

吴以义 著

从哥白尼到牛顿：日心学说的确立

上海人民出版社





作者苦心孤诣，把我们送进至高无上的理性世界，这真是莫大的功德。我们怎样才能长驻此理性世界呢？对《从哥白尼到牛顿》进行熟读深思是一个良好的开始。

——历史学家 余英时

吴以义教授是普林斯顿大学历史系科学史专业招收的第一位中国学生，师从众多名师。他数十年从容治学，厚积薄发，写出了这部言有物的作品。本书论述“日心说”从提出到证实的历程，既有深度，又能见其大，并写得生动有趣。康德曾说：在晴朗之夜，仰望星空，就会获得一种高尚的心灵愉悦。我读此书，便有此感。

——北京大学、四川大学教授 罗志田

我向来对科学史研究抱有敬意。有人说，科学究共相，历史穷殊相，然而科学史研究却是共相与殊相交汇的地方，不仅需要科学知识、文献基础和外文能力，而且需要对于历史的体验、想象和揣摩。吴以义教授这部有关“日心说”的科学史著作，涉及的是人类历史上那个最重要的科学发现，从哥白尼到牛顿，虽然说的是欧洲的事儿，但只要回想明末清初信奉“天圆地方”的中国面对“日心说”时那种天崩地裂的感觉，就知道这个来自西方的科学发现，不仅是科学史上的里程碑，而且也改变着整个人类的思想史。

——复旦大学教授 葛兆光

由于哥白尼“日心说”的“搅乱”，为人类带来了科学史上的盎然生机。在本书中，作者吴以义教授扮演了福尔摩斯的角色，他透过发掘诸多未曾被人注意的史料，重新描绘了从哥白尼到牛顿的以日心说为主轴的科学发展史。毫无疑问，这是科学思想史的一部力作。

——台湾“中央研究院”院士 王汎森

日心说在西方产生、发展乃至被广为接受的历史，是科学史上最令人关注的话题。对此进行研究，不仅要从天文学史、物理学史有深入的了解，对社会宗教诸方面也需有相当见地。吴以义教授广泛征引大量一手文献，博采众论，对哥白尼、第谷、开普勒、伽利略、牛顿等一流科学家及其论著、观点作了生动的描述和系统的研究。这部科学思想史的力作无疑会大大推动国内对科学革命史的研究，也将为研究明清之际西方科学在中国传播史的学者提供重要参考，在中国科学史界必将产生深远影响。

