

以太范式的演进历程与范式不可通约的相对性

杜舜华

南京信息工程大学法政学院, 江苏 南京

收稿日期: 2023年4月24日; 录用日期: 2023年5月14日; 发布日期: 2023年5月26日

摘要

范式理论是哲学家库恩的重要理论, 范式不可通约性是库恩范式理论的重要环节。科学革命中存在着从旧的范式到新范式的转换过程, 科学发展的机制与新旧范式的更替亦密不可分。在范式更替过程中, 各种新旧范式的碰撞促进了科学的演进。在近代物理学史中, 各种旧的以太范式的失败为新范式的完善提供了经验和教训。文章梳理了科学革命发展过程中的以太范式演进的历史, 通过具体的实例来说明以太范式革命与范式之间不可通约性理论的联系, 得出了范式不可通约性在以太范式转换过程中并非绝对, 而是具有相对特征的结论, 并以此为范式革命相关科学史问题的研究提供一定的借鉴。

关键词

范式, 以太, 科学革命, 演进史

The Evolution of Etheric Paradigm and the Relativity of Paradigm Incommensurability

Shunhua Du

School of Law and Political Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu

Received: Apr. 24th, 2023; accepted: May 14th, 2023; published: May 26th, 2023

Abstract

Paradigm theory is an important theory of philosopher Kuhn, and the incommensurability of paradigm is an important link in Kuhn's paradigm theory. In the scientific revolution, there is a transformation process from the old paradigm to the new paradigm, and the mechanism of scientific development is inseparable from the replacement of the new paradigm. In the process of pa-

radigm replacement, the collision of old and new paradigms promoted the evolution of science. In the history of modern physics, the failure of old aetheric paradigms provided experience and lessons for the perfection of new paradigms. The article combs the history of the etheric paradigm evolution in the development of scientific revolution, through specific examples to illustrate the relation between etheric paradigm and the theory of paradigm incommensurability. It is concluded that paradigm incommensurability is not absolute, but has the character of relativity in the etheric paradigm shift. It tries to provide some reference for the study of the history of science related to paradigm revolution.

Keywords

Paradigm, Ether, Scientific Revolution, Evolution History

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

关于范式，库恩认为“范式是一种被大多数人认可的科学成就，这些成果为解决科学共同体的难题提供了模型和解答办法”[1]。以太范式可以理解为关于以太的科学理论和方法。在库恩范式理论中，范式不可通约性是其重要概念，指的是新旧科学范式理论不可调和的特征。关于范式理论，《重构的库恩哲学观点：没有相对主义的不可通约性》虽然构建了没有相对主义的库恩范式理论，但也表明了库恩原本的范式不可通约性理论存在微弱的相对性[2]。在库恩范式理论与具体科学关系上，虽然库恩哲学研究专家 K. Brad Wray 认为：“库恩范式理论并没有从哲学上加深我们对于时间 - 空间问题以及量子力学的理解”[3]，但也有学者强调“库恩理论促使了对数学史研究的性质、目标和研究主体等方面的反思和重新定位”[4]，亦有学者认为库恩《科学革命的结构》“彻底打开了外在主义研究进路的大门”[5]。

通过以太范式演进的实例，在前人基础上，具体展示新旧范式不可通约性在以太范式转换历程中所具有的相对特征，验证库恩范式不可通约性理论所具有的相对性。

2. 以太旧范式的危机

在托马斯库恩关于科学革命的理论中，新旧范式转换(Paradigm Shift)至关重要，在新的范式形成前，各种新旧理论互相竞争，处于一种“前范式阶段”，而在竞争过程中，“‘范式’之间交流的困难则会成为科学革命的前兆”[6]，这显示了范式之间具有不可通约性的特征。

