



中国科学院自然科学史研究所
新视野天文学史研究丛书

丛书主编 孙小淳

新天文学的起源

——开普勒物理天文学研究

The Birth of New Astronomy

——A Study on Kepler's Physical Astronomy

王国强 著



中国科学技术出版社



中国科学院自然科学史研究所
新视野天文学史研究丛书

丛书主编 孙小淳

新天文学的起源

——开普勒物理天文学研究

The Birth of New Astronomy

—A Study on Kepler's Physical Astronomy

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

新天文学的起源:开普勒物理天文学研究/王国强著. —北京:
中国科学技术出版社, 2010. 7
ISBN 978-7-5046-5576-9

I. ①新... II. ①王... III. ①天文学-研究- IV. ①P1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 024221 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版。

策划编辑:吕建华 许 英

责任编辑:李惠兴

责任校对:林 华

责任印制:王 沛

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081
电话:010-62173865 传真:010-62179148
<http://www.kjpbooks.com.cn>
科学普及出版社发行部发行
北京长宁印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:9.5 字数:160 千字
2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷
印数:1-1200 册 定价:36.00 元
ISBN 978-7-5046-5576-9/P·136

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

内容简介

如果说哥白尼的日心说还只是数学化的,开普勒则建立了物理化的日心体系,发现了行星运动的面积、椭圆、和谐三定律。本书通过分析开普勒的物理观、数学观和原型观以及三者之间的逻辑关系,得出了“开普勒式”的“三位一体”的科学发现模式。围绕开普勒在天文学上的重大发现,诠释了其提出问题、分析问题、解决问题的逻辑推理过程,揭示了在17世纪科学革命中,物理学与形而上学、科学与宗教、数学与原型等多方面思想因素相互纠结、共同作用而导致了科学上的重大发现。本书的观点有助于深刻理解近代天文学乃至近代科学的起源。

Abstract

Kepler's physical astronomy marked the rise of modern astronomy. Its main characteristics are the true sun system and the three laws of planetary motion. In making his discoveries, Kepler used ideas from three domains: physics, mathematics and archetype. In most previous studies of Kepler's ideas these three aspects have been treated separately, sometimes even as contradictory to one another. In this dissertation I argue that these three aspects altogether constituted an inseparable Trinitarian whole that played a significant role in the birth of Kepler's new astronomy. My main conclusions are as follows:

1. The replacement of the mean sun by the true sun was essential to the establishment of the truly heliocentric view. The centre of Copernican world system was the mean sun, rather than the true sun. Kepler's argument for planetary motion was that the centre of the universe was a physically real point, rather than a mathematically empty point. Only based on this was the physical cause explanation of planetary motions possible. Kepler's true sun theory may be called his "zeroth law".

2. Distance law and the treatment of equant was the key to the discovery of Kepler's area law. Kepler's search for physical cause transformed the old kinematical problem of distance and velocity into the new dynamical one, and transformed Ptolemaic mathematical theory on equant into a mechanic cosmos. He insisted that the planetary motions and celestial observations should be in the consistence with his archetypal criterion, and that distance should be treated prior to velocity. The criterion of mathematical harmonies concerted the concept of uniform angular velocity into that of uniform angular area.

3. The discovery of the elliptic Martian orbit was a landmark in the establishment of Kepler's new astronomy. In Kepler's *New Astronomy* he considered that Martian orbit was the most difficult to deal with. The highly dramaticized discovery of Martian orbit due to an 8' error of longitude was in fact a more complex process. On one hand, it contained the right understanding of the equant's physical meaning and the good use of Tycho's Martian data; on the other hand, though the oval orbit was in accordance with the real motion of Mars and the principal of nature, it lacked

mathematical harmony. The belief of mathematically harmonious relationships in physical motion helped Kepler to develop the model of elliptic orbit through elaborating on areas.

4. Speculations on harmonics resulted in the birth of the third law. Kepler considered that the motion of heavenly bodies and musical harmony belong to the same physical properties, displaying similar harmonious ratios. The harmonious ratios must be hid in the real motion of planets with the sun as a centre of the universe, and in his five archetypal polyhedrons. Both speculations on harmony and his emphasis on empirical observation helped Kepler to discover the third law, namely, the harmony law.

