入剖析科学探究的内在结构.

当前,科学探究的步骤从"七要素"逐渐演化为"四要素",但是必须明确指出的是,步骤与要素之间是存在着本质区别的,并且这种区别显著且易于辨识:要素并不具备顺序性,而步骤则具有顺序性,这是判断步骤与要素的黄金标准.令人奇怪的是,我国基础教育课程改革却始终存在着将科学探究的步骤与要素相混淆,甚至以步骤代替要素的现象,甚至已经成为一种共识,这种共识严重地遮蔽了科学探究的本质.与步骤视角相比,要素视角更为深刻,也更接近科学探究的本真.从要素视角深入理解和研究科学探究,具有双重意义.一方面,它能够为学生进行科学探究提供更为明确的指引和参照;另一方面,基于要素视角的科学探究培养策略,可以更为有效地提升学生的科学探究能力并使探究能力的培养不再是一纸空谈.应当说,这两种视角在界定科学探究的内涵时,均基于不同的立场提出了相应的定义及构成,均具有一定的合理性和价值性.然而,值得注意的是,以往的科学探究理论在整合探究能力的实践侧面和认知侧面时,往往缺乏实质性的效果.实践侧面关注的是科学探究活动的具体操作和过程,而认知侧面则聚焦于个体在探究过程中的思维方式和认知策略.这种分裂状态就导致我们对科学探究的理解始终不够全面和深入.因此,为了更全面地揭示科学探究的本质,就非常有必要对科学探究的构成要素展开进一步深入研究.

2 科学探究的构成要素研究

在科学探究的研究历程中,研究者们往往不自觉地倾向于步骤视角,将科学探究的培养与探究过程的外在行为紧密相连,并试图通过精简探究步骤来优化这一过程.然而,这种线性的探究模式往往会导致学生的思维僵化、不会"动脑"思考,致使科学探究不能达到应有的教育目标,反而成为限制学生创造性思考的羁绊.因此,研究视角的选择直接关系到科学探究结果的有效性.尽管步骤视角为科学探究的实施提供了具体的指导,但其结果往往仅限于对科学探究实施的描述和解释,缺乏对科学探究深入的指导,从而导致科学探究失去应有的价值.反思科学探究的研究思路,对科学探究能力的建构具有重要的启示.

怎样建构科学探究的构成要素?笔者提出,科学探究构成要素的建构要从科学学科出发,避免科学探究要素的建构成为"无本之木,无源之水".为此,笔者从物理学出发,来尝试建构科学探究的构成要素,并使所建构的科学探究要素普适化.这是因为,物理学是一门以实验为基础的科学,其理论构建、实验设计以及实际问题的解决策略,均构成了科学探究的鲜活范例.通过对物理学中科学探究过程的深入研究,能够提炼出具有普适性的科学探究要素,并为其他学科的科学探究提供借鉴和参考.因此,从物理学科出发进行科学探究构成要素的研究,不仅有助于我们深入理解科学探究的本质,也有助于推进科学探究构成要素的揭示.

在上述观点的启发下,笔者提出,以物理学知识—能力结构为基础来建构科学探究要素,是一条值得深入探索的研究路径.

中国知网 https://www.cnki.net

20 世纪 70 年代,霍尔顿(Holton)提出了物理学三维结构模型.他认为,物理学的任何部分基本内容的结构及其发展都可以分解为三种因素或三个坐标:X -实验、Y -物理思想、Z -数学.[11]这可以说是抓住了物理学知识结构的核心,迄今为止还没有发现物理学发展历史上有任何例外.这一普适性的物理学科结构模式为物理学各分支学科、各章节单元的结构及其教学规律指明了方向.把三维结构投影到平面上,就形成了上(实验)、中(核心理论)、左(科学方法论)、右(数学)、下(延伸与应用)5 个区域(见图 1),进一步反映了物理学科的 5 个特点和物理学的 3 个主要成分及其相互关系,特别是反映了知识和方法的关系.

