

# “科学思维”及其层次刍议

——基于国际科学教育与教育心理学的视角

韩泽宇 苏咏梅\* (香港教育大学科学与环境学系 香港 999077)

**摘要** 科学思维是物理学科核心素养中的关键维度之一,也是科学素养的重要组成成分。如何全面深入理解新版课程标准中提炼出的科学思维是物理教育教学的核心问题。本文在已有早期研究的基础上,结合国际科学教育及教育心理学的相关研究进展,对照新版物理学科课程标准中的界定,结合教学实例,明确并讨论了科学思维的基本方法、推理形式、物理学科特色、批判性与创造性的高阶思维等,指出了物理学科中科学思维的层次性,并结合科学思维在科学探究中的体现提出了相应教学建议。

**关键词** 科学思维 物理核心素养 科学教育

**文章编号** 1002-0748(2023)1-0007

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

科学思维是 21 世纪学生科学素养的关键方面。国际上许多国家或地区的科学课程标准以及国际科学素养测试如 TIMSS 等都将其作为核心指标;我国的综合科学以及分科科学课程标准也将其列为学科核心素养的重要维度之一。就物理学科而言,早先颁布的《普通高中物理课程标准(2017 年版)》(简称新课标)首次明确将“科学思维”作为物理学科核心素养的关键维度,并明确指出其主要包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等四个要素。近期颁布的《义务教育物理课程标准(2022 年版)》沿用了这一界定。可见,修订后的课程标准基于物理学科核心素养明确划分了科学思维的要素。表面上看,以往熟知的“归纳与演绎”“守恒思维”等似乎有所“淡化”。如何以新课标中突出的关键要素为核心,全面地理解科学思维便成为关键问题。鉴于此,本文首先在早期研究的基础上,结合国际科学教育的相关研究成果,明确并讨论跨学科科学思维的基本方法、基本形式以及科学思维的物理学科特色等三个方面;然后,从科学教育心理学的视角讨论科学思维中批判性、创造性等高阶思维;最后,指出物理学科中科学思维的层次性,并结合科学思维在科学探究中的体现提出相应教学建议。

## 1 跨学科的科学思维

科学思维是物理学科核心素养的关键维度之一,也是科学素养的重要组成部分。许多国家都明

确将科学思维列入整合的跨学科科学课程纲领文件中。物理学视角下的科学思维无疑应当对培养学生跨学科科学思维发挥应有的作用。此外,从科学思维发展史上看,尽管物理学作为最为基础的自然科学学科之一,对自然科学研究的基本范式、思维发展多次起到引领作用,但随着近现代自然科学学科的分化、交叉与整合,对科学思维的讨论早已超越了单一的物理、化学等学科,而集各学科之所长。因此,要全面理解科学思维,必须首先理解跨越物理、化学、生物等学科共同提炼出的跨学科科学思维。正如斯坦福大学的 Jonathan Osborne<sup>[1]</sup> 等所呼吁的,跨学科的科学思维(科学推理)相较“跨学科概念”更适合作为联结各科学学科的核心,并可被划分为六种“推理风格”,即数学演绎、实验探索、假设建模、分层归类、概率推理、基于历史的演变推理等。以此分类为参考,结合我国对科学思维的研究传统及已有共识,跨学科的科学思维可被划分为基本方法及一般推理形式等两个层次。

### 1.1 科学思维的基本方法

尽管国内外对科学思维的定义及陈述各不相同,但归纳演绎等科学思维的基本要素得到广泛的认同。采用胡卫平等专家的观点,这些基本要素可以概括为科学思维的基本方法,主要包括归纳与演绎,抽象与概括,类比、比较与分类,分析与综合等<sup>[2]</sup>。