In a word, my study shows that the birth of Kepler's new astronomy was the result of the interaction among physical and metaphysical, philosophical and religious, mathematical and archetypal ideas. This view helps us to better understand the birth of modern astronomy, and modern sciences as well.

Key words: Kepler; New astronomy; Trinitarian; The Laws of Planetary Motion; Archetype; Harmony

总 序

作为一门学科史，天文学史具有科学与文化的双重价值。天文学本身就是历史性的科学，历史上的天文观测对于现代天文学研究仍然具有科学价值，而古代的天文学思想往往随着现代天文学的进展而获得新的解释。与此同时，古代天文学因为与社会政治有着密切的关系，是“天人关系”探索中的重要环节，所以具有重要的文化价值。我们组织《新视野：天文学史研究丛书》，目的是从科学与文化的多元视角研究古代的天文学。

半个多世纪以来，中国天文学史界的研究侧重于中国古代天文学，在古代天象记录的现代应用、历法、星表星图、天文仪器、社会天文学、中外天文学交流、天文学起源以及少数民族天文学等方面取得了突出的研究成果。席泽宗、薄树人等关于古代新星记录的研究，在国际天文学界产生了极大的影响。天文历法研究达到了前所未有的高度。从20世纪80年代开始，直到2008年才完成的10卷本《中国天文学史大系》更是中国天文学史研究的集大成之作，在深度和广度上都是前所未有的。这些研究成果使得我们后来者得以站得更高，看得更远。

中国天文学史的未来要本着面向民族特色、面向世界和面向近现代的战略方针来开展研究。“面向民族特色”就是要把具有中国文化特色的古代天文学成就推向世界，促进世界了解中国古代文化的悠远和其独特的魅力；“面向世界”就是要走出中国的研究圈子，和世界范围内的天文学家进行广泛的交流与合作，以东方人的思维视角、中西比较的方式，重新审视西方天文学史；“面向近现代”就是不仅要研究中国古代天文学，而且要研究中西天文学会通以后的中国近代天文学，以及现代

物理学和天文观测技术所带来的天文学突飞猛进的历史。因此,开放的心态和多维的视野是我辈继承、发扬和丰富天文学史研究的不二法门。

本丛书的契机是中国科学院“创新 2020”的启动,使得中国科学院自然科学史研究所对已有的天文学史研究传统持续鼎力支持,使得我们可以设想在比较长的时间里精耕细作、精益求精,推出较高学术水平的论著。丛书不是某一项课题或某一项资助的研究产物,而是一个学科和一支研究队伍的努力支撑的结果,展示的是一个日新的学术传统。中国科学院自然科学史研究所与中国国家天文台、北京天文馆共同建立的“古天文学联合研究中心”,以及我们与国内外同行的密切合作,使我们在将来一段时期整合多方面的研究力量成为可能。我们衷心地期望努力拓宽视野,引入新方法、新思维,做出一系列新的研究成果;期望这套丛书将成为中国科学院自然科学史研究所的研究品牌;期望学界同行批评指正而使我们走得更好更远。

孙+淳

2010 年 7 月 5 日于北京

序

本书的缘起是美国纽约市立大学道本周(Joseph W. Dauben)教授和我在2005年春为中国科学院自然科学史研究所的研究生开设的“竺可桢讲席”课程《科学革命:从哥白尼到牛顿》。开普勒在这一时期的科学革命中扮演了极其重要的角色。他对哥白尼的“日心说”进行了详尽的阐述,把哥白尼数学模型意义上的“日心说”改造成为物理意义上的“日心说”——日心不是太阳系的几何中心,而必须是真正的太阳之所在。他认为哥白尼《天体运行论》所描述的行星运动必须要有“力”这样的动因。开普勒的科学成就可以说是牛顿《原理》的前奏。美国著名科学史家科恩(I. Bernard Cohen)称哥白尼到牛顿之间的世纪为“开普勒世纪”。