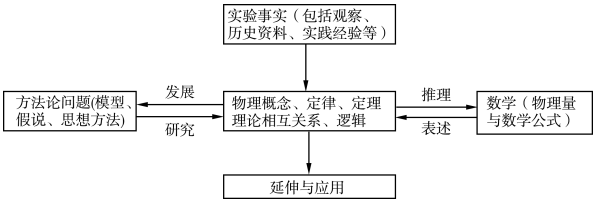

图 1 物理学知识—能力结构图

以物理学知识—能力结构作为科学探究构成要素的建构基础,我们认为,物理能力的建构过程也就是科学探究的过程,因此,科学探究的要素首先就应该包括科学知识、科学方法、科学实验与数学.进一步借鉴心理学的相关研究,并结合科学探究的实践,我们提出,技能、科学思维与科学精神也应当成为科学探究的构成要素.于是,我们得到了科学探究的构成要素,包括:科学知识、科学方法、技能、科学思维、数学、科学实验、科学精神.

基于诺贝尔物理学奖得主费恩曼“我不能普遍地理解任何事物,我心中必须怀着一个特例”[12]的研究思想,我们结合“篮球落地”原始物理问题的解决来佐证科学探究要素理论建构的合理性,题目如下:

一篮球自某一高度自由下落,撞到地面后又弹起,上升到一定高度后又自由下落,以后又弹起,下落,一次又一次直至篮球静止.请定量推导出整个过程中篮球的加速度随时间的变化规律,并画出篮球加速度随时间变化的图像.

2.1 科学知识

知识是对客观事物属性与联系的反映,是客观世界在人脑中的映象,它源于外部世界,具有客观性,是进行科学探究的基础和依据.“第一性原理”即事物最本源的、无须论证的道理.从这个角度出发,科学知识无疑就成为了科学探究不可或缺的要素之一.科学知识不仅为科学探究提供了起点和方向,同时也确保了探究过程的严谨性和科学性,使得我们能够在坚实的基础上不断深化对自然界的理解.

科学知识是人类用科学的思想、观点和方法在描述和研究物质世界的变化规律过程中所获得的认识和经验的总和,是对物质世界的描述,由众多的科学事实组成的,包括科学概念和科学规律等.[13]这些概念、规律和理论为科学探究提供了指导和依据,使得科学家们能够有针对性地进行科学观察和实验设计,从而进一步探索和发现新的科学现象和规律.科学探究也是科学知识不断丰富和发展的关键途径.科学探究是一个不断追求真理、不断试错和修正的过程.通过设计实验、收集数据、分析归纳等步骤,科学家们能够发现新的科学现象,学生能够学习新的知识.没有科学探究,科学知识将停留在已有的水平上,无法向前发展.唯有关注学生的既有知识及其对科学知识的学习,才能使其更好地认识和理解客观世界,这为学生方法的运用、技能的提升、思维的发展等奠定了基础,更是在知识的掌握与灵活运用的过程中,发展了学生关键能力.

在探讨“篮球落地”这一原始问题时,学生想要通过科学探究解决问题,首先需要具有扎实的知识基础,包括:牛顿第二定律、自由落体定律、胡克定律等.只有在充分理解和掌握了这些基本的科学知识后,学生才能进行科学探究.除此之外,科学探究中所用的知识并非唾手而得,而是往往隐藏在科学现象之中,需要通过大脑的检索与提取,才能加以运用.否则,科学探究就难以进行下去,也就难以对科学现象进行合理的解释和预测.因此,对于任何科学探究而言,科学知识都是不可或缺的要素.

2.2 科学方法

科学方法是人们在认识和改造客观世界的实践活动中总结出来的行为方式,是人们认识和改造自然的有效工具,对科学探究有着重要的作用.比如,控制变量法、等效替代法等.

在获取与应用科学知识的探究过程中,科学方法的运用发挥着至关重要的作用.因此,科学方法应当被视为科学探究不可或缺的一部分.通过对科学方法的持续积累与灵活应用,学生不仅能够形成一种借助科学方法迅速获取知识的心理倾向,还能够将探究过程与已有知识有效融合,进而在探究中实现知识的同化与顺应.此外,科学方法

中国知网 https://www.cnki.net

的运用还能使学生在面对探究问题时，迅速识别问题的核心，并找到解决问题的有效途径，从而推动科学探究的深入进行.

