

物理观念嬗变引发物理学变革

蔡铁权 (浙江师范大学科学教育研究中心 浙江 321004)

薛真 (浙江师范大学教育学院 浙江 321004)

摘要 从物理学变革的表征和物理学变革的本质,详细分析和阐释了物理观念嬗变的地位和作用,这是深入理解物理观念的内涵和本质十分关键的环节。由此,为“观念为本”的物理教学理念提供了有力的理论支持和论证依据,为“观念为本”的物理课堂教学实践中的教学模式建立与教学策略构建提供创新的灵感,进而为物理观念整体的理论架构和深入的诠释提供了又一新的视角。

关键词 学科核心素养 物理观念 物理学变革 表征 本质 教育价值

文章编号 1002-0748(2025)3-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

赫伯特·巴特菲尔德(Herbert Butterfield)在《近代科学的起源》一书中有一段被广为引用的名言:“科学革命不仅推翻了中世纪的科学权威,而且也推翻了古代世界的科学权威,它不仅以经院哲学的黯然失色,而且以亚里士多德(Aristotele)物理学的崩溃而告结束。因而,它使基督教兴起以来产生的一切事物相形见绌,同时把文艺复兴和宗教改革降到仅仅是一支插曲,仅仅是中世纪基督教体系内部改朝换代的移位。”^[1]科学革命全面地改变了物理世界的图景,物理学也整个儿来了个改头换面。然而,物理学变革的标志性事件是什么?物理学变革的根源何在?科学编史学的众多流派都试图对此作出回答。在这些纷繁多样的编史学流派中,可以演绎出一种关键的因素或显著的标度来吗?这种革命性的变革,本质上是一种科学观念的嬗变。正如H·弗洛里斯·科恩(H. Floris Cohen)在他的名著《科学革命的编史学研究》一书中指出:科学革命史在很大程度上是一种观念史,而观念史在很大程度上是个人观念变化的历史。虽然观念随时间的发展呈现出自身的某种逻辑或内在自主性,但这种自主性并不是绝对的。观念在一种更大的背景中发展,这个背景将观念的自主性变成了一种相对的自主性^[2]。我们已经对物理观念在大背景(即广义语境)中的发展作出了详尽的分析^[3]。

一部物理学发展史雄辩地表明其本质上是一部物理观念史,每当物理观念发生了嬗变,物理学即表现为产生突破性的进展。科学编史学的研究指出,

科学观念是科学变革的显著表征,科学观念嬗变反映了科学变革的本质,物理观念的特征和功能是完全一致的。我们对此展开论述和例析,旨在深化对物理观念的理解,强化物理观念在物理教学中的实践意识,坚定“观念为本”物理教学的信念。

1 物理观念嬗变是物理学变革的表征

物理学变革的历程就是物理学发展史,而物理学史(或科学史)的撰写不得不涉及科学编史学的问题。刘兵认为,“科学编史学是对科学史进行的编史学的研究”,而编史学则是“对于历史的撰写和历史的方法、解释、争论的研究”。科学编史学可以帮助科学史研究者回顾以往研究的成败得失,从而思考新的研究路径,或使科学史学者写出更好的科学史作品来。作者在梳理物理学史(包括科学史)上的变革特征与原因时,需要采用不同的史料,这就不可避免地涉及对物理学史实的认定与个人的观点。科学编史学对此有极重要的指示和对眼界的拓宽及思维的启迪^[4],尤其是其中的建构主义科学编史学、人类的科学编史学、科学修辞学与科学史及视觉图像与科学史等视角以及女性主义编史学的研究^[5]。近年来,山西大学科学技术哲学研究中心提出语境论科学编史学^[6]。广义语境的独特优势使它成为解释科学史的科学性与历史性的合理选择,使之能对科学发展的历程做出合理的解释和阐明,转向超越具体的历史事件去探讨科学发展的内在逻辑和动力,分析和揭示科学发生、发展及其广义语境中的诸多因

