【学科视点】

物理教学中的科学思维阐释

蔡铁权 谢佳莹

【摘 要】本次课改以来,基础教育的各个学科把科学思维作为核心素养的首要因素纳入课程标准,从而引起了广泛的关注和研究。在目前的态势下,比较全面地梳理科学思维方式,阐释各种学科思维方式的内涵和思维方式之间的关系,尤其是物理学发展到当代,需要何种学科思维特征是值得引起重视的。这有利于消除不必要的误解,有利于核心素养的全面落实,有利于思维教学在物理课堂中得到有效实施。

【关键词】物理教学;课程改革;科学思维;核心素养;知识观

爱因斯坦(Albert Einstein)认为:“仅仅用专业知识教育人是不够的,学校的目标应当是培养有独立行动和独立思考的个人”,“想象力比知识更重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉”[1]。爱因斯坦在这里反复强调思维,尤其是独立思考能力与想象力的养成更值得重视,这比知识的获取重要得多。新课改将科学思维纳入物理学科的核心素养,引发了物理教育工作者对科学思维的关注,迅速成为一个研究的热点。

科学思维的内涵如何理解?科学思维在中学物理教学中的地位、教学功能是什么?中学物理教学应涉及哪些科学思维的方式,各种科学思维有什么特征、彼此之间有什么内在相关性?物理学的科学思维有什么特殊性?科学思维与科学知识及知识观有何关系?这些问题需要做细致的梳理,并对它们做适当的阐释,因为这些是开展思维养成教育的前提,是基本的理论基础。

一、科学思维的内涵以及历史回望

林崇德等认为,科学思维可以看作是人脑有意识地对自然界中的事物(包括对象、过程、现象、事实等)的本质属性、内在规律及自然界中事物间的联系和相互关系的间接的、概括的和能动的反映。科学思维品质是指人们在学习科学知识、研究和解决科学问题时逐渐形成的,并在学习和研究过程中表现和发展,对个体工作效率有直接影响的智力特征,具有深刻性、灵活性、批判性、敏捷性和独创性等属性[2]。作为自然科学典范的物质科学、实证科学的物理学,其思维应是人类对客观物质世界的本质属性、内在规律及事物间的相互关系的认识,是基于物理学经验事实而构建概念、规律、原理和理论的能力与品质。

思维教学的历史可以追溯到遥远的孔子与苏格拉底(Socrates)时期。孔子提出的“不愤不启,不悱不发,举一隅不以三隅反,则不复也”的教学主张,苏格拉底的“产婆术”等,都是思维教学的滥觞。现代的思维教学,一般认为开始于1910年杜威(John Dewey)《我们如何思维》一书的出版,直至20世纪60年代初,这段时间被认为是思维教学的萌芽期;此后,思维教学进入蓄势期,到了20世纪70年代中期,思维教学的研究开始呈现出集中爆发式的增长趋势,一直持续至今。其间,弗拉维尔(John Hurley Flavell)在《认知发展》一书中提出了元认知理论,斯腾伯格(Robert J. Sternberg)提出了三元智力理论,马尔扎诺(Robert J. Marzano)在《思考的维度》中提出了思维教学与课堂教学结合的框架,此后,斯腾伯格又提出了“成功智力”和“思维风格”等理论。到了20世纪80年代,掀起了一场席卷全球的思维教学运动,其中,最具影响力的当数美国的批判性思维运动和思维技能运动。进入21世纪后,思维教学在全球几乎是风起云涌[3]。我国的思维教学研究,在科学思维成为这次新课改学科核心素养的重要内容以后,将会迅速崛起,很快会出现一个欣欣向荣的局面。

二、科学思维的方式与特征

物理学科四个核心素养之间的关系是:物理观念是方向,科学思维是关键,科学探究是途径,科学

China Social Science Excellence. All rights reserved. https://www.rdfybk.com/

态度是根本。物理教育的目标最终要落实到学生物理观念的养成,这也是评估物理教育成效的重要指标。物理教学要使学生习得知识、发展智力、提升能力,思维教学是首要问题,是核心因素和关键环节。科学探究是物理学习的本质所在与必由之路。科学态度与责任心的养成则是物理教育的价值体现,是科学素养的人格表征。