在探究“篮球落地”规律时，对篮球进行受力分析是探究的关键环节.这一过程需要运用“受力分析法”，因为正确的受力分析有助于学生深入理解篮球在重力、地面弹力作用下的运动状态.为了表征篮球落地过程中加速度随时间变化的关系，“图像法”作为一种有效的科学方法，可以将物理量之间的关系以图像的形式直观展示.这种表示方式不仅便于观察加速度随时间变化的趋势，还有助于分析篮球运动的具体情况，如落地后最大加速度的情况等.若学生不熟悉或不了解受力分析法和图像法等科学方法，将难以对篮球落地现象进行充分有效的探究.因此，科学方法成为科学探究的构成要素就名副其实.

2.3 技能

技能是个体运用已有知识和经验，通过练习而形成的智力动作方式和肢体动作方式的复杂系统，包括心智技能和动作技能.科学是以实验为基础的，科学中许多重要的定律、概念和理论都是通过实验，对大量的科学现象进行分析、归纳比较和综合后总结出来的.因此，技能必然是构成科学探究的一个要素.

心智技能具有内隐性的特点，这种技能往往是在思维层面进行，涵盖了心算、速算、估算、问题解决等多种智力活动.心智技能的形成对学生的学习和发展具有重要意义.通过心智技能的培养，学生能够将复杂的知识系统化，形成结构清晰、逻辑严密的知识体系.同时，学生还能将理论化的方法论体系和精密的数学工具内化于心，使得在面临实际问题时，能够迅速提取和应用相关知识，避免了“现用现查”的困境.

操作技能是科学探究的核心部分.操作技能是由一系列动作构成的，是通过练习而形成和巩固起来的一种合乎法则的随意行动方式.操作技能的主要特点是：以一定的物质形式的客体作为动作对象，活动的进行可以看得见，以头脑外部的动作来实现，活动的结构都必须实际做出，不能省略和简缩.操作技能应包括实验操作、观察、数据处理与误差分析等.在科学探究中，技能是非常重要的，这些技能和要求可以保证学生能够规范进行科学探究，同时，在思考探究设计时敢于探索延伸并大胆尝试创新，技能作为科学探究的要素之一的重要性就不言而喻.

在探究“篮球落地”的问题时，考虑到篮球与地面碰撞后弹起过程触地时间极短，这一特点使得压力传感器的测量没有输出结果.因此，为了能够测量弹力随时间的变化数据，就需要采用创新的操作技能，利用注水气球来代替篮球，从而成功地记录了篮球落地过程中弹力与时间的关系图像，这一处理就体现出操作技能的重要性.

2.4 科学思维

科学思维是从科学视角对客观事物的本质属性、内在规律及相互关系的认识方式，是基于经验事实建构理想模型的抽象概括过程.在科学探究过程中，重视分析与综合、抽象和概括、推理与判断等思维方法，[14]强调在概念和规律教学中渗透建构模型思想，引导学生形成科学证据意识，因此，科学思维就成为科学探究的构成要素之一.

科学思维为科学探究提供了理论指导和思考框架，使学生能够更加系统地进行探究活动.学生在运用科学思维进行科学探究的过程中，能够培养逻辑思维、形象思维、灵感思维等，这些思维不仅在物理学习中至关重要，也是未来学习和生活中的关键.科学思维的内容包括分析、综合、抽象、概括、比较、判断、假设、推理、直觉、想象等.[15]

在“篮球落地”问题的探究中，科学思维的运用显得尤为重要.在探究过程中，将复杂的实际情境简化为可分析的模型，抽象思维发挥了关键作用.比如，在分析篮球落地过程中的受力情况时，需要忽略空气阻力的影响，简化问题的复杂性，分析出篮球仅在重力和地面弹力的作用下运动；在研究篮球与地面碰撞的瞬间，需要将篮球“想象”成弹簧，使得篮球形变所产生的弹力得以合理表示和量化；在设置物理量时，需要用到假设思维，设篮球质量为 m；触地过程受到的弹力为 f；篮球形变时的等效弹性劲度系数为 k；篮球的形变量为 x 等.科学思维在科学探究中的价值不仅在于解决问题，更在于其能够培养学生的批判性思维和创新能力.在科学思维的引导下学生才能够基于事实证据对不同观点和结论质疑和批判，进而提出自己的创造性见解和解决方案.因此，科学思维理应成为科学探究不可或缺的要素之一.