课程期间,我的博士研究生王国强向我谈起了他对开普勒的兴趣,希望能以开普勒的天文学作为博士论文的选题。我知道,受传统和语言的限制,中国科学史家对西方科学史的专题研究相对贫乏,加之西方对开普勒有着较为成熟的研究,所以论文不仅存在着创新的困难,还存在着搜集一手文献资料的困难。但是,加强西方科学史的研究不仅有助于对中国科学技术史的研究,而且有助于从东方人的思维视角来看待西方科学的起源,因此我鼓励他朝这一方向进行研究。我和道本周教授一起向英国剑桥大学李约瑟研究所推荐他去从事开普勒天文学的研究。我在给古克礼(Christopher Cullen)所长推荐信中写道:“万事总有一个开头,王国强决心做开普勒的研究,可以说是我们进行西方近代天文学史研究的一个开头。”为此,王国强2006年获梅龙基金资助到李

约瑟研究所访问了半年,为他完成博士论文提供了极佳的条件。

论文的最后选题以开普勒的《新天文学》为中心探讨开普勒物理天文学的产生。王国强学习认真、严谨踏实,提前半年拿出论文初稿,使我们能有充足的时间进行讨论和修改,最后较好地完成了他的博士论文。我认为,这篇论文有以下几个方面特色或创新:一是把开普勒“三位一体”神学思想与开普勒研究自然界的思想模式进行了类比,得出了开普勒科学发现的“三位一体”逻辑模式,视角新颖,有一定的创见。二是在熟悉已有研究文献的基础上,对原始文献的解读下了很大的功夫,使得对开普勒天文学的理解非常到位,为完成相关历史过程的重建打下了坚实的基础。三是“四定律”概括得比较好,抓住了开普勒科学发现的关键问题,观点明确,论证有据,结构合理,思路清晰。四是虽然探求的是新天文学的起源,但是其结论对于理解近代科学的诞生,物理学与形而上学、科学与宗教、数学与原型多种思想因素相互纠结而导致重大科学发现也有所裨益。

本书经过修改补充后,现作为中国科学院自然科学史研究所“新视野:天文学史研究丛书”的第一本出版,相信将会成为这个系列研究的良好开端。作为本书作者的导师,我对作者能够在这一个新的研究领域取得这样出色的成果感到由衷的欣慰。期待本书能启发学界更多围绕西方科学史的相关议题的研究,有更多的新成果问世。

孙小淳

2010年6月6日

目 录

导言.....	1
第一章 真太阳代替平太阳.....	9
第一节 哥白尼平太阳体系.....	9
第二节 开普勒为哥白尼辩护的理由	18
第三节 构建真太阳世界体系	22
第四节 为什么用真太阳代替平太阳	27
第二章 距离定律和对位点偏心圆	40
第一节 距离定律和对位点的来源	40
第二节 重新引进对位点	47
第三节 开普勒距离定律的早期形式	53
第四节 距离定律的面积化	60
第三章 8'误差与新天文学	71
第一节 8'误差与替代性假说	71
第二节 地球运动的研究	80
第三节 卵形的困惑	90
第四节 椭圆轨道的出现	97
第五节 开普勒的误差观.....	106
第四章 原型与和谐定律.....	109
第一节 开普勒的原型观.....	109
第二节 天体运动和音乐和谐.....	113
第三节 和谐定律的发现.....	117
结语.....	128
参考文献.....	132
后记.....	138

导 言

开普勒是17世纪科学革命中最重要的历史人物之一,他最大的科学成就,就是通过对哥白尼世界体系的改革与发展,建立了新的天文学体系。虽然他的科学成就堪与伽利略、笛卡尔和牛顿相媲美,但是因其著作中充斥着神秘主义的思想而常常被误解。可是为什么开普勒能用近乎神秘主义的逻辑做出如此伟大的科学发现?这样一个堪称“开普勒问题”的问题一直吸引着科学史家不断地探索研究,寻找其个性化的科学发现方法。