——中国科学院自然科学史研究所研究员 韩琦

上架建议：科学史

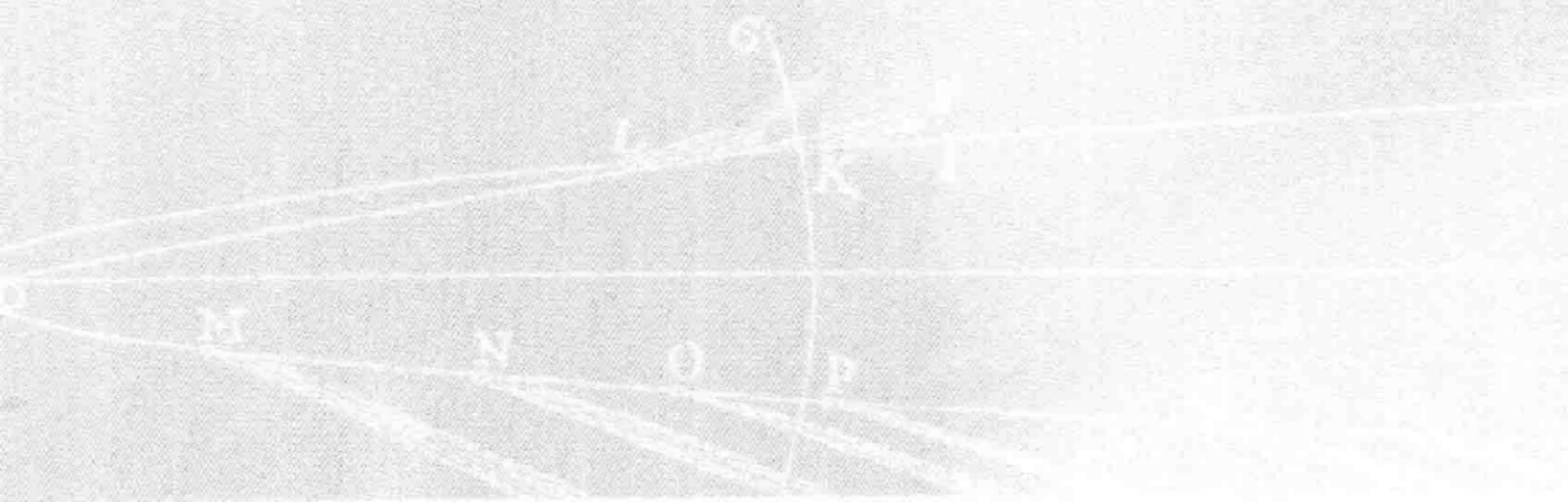
ISBN 978-7-208-11638-2



9 787208 116382 >

定价：68.00元

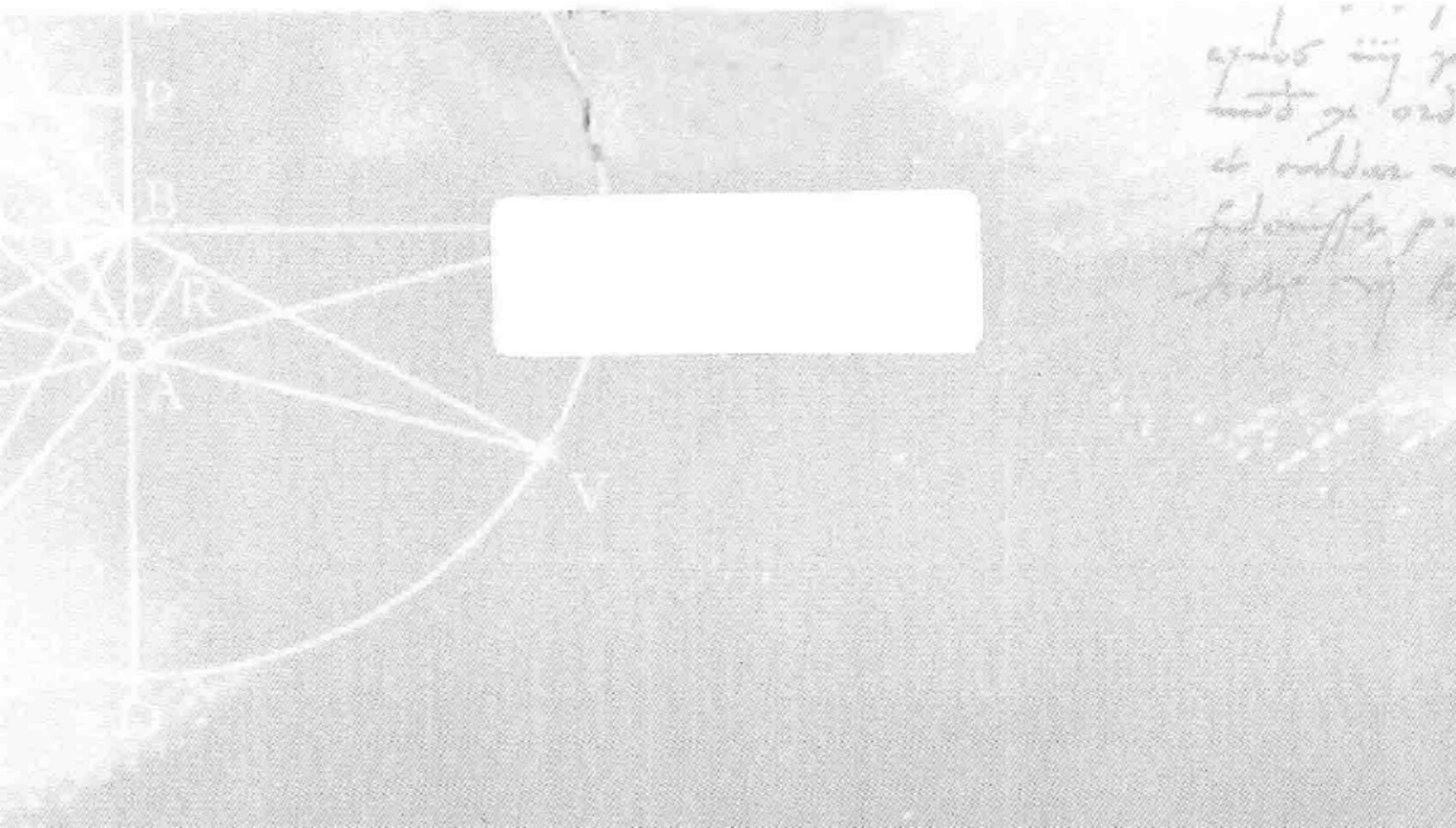
易文网：www.ewen.cc



吴以义 著

从哥白尼到牛顿：日心学说的确立

 上海人民出版社



图书在版编目 (C I P) 数据

从哥白尼到牛顿:日心学说的确立/吴以义著. —
上海:上海人民出版社,2013

ISBN 978 - 7 - 208 - 11638 - 2

I. ①从… II. ①吴… III. ①日心地动说—天文学史
IV. ①P134

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 216780 号

责任编辑 毛志辉 李 莹

从哥白尼到牛顿:日心学说的确立

吴以义 著

世纪出版集团

上海人民出版社出版

(200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.cc)

世纪出版集团发行中心发行

上海商务联西印刷有限公司印刷

开本 635 × 965 1/16 印张 31 插页 3 字数 425,000

2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 208 - 11638 - 2/K · 2009

定价 68.00 元

昊天孔昭

诗·大雅·荡之什·抑

读《从哥白尼到牛顿》

(代序)

读《从哥白尼到牛顿》
「太陽中心說」(或「日心說」)從提出、發展到
確立，是一場經歷了兩三百年的大運動；參
與其事的先後包括哥白尼、開普勒、伽利
略、牛頓這樣偉大的天才科學家。毫無
疑問，這是西方科學史和思想史上最
有光輝的一章。吳以義先生(以下稱「作者」)這
部新著將這一段無比重要而又十分複雜
的歷史重新建構了出來，這是令人欽佩
的。尤其值得欽佩的是：作者的历史建构
一方面根据他對於一切相關經典的直接鑽
研和深刻理解，另一方面則在融會貫通
之後將整個運動有條不紊地呈現了出來。