2.5 数学

数学是指在科学探究过程中选择恰当的数学工具并进行必要推导时所运用的数学知识.[16]从物理学知识—能力结构图(图1)来看，实验事实是基础、理论是主干，数学在知识的获取与应用过程中具有重要作用.

中国知网 https://www.cnki.net

要使科学研究能够揭示现象背后的原理和规律,并推动科学的表达提升至定量的高度,单纯的文字描述是远远不够的.数学以其独特的精确性和逻辑性,成为科学探究中不可或缺的工具.因此,数学就应当被视为科学探究的要素之一,数学的参与是完成科学探究的必要条件.

在探讨“篮球落地”的问题时,为了准确描述篮球的受力情况,我们不得不借助数学来表达这些复杂的力学关系.在篮球与地面接触过程中,所受弹力为 $f=k_1x$,假设形变量随时间的变化为线性变化,则压缩过程中 $x_1=k_2t$,$f=k_1k_2t=kt$;在恢复过程中 $x_2=k_2(-t)$,$f=k_1(-k_2t)=k(-t)$.在篮球压缩阶段,篮球受弹力为 kt;由牛顿第二定律 $mg-kt=ma$,得 $a=g-\frac{kt}{m}$;在篮球恢复阶段,篮球受力为 $mg-k(-t)$;由牛顿第二定律 $mg-k(-t)=ma$,得 $a=g+\frac{kt}{m}$.依据篮球压缩和恢复阶段加速度随时间变化的表达式,可以将篮球落地过程的加速度随时间变化规律表达出来,如图 2 所示.显然科学探究通常需要定量化的表达,而这正是数学作为科学探究的工具和保障的体现.因此,数学无疑就构成了科学探究中的重要要素.

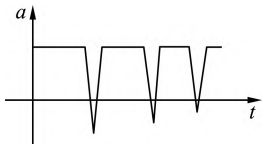

图 2 篮球落地的加速度随时间变化的图像

2.6 实验

实验是人们根据研究和学习的目的,利用仪器和设备,人为地控制或模拟科学现象,排除各种偶然、次要因素的干扰,突出主要因素,在有利的条件下重复地去研究科学现象及其规律的活动.实验是科学探究的基石,它提供了直接观察和测试自然现象、理论或假设的机会,为科学探究提供了实证的基础.[17]通过实验,研究者能够系统地控制变量,观察现象的变化,收集数据,并对这些数据进行分析和解释.

实验所提供的数据和结果,作为客观、可重复的证据,对理论或假设的正确性起着决定性的支持或反驳作用.没有实验作为验证手段,科学探究将失去科学性和可靠性,所得到的结论也难以被接受.实验一般包括明确实验目的、提出具体问题、进行猜想或假设、设计实验步骤和操作方法、进行实验、观察和记录,收集数据、得出实验结论、评估、反思和交流等步骤.

在探究“篮球落地”问题时,借助注水气球来代替篮球,利用压力传感器可以成功地记录篮球落地过程中弹力与时间的图像关系(如图 3).[18]

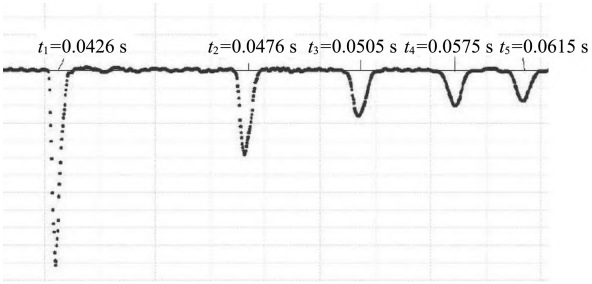

图 3 借助传感器采集到的加速度随时间变化的图像

这一方法不仅克服了碰撞时间极短难以记录的难题,还为进一步验证篮球落地时加速度随时间变化的函数关系(如图 2)提供了有力支持,达到科学探究的目的.这一过程不仅展示了实验在验证科学理论中的重要性,也再次强调了实验在科学探究中不可或缺的地位.由此可见,实验作为科学探究的构成要素之一实至名归.

