

惠威尔将运动学说作为纯粹科学与现象科学中间环节的思想

张佩玉

内蒙古师范大学科学技术史研究院, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2026年4月20日; 录用日期: 2026年5月11日; 发布日期: 2026年5月22日

摘要

19世纪, 几何学成为具有普遍性和严谨性的科学典范, 如何使力学或其他科学同样具备普遍性与必然性就成了一个中心问题。惠威尔认为理性与经验并重, 强调概念在科学知识中的作用。运动学说与数学知识的运用, 既是心智主动性的体现, 也为归纳科学提供了先验框架, 成为发现一般规律的逻辑前提。数学知识作为精确量化工具, 确保了归纳科学与经验事实的准确联结。这一结构体现了惠威尔对基本观念(Fundamental Ideas)作为科学认知必要框架的强调: 缺乏理论逻辑, 科学进步将失去方向, 经验法则也无法达到严谨的科学说明。运动学说连接几何学与力学, 实现了从几何学必然性到物理现象概念框架的转变, 提供了一种无因果假设的描述性结构。

关键词

归纳科学, 纯粹科学, 运动学说, 数学应用, 逻辑必然性

Whewell's Idea of the Doctrine of Motion as the Intermediate Link between Pure Science and Phenomenal Science

Peiyu Zhang

Institute for the History of Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia

Received: April 20, 2026; accepted: May 11, 2026; published: May 22, 2026

Abstract

In the 19th century, geometry emerged as a scientific paradigm characterized by universality and

rigor. A central question thus arose: how to endow mechanics and other sciences with the same universality and necessity. William Whewell advocated equal emphasis on reason and experience, underscoring the role of ideas in scientific knowledge. The doctrine of motion and the application of mathematical knowledge manifest the active agency of the mind, provide a transcendental framework for inductive sciences, and serve as the logical prerequisite for the discovery of general laws. As a precise quantitative tool, mathematical knowledge guarantees the accurate connection between inductive sciences and empirical facts. This structure reflects Whewell's emphasis on fundamental ideas as the necessary framework for scientific cognition: without theoretical logic, scientific progress would lose direction, and empirical laws could not attain rigorous scientific explanation. By bridging geometry and mechanics, the doctrine of motion realizes the transition from the necessity of geometry to the conceptual framework of physical phenomena, offering a descriptive structure free from causal assumptions.

Keywords

Inductive Sciences, Pure Science, Doctrine of Motion, Application of Mathematics, Logical Necessity

Copyright © 2026 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

在 19 世纪科学哲学的相关语境下，几何学那样具有普遍性和严谨性的科学成了科学的样板，确定其他科学知识的普遍性和必然性就成了一个中心问题，相对于穆勒这一经验主义者所强调的经验归纳之路，威廉·惠威尔(William Whewell)建构起了一种独特且重视知识层次性的科学体系，这一体系旨在调和理论逻辑的确定性与经验观察的或然性之间的结构性特征。惠威尔被穆勒描述为“非归纳主义者”，穆勒直言“惠威尔对归纳的看法是错误的，(他所说的)根本不是归纳” [1]。穆勒的评价影响深远，导致惠威尔的归纳思想一直为归纳逻辑界所忽视，直到 20 世纪中叶随着逻辑实证主义的逐渐衰落才重新被发现。尽管穆勒的经验归纳法在处理因果探究和消除归纳偏见方面具有极高的价值，尤其是在社会现象的分析中表现出色，但惠威尔关心的核心在于：在自然科学的奠基阶段，这种自上而下的逻辑如何能产生出像几何学这样的必然形式。Menachem Fisch 在其著作《William Whewell: Philosopher of Science》 [2]中指出，惠威尔的归纳并非简单的逻辑推理，而是一种“发现的策略”。这种策略强调心智如何通过结合事实来产生新的构想，而不仅仅是总结数据。惠威尔把科学知识区分为观念科学和经验科学，它们的根本差别就是知识的演绎基础。正如他在《归纳科学的哲学》一书中所定义的：纯粹科学是“以空间、时间和数量这些更为综合性概念为基础而形成的科学体系” ([1], p. 79)。这类科学“纯粹从观念出发而不涉及任何物质现象” ([1], p. 79)，如几何学和理论算术，其进步在于“追寻观念自身的结果” ([1], p. 79)，通过演绎发展，保证了真理的普遍性与严谨性。相反，力学和天文学等归纳科学都依赖于特殊的经验和事实，它们的发展都是搜集现象中的法则，目的是为了应对偶然真理的问题，也透露出迫切需要解决的结构难题，即如何由必然观念向偶然现象转化，怎样更接近几何学那样具有普遍性和严谨性的科学？