素之间的复杂关系。任何物理学事件脱离其特定的语境就会变得毫无价值,也会变得无法进行合理的解释和明白无误的阐述。

人类对物理学的认识不可能做出终极判断,因为我们根本不知道真理是什么,也不知道终极的真理在哪里,只能认为人类对物质世界的认识向前迈进了一步。就像在 19 世纪末,人们认为物理学的大厦已经建成,物理学的发展已经到了顶峰。但是,20 世纪初相对论、量子论的相继问世,人们才醒悟物理学的发展别有洞天。20 世纪末,霍根(John Horgan)又发出惊呼:“科学(尤其是纯科学)已经终结,伟大而又激动人心的科学发现时代已一去不复返了。”并断言:绝大多数物理学家,只是运用已有的知识,闷头去制造各种激光器、超导体和计算设备。少数几个热衷于探求真理,而不是实际应用的执迷不悟的人,也只是用一种超乎经验的、反讽的方式去研究物理学——探索超弦或其他怪异的魔道理论,或者为量子力学的含义喋喋不休地争个不停。这些反讽的物理学家们的争论,根本不可能为实验证实,只能越来越近似于文学批评中的文字游戏,而他们的物理学会,也将逐渐演变为现代语言学学会^[7]。而今天的物理学,21 世纪 20 年代的中期,物理学的发展并未终结,而是如日中天。这种断崖式的差距,只有在语境论中才能得以理解或解释。

任何一种物理学的理论,只能是在形成这种理论时的特定语境中的产物,随着语境的不断更迭和递进,作为人类认识结果的物理学理论需要不断修正或发展。语境实在是物理学对事实认识的“形而上”的基础,这种“形而上”认识是随着语境实在的变化而演进的。

作为物理学理论最高表现形式的物理观念,是这种“形而上”的最高形态,反映了物理学变革过程中的语境特征,是特定语境的生成物,是特定语境下物理学变革的表现。因此,物理观念嬗变是物理学变革的表征,物理学的变革由物理观念的嬗变彰显出来。

2 物理观念嬗变反映了物理学变革的本质

物理学发生变革的判据是什么?其本质特征是什么?这是一个“戈尔狄之结”(Gordian Knot)。从语境论的视角分析,首先是物理学领域内基础性概念、基本思维方式、理论体系的重大突破,是继起理论对先前理论的重大变革。这种变革不是渐进性的连续进化,而是转折性的急剧突变,其本质是物理观念的嬗变。

物理学变革首先是基础性概念的改变。体现物理学特征和人类对物理学现象、事实认识的表征物就是物理学的基本概念。中心概念体系的突变引发的是理论范式的更替,是人类对物理学现象、事实认识、看法的根本变化。亚里士多德是古希腊出类拔萃的学者,他并非脱离实际的哲学家。他的物理学是当时能建构的最好的物理学——一种常识物理学。在亚里士多德的物理学中,对物体“自然”运动的认识、运动的因素是推动力引起的结果、空气中落体的运动规律等等,长期为人们所授受。直到 17 世纪初,伽利略(Galileo Galilei)的新物理学创生,亚里士多德的常识物理学被实验物理学与数学物理学全面推翻,基本的概念体系被全面更替,物理学在涅槃中重生。

物理学变革表现为新理论与旧理论间的决裂。这种决裂并不是彻底推翻旧理论,完全否定旧理论,新理论全面地替代旧理论。哥白尼(Nicolaus Copernicus)的日心说与托勒密(Claudius Ptolemy)的地心说在天体运动观念上实现了决裂,但是,托勒密的行星正圆轨道、本轮均轮体系却被原封不动地继承。事实上,哥白尼非常钦佩托勒密,他的《天球运行论》在内容组织、章节编排和主题次序上都效仿了托勒密的《至大论》。不管如何,哥白尼新的宇宙体系撼动了科学的整个结构和人类的自我认识,最终动摇了我们关于宇宙本性和地球的看法,引起了深刻巨变,开启了近代科学,为此后的经典物理学的伟大变革奠定了基础、奏响了序曲。爱因斯坦(Albert Einstein)相对论的提出,在物理观念上无疑是与经典力学理论的决裂,但却不是将经典力学体系全面否定和彻底掀翻,在宏观物体的低速运动状态下,经典力学体系仍然是严格成立的。相对论力学并非替代了经典力学,但相对论在物理观念上却彻底地改变了人们的时空观,改变了人们对宇宙的认识,改变了人们对运动的观点。当然,物理观念的嬗变也存在对旧理论的反叛,从根本上摧毁了旧理论,新的物理学理论完全取代了旧的物理观念所形成的物理学理论,典型的例如对热质说、燃素说、以太论等的否定。物理观念的嬗变所引发的对物理学理论的变革是一种复杂的关系,但对旧理论的冲击和对人类认识的改变却是这种变革的本质。