“太阳中心说”（或“日心说”）从提出、发展到确立，是一场经历了两三百年的大运动；参与其事的先后包括哥白尼、开普勒、伽利略、牛顿这样伟大的天才科学家。毫无疑问，这是西方科学史和思想史上最具有光辉的一章。吴以义先生（以下称“作者”）这部新著将这一段无比重要而又十分复杂的历史重新建构了出来，这是令人钦佩的。尤其值得钦佩的是：作者的历史建构一方面根据他对于一切相关经典的直接钻研和深刻理解，另一方面则在融会贯通之后将整个运动有条不紊地呈现了出来。我相信，本书“深入”的部分必将得到专家的欣赏和印证，

我相信，本書「深入」的部分必将得到专家的欣赏和印證，而其中「淺出」的傳達方式則更將激起一般科普讀者的熱烈響應。

本書特別強調理性對於科學的引導作用。這是一個具有深遠涵意的觀點。因此作者認為日心學說的整體演進歷程「彰顯了理性在人類認識世界中的地位」。他接着又十分肯定地說：「理性的至高無上的權威由是確立。從此以後，理性成了人類思維活動的唯一被認可的主導。」很明顯的，作者是在指點讀者：理性是科學的源頭活水。如果借用傳統的语言，我們也未嘗不可說：作者所要表達的是「理性為體，科

而其中“浅出”的传达方式则更将激起一般科普读者的热烈响应。

本书特别强调理性对于科学的引导作用。这是一个具有深远涵意的观点。因此作者认为日心学说的整体演进历程“彰显了理性在人类认识世界中的地位”。他接着又十分肯定地说：“理性的至高无上的权威由是确立。从此以后，理性成了人类思维活动的唯一被认可的主导。”很明显的，作者是在指点读者：理性是科学的源头活水。如果借用传统的语言，我们也未尝不可说：作者所要表达的是“理性为体，