“归纳与演绎”是一对最为基本的科学思维方

\* 通讯作者:苏咏梅。

法。归纳是由个别到一般的过程,如由地球表面附近的若干不同物体在不施加外力时会自由下落进而归纳出地球表面的所有物体都有此特点。演绎则反之。由此归纳的实例可以看出,归纳往往是科学思维的起点且其结果仍是现象。要想进一步形成科学概念或规律,则需要在此基础上运用另一对科学思维方法,即“抽象与概括”。抽象是撇开次要的非本质因素,抽出主要的本质因素的思维过程,概括则是在此基础上将一类事物共同的本质属性进一步联合起来形成新概念新规律的思维过程。

以往科学教学往往重演绎而轻归纳,轻抽象概括,甚至混淆了科学学科与其他学科教学的界限。例如,教师在进行“重力”这一物理概念的教学时先直接向学生完整展示重力的内涵,再用个别的现象解释内涵中的要点。诚然,这也是一种教学或学习的方式,从结果上看,似乎学生也终会掌握重力这一概念。但实际上,这样的概念建构过程,既非归纳,也非演绎,更没有用到抽象或概括,也就是说并不涉及任何的“科学思维”,因此也就不能算是真正的科学或物理教学,也就无法通过教学培养学生包括物理学科核心素养在内的科学素养。由此例可以看出,明晰“归纳与演绎”及“抽象与概括”这两对科学思维的基本方法有助于教师从根本上把握科学教学的本质,进而引导学生经历、体会并最终形成内化的科学思维。此外,“类比”“比较与分类”也是重要的科学思维方法,并且是对上述基本思维方法的补充或延伸,在科学教学中有着相当重要的地位。

如果说以上是科学概念规律形成与科学教学中基本的思维方法,那么“分析与综合”则是科学问题解决中基本的思维方法。有别于日常生活语境下广义的内涵,这里的“分析”特指把研究对象在思维上分解成若干要素以分别考察的过程;而“综合”则是指在分析的基础上将各部分结合,从整体上进一步研究的思维过程。这一对基本思维方法广泛渗透于问题解决之中,但往往未被视作“科学思维”,而是一种解题方法甚至是“技巧”。如受力分析中常用的“整体法”与“隔离法”、分析复杂多阶段运动学问题时采用的整体运动与分段运动相结合等方法,事实上都是分析与综合这对基本思维方法在具体情境下的运用和特殊化。因此,在物理教学尤其是问题解决过程中从科学思维的高度审视以往所谓的技巧能减轻学生的认知负担,并在贯通具体情境的运用中形成运用科学思维的“主动意识”,从而最终内化科学思维,形成解决科学问题的关键能力。

## 1.2 科学思维的形式与“科学推理”

新课标明确将“科学推理”作为科学思维的核心要素之一,这与国际科学教育研究的趋势相一致,即将科学推理视为科学思维的核心,甚至视二者为同义词<sup>[3]</sup>。科学思维可以表现为若干的推理形式。采用国际科学教育领域普遍使用的科学推理能力测试卷 LCTSR(Lawson Classroom Test of the Scientific Reasoning)中对科学推理形式的分类,一般包含守恒、控制变量、相关、假设演绎、比例、概率等六种形式<sup>[4]</sup>。其中,守恒及控制变量推理尤其需要经历特定的培养过程,进行推理的前提是理解其内涵并具有用来推理的视角与主动意识,这与科学史上对它们艰难的认知过程相一致。如科学史上对守恒量的追寻正是推动人们认识能量的基本线索,时至今日这一基本思想仍在量子研究领域发挥着不可替代的作用。因此在物理学教学中,不仅要引导学生积极运用恰当推理形式解决相关问题,更要充分挖掘学科资源,在科学概念规律的建构过程中引导学生经历体会守恒及控制变量等推理形式的独特优势与科学魅力。