开普勒的新天文学在世人面前是怎样一个面目?以前通常把他的天文学成就归结为开普勒三定律,认为第谷的火星观测数据和根据托勒密的对位点偏心圆模型所计算出的数值之间的8'误差使他抛弃了以前传统的天文学理论,而椭圆与和谐定律只是一种巧合或近似,开普勒在天文学上的原型观点与他的科学成就无关,甚至现在还有学者持此观点。这些看法脱离了开普勒科学发现的历史背景。那么开普勒的新天文学究竟“新”在何处?除三大定律外,结合开普勒科学发现的历史背景,科学史家格德斯坦(Bernard R. Goldstein)还指出了这样几点与传统天文学的不同^①:①逻辑不同。开普勒的物理学是因果性的,而不是描述性的,而这种因果性包括力和原型。②神学不同。开普勒的神学是把圣经与科学结合起来的“三位一体”的原型,而不仅仅是圣经中的神学。③目的不同。开普勒研究天文学的目的是行星的轨道,而不是虚构数学模型。④假设不同。开普勒对天文假设和几何假设做了严格的区分,如“月亮轨道是卵形”是天文假设,而用复合圆来解释卵形就是几何假设。⑤规律不同。开普勒认为支配行星运动的是距离与速度的关系,而不是光学上的角速度关系。⑥标准不同。开普勒认为行星运动规律与观测结果一致的标准是,与原型一致,距离与速度的关系中距离优先。因此,这种认识不仅强调了开普勒新天文学在科学上与传统天文学的不同,而且强调了开普勒新天文学在神学上与传统天文学的不同。

当开普勒把自己的著作称之为“新天文学”时,他自己又是如何认识这个问题的呢?虽然开普勒没有直接回答这一问题,但是他在自己的《新天文学》导言中有这样一段话:

^① Bernard R. Goldstein. What's New in Kepler's New Astronomy? John Earman and John D. Norton Ed. The Cosmos of Science. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1997:4-12.

本书中,我的目的主要是改革三种形式的天文学理论^①(特别是火星运动的理论),以便我们根据星表计算的结果能与天象吻合。到目前为止,还不能完全肯定能做到这一点。事实上,在1608年8月,根据《普鲁士星表》计算的位置与火星实际的情况差了接近 4° 。1593年8月和9月,这个误差接近 5° ,而根据我新的计算,这个误差被大大缩小。同时,虽然我把这种目的放在了第一位而高兴地追求这个目标,但是我也浏览亚里士多德的《形而上学》,或者确切地说,我也研究天体物理学和行星运动的自然原因。这种考虑的最终结果非常清楚地表明,只有哥白尼关于世界的观点(有一些小的变化)是真的,而别的两个是假的,如此而已。当然,所有这些情况相互关联,相互交织,相互纠结在一起,以至于对天文学计算的改革,尝试了许多不同的方法之后——有些方法古人已经做得不错了,而另一些方法则是根据他们的例子模仿他们的计算——发现除了本书中所说的根据运动自身的物理因外,再也没有别的好方法。^②

这就是说开普勒把他的《新天文学》定位为对传统天文学的革新,而这种革新就是用物理因、物理假设来研究行星的运动,但是所涉及的情况是非常复杂的。所以他在导言的最后说:“所有这些都是说给物理学家的。在相应的个别章节,是说给天文学家和几何学家的。”由此可以看出,物理因素是改革传统天文学的主要因素。他是要用实在来代替虚构,他是要把天文学变成物理学的一部分,应该说这也是开普勒改革的首要标准,也是他的天文学与传统天文学最大区别之处。另外,数学和原型在他的改革过程中也是不可或缺的内容。他坚信物质世界一定存在着某种数学上的和谐,如在他的早期著作《宇宙的秘密》中,他就用5个相互嵌套的多面体原型模型来说明为什么行星的个数是6,而不是别的数字。可见,探讨开普勒改革传统天文学的过程,就要关注他的物理、数学和原型三个方面的思想。

因此,如何理解开普勒在改革传统天文学时他的物理、数学和原型之间的关系就成为破解“开普勒问题”的钥匙。到哪里去寻找这样一把钥匙?开普勒的新天文学思想主要体现在他的四部著作中。反映开普勒早期思想的作品是《宇宙的秘密》(1596),这是一部宣扬哥白尼日心体系的重要著作。书中一开始就提出一个

① 指托勒密、哥白尼和第谷等三个人对行星运动的假设。

② Johannes Kepler. *New Astronomy*. Translated by William H. Donahue. Cambridge: Cambridge University Press, 1992: 48.