对物理课标中指出的科学思维的四项内容,即模型、推理、论证和批判性思维,很多一线教师认为是四种思维方式,有人提出模型思维,有人对推理和论证之间的关系觉得难以区分,也难以分割,认为推理和论证是同一种思维方式,对批判性思维又作望文生义的理解而造成误会,由此,在具体的物理课堂教学中,又形成了思维教学策略的简单化或混淆纠缠。

物理教学中的科学思维,除了应具备一般科学思维的方式及特征外,还应体现物理学科的鲜明特色,反映物理学的本质和物理学研究的特有方式与方法,显示物理学研究的目的、对象、过程、工具和途径,表明物理学研究的方向或门类(如实验物理、理论物理、计算物理)。并且,物理学是一个整体,其各个方面是相互交叉、渗透且联系的,是一个开放的复杂巨系统。上述诸多方面,就决定了物理教学中科学思维的养成具有多样性、复杂性与特定性。

对科学思维的方式,可谓众说纷纭,各执一词。但其中还是有一定的规律可循,可以梳理出一个基本的框架来。

王小燕对科学思维的分类如图 1 所示[4]。

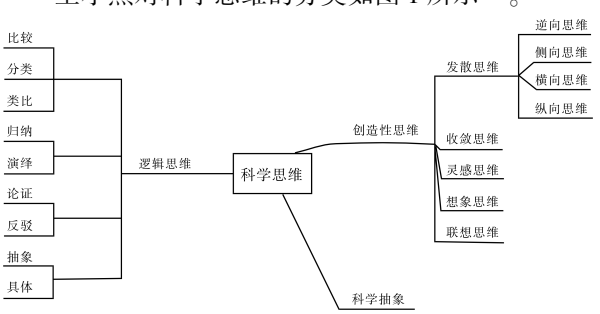

图 1 科学思维方式的思维导图

张大松对科学思维的分类如图 2 所示:按思维的进程可分为横向思维与纵向思维、发散思维与收敛思维;按思维的工具或方式可分为逻辑思维与非逻辑思维;按思维的抽象性程度可分为形象思维与抽象思维;从思维方法功能看可分为批判性思维与创新思维[5]。当然,这其中的各种思维方式之间无法绝对地划出界限,进行明确的区分,有一定的交叠也是无法回避的。

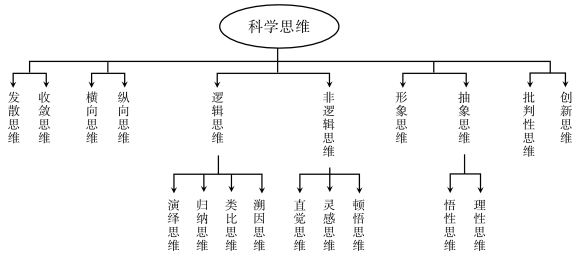

图 2 科学思维方式的概念图

从上述两图我们已可以基本上明确科学思维的主要方式了。物理学科核心素养中的物理模型是指从我们研究所关注的角度出发,忽略掉自然界中事物的次要因素,只留下我们关注的最重要的少量关键因素的一种简化了的现实“愿望”相似的替代物。模型是思维的产物,是思维的结果。模型的构建涉及归纳、演绎、类比、想象、抽象、假设、模拟、数学化,同时还包括推理、论证等。科学思维的本质重在探索未知,包括演绎法和归纳法,从特定的事件中发展出普遍的原则,包含了类比推理、演绎推理、归纳推理、统计推理、实践推理、因果分析、因果推断、因果探究、科学解说以及逻辑定义、复合推理、等值推理、混合推理、模态推理、关系推理、分析推理等。科学论证的过程是基于证据的思维过程,并且证据要经得起逻辑检验和真伪辨别,可以理解为是用科学共同体所“约定”好的“规则”去解释某些科技现象、得出科学结论。论证的类型分直接论证和间接论证,正面论证和反驳论证,演绎论证和广义归纳论证等。批判性思维可以理解为有目的、自我调节的判断,它导致的结果是诠释、分析、评估和推论,还有针对生成判断的概念、证据、标准、方法、语境等基础问题的说明。批判性思维的方法有归纳、演绎、类比、推理、论证和非形式逻辑思维中的直觉、灵感与顿悟等[6-9]。那么,科学思维尤其是物理学科中的科学思维方式有什么特征呢?