## 2 科学思维的物理学科特色:“模型建构”

在跨学科科学思维基本方法与科学推理形式之外,如何突出物理学科的学科特色?如果说化学学科的思维特色在于“转化”,生物学科在于“还原”,那么物理学科的思维特色即在于“建模”,即物理新课标中被明确指出且列为科学思维要素首位的“模型建构”。正如我国物理教育专家郭玉英指出的,建构与运用模型是物理学最重要的研究方法之一,也是物理学的核心学科特色<sup>[3]</sup>。

模型建构是根据研究问题和情境,运用“抽象和概括”的思维方法构建理想模型、理想过程、理想实验和物理概念的过程<sup>[2]</sup>。这一过程也正是“抽象与概括”思维方法的集中体现。可以说物理概念、规律都是模型建构的结果。不仅在物理概念规律建构的教学中,在物理问题尤其是“原始的”实际问题解决过程中,模型建构更是发挥着至关重要的作用。真实的问题大多是复杂繁琐的,要想从物理学的视角高效地解决问题,就必须学会忽略次要因素,抓住主要矛盾,合理的建构一个新物理模型或与已知的物理模型匹配关联,进而运用物理概念规律解决问题。如在研究物体一维乃至二维动力学问题时,一般可以将物体视为质点,运用牛顿运动定律分析解决;而当涉及物体的旋转,质点这一模型以及牛顿运动定律已不再合适,必须选用刚体模型及转动定理;而当

研究对象自身存在形变时,刚体模型也不再适用,必须选取更加复杂的物理模型。

### 3 科学思维中的高阶思维

物理新课标还明确将“科学论证”与“质疑创新”列为科学思维的要素。在国际科学教育领域对两者的研究不仅基于科学教育的视角,更拓展到了认知与教育心理学的视角,因为与“科学论证”紧密相连的“批判性思维”、与“质疑创新”紧密相连的“创造性思维”已是成熟的心理学概念,有助于大大深化对两要素的认识。此外,在布鲁姆教育目标分类理论中,与两要素相对应的“评价”和“创造”分属六个思维层级中的最高两个层级,因此,可以将这两个要素及其所对应的思维视为科学思维中的“高阶思维”<sup>[5]</sup>。

#### 3.1 “批判性思维”与“科学论证”

科学论证是以科学知识为中介,基于收集到的证据提出自己的论点,并反思自己和他人论点的不足以提出反论点,同时能反驳他人的质疑和批判的高阶思维能力<sup>[2]</sup>。可以看出,当下对科学论证的要求已超越传统的单向“立论”,而在此基础上期望学生能批判性地论证与响应论证,这就需要发挥科学背景下的批判性思维。

尽管国内外科学教育及心理学界对批判性思维的定义各有差异,但一些关键特征得到了公认。首先,从认知上,它不仅指向对想法的反思,还指向对思考过程本身的反思,即强调元认知能力;其次,它不仅包含认知上的能力(ability),还包含进行批判性思维的倾向(disposition)。也就是说,批判性思维的培养首先是对批判性思考“意识”的培养,否则,即使具备了批判性思维的能力,也不会自觉主动的进行批判性思维。再次,批判性思维的核心在于从倾向和认知能力两方面运用和反思“证据”<sup>[6][7]</sup>。

例如初中物理学习的开端“声音的产生”一节,学生往往列举易观察到的固体振动如橡皮筋振动等情形,并在此基础上直接归纳得出“一切物体的声音都是由振动产生”的结论。这时教师应鼓励学生及时反思这一结论本身的科学性,更重要的是进一步反思这一科学论证的“思维过程”,主动寻找并反思“证据”的合理性,使学生进而意识到,由于固、液、气三态在基本性质上即存在众多差异,补充验证液体及气体振动发声的实例以完善归纳进而得出一般结论便是必要的。在此例中,不仅强调了学生对结果之外“思维过程”的反思尤其是对“证据”的思考,还让学生体会到大量论证可能都是存在问题的,进行