“以太”一词早在古希腊时期就已经存在，被亚里士多德当作水、火、土、气之外的第五元素。近代，在牛顿力学的框架下，以太被当作光波的载体，人们通常认为以太这种物质是绝对静止的，并且以此为前提，发展出了相对成熟的以太范式来阐释光的运动问题。为了解答光以太与运动物质之间的相互关系问题(类似于光速是否相对于任意坐标系皆为常数的问题)，19 世纪，科学家提出了几种不同的以太假说(范式)。这些假说分别是 1) 运动物质完全拖拽以太的假说(以斯托克斯为代表)；2) 运动物质部分拖拽以太的假说(以菲涅尔为代表)；3) 运动物质完全不拖拽以太的假说。这三种不同的以太假说是三种不同的光以太范式和模型，这些以太范式之间的竞争则有助于新范式革命的开展，有利于为物理学的进一步演进拉开序幕。

19 世纪中期的以太范式曾经取得了很高的成就，人们用以太理论较好地解释了光行差等天文问题。

但是随着各种实验的开展以及光的电磁理论的发展，以太与物质运动的关系越来越令人费解，各种验证以太运动的实验出现了矛盾的情况，于是科学家开始进一步验证和探讨。霍克的以太验证实验显示了“在 v/c 的一阶精度内否定了完全拖动说和完全不拖动说，但不排除部分拖动说”[7]。此时菲涅尔的运动物质部分拖拽以太的假说赢得了科学共同体的赞同。然而，霍克以太实验之后的迈克尔逊莫雷以太漂移实验却又排除了极具竞争力的菲涅尔以太部分拖动说。以迈克尔逊和莫雷的以太验证实验为标志，以太假说陷入了巨大的困难。

以太到底是被物质部分地拖拽还是完全拖拽？还是不被物质(介质)所拖拽？这一问题在19世纪没有人能够很好地解释。有的实验显示以太被物质介质部分拖拽，还有的实验显示物质根本不拖拽以太。各种实验结果用以太理论似乎无法解决，各种旧以太范式之间交流亦十分困难，因而在19世纪末，以太乌云成为经典物理学两大乌云之一，主张废除以太学说的呼声越来越多。

3. 新范式的建立

在之前提到的三种旧以太范式理论中，菲涅尔的以太部分拽引理论虽然可以解释菲索流水实验和光行差观测实验的结果，但是这种理论却预言迈克尔逊莫雷实验的结果是有干涉条纹的移动，也就是预言真空中的光速会因地球的运动而在仪器中的不同方向会发生变化，这与实际实验结果不符。

迈克尔逊莫雷实验的结果表明：要么以太是被整个地球完全拖拽的(因此光相对地球速度为恒定值)，要么“以太”这种假想的物质根本就不存在！这让当时很多物理学家难以接受。而如果以太这种物质被地球完全拖拽，则“光行差”现象几乎无法解释，所以只剩一种可能，就是“以太”不存在！可是如果“以太”不存在，那么所有的以太旧范式就必须抛弃，必须承认真空中光速相对任意坐标系皆为常数这一结论，此时急需一种新的理论范式来解释迈克尔逊和莫雷的以太实验。

库恩的范式理论表明，新范式的优越表现在“比它们的竞争对手能更成功地解决一些问题”[8]。1905年，在光速不变和相对性原理前提下，爱因斯坦建立了狭义相对论，通过狭义相对论的钟慢效应和尺缩效应，爱因斯坦不仅仅解释了以太部分拽引理论可以解释的菲索流水实验和光行差观测的结果，而且可以解释迈克尔逊莫雷实验的结果。狭义相对论这种新范式不仅在解谜范围、深度、广度方面远远超出了旧的以太范式，而且带来了时空观的变革。

4. 新旧范式不可通约性的相对性——以以太旧范式为例

在库恩的《科学革命的结构》一书中，新旧范式具有不可通约性。而新旧范式的不可通约性表明：新旧范式之间具有质的不同，它们之间似乎没有任何“公约数”。此外，早在20世纪上半叶，科学哲学家G. Burniston Brown强调：物理学进化过程中机械观和解释电磁现象的场的观念之间存在激烈的矛盾，最终导致相对论的出现[9]。这在一定程度上，暗示了新旧不同范式之间不可通约的矛盾以及范式革命的爆发的必然性。