思索终极原因的问题：“为什么天体的运行轨道的数目、大小和运动是这个样子，而不是别的样子呢？”开普勒试图从原型上为哥白尼的世界体系做辩护。他用5个柏拉图正多面体正好能镶嵌在6个行星天球之间，来说明为什么行星的数目是6个，从而认为这种数学上的和谐就是上帝的造物计划，哥白尼体系反映了天上的真实情形。但是在传统天文学中，天文学家并不过分关心这样的真实性问题，他们关心的是如何解释天象，因此在传统天文学中数学沦落为一种“挽救天象”的工具，数学只是一种理论模型，并没有多少实际的意义。在本书中，他还首次用托勒密的对位点模型解释了距离、速度和太阳力的变化关系，试图从物理上为哥白尼体系辩护。另外，其青年时期的著作《新天文学》（1609）是反映开普勒新天文学思想的最为重要的著作。这部著作首次真正地把天文学奠定在物理的基础之上。在开普勒发现的三个定律中，有两个包含在本书中。所以，这也是我们理解开普勒发现方法的最重要的原始文献。在这本著作中，他充分发展了他的物理原则，用对位点模型解释了距离定律，用变速运动代替了匀速运动，而距离定律最终发展成为了面积定律。第谷的火星观测数据和根据对位点模型所计算的数值之间的8'误差的矛盾，使他最终抛弃了沿袭二千多年的圆形轨道，得出了行星沿椭圆轨道运动的惊人结论。1617年开普勒出版了《哥白尼天文学概要》，对自己的天文学思想作了总结性的陈述。本书的作用无异于托勒密的《至大论》和哥白尼的《天体运行论》，是一部综合描述世界体系的著作。1618年发现了行星运动的和谐定律，1619年出版了《宇宙的和谐》，该书充分说明了他的原型世界观的变化，而这种思想的变化直接导致了他的第三定律的发现。可以说，《宇宙的秘密》、《新天文学》、《宇宙的和谐》和《哥白尼天文学概要》奠定了开普勒新的天文学体系，涵盖了几乎所有的开普勒新天文学的思想和内容。因此，研究开普勒新天文学的起源，探讨其个性化的发现方法，就要立足于开普勒的新天文学的产生过程，抓住过程中的关键环节。正如《新天文学》英文译作者唐纳绣（William H. Donahue）所说：“虽然游戏的规则不再一成不变，但是要在游戏过程中发现它。”^①用真太阳代替平太阳，用对位点模型解释距离定律，8'误差而得出椭圆轨道，发现和谐定律是新天文学产生的四个关键问题。本书就是从这四个方面着手，看开普勒是如何利用他的物理原则、数学原则和原型原则克服困难，解决这些问题的。

对于新天文学的产生，前人已经有了不少的研究。在早期研究中，重在解读开普勒的著作，并没有考虑这三个方面在开普勒发现中的作用。具有代表性的研究有

^① Johannes Kepler. *New Astronomy*. Translated by William H. Donahue. Cambridge: Cambridge University Press, 1992:1.

斯毛(Small)的《开普勒天文学发现的叙述》(*An Account of Astronomical Discoveries of Kepler*)和柯瓦雷(Koyré)的《天文学革命》(*The Astronomical Revolution*)。斯毛在他的解读中这样评价开普勒的《新天文学》:“开普勒的理论与实验相结合、理论指导实验并再接受实验检验的方法,是在培根的《新工具论》之前的完美典范。”^①显然这是一个完美科学家的形象。在这里,斯毛主要是强调了开普勒物理理论的技术细节。柯瓦雷在《天文学革命》的“开普勒与新天文学”一章中,则把开普勒说成是“两面神”^②。这种对开普勒的评价意味着开普勒新天文学的产生有更为复杂的原因,涉及开普勒的数学原则、物理原则和原型原则。在这章的前言中,也谈到了开普勒这些原则之间的关系,他说:“首先,开普勒关心的是找到上帝头脑中支配宇宙的结构定律(他称之为原型定律),按他的观点这些定律只能是数学的,或确切地说是几何的。其次,他关心的是找到一个能保持结构完整,或者说在运动中能整合在一起的上帝用的物理方法。”^③但是他并没有研究开普勒是如何使用这些原则做出他的科学发现的。