综合性。综合的过程也是科学抽象的过程。现代综合要求从系统整体出发,在综合指导与控制下展开分析,而且强调定性分析和数学及模型化的定量分析相统一。现代综合遵循历史与逻辑相一致的原则,是辩证的综合。物理学在发展的过程中高度分化,其学科越来越细分,越来越向纵深延伸,同时又在分化的基础上不断综合化,甚至与其他学科方向产生横向交叉、融合形成新兴交叉学科。

动态性。人们进行思维活动,不仅仅是为了理解世界、说明世界,更是为了改变世界、发展世界。事物是不断发展变化的,是在不断更新的,人的思维

China Social Science Excellence .All rights reserved. https://www.rdfybk.com/

对应地就必须从感性到理性,再从理性到实践,这就要求人的思维是动态协调的、灵活变化的。现代科学技术的发展突飞猛进,物理学的新成就、新成果层见叠出,新的科学事实与新的科学现象需要新颖的思维方式去思考、去理解、去解释,用新的思维方式去解决层出不穷的新问题。

开放性。人们的思维要从狭窄封闭中释放出来,让思维富有活力,充满创造力。要兼收并包,海纳百川,勇于批判乃至否定自我。敢于正视不同学术思想之间的争辩,心胸博大,眼界高远,对于任何新的事物、新的观念、新的思想不存成见,不随意排斥,不局限否定,既有原则性又有灵活性。只有开放系统才能从混沌走向有序,才能不断更新、不断发展形成一个自组织的有活力的系统,物理学的耗散结构理论就思维的开放性给我们提供了一个十分美妙的范例。

批判性。思维的批判性是指以一种审思、分析和评价的方式思考,包括辨别他人的立场、证据和结论;公正地权衡反方的论辩和判断;透过事物表面,推翻虚假、有失公允的假设;以有逻辑、有见解的方式思考问题;将基于事实证据的结果集中起来,整合信息,形成新的观点;采用推理严密、结构清晰且富有说服力的方式表明一个立场。批判性思维要有质疑思考的能力,要有理有据地分析问题,正如费恩曼(Richard Feynman)在著名的《费恩曼物理学讲义》中所告诫年青学生的:"实际上,人们知道的每件事都只是某种近似,我们懂得,到目前为止,人类确实还不知道全部的定律,因此,有时学习一些东西正是为了要重新忘掉它们,或者更确切地说是为了改正以前对它们的谬见。""我们说过,大自然的定律是近似的:起先我们找到的是'错'的定律,然后才发现'对'的定律。"[10] 费恩曼以他特有的幽默揭示了批判性思维的真谛。

创新性。创新性思维以批判性思维为前提,没有质疑批判的能力,没有否定的勇气,就不能发现问题,就不可能认识"错"的定律,也就找不到或发现不了"对"的定律,更无法改正以前对定律已形成的谬见。创新性思维特别不能否定灵感思维、顿悟思维和直觉思维。爱因斯坦不止一次说过:"我相信直觉和灵感"。但创新绝不是空穴来风或神来之笔,是形象思维与逻辑思维的互补,是智力因素与非智力因素的结合。今天我们要建设一个创新型国家,实现伟大复兴的中国梦,创新是灵魂,是核心。因此,科学思维的创新性具有特别重要的价值。