在20世纪初期，以太旧范式被基本推翻后，出现了几种比较出色的新范式，分别是洛伦兹电子论，狭义相对论以及1908年的里兹发射理论，这些新的范式从表面上看，和旧的以太范式完全不可对话。在上述三种新范式中，以太的基本构架荡然无存。比如：洛伦兹电子论虽然保留了以太的名称，但剔除了其大部分基本属性，只是承认在真空中存在一种完全不被拖拽的以太。在里兹的发射理论和狭义相对论中，以太这个名词根本没有任何地位，这是新旧范式不可通约性的重要表现，但这并不意味着新旧理论之间的不可通约在整个以太演进史中是完全绝对的。

在库恩的科学史理论中，不可通约性不仅仅表现在科学定义的不可通约，还表现在科学观察术语、理论术语以及科学界的世界观之中。库恩《科学革命的结构》提到“在革命之后，科学家们所面对的是

一个不同的世界” [10]。这表明：在科学革命之后，整个科学界的世界观会发生重大变革。

以“以太”旧范式和狭义相对论范式为例，它们之间的科学术语已经出现了很大的差异。比如之前提到的“以太”术语在狭义相对论中不复存在，狭义相对论的“钟慢效应”“尺缩效应”等术语在旧以太范式中亦不可能存在。

此外，狭义相对论范式下的时空观和旧以太范式下的时间和空间观念差异也是在以太演进过程中新旧范式不可通约性的体现。比如，旧的以太范式认为时间是绝对不变的，空间也是绝对的；但在狭义相对论下，新的科学共同体已经认为时间是可以改变的，具有相对性，空间也具有相对性，二者是可以构成一种新的时间-空间共同体。或者说“大量的事件构成一个四维连续区” [11]。所以，从以太旧范式到狭义相对论范式的转换过程体现了科学共同体整个世界观的转变。因此有学者认为“随着范式的变迁，工作于其中的科学家的知觉与视觉都发生了改变，他们仿佛生活于不同的世界” [12]。

然而，旧范式和新范式之间的不可通约性并不是说新旧范式之间完全不可以进行任何对话。之前提到，虽然库恩范式理论中的不可通约性似乎说明新旧范式之间的不可对话，但是在以太范式演进史中，新旧范式不可通约事实上是相对的，这些范式仍然具有一定的共同点。例如：虽然以太旧范式和新的洛伦兹的电子论范式存在矛盾，但两者仍有对话的可能。以太旧范式与洛伦兹电子论的矛盾之处在于：以太旧范式中没有尺缩效应概念，而洛伦兹电子论新范式则增加了尺缩效应的新概念。它们之间的共同点表现在：洛伦兹电子论和以太旧范式中都承认以太的存在。洛伦兹的电子论并没有彻底脱离以太旧范式，这种范式仍然披着以太范式的外衣。因为洛伦兹电子论解释了迈克尔逊莫雷以太漂移实验结果，甚至有人认为“洛伦兹的电子论标志着光和电磁以太理论的顶点” [13]。

虽然旧的以太范式和新的相对论范式之间存在着深刻的不可通约的矛盾，但是二者仍然具有一定共同点，这表明新旧范式之间的不可通约是相对的。比如：二者在一定程度上都继承了旧的牛顿力学，在物体速度远远小于光速的特殊条件下，狭义相对论亦可以转化为以太部分拖拽理论，并以更加精确的方式解释斐索流水实验的结果。到了 1920 年下半年，爱因斯坦改变了之前对于以太的彻底否定的态度(爱因斯坦曾认为“以太显示了自己是绝对静止这一毫无意义概念的化身” [14]，爱因斯坦此时认为以太可以存在但不能再拥有任何力学性质 [15])。因此，旧的“以太”力学性质不复存在了，但是它作为一种特殊的介质依然有存在的必要性。爱因斯坦认为“依照广义相对论，一个没有以太的空间是不可思议的” ([16], p. 128)。因此，新旧范式不可通约性并不是绝对的，在以太范式的演进史中，旧以太范式并非一无是处。