在这样的二元结构下，运动学说在这种知识层次结构中处于什么位置，并且怎样保证数学工具能够有效地对物理现象进行描写与预测。从惠威尔的说明来看，运动学说不只涉及到纯粹数学的空间、时间概念，也涉及到运动这个物理现象。所以运动学说在几何学和力学之间起到关键的过渡作用，与此同时，数学知识这一精确量化工具在归纳科学上的运用决不能简单地成为经验科学的附属，而是要将纯粹观念

的必然性成功拓展到物质现象，才能达到对事物进行严格科学推理的目的。

2. 纯粹科学的基础

2.1. 纯粹科学的起源、对象与定义

我们所能观察到的一切外在对象与事件，皆被看作具有空间、时间与数量的关系，并受这些综合性观念所施加的一般条件的制约。同时，它们也受各类对象与事件自身特殊规律的制约。如果说构成不同科学的特殊自然规律是通过兼顾经验与各门科学的基本观念而获得的，那么纯粹科学则代表了另一种知识体系。

纯粹科学是由空间、时间与数量等更具综合性的观念所产生的条件所构成，这一体系适用于一切种类的对象与变化，并且可以推演出来，而不必对任何特定的观察加以重复。这些纯粹从观念出发而不涉及任何物质现象的科学，即为纯粹科学。这门知识体系的主要科学包括几何学、理论算术，分别用来研究空间关系与数量关系，以及一般意义上的代数学，即以一般符号研究空间与数量关系的学科。

2.2. 纯粹科学的进步模式与演绎的特征

纯粹科学(Pure Sciences)的进步模式，与归纳科学(Inductive Sciences)存在根本性区别，因此它们不属于此前对各部门科学历史考察的范畴。

纯粹科学的发展并非通过搜集现象的规律与对观察事实的搜集得到真理性理论，或是由更加局限的规律导出较为一般的规律。反之，它的发展就在于追求观念本身的结果，挖掘从观念派生出的概念间最为一般和本质的类比和关联。这些科学除了定义和公理之外不具有原则；除了演绎之外不存在证明过程。这种演绎在这里表现出十分突出的特征，显示出简单性和复杂性，严格性和普遍性相统一。这种演绎的纯粹性，确保了其知识的普遍性和必然性。当代学者 Laura J. Snyder 在其著作《Reforming Philosophy: A Victorian Debate on Science and Society》[3]中指出，惠威尔通过“观念的澄清”(Clarification of Ideas)将原本抽象的先验形式转化为可操作的科学工具，这使得“先天”的观念在科学史的发展中具有了动态性。

2.3. 数学的地位与现象科学的界定

纯粹科学真理的普遍性和论证的严谨性很早就为人们所重视。古希腊人意识到这门学科给人们提供了不被外来影响和以爱思辨求真的精神去发展自己的智力训练，所以这类学科又叫数学，说明其有学科研究性质。因为空间、时间和数量这三个概念扩展到了我们外在世界所能观察的东西和变化情况，所以对于数学关系的思考就构成了一系列来处理外在自然现象和规律的大量科学，如天文学、光学、力学等等。这种科学往往被称作混合数学，它把空间和数量之间的关系同从中得到的原则结合起来进行特殊的观察。

更进一步，空间、时间与数量可被视作我们感觉所产生的知识的形式，这些形式独立于因感觉自身所导致的知识内容差异。因此，以这些观念为对象的科学，可被称为形式科学。这一点将它们与自然科学相区别：在自然科学中，除了这些用来纠正现象的形式规律外，我们还努力将因果观念或其他更深入自然原理的观念应用于现象。这种区分体现在形式天文学与物理天文学、形式光学与物理光学的划分上。对构成这些形式或纯粹数学科学基础的观念的考察，正是后续分析的逻辑起点。