物理学变革导致了认知方式和思维模式的根本转换。物理学的变革势必引发物理学家或物理学家群体认知语境的变化。伽利略首先以一种新的方式看待世界,以一种全新的认知方式,即实验和数学的方式去认知物理学,相对于亚里士多德的经验物理

学这是一种全新的完全相悖的认知物理学的方式,它使伽利略实现了对物理学的变革。自普朗克(Max Planck)提出量子概念以来,经过一个多世纪的迅速发展,今天的量子理论已经彻底颠覆了人类对世界的朴素认知。观察不仅会影响被测物体,甚至测量结果就是因观察而产生的,这种对微观世界中的“实在”的认知方式在宏观世界是无法理解的。正如爱因斯坦提出的夸张的而又不无揶揄的问题:“月亮只有在人看时才存在吗?”微观世界的认知方式与宏观世界的认知方式的确是不可同日而语的。

物理学的变革也反映在物理学家特殊的思维模式上。牛顿(Isaac Newton)采用的是典型的机械论的思维模式:从想象的构筑到系统展开数学推论,然后运用所得到的数学结果对现象学上的真实存在做出解释,形成了用孤立、静态的决定论的因果方式进行思维。复杂性科学的出现显示了全新的思维模式。复杂性是开放的复杂巨系统的特征。复杂性可表示为尽管变化无常、但有捉摸不定的秩序,而且总是通过自然组织与不断的适应,经过复杂过程和不同的变化阶段,向优化、更高级的秩序演进。复杂性科学不同于非线性科学,也有别于系统科学。正如《探索复杂性》一书的作者所言:过去三个世纪里追随牛顿综合法则的科学历史,其像一桩富于戏剧性的故事。曾有过一些关头,经典科学似乎已近于功德圆满,决定性和可逆性规律驰骋的疆域似乎已尽收眼底。复杂性让物理学家重新思考,它不再是用那种以机械的世界观描绘出的被动呆纯的观点,而是用一种与自发的活性相关联的新的见解^[8]。

物理学变革的本质是物理观念嬗变。柯瓦雷(Alexandre Koyre)将科学革命精神导致的科学观念的变革赞誉自古希腊以来“人类思想所完成或经受的一场最为意义深远的革命”,它的意义是如此深远,以至于人类文化“几个世纪以来都还没有领会其意义,甚至在今天它也常被低估和误解”^[9]。而科恩(Bernard Cohen)这位科学综合史的大师,将科学上观念的嬗变视为改宗现象——“改宗”在科学中指的是彻底转变和接受截然不同的观点。“这种信念上的转变很可能是一种具有破坏性的事件。全新观念的接受几乎总要引起对基本观念进行重新思考,例如时间与空间、同时性、物种的恒定性、原子的不可分性、基因的存在、微粒与波的不相容性、因果性、可预见性,等等。此外,新观念总是从某种截然不同的观点或视角抛弃过去已被接受的信念,科学家们有意无意地把自己的体验与有关宗教体验的古典剧

相比较。”接着科恩列举了科学史上大量的有关观念转变的案例,包括物理学、化学、生物学和地质学。有趣的是,科恩提到光的本性理论中的一件轶事,表明即使不是从根本上剧变的物理观念或只是一种对具体物理事件认识观念的改变也是“改宗”式的。半个世纪前,哈佛大学教授约瑟夫·洛夫林(Joseph Lovering)对他的学生们说:“有两种关于光的理论,即波动说和微粒说,今天每一个人都相信波动说,原因是所有相信微粒说的人全都死了。”这种表述在一定程度上是符合实情的,新的科学观念确实赢得了后人。这一现象就是改宗^[10]。“改宗”意味着根本转变或接受完全不同的中心概念、理论和思维方式以及观点,是全面的更替,实现了一种质的飞跃。