學為用的意思。但理性之「體」為「用」無窮，科學不過是其中之一罷了。推拓作者之意，我想進一步指出：理性是和文明成正比的，理性之用愈廣，文明的程度也愈高。

作者苦心孤詣，把我們送進至高無上的理性世界，這真是莫大的功德。我們怎樣才能長駐此理性世界呢？對《從哥白尼到牛頓》進行熟讀深思是一個良好的開始。

余英時

二〇一三年九月二十五日於
普林斯頓

科学为用”的意思。但理性之“体”，为“用”无穷，科学不过是其中之一罢了。推拓作者之意，我想进一步指出：理性是和文明成正比的，理性之用愈广，文明的程度也愈高。

作者苦心孤诣，把我们送进至高无上的理性世界，这真是莫大的功德。我们怎样才能长驻此理性世界呢？对《从哥白尼到牛顿》进行熟读深思是一个良好的开始。

余英时

二〇一三年九月二十五日于普林斯頓

目录

读《从哥白尼到牛顿》 余英时 / 1

引 言 日心学说的建立没有带来物质上的利益但在思想史上
是划时代的 / 1

第一章 日心学说的前导因素 / 7

第一节 亚里士多德的原则是用理性整理现象 / 9

第二节 “读两本书”：基督教的教义断定研究天象既是
必要的又是可能的 / 23

第三节 机械钟的建造不知不觉地把模拟变成了模型 / 40

第四节 数学天文学为凑合现象而煞费苦心 / 48

第二章 哥白尼根据亚里士多德的原则否定了托勒密的
偏心匀速点概念和宇宙模型 / 62

第一节 1510：《提要》可能是关于日心学说的
第一份文件 / 66

第二节 日心思想的来源是一个正在研究的问题 / 79

第三节 1510—1540：从《提要》到《运行论》的撰写 / 93

第四节 1540—1543：《运行论》的撰写和出版 / 109

第五节 16世纪40年代：对《运行论》的最初反应 / 123

第六节 16世纪50—60年代：维腾堡解释 / 136

第三章 第谷以缜密的观测摧毁了永恒的恒星天和实体天球
两个概念 / 150

第一节 1572：超新星 / 152

第二节 第谷观象台使他的观测精度独步当代 / 164

从哥白尼到牛顿：日心学说的确立

第三节 1577：彗星带来了新的消息 / 176

第四章 开普勒在追寻行星运动的物理原因中发现了行星运动的规律 / 193

第一节 开普勒想要研究的不是现象，而是原因 / 195

第二节 1596：《宇宙的秘密》想要回答哥白尼为什么是对的 / 213

第三节 1600：开普勒终于见到了第谷 / 223

第四节 1609：《新天文学》：天体运动的物理原因支持日心学说 / 238

第五节 1609：《新天文学》：和天使的角力 / 252

第六节 新天文学：行星运动的规律 / 272

第五章 伽利略给出了支持日心学说的最直观的论据因此受到了最直接的打击 / 291

第一节 1610：《星际信使》送来了全新的消息 / 293

第二节 当一个旧的世界面对一个新的宇宙 / 307

第三节 1632：《关于两大世界体系的对话》有力地支持了地动说 / 323

第四节 1633：教廷判定太阳不按《圣经》教导的方式运动是不对的 / 340

第六章 英雄时代：笛卡尔、巴斯卡、惠更斯和胡克 / 355

第一节 1629：笛卡尔利用充满宇宙的介质构造了一种以机械运动为基础的宇宙图景 / 357

第二节 1648：巴斯卡并不研究行星的运动但为日心学说的确立提供了方法论基础 / 373

第三节 1659：惯性的概念和惠更斯的《论离心力》 / 387

第四节 1666—1683：胡克猜到了引力的两个基本特性

目录

但无法证明 / 399

第七章 牛顿革新了“力”的概念并以此为基础建立了日心

图景的运动机制 / 415

第一节 神秘的宇宙：力、引力、万有引力 / 419

第二节 1687：《原理》第三篇《论世界体系》 / 437

尾声 1758年哈雷彗星的回归最终确立了日心学说 / 454

对引用文献的附加说明 / 470

地名人名中译对照 / 477

引言

日心学说的建立没有带来物质上的利益但在思想史上是划时代的

福尔摩斯常发人所不能，身手矫健，洞察精微，每每让人吃惊。但是他第一次让他的合作者华生医生大吃一惊的，却既非身手也非头脑，而是对日心学说的一种漫不经心的无知。据华生报道，这是他们认识不久，决定合租一套公寓以后——

最使我惊讶的是：我无意中发现他[福尔摩斯]竟然对于哥白尼学说以及太阳系的构造也一无所知。当此十九世纪，一个有知识的人居然不知道地球绕着太阳运行，这件奇事简直令我难以理解。

他看到我吃惊的样子，微笑着说：“你似乎感到吃惊吧。即使我懂得这些，我也要尽力把它忘掉。”

“把它忘掉！”

他解释道：“你要知道，……最要紧的是，不要让一些无用的知识把有用的挤出去。”

我分辩说：“可是，那是太阳系的问题啊！”

他不耐烦地打断我的话说：“这与我又有什么相干？你说咱们是绕着太阳走的，可是，即使咱们绕着月亮走，这对于我或者对于我的

工作又有什么关系呢？”^①

平心而论，福尔摩斯有什么错呢？通常被大家满怀敬意地称为科学的最伟大的成果之一的日心说，对于我们，对于我们生活在地球上的人来说，又有什么关系呢？事实上，直到今日，直到日心说提出、确立并被广泛接受的四百年以后，我们，自诩为生活在科学时代的我们，还真说不出日心说到底给我们带来了什么实在的好处。

可是，日月星辰，赫然在天。亚里士多德想要解释天体的运动，——最明显的当然是其永恒，提出了“匀速圆周”的假定，也就是说天体都以恒定不变的速度沿正圆形的轨道运行，但不及将其解说数量化。托勒密辈把数学贯彻到亚氏学说之中，使之可以和观测资料相比对，结果发现符合程度不能尽如人意，于是引进了本轮-均轮模型、偏心圆和偏心匀速点，完成了对天象的可以预言可以验证的精确描述。阿拉伯人发现引进偏心匀速点这个几何点在本质上违背了亚氏原则，于是用更复杂的数学技巧，逐一说明行星的运动，建立真正意义上的“地心说”，让地球重新回到了宇宙的中心。哥白尼觉得这种“一个一个地说明”未臻完美，于是再创立统一的图景，称地球和诸行星围绕太阳运动，但“日心-地动”又为常识和权威所不容。第谷从他的观测资料出发，稍改哥氏的日心说，抛弃其“地动”部分，得“日心地不动”图景，感官常识始觉易于接受，但没有付诸数学讨论。开普勒利用第谷的观测资料对哥白尼图景再作精细的数学分析，企图为这一图景提供数学的或“形而上学的”依据。在这一过程中，他发现天体运行的轨道是椭圆并得出了轨道参数的公式，但他对运动的机理所作的猜测不为学术界所接受。伽利略利用望远镜直观地支持了哥白尼图景，用推理证明了地动说并非荒谬，但无法说明运动的原因。牛顿利用哥白尼的图景和开普勒的公式，构造严谨的数学原理，引进了颇为神秘的“万有引

^① 柯南道尔，《血字的研究》，译本、双语对照本繁多，势无一一对照比较之必要。

引言 日心学说的建立没有带来物质上的利益但在思想史上是划时代的

力”，对太阳系的图景和诸星的运动机制作了完整的描述。四十年后，布拉德雷由光行差得到了间接支持“地动”的证据，又三十年，哈雷根据牛顿的理论所作的关于彗星的预言被验证，日心学说由此完全确立。整个过程，耗费了几代人的心血，历时超过二百年，我们总算明白了是地球绕着太阳转。但是，这日心学说，不能吃，不能穿，不能延年祛病，也不能强国富民，怨不得福尔摩斯要问，“这对于我或者对于我的工作又有什么关系呢？”

的确，从上面的简述中，我们还真看不出日心学说的建立给了我们什么有用的东西。让我们暂时摆脱日常生活的纷扰，重新细致地考察一下这个问题。16世纪中叶日心学说所遭遇的最大困难是常识，这是千百年来千百万人所经验的、习以为常的、深信不疑的东西，是人人睁眼可见，伸手可及的东西。哥白尼要打破的正是这种观念；这种观念的转变在认识论上的革命意义，他的直接继承人伽利略的感受最为亲切，他说：