三、物理学科思维的独特性

上述思维方式及其特征也是物理学科思维的基本内容和特征,物理学的科学思维也是遵循思维的一般规律的。但是,普遍不能代替特殊,物理学的思维方式还应显现物理学科的特殊性,彰显物理学科的个性。上述这些思维方式固然是需要的,是不可或缺的,但是仅仅局限于其中,很难培养出高质量的物理人才。因此,选择其中几个突出的侧面,虽然无法囊括全部,但已足够能使我们领略到物理学科思维的靓丽风采了。

涌现式思维(emergence,有译成"层展""呈展"或"演生",也有译成"涌现"的)。物理学中有一种很基本很重要的思维方式——还原论思维,它将一切复杂系统中出现的各种现象,都归结为最基本的组成单元和决定单元行为的基本规律,或者说,将复杂还原为简单,然后再从简单重建复杂。1972 年,美国物理学家安德森(Philip W. Anderson)在《Science》上发表了题为"More is different(多者异也)"的文章,文章深刻地指出:"将万事万物还原成简单基元及其基本规律的能力,其实并不蕴涵着从这些规律出发重建整个宇宙的能力……当面对尺度与复杂性的双重困难时,以还原论为基础的建构论的假定就完全崩溃了。"这就是说,由大量基元构成的复杂体系在每一不同的聚集层次,都会呈现出许多预想不到的全新复杂物理性质,这些性质已经远远超出组成基元的物理学规律。凝聚态物理中的相变和临界现象,元激发——声子、等离子激光、自旋波、激子、极化子……朗道费米液体理论,玻色—爱因斯坦凝聚,超流,超导,约瑟夫森效应,量子霍尔效应,量子相变,等等,都是涌现现象最好的例证[11]。这种研究方法和思维方式与粒子物理、宇宙学密切相关,并且对认识生命现象、理解认知过程乃至社会现象,都有重要的意义。同时,涌现性也是复杂系统构成其复杂性的本质原因,复杂系统是由大量个体组成的,但不是个体性质的简单之和,是关联、合作、涌现等集体行为。这样,对于理解和处理物理学中的复杂性问题时,理解其涌现性就成为一个突破口。2021 年的诺贝尔物理学奖就授予了复杂性科学的研究成果[12]。

不确定性思维。物理学是精密科学,体现在物理学的定律、理论中都有坚实的数学基础。爱因斯坦心中的世界是实在的、统一的,微观粒子与宏观物体都具有确定的性质,符合确定性的规律;粒子间的

China Social Science Excellence .All rights reserved. https://www.rdrybk.com/

相互作用也是定域的,以有限的速度传播;没有超距作用,也没有随机性。爱因斯坦坚信“上帝是不玩骰子的”。但是,1927 年,海森堡(Werner Karl Heisenberg)在《物理学杂志》发表了《关于量子论的运动学和动力学的直觉内容》一文,明确地提出了“不确定性原理”(uncertainly principle),这确是石破天惊!今天,爱因斯坦心中的那个确定性的世界已经成为一个失乐园,他发表于 1935 年的 EPR 论文却成了打开通向量子纠缠世界的大门,这是他不愿意看到的。物理学的发展与爱因斯坦玩了一场恶作剧。

今天,科学家已经明确,在微观世界中,由于相互作用,粒子不断发生量子纠缠,当这种作用延伸至宏观物体(如测量仪器)时,发生波函数坍缩过程,再紧密的量子纠缠也将被解开。在这一坍缩过程中,释放出非连续性,从而使宏观测量结果之间产生了不可思议的非定域关联。此后,随着量子信息科学的出现和发展,量子纠缠态被应用于诸多领域,如量子浓缩编码、量子纠错码、量子隐形传态、量子计算、量子通信等,而人们对纠缠态本身的研究也越来越深入,量子纠缠之谜终将被解密[13]。