基于证据的批判性思维是必要的,从而逐渐形成进行批判性思维的意识倾向,并与认知能力相融合。

#### 3.2 “创造性思维”与“质疑创新”

“质疑创新”以“科学论证”为基础,其核心是“科学创造力”<sup>[2]</sup>。它不仅需要“批判性思维”来“质疑”,还需要“科学创造力”的核心即“科学创造性思维”来“创新”。

科学创造性思维具有流畅性(规定时间内产生观念的多少)、灵活性(产生观念或方法的维度和方面)、独创性(产生不同寻常的独特观念)等三个基本特征<sup>[8]</sup>。也就是说,学生的科学创造性思维不仅表现在产生更多数量的观念,还体现在观念的广度、维度及观念的独特性上,这为指向培养科学创造力的教学提供了基本参照。同时,科学创造性思维并不等同于传统认为的发散性思维,而是发散性思维与聚合性思维的统一。如果说一般领域的创造性思维首先或更多地指向发散性思维,那么科学领域的创造力则更加强调聚合性思维的独特作用。任何科学创造性活动的全过程,都要经过从发散性思维到聚合性思维、再从聚合性思维到发散性思维的若干循环,直至科学问题的解决,这就是科学创造性思维的基本方式<sup>[9]</sup>。因此,在物理教学中,既要鼓励学生大胆发散,又要引导学生适时将思维聚集中以聚焦问题的解决。

此外,除了作为核心的“科学创造性思维”,“科学创造性想象”也被列为经典科学创造力模型的另一基本要素,这便从培养创造力的视角,为将与“想象”相关的“猜想”“直觉”等区别于理性思维的非理性因素纳入科学及物理教学提供了清晰的理论依据<sup>[8]</sup>。如在高中阶段“弹力”概念的教学中,教师先让学生观察弹簧的明显形变并亲身感受由此产生的弹力;然后,鼓励学生思考如何进一步研究绳的拉力及桌面的支持力。这就需要科学“猜想”,即这些力是否也如弹簧的弹力由于形变而产生。猜想的依据在于上述这三种力都区别于前一节建构的重力,都属于“接触力”,在接触的前提下,进一步发生形变便可能是这些力产生的共同原因。事实上这也是一种物理“直觉”。随后引导学生设计实验“放大”绳和桌面的微小形变以验证这一猜想,进而归纳得出上述三种力在性质上都是“弹力”,都是由于相互接触且发生弹性形变而产生的。然后,便可进一步引导学生将拉力、支持力等只有微小形变的弹力模型“想象”为一个硬质弹簧,以促进理解“弹力的方向始终垂直于接触面”。

### 4 物理学科核心素养下科学思维的层次

综合上述讨论,物理学科核心素养下的科学思

维具有一定的层次性(见图 1)。跨学科科学思维的基本方法是基础,“科学推理”与“模型建构”是科学思维的主体,其中后者突出体现了物理学学科的特色。其共同基础之上还有科学思维中的高阶思维,即与“科学论证”密切相关的“批判性思维”,与“质疑创新”紧密相连的“创造性思维”。

尽管在实际教学中各个基本要素的形成并不总是严格遵循上述科学思维的层次性,但要想引导学生形成高质量的科学思维,从整体上把握并遵循此层次性来组织并深化教学仍是必要的,正如国际科学与物理教育专家包雷指出的,科学领域的批判性思维及创造性思维往往以科学推理能力为基础<sup>[10]</sup>;甚至当学生尚未掌握更加基础的科学思维的基本方法时,在提出问题或设计实验中尽管也能表现出一定的创造性,但此时的创造性可能仍是低水平甚至“非科学”的。