物理学的变革,其表现形式可以不同,可以是中心概念的转变,如光的微粒说—光的波动说—光量子说—光的波粒二象性;可以是理论形态的转化,能量连续—能量量子化;可以是思维方式的更替,宏观物体的实在与微观物体的实在的根本不同;也可以是对物理学认识的观点的变化,牛顿的因果确定性和未来的可预测性与复杂科学中事物的演化、涌现性和未来的不可预测性或混沌特点;也可以是科学研究的方法有了全新的变换。汤姆逊(Joseph John Thomson)研究阴极射线而发现电子的存在用的是放在书桌上的实验,即典型的小科学(little science)研究方法,而如今研究微观粒子用的是大型回旋加速器的大科学(big science)研究方法,等等。归根结蒂,物理学变革的本质体现在物理观念嬗变之中。

3 物理观念嬗变的物理教学价值

物理观念嬗变引发物理学变革的大量史实与理论分析,为物理教学提供了多方面的启示,包含了丰富的物理教学资源,具有很高的物理教学价值。

(1) 理解科学本质。我们多年来致力于科学本质的研究和在物理教学中的体现。迈克康马斯(William F. McComas)从8种国际科学教育标准文献中总结出了对于科学本质(the nature of science)的一致性看法:科学家要有创造性;科学史既揭示了科学进化的特征,也揭示了科学革命的特征;科学是社会和文化传统的一部分;科学思想受到其社会和历史文化环境的影响等^[11],既与物理观念广义语境分析一致,也与物理观念在物理学变革中的关系如出一辙。这就为深刻理解科学本质提供了基础,并在物理教学中实现了融合,起到相辅相成的教学效果。

(2) 深化物理概念。从物理观念的视角审视物

理概念的内涵,从物理学变革的维度观照物理概念的发展、演化以至转化的过程,深度阐述物理概念在物理学变革的历史中所起的作用与功能。物理概念的认识一改以往平面的、刻板的、僵化的认知结果,成为一种立体的全方位的完整的形象,而且是发展变化的动态的形象,同时还是对物理学概念理解精致化的过程,促进学生对物理概念的领悟和在实践中的灵活应用。这也进一步深化了对物理学规律、原理、理论的认识,深化了对物理学本质的认识。

(3) 提升物理视界。如果局限在一个狭窄的视野中去看待物理事件,就无法对这一物理事件正确定位,更不可能理解物理事件在物理学变革发展中的作用,无法明白其在物理观念演进过程中所扮演的无可替代的角色功能。而当我们能将此事件放在物理学变革的历史长河中,又从物理观念嬗变的高度去审思时,我们的物理视界瞬间获得了拓展,就会有“一览众山小”的登临绝顶的感觉,对物理事件的认识达到一览无余的洞察。汤姆生在卡文迪许实验室完成了对阴极射线的研究工作,在 1899 年利用一个真空管发现了电子。电学的研究重点转向了物质的微观结构,整个 20 世纪的物理学沿着这一新开辟的道路前进^[12]。电子的发现,表明原子有内部结构,原子是可分的,人类的物质观念有了质的飞跃,物理学在这里发生了转折,这是一个里程碑式的伟大成就。

(4) 形成高阶思维。科学思维是物理教学的关键要素,而形成思维的灵活性、深刻性、独特性、批判性和创造性更是追求的目标。物理学的每一次突破,物理观念的嬗变,都充分展示出杰出物理学家的独特的思维模式。戴克斯特霍伊斯(Eduard Jan Dijksterhuis)在《世界图景的机械化》一书中,对开普勒(Johannes Kepler)的思维方式曾这样评述:也许从来没有一位科学研究者像开普勒那样有如此丰富的灵感,同时又对灵感有如此批判的态度。他虽然浮想联翩,但头脑一直十分冷静。他固然为想象所吸引,但事后又会清醒而耐心地检查想象所展示的东西是否真的站得住脚^[13]。一切位于物理学变革关键时期的物理学家,只有具有特具的、与众不同的认知方式和思维模式,才可能做出独创性的贡献,也由此导致物理观念的嬗变。

(5) 养成科学态度。科学态度一般分为“科学的态度”(scientific attitudes)和“对科学的态度”(attitudes toward science)。科学的态度是指一个人解决问题、评估和决策的方式。对科学的态度是