物理学中的不确定性原理已成为理解当代物理学新发展的一把钥匙,基础物理教学中对不确定性思维的重视亟待引起我们的关注。

品味式思维。杨振宁认为,一个科学工作者的 taste(taste 在英文中是含义非常广泛的词汇,一般译成“品位”,杨振宁认为这不是最好的译法)将形成一种科学性格,一种特有的个性化的思维方式,对某种观念偏爱而形成深厚的内心情结、诚挚的信念和强烈的感情。“一个人从幼年到青年时期所学到的知识和接受的训练,以及刚步入某一学科时,所接触的方向及其思考方法,还有他的个性等因素结合在一起,才造成一个人的 taste。这对他将来的工作会有决定性的影响。”他曾在评论一个学得很好也非常聪明的学生时,断定他的发展前途并不乐观,理由是这个学生虽然能回答量子力学问题,却讲不出哪一个问题是妙的。杨振宁觉得:“尽管他吸收了很多东西,可是他没有发展成一个 taste”。

物理学科具有自身所特有的味道和风格,需要你能欣赏它、品味它,在物理学的令人眼花缭乱的观念与知识中,有些是重要的,有些是相对不重要的;有些是美妙高雅的,有些是粗野庸俗的,你得有鉴赏力。物理学内容中很多是复杂微妙且深奥的,你得有深刻的洞察力。taste 会影响一个人的研究方向和职业选择,影响一个人的思维方式和研究方法,影响一个科学家的风格。杨振宁十分强调物理学的逻辑性是比较强的,但科学绝对不是只有逻辑,最重要的科学发现并不是用逻辑推理出来的,要有很丰富的想象力,要有独特的风格[14]。

一个人的 taste 是从小养成的,基础教育是形成一个人好的 taste 的关键时期。

四、科学思维与科学知识及知识观

知识观是需要以历史和发展的眼光去看待的[15]。可以说知识观是对人类认识成果的再认识,是对知识的一般观念、观点与看法,隐含着对知识的本质、价值、标准、范式的假设与信念,也表达着对知识的理想和欲求。

知识学习与个体思维能力的发展密切相关,两者互为工具,互相促进,共同作用,促进人的全面发展。

思维并非凭空产生,知识构成了思维作用的对象;思维需要依托,知识就提供了思维形成的基础;新知识的产生又可以看作是思维作用的产物。

夏青指出,科学知识基于逻辑思维的批判,一是对概念难以辨析;二是分不清集合概念与非集合概念;三是类比概念的过度使用;四是固化的非此即彼的二元思维。科学知识对神学与迷信进行批判,构成批判性思维的重要知识基础,科学知识的求证标准与方法都包含了批判性思维的重要因素,崇尚理性、尊重事实、开拓创新,促使人独立思考、实事求是、新益求新、不断进取。科学知识中的批判性思维促成人类对科学技术的反思,以及实践对唯科学主义的批判。特别是二战以后,后现代科学思潮的出现、“二种文化”的提出、“科学大战”的爆发,都标志着人们对科学技术发展所造成后果的正视,体现了科学的理性精神与求真意识[16]。

五、结语:科学思维是物理教学的关键要素

科学思维被定位于核心素养中的首要因素,我国从基础教育界到哲学、心理学、教育学领域的研究者们,都把目光聚焦在科学思维。对于物理学科教学,特别要关注其特有的与当代物理学发展紧密相关的思维方式,才能帮助学生物理地思维,或者说思维方式符合物理学人才的需要,符合物理学发展的内在需求。作为课程改革的重要因素——知识观与思维是不可分割的。我们的思考是想为科学思维在物理教育中的实践提供基本的理论元素,为思维教学在物理课堂中的展开提供积极的帮助。

(下转第 28 页)

China Social Science Excellence .All rights reserved. https://www.rdfybk.com/

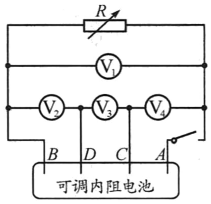

图 8

在得出部分,在第一节课基于改进实验得到闭合电路的欧姆定律后,给学生留下课后思考题:除了利用实验探究得出闭合电路的欧姆定律,同学们能否运用已有知识通过公式推导的方法得出该定律?在第二节课中引导学生以能量守恒为原理或者以部分电路的欧姆定律为依据,通过公式推导得出闭合电路的欧姆定律。综上所述,从实验探究和公式推导两个角度进行探讨,能够进一步促进学生深刻理解闭合电路的欧姆定律,贴合课标中"理解闭合电路的欧姆定律"的内容要求。