3. 观念的延伸与过渡机制的构建

3.1. 运动学说

运动学说在惠威尔的科学体系中占据着由纯粹科学转向归纳科学的中间位置，它被定义为“将运动

完全独立于它的原因，也就是力来加以考虑的学说”[4]。惠威尔强调，运动学说之所以被称为“纯粹的运动学说”，是因为它仅仅涉及到空间与时间，而空间与时间都是纯粹数学研究的对象，通过排除力和因果等属于归纳科学的内容，运动学说成功回避了向真正的力学或机械学领域迈进。运动学说只对空间、时间和速度进行研究，可视为纯粹的机械学，其目的在于解决诸如机器中齿轮齿形研究等问题，以及各种机械装置组合的问题。这一不涉及力和动力的纯粹研究，实现了几何学和理论算术等纯粹观念向物质运动现象领域的首次概念拓展与应用。

尽管运动学作为独立学科的系统性仍有待完善，并经常与研究力传递的动力学相混淆，但惠威尔依然敏锐地洞察到将其剥离出来的必要性，并引用了安培(M. Ampère)倡议的命名“运动学”来佐证其划分的合理性。与穆勒将运动规律视为纯粹经验观察的简单归纳不同，惠威尔坚称运动学的逻辑先于观察。

进一步探究发现，在惠威尔的理论体系内，运动学说实际上扮演了“动起来的几何学”(Geometry in motion)的角色。这归因于其剔除了本体论负载，它只保持着几何及直觉两个先验要素，也就是空间与时间，并谨慎地排除了“力”这一带有本体论负荷且具有因果解释性的概念。按照惠威尔的观点，几何学主要研究静态的空间关系，而运动学是通过在几何结构中融合“时间”的持续感知，来描述点和线如何在时间和空间坐标系中发生转换，之所以会这么分类是因为惠威尔眼里的“力”涉及到更为深入的因果观念，具有一定的超验性质，但是在运动学方面还只是停留于单纯的表面现象。

3.2. 高等数学的建构基础

在惠威尔体系中，高等数学特别是微积分被视为精确化和普遍化的核心方法，其基本思想源自于对时间和数量概念的深入探究。

3.2.1. 概念的形成和发展

高等数学并非偶然而产生，受描述与预测物体运动与变化的科学需求驱动，而惠威尔则把牛顿“首末比”法(即流数法)视为人类对极限概念作出的正确解释。这一方法在其《归纳科学的哲学》一书开篇使用一系列引理或预备定理的形式表现出来了，这一办法的提出与应用既要曲线的性质进行系统的考察，又要对一般的数学方法进行系统的整理与拓展以适应力学的要求。

3.2.2. 方法论的进展与普遍性

高等数学的核心优势在于它所提供的分析方法与符号语言具有的普遍性。惠威尔指出，牛顿的几何综合方法虽然在其手中是威力巨大的武器，但因其对直觉要求极高，对后世学者而言显得过于繁复，难以普遍化使用。正是由于对符号的熟练运用以及对符号对称性以及其他关系的关注，莱布尼茨的微分学才得以在欧洲大陆被广泛接受和应用。微分学从其起源及意义来看和流数法是一样的，但因符号操作方便而在解题范围及普遍性上迅速超过对手。

3.2.3. 解决复杂问题的能力

这一分析方法给力学科学赋予了新的形式，这是因为它结合坐标对称使用，使多数问题都能化为积分求解。惠威尔强调，克莱罗(Alexis Claude Clairaut)、欧拉(Leonhard Euler)和达朗贝尔(Jean-Baptiste le Rond D'Alembert)等数学家正是将数学科学日益丰富的资源应用于月球理论以及其他与世界体系相关的问题的研究，将物理天文学的所有难题简化为符号计算的难题。这种符号的熟练运用能力保证数学理论能用高度有效和精确的手段得出结论，超前于观察并能大胆地预测今后可能出现的现象，从而成为科学知识确定向前进的不可缺少的工具。从牛顿到达朗贝尔的物理学经历的不仅是个别理论或规律的演变，更为根本的是研究和解决问题方式的改变[5]。