2.7 科学精神

在科学研究的道路上,持之以恒的态度是取得突破和成功的关键.许多科学发现并非一蹴而就,而是需要长期不懈地努力、反复试验和验证.只有在持之以恒精神的指引下,逐渐积累起足够的经验,才能逐步揭示出隐藏在现象背后的科学规律,科学探究亦如此.在科学探究过程中,同样会遇到来自于实验条件的限制、数据的不确定性、理论模型的复杂性等方面的挑战.面对这些困难,就需要保持坚定的信念和毅力,不断尝试新的方法、调整实验方案,直至找到解决问题的途径.显然,只有持之以恒的态度才能够在困难面前不气馁、不放弃,才能最终完成科学探究.因此,持之以恒、实事求是的科学精神是科学探究的构成要素之一.

北京大学招生考试院院长秦春华在《中国优秀科研苗子为何难修正果》一文中曾讲过一个发人深省的例子.他的一位校友曾获得全国中学生物理竞赛一等奖和国际奥林匹克物理竞赛金奖.由于成绩优异,被保送到北京大学攻读物理学,后赴美国攻读硕士、博士学位,博士后跟随一位诺贝尔物理学奖得主继续从事科学研究,出站后获得助理教授职位.但在几年前,他竟放弃科研工作,从事投资移民咨询工作.[19]为何这样一位在学术上表现出色的学生,未能在其最初热爱与擅长的领域里持之以恒?或许,其中就透露出持之以恒科学精神的缺乏.

中国知网 https://www.cnki.net

王国维在他著名的《人间词话》中，曾描绘过古今之成大事业大学问者必经过三种之境界：昨夜西风凋碧树，独上高楼望尽天涯路；衣带渐宽终不悔，为伊消得人憔悴；众里寻他千百度，蓦然回首，那人却在灯火阑珊处.可见，科学精神理应成为学生科学探究要素的一部分，促使他们在面对挑战和困难时，能够始终坚定信念，不断前行.

3 研究启示

对科学探究的本质进行解构，是判断科学探究理论正确与否的方式，也是培养学生科学探究能力的重要前提.基于这一认识，本文给出以下研究启示.

3.1 科学探究要从理论上思考问题

尽管美国科学教育界最早将科学探究的步骤视为科学探究的要素，但这并不意味着我们只能以讹传讹、东施效颦.恰恰相反，对此，我们应当保持理论的清醒与自觉，还原科学探究的本来面貌.因为唯有拥有正确的科学探究理论，方能指引有效的科学探究实践.

理论是指关于客观事物本质、规律及其相互联系的较为高层次的理性认识和表达，是一种对客观事物进行抽象、概括和系统化的认识方式.理论具有普遍性、规律性、科学性、实践指导性等特点.理论的基本构成要素包括概念、范畴、原理、规律、方法、模型等.

理论作为认识和指导实践的工具，它的建构需要符合一定的科学原则.首先是可证伪性原则，即理论的真伪需要通过实践检验和验证.其次是客观性原则，即理论的内容必须基于客观实际，不能脱离实践而空泛地发展.第三是系统性原则，即理论必须建立在系统化和有机的基础上，具备内部的一致性和有机的连贯性.以这样的标准来评价，以往步骤视角的科学探究理论过于聚焦对探究过程的描述，但在理论的普遍性、规律性、科学性、实践指导性等特点上均具有较大缺陷.