依照哥白尼的方法，一个人必须否定自己的感觉。^①

一语中的。下一步，既然感觉不足信，我们靠什么呢？日心学说确立的历史告诉我们，如果想要透过表象，深入自然的最精深微妙的核心，人的认识必须在理性的引导下前行。如果说伽利略可能只是直觉地感受到了这一点，在科学革命的哲学意义最终完整展现时，康德对这一方法作出了最清晰的表述：

当伽利略让他的球以他自己选定的重量向下滚过斜面时，当托里拆利让空气托住一个他事先设想与一个他已知的水柱的重量相等

^① 《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》，周熙良译，北京大学出版社2007年版，第177页。这话虽然出自反角辛普利邱之口，但他当时是转述别人的说法，并不是对伽利略的反驳。

的重量时，……在所有的自然研究者心中升起了一道光明。他们理解到，理性只洞察它自己根据自己的规划产生的东西，它必须以自己按照不变的规律进行判断的原则走在前面，强迫自然回答自己的问题，必须不让自己仿佛是被自然独自用襁带牵着走；因为若不然，偶然的、不按照任何事先制订的计划进行的观察就根本不在理性寻求和需要的一条必然规律中彼此关联。理性必须一手执其原则，另一手执它按照其原则设想出来的实验走向自然，虽然是为了受教于自然，但却不是以一个学生的身份让自己背诵老师希望的一切，而是以一个受任命的法官的身份迫使证人们回答自己向他们提出的问题。^①

亚里士多德把自然呈现在他面前的五光十色、徘徊陆离的现象照单全收，“由自然用绳子牵着”，殚精竭虑，用理性整理解释。从日心说提出到最终证实的两百年，科学所孜孜追求的，却是用理性归纳现象，或者说是建立理性引导之下的理解。思维方式的这一改变，以后的历史不断证明，是如此的深刻，哥白尼革命也当之无愧地成为了现代科学的起点——不仅因为它提出了正确的图景，更因为它确立了全新的方法和认识论。当观测者最终在理论所预言的方位上，在理论所预言的时刻，看见了理论所预言的彗星时，人类的理解力得到了最终的确认。在理性的引导之下，他们最终得到了日心学说；而日心学说的建立，正恰证明了人类理解力的巨大威力。与其说理性最终导出了日心学说，不如说日心学说最终彰显了理性在人类认识世界中的地位。理性的至高无上的权威由是确立。从此以后，理性成了人类思维活动的唯一被认可的主导。正是在这一意义上，日心学说的建立开辟了人类认识世界的一个新纪元。从此以后，任何思想，任何行为，都必须接受理性

^① 《纯粹理性批判》，Bxii—xiii，译文用李秋零译本，在《康德著作全集》，第3卷，中国人民大学出版社2005年版，第9页；另有蓝公武译本，商务印书馆1960年版，第10—11页；邓晓芒译本，人民出版社2004年版，第13页，译文稍异，但未及利用。

的批判，合则留，不合则去。是非曲直，正确谬误，都有赖于理性的判定。科学由此兴隆，成果斐然灿然。可以吃，可以穿，可以延年祛病，可以强国富民；以科学革命为先导的启蒙运动和产业革命，在前所未有的深度和广度上改变了人类的生活，人类的社会，以及人类自身。正是理性，帕斯卡在科学革命进入高潮时骄傲地宣称，^①“而不是我们所无法充填的空间和时间”，宣示了人类的全部尊严。

科学之于人类的福祉，既在成果，更在精神。事实上，在以一种漫不经心的态度谈论日心学说时，福尔摩斯不自觉地转换了语态：在说地球绕太阳转时他用的是陈述事实的现在语态，在说地球绕月亮转时他用的是假设的条件语态。^②科学的力量就这么大，即便是在调侃科学时，科学仍旧制约着这种调侃。福尔摩斯所用的，使他在常人看来神乎其神的，他自己不恰当地称作“演绎法”的方法，^③恰是科学所创立的；以至于整部福尔摩斯侦探集，每一个故事，每一段推理，读起来都像是科学方法论的教科书。柯南道尔所着意宣扬的，正是他那时风靡一时的、维多利亚时代得以辉煌的科学精神。当这种精神在一个文明中占据了主导的和主流的地位时，这一文明的观念现代化也就完成了。

这本小书想要讲述的，就是这一重大的历史事件。从本质上说，这是一篇读书笔记，所谓“出其所读以供人之读”，^④而作者的想法则表现在对材料的编排取舍之中，——间或也穿插一些感想评论，未必得当，聊博雅君子一笑云。

本书写成当然是老师们教导的结果。我始终没有达到他们手订的标准，但我仍惭愧地感谢他们：格力斯尼 Charles Gillispie 先生，余英

① 《思想录》，何兆武译，商务印书馆 1997 年版，六，第 347、157 页。

② 这一点在中译本中不容易表现出来，但可参见，例如，“A Study of Scarlet”，*The Complete Illustrated Novels of Sherlock Holmes*，Vancouver: Engage Books, 2012, p. 19.