指个体在与科学相关的人、事、物的接触或交互作用过程中,所形成的感觉、意见和信念等^[14]。作为物理学家,没有对科学强烈的好奇心和孜孜不倦的追求,没有对人与自然和谐相处的认识,没有强烈的理性态度和创新进取精神,没有强烈的社会责任心,就不可能做出杰出的贡献,也不可能站立在物理学发展的浪尖上,成为物理科学的弄潮儿,引领物理学的变革,当然也不可能在物理观念产生嬗变的关键时刻,成为新颖物理观念的建立者而彪炳史册,在物理观念的更替中成为里程碑式的人物。作为一个物理学习者,没有正确的科学态度和强烈的社会责任心,不可能真正成才,不可能献身于科学事业、全身心地为国家作奉献,只会被时代所不容。

(6) 树立科学精神。科学精神是一个复杂的而且不确定的概念。大致可以认为:不盲从、不附和、不唯上、不唯书,以理性为依归;不畏强御、不屈从于逆境,只问是非、不计利害,追求民主、崇尚自由,精神独立、思想开放,以求真为目标;不武断、不蛮横,虚怀若谷、海纳百川,以实证为判据;专心一致、实事求是,严谨整饬、精益求精,多元思考、善于求索,不断进取、不断创新,以发展为度衡。物理观念蕴含科学精神,而且受到科学精神的核心支撑。物理学在不断变革,而科学精神的主旨是不会改变的。在物理学变革和物理观念嬗变的过程中,科学精神是须臾不可悖离的,是物理学家所严格恪守的基本原则。树立科学精神也是物理教学的根本目标之一,是成为当代具有科学素养公民的基本的不可或缺的内容。

(7) 领悟科学思想。对物理观念的理解离不开对科学思想的深入研究和深刻理解,科学思想的领悟与物理观念的形成具有内在的一致性,因为本质上来说,科学思想史就是科学观念史。我们认为“科学思想是自然科学、社会科学与人文学科的融合,内涵深刻而丰富,功能复杂又多样,只有理解了科学思想,才能真正理解科学,理解科学教育”^[15]。在对科学思想的这种见解中,科学思想对物理观念的形成具有关键的作用,或可以认为科学思想就是物理观念的“内核”。当物理观念发生嬗变时,科学思想首先产生了转化,而物理观念嬗变也标志着科学思想的变革,这也是物理学变革的前奏和风向标,是物理学变革最富有象征性的变化。

(8) 掌握科学方法。科学方法一般是指人们获得科学认识所运用的规则和手段系统,是科学发展的一个重要的内在因素。一般科学方法即自然科学、社会科学等共同适用或分别适用的一般方式、原

则与手段。而科学方法的教学是一个国内外早就引起关注的共同问题^[16],科学方法的要素中包含了科学本质的内容,在基础教育中实施科学方法的教育是完全可行的。物理观念的养成必然要践行科学方法,也是习得和运用科学方法的过程。正确而有效的科学方法在物理学发展和变革中有着举足轻重的功效。科学方法就是精英科学家在艰难探究的历程中获得成功的有效做法,是在崎岖小道上攀登而能顺利到达顶峰的捷径。科学方法是科学实践的产物,是科学思维的成果,是成功科学家留给后人的宝贵财富。当我们回溯物理学变革的历程,追寻物理观念嬗变的根源时,科学方法就会凸显出来。