在爱因斯坦时代，仍然不能把以太这种物质和各种运动相联系，否则以太与物质运动仍然是处于一种矛盾的关系(根据迈克尔逊莫雷以太验证等相关实验，运动物质既不能完全拖拽以太，又不能半拖拽以太，也不能不拖拽以太)。如果以太真实存在，那么物质介质是否拖拽“以太”这一问题在新的相对论范式下依然没有彻底解决。因此，爱因斯坦感叹道“新的以太在未来物理学的世界图像中注定要起的作用，我们现在还不清楚” ([16], p. 127)。关于“新以太”的未来，爱因斯坦展望“如果引力场和电磁场合成为一个统一的实体……那时以太——物质这种对立就会消失” ([16], p. 128)，此时以太存在的难题才最终解决，真空中光速相对任意坐标系都为常数的原因也将迎刃而解。关于以太存在与否问题，“科学家并没有发现自然界的真理，他们也没有越来越接近于真理” [17]。

虽然库恩认为新的科学理论似乎是对危机的一个直接回答，但从以太发展史中，我们可以看出：新范式不一定要直接完全地解答旧范式的遗留问题，新范式可以用另一种间接的方式绕过旧的问题，发展出自己的一套理论来成功地解释自然科学现象，这是其中所蕴含的哲学道理。此外，新范式的发展与完善依然有很长的道路需要摸索，范式的更替是一个相当长的历史过程，因此科学的进步不仅是纯粹的自然科学问题，而且也是科学史和科学哲学问题。因而，“科学的教育不仅仅应该包含物理学，而且要包含科学史和科学哲学问题” [18]。

5. 新范式之间的不可通约性

除了新旧范式具有不可通约性外,各种新的范式之间也有不可通约性。“库恩反对把科学看作是绝对的,必然进步的”[19],新范式之间的不可通约性也不一定是绝对的。科学的进步是量变和质变的统一,在进步过程中必然会出现竞争。在旧范式崩溃后,新的常规科学建立之前,一定会出现几种新科学范式互相竞争的局面,而且这些新范式之间亦存在着很深的矛盾。比如:在旧的以太范式崩溃后,接下来出现的新范式之间也具有类似的不可通约性,它们之间亦存在着几乎不可调和的矛盾。由于这些矛盾的存在,在旧以太范式之后的新范式(洛伦兹电子论、狭义相对论、里兹发射理论等)之间开始了复杂的竞争,里兹发射理论和洛伦兹电子论这些新范式相继被更加具有竞争力的狭义相对论范式所替代,这里主要展示洛伦兹电子论和狭义相对论两种范式的竞争。

在旧以太范式推翻后,准备替代旧以太理论的洛伦兹电子论和狭义相对论两种新范式之间虽然有共同点,但二者仍然存在一定的矛盾,它们的矛盾之一即:是否认为时间是相对的。在洛伦兹电子论中 t' 没有意义,即洛伦兹认为时间是绝对的,这和爱因斯坦狭义相对论范式并不符合。关于二者对于以太的看法,洛伦兹电子论中把以太当作绝对静止的物质,狭义相对论则不需要以太这种物质(爱因斯坦后来认为广义相对论中可以假设以太的存在,但不能确定其为静止或运动的)。于是,科学共同体对洛伦兹电子论和狭义相对论进行进一步实验验证,以确定哪种范式更加符合科学实验。1932年,肯尼迪和桑代克通过不等臂干涉仪实验否定了洛伦兹的电子论。这说明仅仅凭借洛伦兹电子论的计算根本无法得到正确的实验结果,而狭义相对论不仅仅考虑了运动方向上的长度收缩,还考虑到了钟慢效应,因而其计算结果与肯尼迪和桑代克的相关实验相吻合。因而在狭义相对论和保留旧以太的洛伦兹电子论两大范式的角力中,狭义相对论新范式最终胜出。于是,在新的相对论范式之下形成了新的常规科学,之前的两种范式相互竞争的“前范式阶段”宣告结束,新的常规科学相对论的诞生也使得对于旧问题的解答方式和理解深度达到了更高的层次,相对论也最终成为现代物理学的两大基础之一。20世纪后期,出现了一种爱因斯坦-以太理论(Einstein-Aether Theory),该理论试图把以太和爱因斯坦的广义相对论相融合[20],虽然其前景有待检验,但也体现了新范式之间不可通约的相对性,即:关于同一问题的不同科学范式虽然有看似不可调和的矛盾,但也有对话的可能。