在20世纪70和80年代的研究中,霍尔顿(Gerald Holton)在他的《开普勒的宇宙:物理和数学》中不仅对导致开普勒新天文学产生的思想方法做了三个方面的归纳:“宇宙是物理的机器,宇宙是数学的和谐,宇宙是神学的根本秩序。”^④而且说明了这三者之间的关系:“本文的主要目的就是说明,开普勒论证的有效性事实上是来源于许多完全不同的因素平行作用的结果(juxtaposition)。我们看到,当他的物理学分析方法失败时,他的形而上学就会来救驾;当他的机械模型解释失败时,他就用数学模型解释;当这两者都失灵时他就用神学的原则。”^⑤也就是说,霍尔顿认为,开普勒在解决他遇到的困难时,这三个方面的作用是一种“救助”(rescue)关系。对于这种救助关系他没有用具体的例子论证。对开普勒发现的思想,霍尔顿的这三个方面的概括应该说是比较准确和全面的。这三个方面说明了开普勒在构建一架天体物理机械时,要求大自然必须遵循三个标准:在物理上能够运

① Robert Small. *An Account of Astronomical Discoveries of Kepler*. Madison: The University of Wisconsin Press, 1963:2.

② Alexandre Koyré. *The Astronomical Revolution*. Translated by Dr R. W. Maddison. New York: Dover Publication, Inc, 1973:120.

③ Alexandre Koyré. *The Astronomical Revolution*. Translated by Dr R. W. Maddison. New York: Dover Publication, Inc, 1973:122.

④ Gerald Holton. *Thematic Origins of Scientific Thought, Kepler to Einstein*. Revised Edition. Massachusetts and London: Harvard University Press Cambridge, 1988:70.

⑤ Gerald Holton. *Thematic Origins of Scientific Thought, Kepler to Einstein*. Revised Edition. Massachusetts and London: Harvard University Press Cambridge, 1988:54.

转,存在数学上的和谐,有着神学上的秩序。但是,他所说的“救助”关系值得商榷。

至于当前的研究,可以简单地认为,人们是对霍尔顿这三个方面中的某个因素进行了深入具体的研究。斯蒂文森(Bruce Stephenson)在《开普勒的物理天文学》(*Kepler's Physical Astronomy*)和《天的音乐》(*The Music of the Heavens*)中就分别对开普勒的物理和数学和谐两个方面做了深入的研究。他在《开普勒的物理天文学》中也说明,对开普勒发现方法的研究仅仅从科学发展的内在逻辑上解释是不够的:“目前的研究在试图证明开普勒的工作引向了现代天文学方面,构成了对开普勒天文学认识的新看法。但是根据开普勒自己的观点,这种认识是不完善的,因为还没有更深地触及他的宇宙论基础——原型,也没有触及他在宇宙论中所说的和谐,也许对开普勒来说,这些主题在天文学的各种因素中是最为重要的。”^①斯蒂文森在他的另一部著作《天的音乐》中,也谈到了开普勒科学发现方法的多重性,他说:“就是因为开普勒的理论中,天文学是物理推测、原型论证、和谐狂想的混合体,才使得别的科学家几乎难以理解。”^②菲尔德(J. V. Field)在他的《开普勒的几何宇宙论》(*Kepler's Geometrical Cosmology*)中认为,开普勒的几何宇宙论是开普勒重大发现的原因之一,他说:“因为量的关系是几何的范畴,所以自然开普勒就用几何形式来表达他的宇宙论。可是不管怎样,他所做的事远不止如此:为了给宇宙结构提供一种解释,他还转向几何本身(即转向欧几里德空间的本质)。”^③书中他重点研究了开普勒的《宇宙的秘密》和《宇宙的和谐》中的数学与开普勒的宇宙论之间的关系。最为值得一提的是,马腾斯(Rhonda Martens)在她的《开普勒的哲学与新天文学》(*Kepler's Philosophy and the New Astronomy*)中研究了开普勒的哲学,认为开普勒的哲学是开普勒重大发现的根源,并对开普勒原型思想全面讨论,以理性的方式解释了开普勒的神秘主义的逻辑。开普勒“天才地用这种非科学的影响来解决他科学进程中所面临的思想上的困惑”^④,她首次详细地分析了开普勒是如何利用原型的原则来解决科学发现过程中所遇到的困难,认为原型为开普勒提供了强大的思想武器。科兹罕特丹(Job Kozhamthadam S. J.)在他的《开普勒定律的发现》(*The Discovery of Kepler's Laws*)中谈到:“科学的发现可以分成两个阶段