(9) 弥合科学人文。萨顿(George Sarton)曾说过:“我们这个时代最可怕的冲突就是两种看法不同的人们之间的冲突,一方是文学家、史学家、哲学家这些所谓人文学者,另一方是科学家。由于双方的不宽容和科学正在迅猛发展这一事实,这种分歧只能加深。”^[17]而斯诺(Charles Percy Snow)这位身兼科学家和作家的两栖学者深有感触地评论:“文学知识分子在一极,而在另一极是科学家,其中最具代表性的是数学家和物理学家。在这两极之间是一条充满互不理解的鸿沟,有时是敌意和不喜欢,但大多数是由于缺乏了解。”他们之间的共同点是如此之少,以致于从柏林顿馆或南肯辛顿到切尔西就像远渡重洋。事实上,要比穿过大西洋还要困难^[18]。到 20 世纪 90 年代时,人文知识分子与科学家之间爆发了“科学大战”(science war),是在后现代视域中的科学与人文之间的冲突。但从历史上看,在文艺复兴时期,人文文化和科学文化是共同反对至高无上的神权的,都推崇人,认为理性是人的本质,要唤醒人的理性去冲破神学的束缚。近代科学的发展,创造出巨大的物质财富和精神财富,极大地发展了人的主体性,完全改变了人们的生产方式、生活方式、思维方式和情感方式。同时也加剧了人类与自然、个人与社会、人的精神生活与物质生活之间的分化与对立。渐渐地,科学与人文渐行渐远,分离与隔阂越来越深,造成了两者的互不理解以致分裂。物理学变革的历史和物理观念嬗变过程关系的研究与了解,有利于科学与人文之间对立的消解,有利于我们人文地理解科学,科学地看待人文。

4 结 语

物理学变革的原因是复杂的,反映物理学变革

的表象可以是多样的,但是,物理学变革的本质是物理观念的嬗变。在反映物理学变革众多的表象中,物理观念发生根本性的转变是关键,物理观念是物理学变革的核心要素、中心环节,是物理学变革的真正表征。探究物理观念与物理学变革的内在机理可以为“观念为本”的物理教学理念提供理论支持与论证的依据,为物理教育改革和物理教学规范实现根本性的转型提供启迪,为有效落实学科核心素养的物理课堂教学模式和策略构建提供创新的灵感。

参考文献

- [1] (英)赫伯特·巴特菲尔德. 近代科学的起源(1300—1800 年)[M]. 张丽萍,郭贵春,译. 北京:华夏出版社,1988:1—2.
- [2] (荷)H·弗洛里斯·科恩. 科学革命的编史学研究[M]. 张卜天,译. 长沙:湖南科学技术出版社,2012:259.
- [3] 蔡铁权,薛真. 广义语境中的物理观念[J]. 物理教学,2025(1): 5—10.
- [4] 刘兵. 科学编史学新论[M]. 上海:上海交通大学出版社,2024: 3—220.
- [5] 章梅芳. 女性主义科学编史学研究[M]. 北京:科学出版社,2015:7—10.
- [6] 李树雪. 语境论科学史学初论[M]. 北京:科学出版社,2020: 151—182.
- [7] (美)约翰·霍根. 科学的终结[M]. 孙拥军,译. 呼和浩特:远方出版社,1997:89—128.
- [8] (比)G·尼科里斯,I·普利高津. 探索复杂性[M]. 罗久里,陈奎宁,译. 成都:四川教育出版社,2013:2—3.
- [9] 胡翌霖. 科学革命究竟是什么?——评夏平“不存在科学革命”说[J]. 中国图书评论,2012(7):18—22.
- [10] (美)I·伯纳德·科恩. 科学中的革命[M]. 鲁旭东,赵培杰,宋振山,译. 北京:商务印书馆,2017:678—685.
- [11] William F. McComas, Hiya Almazroa. The Nature of Science in Science Education: An Introduction [J]. Science Education, 1998, 7(6):511—532.
- [12] (英)玛丽·乔·奈. 剑桥科学史(第 5 卷)[M]. 刘兵,江晓原,杨舰,译. 郑州:大象出版社,2014:284—287.
- [13] (荷)E·J·戴克斯特霍伊斯. 世界图景机械化[M]. 张卜天,译. 长沙:湖南科学技术出版社,2010:330.
- [14] Robert L. Ebel. What is the scientific attitude? [J]. Science Education, 1938, 22(2):75—81.
- [15] 蔡铁权,谢佳莹. 科学思想及其科学教育功能[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版),2022(1):113—120.
- [16] James J. Thompson. How to teach the scientific method [J]. Science Education, 1958, 42(3):264—271.
- [17] (美)乔治·萨顿. 科学史和新人文主义[M]. 陈恒六,刘兵,钟维光,译. 上海:上海交通大学出版社,2007:48—49.
- [18] (英)C·P·斯诺. 两种文化[M]. 陈克艰,秦小虎,译. 上海:上海科学技术出版社,2003:2—4.