3.3. 数学在归纳科学中的应用模式

数学在归纳科学中的应用并非是简单的经验归纳，而是以一种必然性为基础的概念联结过程，旨在实现对经验现象的精确量化。

3.3.1. 基础与前提：必然观念的演绎

数学应用的根本特殊性在于其知识的先天起源和逻辑必然性。惠威尔强调，几何学和算术都是“从一开始就非常准确和清晰的”，并且它们只包含正确的命题，从来没有陷入错误或混乱。这种基于空间、时间和数量等方面的严谨性，使得数学真理适用于“世界上所有能够成为我们思考对象的事物” ([1], p. 147)。

因此，数学在归纳科学中呈现为一种自上而下的演绎模式：即将纯粹观念产生的逻辑必然性作为公理体系，投射并规范经验领域。这就确保了数学知识作为一种科学真理构成元素时，具有其他经验概念，比如加速力(accelerating force)所不具备的普遍性和严谨性，比如古希腊人在天文学研究上针对天体运动规律就直接运用并演绎了数学知识。

3.3.2. 核心功能：对规律的精确量化

数学应用于归纳科学的核心目的是实现量的确定或精确量化。在科学发展的历程中，数学知识的进步，例如三角学的出现以及阿拉伯人引入的十进制计算方法，都是为了更好地服务于天文学这一最为显著的、与空间和数相关联的自然现象。

微积分的出现使精确量化扩展到复杂运动变化上的处理。牛顿的流数法和莱布尼茨的微分学，把复杂而困难的物理问题变成一种符号计算的问题，这样就可以用极其准确的方式从理论推导出结论。比如现代数学理论发展可以领先于观察，大胆预测今后有可能发现的某些现象，例如艾里(Airy)教授所算得的地球与金星间互相吸引所产生的不等式规律。这一能力充分显示出数学作为一种手段不仅可以对自然规律进行描述，而且可以实现对自然规律进行普遍而严格地精确量化。

4. 先天真理对归纳科学的建构性

4.1. 作为“先验图式”的运动学说

运动学说和数学应用在惠威尔思想体系中的特殊地位充分体现了他对解决科学知识中存在确定性问题的独到贡献。惠威尔通过确立“纯粹运动学”这一中间环节，实际上提供了一种有别于经典经验主义的认识论路径。他尖锐地批判了以穆勒为代表的仅仅依靠观察与事实进行科学研究的经验主义倾向。在穆勒的观点里，运动规律只是被动地对自然现象进行归纳；而在惠威尔的建构逻辑中，人的心智却有着一种完全主动的精神。运动学说本质上是心智预设的一套先验图式(Transcendental Schema)或测量网格。这种网格独立于具体的经验观察而存在，去除了因果性和其他本体论负担，仅保留时空的必然性。在这先验精确框架作用下，归纳出来的自然科学定律可以纳入严密的数学推理之中，从而将原本碎片化、偶然的经验知识上升为具有普遍确定性的科学知识。如果没有这个网格作为前提，物理世界的运动现象在人类心智中将仅是一团杂乱的体验，而非有序的规律。

4.2. 数学演绎与经验事实的契合

数学在归纳科学中的应用，并非单纯的数值计算工具，而是先验框架与经验事实之间实现逻辑契合的媒介。惠威尔强调，观念的先天性决定了科学知识的普遍性地位。数学演绎的完备性与经验基底之间能否实现完美的契合，是判定一门科学是否成熟的核心标准。这一逻辑在惠威尔对全球潮汐规律(Tidal

laws)的研究反思中得到了充分体现。他认为即使我们有大量的观察数据,如果缺乏足够的数学分析工具,特别是处理复杂流体波动理论的积分工具,那么真正的科学真理依然难以实现。惠威尔虽然在不断强调观念的重要性,但是他并不是一个纯粹的唯心主义者。他也重视经验事实,他认为经验事实是在观念的指导作用下联系在一起,不是简单的堆积或累积,而是高度依赖于理论负荷(Theory-ladenness)这种观念与事实的结合促使了科学的形成和发展[6]。