③ 这一用法最初见于 1890 年的《四签名》。福氏所说的是分析观察资料进而得出结论的方法，即“推理”方法。小说中“演绎”一词可能是当时约定俗成的用法，而不是亚里士多德的和“归纳”相对称的术语，正如康德的“先验演绎”是他在自己的意义上使用这个词一样。读者当然不会对此作学究式的吹毛求疵。

④ 梁启超：《中国历史研究法》，华东师范大学出版社 1995 年版，第 1 页。

时先生，库恩 Thomas Kuhn 先生，席文 Nathan Sivin 先生，马豪尼 Michael Mahoney 先生，张瑞琨先生。本书写作中，还得到斯瓦德娄 Noel Swerdlow 先生、萨里巴 George Saliba 先生、肯尼迪 E. S. Kennedy 先生的帮助，谨此致谢。钱立卿先生通读了书稿，提出宝贵意见，谨此致谢。内子陈介芳帮助准备资料，谨此致谢。最近三年在复旦大学历史系开设的科学史课中的一大部分和本书内容相当，同学们的提问和课后的讨论对于写作也多有帮助，谨此致谢。本书写完，恰逢吾母九九初度，谨以为寿，并颂吾母更登期颐。

第一章

日心学说的先导因素

和任何一种学术思想一样，日心学说的产生发展和确立自有其深刻和独特的历史渊源。所谓渊源，是指那些先于此发生而又与之相关联的事。用这么拗口笨拙的说法来定义“渊源”，意在避免使用“原因”这样意义强烈的术语。“原因”当然是历史学家孜孜以求的、历史学研究的终极目标，但是，历史进程如此复杂，以至于要追求略同于物理学意义上的一因一果的联系，绝不可能。历史事件如同一个验方，要从汤药里辨出药方上是哪几味药，已是极不容易；至于能细数各味生药的功用，在验方中的君臣地位或相互作用，本末流源，当非常人所能。对于日心学说，探讨其发生的原因因为本书作者的学力所不逮，^①自不敢企及；于是乎退而求其次，钩稽史料，摭取“先于此发生而又与之相关联的事”，择其大者，得四端，胪列如下，而名之曰“先导因素”，以其确乎“前”而似乎“导”也。

希腊哲学的影响随处可见，亚里士多德尤其如此，^②细看哥白尼以及他同时代学者的文论，任何人都会同意此言不虚。亚氏关于天地的

^① 陈方正先生对于“现代科学为何出现在西方”有细致讨论，洋洋洒洒近三十页，见氏著《继承与叛逆》，生活·读书·新知三联书店2010年版，“导论”，足堪观摩。

^② 格兰特：《近代科学在中世纪的基础》，张卜天译，湖南科学技术出版社2010年版，讨论中世纪科学直至哥白尼时代，中译正文251页中有144页是专门讲亚里士多德的，作者声称，由此可以看到，“亚里士多德对中世纪科学和自然哲学的影响要比任何其他希腊-阿拉伯学者都更为深刻和广泛。”（第256页）

学说，几乎每一句都是错的，四元素说已属可笑，把宇宙分为月上月下更是 16 世纪末学者所要着力摧毁的目标。但是亚氏所提供的，不是结论和事实，而是方向和方法。亚氏认定，科学的起点是感觉，对象是承载感觉的物，目标是用理性消化规范感觉所提供的素材，所有这些，特别是理性的特殊地位，或可称为亚氏为关于自然研究的精髓。研究的结果不断地被取代，理论的解释不断地被更新，但是亚氏所确立的做法和目标始终如一。亚氏留给后人的，不是成果，而是做法；不是“什么”，而是“怎么”。

接下来的问题是为什么要研究天象呢？一个明显和常见的答案是制定历法。这显然仅仅回答了问题的一部分，因为另一个同样明显的问题随之而来：历法的研究存在于所有已知的文明中，但并没有必然地导致关于宇宙结构的讨论。这是一个事实。对人类的一种社会活动，必须要有一种可以为社会理解的意义才能持续。基督教信仰中关于“两本书”的教义为作为历史事件的天象研究提供了一种可能的解释。基督教的创世说认定，上帝以其大智大能创造了宇宙万物，当然，也包括了最后造出的人。上帝手创的苍穹是一本书，the book of work，上帝的智慧深藏其中，与圣经，the book of word，两者相辅相成，相得益彰，为人提供了走向上帝、皈依上帝的路。这就为人的这一种活动提供了一个可以理解的意义：研究日月星辰就是走向上帝；这还为研究者提供了一种前提和必要的保证：日月星辰的运动是有规律的，而这种规律是可以被人认识，因而这种研究不会是徒劳无功的：^①

上帝当然是可理解的，各科学问的那些基本原理同样也是可理解的，但是它们之间存在着很大的差别。……至于那些各门学问所教授的，如果不吹毛求疵，每个人都理解且承认最真实的东西也是这

^① 奥古斯丁：“独语录”，8，15，成官泯译，见《论自由意志》，上海人民出版社 2010 年版，第 16—17 页。

样,……对你想知道的最隐秘的上帝,也有三件事,即他存在,他被知,并且他使其他事物被知。

因此这种对其他事物的知晓绝不是神秘的,对星辰的运动和时间的流逝亦复如是:既然日月星辰标志了时间,那么时间的标识就应该反映日月星辰的运动。既然时钟如此惟妙惟肖地标示了星辰的运动,那么可以想象星辰的运动就像时钟的运动一样。对星辰运动的模拟竟成了星辰运动的模型,——从来没有人想要证明这种诠释,因为它是如此不言而喻,以至于任何解释都是多余的了。