而科学探究的要素理论则不然.科学探究的要素理论，既符合科学探究的本质要求，又不偏离科学探究的实践方向.其科学知识、科学方法、技能、科学思维、数学、科学实验、科学精神的构成要素，不仅穷尽了科学探究的主要构成要素，而且要素之间存在着相互作用.能够很好地体现科学探究理论的普遍性、自洽性、科学性、实践指导性特点，并且可以发挥科学探究理论的相关、解释与预测功能，从而使我们对科学探究的认识迷途知返、豁然开朗，并为科学探究的实践提供有效的理论指引.

3.2 科学探究要体现实践取向

正如美国著名心理学家勒温所言：“没有任何一个东西比好的理论更加实用.”[20]因此，科学探究理论的建立与发展，就始终要关注理论的实践取向.否则，就难免会成为高高在上、自话自说的理论花瓶.

作为衡量理论实践取向的可操作性，要求科学探究理论不仅能够在理论上自洽，更要能够在实践中有效地指导科学探究活动.因此，对于科学探究理论的研究，我们需要在保持理论优雅的同时，进一步考虑理论的实践取向.

应当指出的是，科学探究的实践取向不是指单向地运用科学探究理论指导探究实践，而是指双向地探究理论与实践的关系.即运用科学探究理论指导探究实践，再运用科学探究实践验证科学探究理论，从而达成理论与实践的结合与统一.通过这样的活动，才能够使学生从理论与实践的结合中更加深入地理解和掌握科学知识，从而培养学生运用科学探究理论解决实际问题的能力.

以“篮球落地”问题为例，可知在科学探究的过程中分别运用了科学知识（牛顿运动定律、胡克定律、自由落体运动定律）、科学方法（受力分析法、图像法）、操作技能（用注水气球来模拟篮球等）、科学思维（忽略空气阻力、将篮球抽象成有一定质量的弹性体、假设形变量随时间的变化为线性变化等）、数学（求解篮球落地加速度随时间变化的表达式）、科学实验（运用力传感器验证理论推导的结果）等，尤其是图2与图3的高度一致性，淋漓尽致地彰显了本文所建构的科学探究理论的合理性以及实践对理论的验证性，结果的精确性令人叹为观止.

3.3 科学探究要洞察探究本质

在深入研究科学探究的构成要素后，还需要以全新的视角重新审视科学探究.这不仅要求要对传统的科学探究培养模式进行深刻反思，更需要对科学探究的两种视角进行全新的理解与诠释.

杨振宁教授曾经讲过一个笑话，有助于我们深刻理解科学探究的本质：一天晚上，一帮人来到一个小镇.他们有许多衣服要洗，于是满街找洗衣房.突然他们见到一扇窗户上有标记“这里是洗衣房”.一个人高声问道：“我们可以把衣服留在这儿让你洗吗？”窗内的老板回答说：“不，我们不洗衣服.”来人又问道：“你们窗户上不是写着是洗衣房吗？”老板又回答说：“我们是做洗衣房标记的，不洗衣服.”[21]这很像对科学探究的 （下转第17页）

中国知网 https://www.cnki.net

4 结语

浸润批判性思维的物理教学，要让学生在开放性问题的引导以及结构化设计的课堂中，经历完整的批判性思维过程，有意识地基于证据进行理性思考和合理论证，在不断地自我反思和自我审视中进行知识结构的完整建构，并在此过程中逐步掌握阐述、分析、评估、推论、解释以及自我校准等批判性思维的认知技能，形成好奇、自信、开朗、灵活、公正、诚实、谨慎等情感倾向.有效地实施浸润批判性思维的物理教学，要求教师深刻理解批判性思维对于学生的价值和意义，遵循适切的教学原则，选择合理的教学策略，使学生在潜移默化中，发展批判性思维，获得有质量的生命成长.

参考文献：

1 人民教育出版社，课程教材研究所，物理课程教材研究开发中心.物理：必修第一册[M].北京：人民教育出版社，2020.
2 钟启泉.批判性思维：概念界定与教学方略[J].全球教育展望，2020，49(1)：3－16.
3 汪明.基于批判性思维的“狭义相对论”教学研究[J].物理教学，2019，41(4)：8－12.
4 王建，李如密.批判性思维与创新思维的辨析与培育[J].课程·教材·教法，2018，38(6)：53－58.
5 汪明，任虎虎.浸润批判性思维的物理教学框架与策略——以人教版“动量守恒定律”教学为例[J].物理教师，2023，44(11)：20－24.
6 黄镇宇.质疑分析推理检验培养学生的批判性思维[J].物理教师，2023，44(9)：94－97.
7 刘权.批判性思维培养的实践路径分析[J].物理教师，2020，44(2)：37－40.