6. 结语

在以太范式的发展史中,新旧范式的不可通约性始终是一个重要的话题,新旧范式之间不可通约性的具体特征在以太范式演进过程中亦扮演着重要的角色。以太范式的演进史内容丰富,涉及到各种旧以太范式之间的竞争、新旧以太范式之间的竞争、新的替代范式之间的竞争等方面。通过旧以太范式和范式演进历史的比较,展示了旧的以太范式与新的替代范式之间仍然有对话的可能性,展示了以太范式的演进历程与库恩理论中范式不可通约性的具体联系,强调了库恩科学革命理论中的范式不可通约性在以太范式演进历程中并非完全绝对,而是具有相对的特征。

参考文献

- [1] Kuhn, T.S. (1996) *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago.
- [2] M. E. 马隆, 孟庆时. 重构的库恩哲学观点: 没有相对主义的不可通约性[J]. 哲学译丛, 1993(6): 10-19.
- [3] Wray, K.B. (2012) Assessing the Influence of Kuhn's Structure of Scientific Revolutions. *Metascience*, **21**, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11016-011-9603-8>
- [4] 王幼军, 高飞. 库恩理论与西方数学史研究[J]. 哲学分析, 2021, 12(1): 153-165.
- [5] 柳洲. 关于“科学革命”的研究困境与重生之路[J]. 自然辩证法研究, 2021, 37(5): 104-109.

-
- [6] 曾令华, 尹馨宇. “范式”的意义——库恩《科学革命的结构》文本研究[J]. 武汉理工大学学报, 2019, 32(6): 72-77.
- [7] 刘辽, 费保俊, 张允中. 狭义相对论[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2008: 8.
- [8] 贡江春. 试析库恩“范式”理论的优点和缺陷[N]. 科学导报, 2019-06-14(B02).
- [9] Brown, G.B. (1939) The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from the Early Concepts to Relativity and Quantum Theory. In: Einstein, A. and Infeld, L., Eds., *Philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge, 242. <https://doi.org/10.1017/S0031819100011670>
- [10] 托马斯 库恩. 科学革命的结构[M]. 北京: 北京大学出版社, 2012: 94.
- [11] 爱因斯坦, 英费尔德. 物理学的进化[M]. 周肇威, 译. 长沙: 湖南教育出版社, 1999: 147.
- [12] 金吾伦. 试谈库恩的“不可通约性”论点[J]. 自然辩证法通讯, 1992(2): 11-18.
- [13] Tolman, R.C. (1917) *The Theory of the Relativity of Motion*. University of California Press, Berkeley.
- [14] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集(增补本·第二卷) [M]. 许良英, 范岱年, 译. 北京: 商务印书馆, 2010: 96.
- [15] 泡利. 相对论[M]. 凌德洪, 周万生, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1979: 6.
- [16] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集(第一卷) [M]. 许良英, 范岱年, 译. 北京: 商务印书馆, 1976.
- [17] 托马斯 库恩. 必要的张力[M]. 北京: 北京大学出版社, 2004: 279.
- [18] Hoyningen-Huene, P. and Lipton, P. (1993) Reconstructing Scientific Revolutions: Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science. *American Journal of Physics*, **61**, 1054-1055. <https://doi.org/10.1119/1.17343>
- [19] 周宇航. 科学持续进化的基本结构——对《科学革命的结构》的解读[J]. 知识文库, 2017(13): 47.
- [20] Konoplya, R.A. and Zhidenko, A. (2007) Perturbations and Quasi-Normal Modes of Black Holes in Einstein-Aether Theory. *Physics Letters B*, **644**, 186-191. <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2006.11.036>