亚里士多德以下,整个中世纪,在这样的气氛之中,对天象的研究获得了长足的进步。一支是当时被认为高深的方向,研究星象和人体医学以及灾祥瑞异的关系;一支则比较朴实,企图依赖数学和经验,理解星辰的盈缩迟疾,进而体验上帝的大智大能。论者以为,前者和后来我们称为天文学的知识体系关系不大,而以托勒密为代表的后者则渐渐成为这门学问的正宗。^①他们所构造的极其复杂的体系,糅合了亚氏的原则和当时的观测资料,成功地解释预言了天象,蔚然大观,成为本书讨论的起点。

第一节 亚里士多德的原则是用理性整理现象

当但丁在地狱第一层里看见亚里士多德的时候,他向他表示了适当的敬意。^②亚氏是当之无愧的。他的著作数以百计,——如果非要在严

^① Olaf Pedersen, "The Origins of the *Theorica planetarum*," *Journal for the History of Astronomy*, 7(1981) 113. 在西洋文字中,前者常为 astrology,即关于星象的知识,后者则常更朴实地叫做 astronomy,本来意义是星辰的命名。但在我们行将讨论的时代,星占已受到严重的质疑;莎士比亚《李尔王》中的 Edmund 就曾断然否认星象和人事的关系。

^② 但丁:《神曲·地狱篇》,第四章,亚里士多德被称为“智者们的大师”,田德望译,人民文学出版社1997年版,第24页。

格的科学意义上使用“著作等身”这个成语的话，亚氏恐怕是学术史上少数几个当得起这一殊荣的人了。有人说他写了四百卷，有人说一千卷。从内容上说，他的著作囊括了当时所有的知识领域，承继了希腊学术所有的成果；从考察问题的角度来说，他开创了一个全新的世界。

亚里士多德不同于他同时代的其他哲学家，他是在医生的环境中长大的。他的父亲是亚历山大祖父的朋友和宫廷医师，他自己也颇受过医学的训练。和他以前的哲学家不同，他所看见的世界，正如他后来着力批判的，不是一个概念的世界，而是一个实实在在的经验的的世界。哲学应该从这里开始：^①

既然我们是在寻求感觉物体的本原，既然感觉是可触的意思，而可触又是感官触及的东西，那么很明显，并非一切对立都构成物体的形式和本原，只有和触觉相关的才如此；因为正是靠了对立，即触觉方面的对立，事物才区分开。^②所以，白与黑，甜与苦，以及其他任何类似的感觉对立性质都不构成元素。

由此可知，他所谓的“触觉”是明白定义的、有别于“感觉”的东西。这就使得他能在五色乱人耳目的世界中从种种感觉里分离出最根本的东西，即冷、热、干、湿，这是常识所能理解的：^③

因此显然，所有的其他差异都可以归结为最初的四种差异。但这四种不能归结为更少的了；因为热本质上不是湿和干，湿本质上不

^① 《论生成和消灭》，329b7—8，徐开来译，苗力田主编：《亚里士多德全集》，中国人民大学出版社1991年版，第1卷，第441页。

^② 亚氏把“对立”更细致地分为四类，见11b16，这儿的对立好像属于他所谓的“作为相反者的各对对立者”，“即它们自然地存在于其中的主体或它们可被用来述说的主体必然包括此相反者之一方或他方，那么它们之间就没有居间的东西；……”见12a3—4，《范畴篇》，方书春译，商务印书馆2009年版，第41—42页。这可能有助于对下面一段“不可能既热又冷……”的理解。

^③ 330a25—30，同上徐开来译本，第443页。

是热与冷，冷与干亦既不能彼此推出，也不能从热与湿中推出。所以，它们必然是四种。^①

从常识出发，亚里士多德运用推理继续构造他的世界体系。关键的一步是把考察的对象从他讨论的“性质”移到了“物体”。亚氏并未觉得这还需要作进一步的讨论，因为他觉得这样做的合理性是显而易见的：^②

既然元素是四种性质，这四种可以构成六对，但对立面自然地不能结合成对，因为同一事物不可能既热又冷，或既干又湿，那么很清楚，元素性质的结合只是四对，即热与干，热与湿，冷与湿，冷与干。按照理论，这四对要依附于显然的单纯物体，即火、气、水和土；因为火是热与干，气是热与湿，例如气是一种蒸汽，水是冷与湿，土是冷与干。所以，差异有理由被分派给这些第一物体，它们的数目是符合理性的。

这样，亚里士多德就有能力说出“物的本性”了：^③

正因为这样，所以有些人说存在物的自然或本性是火，有些说是土，有些说是气，有些说是水，有些主张是其中的几个，有些则认为是它们的全部。无论是把这其中的一个还是多个元素当作自然，他们都说这个或这些元素全都是实体，而其他的一切只是它们的属性、状况和次序。

现在就清楚了，什么是物体呢？物体就是性质的载体；它们不是

① 参见《四元素》，193a23—25。

② 330a30—330b10，中译本同上。

③ 193a22—26，徐开来译本，第32页。

抽象的东西，它们的行为就表现了它们之所以构成：①

由于单纯物体是四个，它们就分为两对，各自属于两个处所；因为火与气构成朝向边缘移动的物体，土和水则构成朝向中心移动的物体。

到目前为止的线索是：人靠“触觉”感受世界→这种“触觉”感受到“性质”→“性质”必然有个载体→这个载体即本源→本源的性质造成了它们各自的处所：火和气向上，水和土向下，这就是我们看见的世界。对于那些头脑还没有被哲学家的种种思辨搞糊涂的人来说，亚氏的说法颇是畅晓明白。可是在亚氏当时，仍旧颇有人不以为然：②