(收稿日期：2024－04－03)

(上接第 8 页)

不同视角的精妙诠释.

这是因为，步骤视角只做科学探究的“标记”，但不做科学探究.因为步骤视角的科学探究往往将科学探究简化为一种流程或模式.这种模式化的探究容易忽视学生探究的经验与直觉的作用，从而限制了他们未来进行创造性思考的能力.要素视角的科学探究，则突破了这种局限性.它不再仅仅关注探究步骤的按部就班，而是聚焦于探究要素的作用与效果.这不仅从根本上解决了“假探究”的问题，还为科学探究能力的培养提供了新的思路.在这个意义上，要素视角就相当于洗衣房的真实“洗衣”.因为一个真实的洗衣房就需要有工人、洗衣机、洗衣液、水等，否则这样的洗衣房就沦为只挂“标记”但不能洗衣服的洗衣房.通过洞察科学探究的不同视角，我们可以更加深入地理解科学探究的不同侧面，更有效地培养学生的科学探究能力，推动他们在科学探究中不断创新与发展.

参考文献：

1 丁邦平.全球化视野下学校科学教育改革的观察与反思[J].湖南师范大学教育科学学报，2021，20(5)：10－17.
2 袁维新.科学探究教学模式的反思与批判[J].教育学报，2006(4)：13－17，30.
3 韦冬余.论施瓦布科学探究教学的基本内涵[J].全球教育展望，2015，44(4)：28－35.
4 National Research Council. National science education standards[S]. Washington DC: The National Academies Press, 1996.
5 唐小为，丁邦平.“科学探究”缘何变身“科学实践”？——解读美国科学教育框架理念的首位关键词之变[J].教育研究，2012，33(11)：141－145.
6 中国社会科学院语言研究所词典编辑室.2020 现代汉语词典 第 7 版[M]. 北京：商务印书馆，2020.
7 陈至立. 辞海[M]. 上海：上海辞书出版社，2020.
8 范佳午. 科学探究能力模型与培养研究[M]. 南宁：广西教育出版社，2016.
9 左成光. 小学生科学推理能力及其影响因素研究[D]. 重庆：西南大学，2019.
10 Klahr D, Dunbar K. Dual space search during scientific reasoning[J]. Cognitive science, 1988, 12(1): 1－48.
11 G. Holton. 物理科学的概念和理论导论：上册[M].张大卫，戴念祖，译.北京：人民教育出版社，1983.
12 赵凯华.定性与半定量物理学：第 2 版[M].北京：高等教育出版社，2008.
13 王勇.依托物理问题情境变“知识”成“观念”[J].物理教师，2023，44(10)：26－28.
14 邢红军.思维品质问卷的编制研究[J].教育科学研究，2014(5)：54－57.
15 邢红军.中小学思维教学的深化研究[J].课程·教材·教法，2016，36(7)：33－39，75.
16 邢红军，王玉婷，李杰.论科学建模的问题表征理论及其启示[J].课程·教材·教法，2023，43(2)：116－122.
17 邢红军.中学物理实验教学的调查研究[J].物理教师，1998(4)：17－19.
18 陈清梅，邢红军，郑旭，等.“篮球落地”原始物理问题的探索性实验研究[J].物理教师，2015，36(12)：74－75.
19 秦春华.中国优秀科研苗子为何难修正果[N].光明日报，2014－07－29(13).
20 秦宇.为什么我们提不出实用的好理论？[J].旅游学刊，2023，38(9)：10－12.
21 杨振宁著.杨振宁文集(下)[M]. 上海：华东师范大学出版社，1998.

(收稿日期：2024－07－25)

中国知网 https://www.cnki.net