在惠威尔看来,数学演绎的完备性不仅是计算的保障,更是经验基底能否被赋予法则意义的前提。当数学演绎的严密性能够完全覆盖现象的复杂性时,偶然的经验便在心智中实现了与逻辑必然性的契合,科学知识的确定性边界也由此得以确立。数学演绎不仅保证了精确的计算,也让经验事实具有法则意义的条件。当数学演绎的严谨程度能够涵盖现象的复杂性时,偶然经验才能在理性思维上符合逻辑必然性,从而建立起科学知识的确定性边界。

在惠威尔看来,数学演绎的完备性既是确保计算精确的一个手段,又是经验事实是否具有法则意义上的一个条件。只有数学推理足够严密以涵盖现象中的复杂因素,偶然的感性经验才会符合理性框架下的必然真相,继而建立科学知识的确定边界。这种自上而下进行的理性赋形过程使得数学不只是经验的附属手段,并被提高到一种主动判断经验是否可以上升至科学法则的高度之上,进而确保了科学体系在逻辑上的自洽与闭环。

4.3. 理性对经验的逻辑超越

通过运动学说与数学应用的双重建构,使惠威尔顺利走出一条介于康德式先验理性主义和培根式经验主义之间的第三条研究途径,并且论证其建构逻辑是科学知识的客观性并非全部来自于外界世界,而是在心智主动赋予经验的形式。康德已经强调理性不直接与经验对象发生关联,而总是通过知性来整理初步加工的经验知识。在理性的经验性运用中,先验原则及其所遵循的理念,作为启发性的原理对经验进行再加工,形成系统性的认识。最终,康德为先验原则和理念定下的基调是具有客观的、不确定的有效性[7]。Michael Friedman 在其著作《Dynamics of Reason》[8]中表明,运动学说是一种相对先验的结构,它在特定的物理学范式中提供必然性,但又能在更高级的理论中被重构。这一思路对我们了解惠威尔完整的科学思想体系提供了一把至关重要的钥匙。既划定科学知识确定性的界限又从哲学议题方面解答管理性的真理是怎样有可能干预物质世界的。

5. 结语

笔者研究了惠威尔的《归纳科学的哲学》以及他有关科学的思想,进而深入诠释了运动学说和数学应用在科学知识体系所起的中介和构建作用。运动学说扮演着连接数学逻辑的确定性与经验观察的偶然性之间的中介角色,以微积分为核心的高等数学分析方法使经验事实可以准确量化。在不断走向理论化与数学化的科学发展过程中,惠威尔关于“理论负载”、“数学是理性的框架”等等观点对于协调理性与经验的关系以及界定科学知识确定性边界这些前沿的问题仍然有着深远的理论启示。这暗示着科学研究不仅仅是单纯的积累大量的数据,更多的是涉及到心智观念如何积极地理解和统一各种现象和规律,这对我们深入理解现代科学的发展逻辑和推理模式仍有很好的参考意义。

参考文献

- [1] Whewell, W. (1840) *The Philosophy of the Inductive Sciences*. Parker and Strand, 79-81, 147-155.
- [2] Fisch, M. and Schaffer, S. (1991) *William Whewell: Philosopher of Science*. Clarendon Press.
<https://doi.org/10.1093/oso/9780198249009.001.0001>
- [3] Snyder, L.J. (2006) *Reforming Philosophy: A Victorian Debate on Science and Society*. University of Chicago Press.

<https://doi.org/10.7208/chicago/9780226767352.001.0001>

- [4] Whewell, W. (1837) *History of the Inductive Sciences*, Vol 2. Legare Street Press.
- [5] 王广超. 惠威尔对力学第三运动定律的阐述[J]. 自然辩证法通讯, 2014, 36(1): 36-40, 50, 125-126.
- [6] 宿智灵. 关于休厄尔《归纳科学史》编史学思想的研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2011.
- [7] 孟德忠. 论康德在《纯粹理性批判》中对理念的先验演绎[J]. 现代外国哲学, 2025(1) :1-16.
- [8] Friedman, M. (2001) *Dynamics of Reason: The 1999 Kant Lectures at Stanford University*. CSLI Publications.