四、总结

在教学中,教师不能对着教材照本宣科,而应在备课中对教材进行宏观探讨和微观研究,明确教材中呈现的学科逻辑、认知逻辑和教学逻辑。在此基础上结合学生具体情况、自身教学风格、地方教学要求及教学设施等,调整教材逻辑,优化教学设计。

参考文献:

[1]杜尚荣,李森. 中小学教材编写逻辑体系的反思与重构:兼论教材编写的教学逻辑体系[J]. 课程·教材·教法,2014,34(10):34-39.

[2]朱德全,张家琼. 论教学逻辑[J]. 教育研究,2007,29(11):47-52.

[3]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,2020:19,23.

[4]李艳平,申先甲. 物理学史教程[M]. 北京:科学出版社,2003:192-193.

[5]杨佳婷,张军朋. 基于教材逻辑解读高中物理人教版新教材的改变:以"电磁感应"内容为例[J]. 物理通报,2021,40(1):157-161.

[6]陈丽珊,黄绍书,岳国联. 物理学科核心素养视域下闭合电路欧姆定律的实验设计及教学建议[J]. 物理教学,2021,43(5):29-31.

【作者简介】陈晨、冯霞、陈宇慧,安徽师范大学物理与电子信息学院(安徽 芜湖 241002)。

【原文出处】《中学物理教学参考》(西安),2022.6 上.48~51

(上接第 6 页)

参考文献:

[1]爱因斯坦. 爱因斯坦论科学与教育[C]. 李醒民编选. 北京:商务印书馆,2016:1-3,129-134,146.

[2]胡卫平,林崇德. 青少年的科学思维能力研究[J]. 教育研究,2003,24(12):19-23.

[3]赵国庆. 思维教学研究百年回顾[J]. 现代远程教育研究,2013(6):39-49.

[4]王小燕. 科学思维与科学方法论[M]. 广州:华南理工大学出版社,2020:72-171.

[5]张大松. 科学思维的艺术——科学思维方法论导论[M]. 北京:科学出版社,2020:2-3.

[6]周建武. 科学推理:逻辑与科学思维方法[M]. 北京:化学工业出版社,2020:20-292.

[7]周建武. 科学分析:逻辑与科学演绎方法[M]. 北京:化学工业出版社,2020:88-354.

[8]周建武. 科学论证:逻辑与科学评价方法[M]. 北京:化学工业出版社,2020:116-302.

[9]武宏志. 批判性思维——论证逻辑视角[M]. 北京:中国人民大学出版社,2010:2-7.

[10]费恩曼,莱顿,桑兹. 费恩曼物理学讲义(第 1 卷)[M]. 上海:上海科学技术出版社,2005:1-2.

[11]张广铭,于渌. 物理学中的演生现象[J]. 物理,2010,39(8):543-549.

[12]陈晓松,樊京芳. 复杂性科学的机遇:2021 年诺贝尔物理学奖解读[J]. 物理,2022,51(1):1-9.

[13]郭光灿,高山. 爱因斯坦的幽灵——量子纠缠之谜[M]. 北京:北京理工大学出版社 2009:108-162.

[14]杨小明,高策. 物理大师杨振宁[M]. 北京:中国科学技术出版社,2012:224-229.

[15]张永祥. 基础教育课程改革知识观研究[M]. 北京:中国社会科学出版社,2018:13-18.

[16]夏青. 知识观视角下的批判性思维与学校教育变革[D]. 长沙:湖南师范大学,2018:72-94.

【作者简介】蔡铁权,浙江师范大学物理与电子信息工程学院物理系(浙江 金华 321004);谢佳莹,浙江师范大学教师教育学院(浙江 金华 321004)。

【原文出处】《物理教学探讨》(重庆),2022.8.15~19

China Social Science Excellence .All rights reserved. https://www.rdfybk.com/