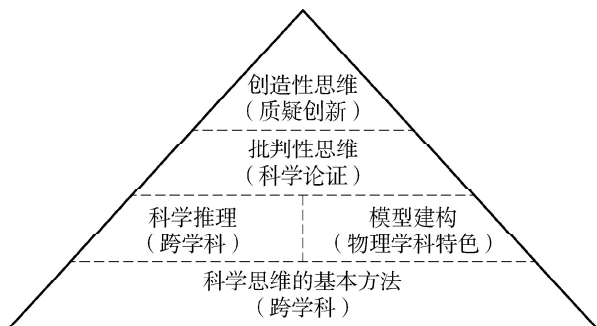


图 1 物理学科下科学思维层次关系图

## 5 科学思维在科学探究中的体现

在国际科学教育领域,除了以 LCTSR 为代表、以上述科学思维的基本方法与推理形式为要素的科学思维研究路径之外,以提出问题、做出假设、设计实验、分析数据与得出结论等为要素的另一“科学思维”研究路径也得到了研究者的普遍关注<sup>[11]</sup>。从表面上看,这些要素似乎更接近于物理学科核心素养中“科学探究”的主要环节。事实上,科学探究的每个环节正需要上述科学思维的综合驱动,可以说,科学探究是从科学问题发现和解决流程的视角、以科学思维为核心、对包含科学思维在内的物理学科核心素养的综合反映。这也正是国际科学教育领域有时将“科学思维”与“科学探究”二者整合甚至“混淆”的原因。

以“做出假设”这一环节为例,初中阶段在尝试解释“光在介质分界面发生反射与折射”等相关生活现象时,受限于已有的物理知识,这时假设的提出往往体现在“归纳”等基本科学思维方法的运用上;而

高中阶段则可以结合已有对机械波的规律认识提出“光可能也是一种波”的假设,这时则进一步集中体现了“类比推理”乃至“创造性思维”等高阶科学思维,这正是提出高质量科学假说的而非低水平生活化假设的重要特征。而随后的“设计实验”“分析数据与得出结论”等环节又是运用“批判性思维”进行科学论证的集中体现。

因此,在培养科学思维的过程中,除了遵循上述科学思维的层次性,还应积极将科学思维与科学探究的若干环节恰当关联,一方面在科学探究中促进形成高水平综合化的科学思维;另一方面,用科学思维来支撑高水平的科学探究,以促进物理学科核心素养的整体发展。

## 参考文献

- [1] Jonathan Osborne, Stephanie Rafanelli, Per Kind. Toward a more coherent model for science education than the crosscutting concepts of the next generation science standards: The affordances of styles of reasoning [J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 2018, 55: 962-981.
- [2] 胡卫平. 物理学科核心素养的内涵与表现[J]. *中学物理教学参考*, 2017(8).
- [3] 郭玉英. 从三维课程目标到物理核心素养[J]. *物理教学*, 2017(11).
- [4] Lei Bao, Yang Xiao, Kathleen Koenig, Jing Han. Validity evaluation of the Lawson classroom test of scientific reasoning [J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2018, 14(2): 020106.
- [5] Wei Bing, Yitong Ou. A comparative analysis of junior high school science curricula in Mainland China, Taiwan, Hong Kong and Macau: Based on revised Bloom's taxonomy [J]. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2019(17): 1459-1474.
- [6] Jan Sermeus, M. De Cock, J. Elen. Critical thinking in electricity and magnetism: assessing and stimulating secondary school students [J]. *International Journal of Science Education*, 2021, 43(16): 2597-2617.
- [7] 符吉霞,王祖浩. 国外职前科学教师的批判性思维培养模式及启示[J]. *教师教育论坛*, 2019(11): 74-81.
- [8] Weiping Hu, Philip Adey. A scientific creativity test for secondary school students [J]. *International Journal of Science Education*, 2002, 24(4): 389-403.
- [9] 胡卫平. 科学思维培育学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 133.
- [10] Lei Bao, Kathleen Koenig. Physics education research for 21st century learning [J]. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 2011(2): 2-12.
- [11] Moritz Krell, Christine Redman, Sabrina Mathesius, Dirk Krüger, Jan van Driel. Assessing pre-service science teachers' scientific reasoning competencies [J]. *Research in Science Education*, 2020, 50: 2305-2329.