① Bruce Stephenson. *Kepler's Physical Astronomy*. Princeton: Princeton University Press, 1987:2.

② Bruce Stephenson. *The Music of the Heavens*. Princeton: Princeton University Press, 1994:242.

③ J. V. Field. *Kepler's Geometrical Cosmology*. London: The Athlone Press, 1988.

④ Rhonda Martens. *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*. Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2000.

或者说两个步骤:一个是刚开始时思想萌芽的阶段,一个是思想最终形成的成熟阶段。”^①他阐述了科学(经验)、哲学和宗教在这两个阶段中的相互作用导致了开普勒的重大发现,并指出了这三种因素是一种伙伴关系(partnership),但是他没有具体论证这些因素各自的作用是什么,是以什么样的方式结合在一起的。这些最近的研究都承认开普勒的科学发现方法的多重性和复杂性,但是都没有给出开普勒在上述四个关键环节中是如何使用不同的手段解决困难的,大多数只是从一个侧面对开普勒新天文学的产生进行探索。

在前人的研究中,或多或少地都涉及开普勒发现的三个方面,特别是霍尔顿的三个宇宙论的概括。但是开普勒的发现方法并不能简单地被认为当一种分析方法失败时,就尝试另一种方法,三者的关系也不能认为是一种平行的关系。另外,霍尔顿并没有就开普勒改革传统天文学所遇到的困难论述这三个方面是如何联系在一起的。虽然在霍尔顿以后的学者研究中,探索了开普勒是如何利用这三个方面的某一个方面摆脱了困境,但是并没有讨论另外的因素或三者共同所起的重要作用,也没有探讨三者之间的关系。事实上,三者之间紧密联系、共同作用才促成了开普勒的伟大发现。开普勒的物理学是怎样一个概念?对数学他又是如何认识的?开普勒的神学上的重要概念原型又是怎么回事?弄清这些问题,我们就会发现这三者是有机地结合在一起的,而这种结合方式完全与开普勒的“三位一体”的神学概念同构。这种可称之为“三位一体”的个性化的研究方法是促成开普勒重大发现的关键。这种个性化的科学发现方法,既不是简单的混合,也不能简单地被认为在开普勒的研究过程中当一种因素失灵时,他就用另一种因素挽救。开普勒在论证一种假设或猜想时,几乎总是按照原型论证来说明物理机制的终极因,然后进行物理猜想和类比来说明这种机制的有效性和统一性,最后用数学的和谐来完成本质的揭示。从静态上看,这三种因素是平行的地位;从动态上看,这三种因素在各自的等级秩序中发挥着各自的作用,却又完美地统一在一起。开普勒“三位一体”的个性化的逻辑发现模式是导致开普勒三定律发现的直接原因。开普勒要求行星在轨道上的运动必须物理上可行,数学上可靠,原型上可信,并统一在和谐之中。

开普勒的“三位一体”的上帝概念与通常的理解并不一样。法国著名学者波塔利(Eugene Portalie)曾对上帝的“三位一体”作过精彩的解读,可以简单地概括为:“与圣父对应的跟‘是’(esse, to be, 存在)相关,跟万物的起源有关,这与圣父作为创世主是离不开的,主‘是’;与圣子对应的一般跟‘知识’、‘理解’、‘逻各斯’

^① Job Kozhamthadam S. J. The Discovery of Kepler's Laws. London: University of Notre Dame Press, 1994.