在这些哲学家以前及同时，素以数学领先的所谓毕达哥拉斯学派不但促进了数学研究，而且是沉浸在数学之中的，他们认为“数”乃万物之原。在自然诸原理中第一是“数”理，他们见到许多事物的生成和存在，与其归之于火，或土或水，毋宁归之于数。……万物都可以用数来说明。

他们开始说明事物之怎是而为之制订定义，但将问题处理得太简单了。他们所制定义既每嫌肤浅，在思想上也未免草率；他们意谓诠释事物的定义中，其第一项目就可以作为事物的本体，……

亚氏逐一分析了希腊先哲关于事物本原的学说以后，力排众议，得到了对于以后关于自然界的研究、再后关于科学研究的重要结论：③

① 330b31—34，同上，第445页。

② 985b23—31，《形而上学》，吴寿彭译，商务印书馆2009年版，第12页；下一段引文在987a18—21，第16页。“事物之怎是”稍嫌拗口，大意为“事物之所以为其自身”。

③ 983a25—26，吴寿彭译本，第6页；下一段引文在984a17，吴寿彭译本，第9页。

显然,我们应须求取原因的知识,因为我们只能在认明一事物的基本原因后才能说知道了这事物。原因则可分为四项而予以列举。……

从这些事实说来,人们将谓万物的唯一原因就只是物质,……

说实在的,关于事物的本原,亚氏并不是第一个谈论水土火气的哲学家,^①关于它们的性质,关于这些性质的载体,亚里士多德也一件都没有说对。但是,正是他首先告诉了我们,科学的目的是追寻事物的原因,而这个原因是物质的。正是在这个意义上,正是亚里士多德,为以后一直到今天科学的发展,确定了对象和方向。

亚里士多德接着利用他所提出的性质和元素观念构造了一幅和谐的世界图景,而其中的核心概念就是运动。任何睁开眼睛看世界的人都会注意到,世界处于一种无止息的运动状态之中。亚氏这儿所谓的运动,大抵相当于我们今天所说的“变化”,而不仅仅是所谓的机械运动。^②运动的原因是什么呢?我们所看见的,炊烟晨雾,袅袅上升,巨石陨星,轰然下坠,这是为什么呢?为了说明这一点,亚氏从物性中引出了“自然”的概念:^③

凡存在的事物有的是由于自然而存在,有的则是由于别的原因而存在。“由于自然”而存在的有动物及其各部分、植物,还有简单的物体,土、火、气、水,因为这些事物以及诸如此类的事物,我们说它们

^① 参见,例如,柏拉图《蒂迈欧篇》,31B—32D,谢文郁译,上海人民出版社2003年版。当然柏拉图也不是第一个提出这一点的人,但以本书的主题,我们自然无力深究。

^② 15a14 及以后,见《范畴篇》,方书春译,商务印书馆2009年版,第51页。亚氏列举了“产生、消灭,增加、减少,改变和位移”六种运动,下文讨论的更多地涉及“改变和位移”意义上的运动。

^③ 192b8—16,《物理学》,张竹明译,商务印书馆1997年版,第43页。“自然”一词来自拉丁 *natura*,意为“事情的进程”,这可能就是亚氏原意。案中文中“自然”连用,似在汉以后,魏王弼《老子注五章》,“天地任自然,无为无造,万物自相治理”,与亚氏说法相近,以此附会 *natura*,当是佳译。

的存在是由于自然的。……一切自然的事物都明显地和那些不是自然构成的事物有分别。一切自然的事物都明显地在自身内有一个运动和静止的根源。

他进一步用更清楚的语言说明他所说的“自然”是什么意思：^①

自然就是它们之中的运动本原。一切地点方面的、我们称之为移动的运动，都或者是直线的，或者是圆周的，或者是这二者的混合。……围绕着中心的是圆周运动，朝上的和向下的是直线运动。我所谓的朝上，指的是离开中心，向下则是指到达中心。所以，一切单纯的位移全都必然或者是离开中心，或者是到达中心，或者是围绕中心的运动。

当亚里士多德说“自然”的时候，他是说事物正在被一个内在的，自己是自己的原因的东西推动着，是所谓“自在自为”的东西。至于为什么是“自然的”，这不是一个问题：^②

要想证明自然这东西的存在是幼稚可笑的。因为明摆着有许多这类事物实际存在着，反而想用不明白的来证明已明白的，表明这种人不能辨别自明的东西和不自明的东西。

这样，亚里士多德再一次为我们拨正了应该注意的方向，那就是，运动是“怎么”实现的。这就让他走到了被后世浅薄小儿讥为荒谬的、对运动的出色分析：^③

^① 268b16—24，《论天》，徐开来译，同上《亚里士多德全集》本，第一卷，第267页。

^② 193a3—5，《物理学》，张竹明译本第44页。

^③ 215a25—215b2，中译同上，最后一段在216a17—21。

我们看到同一重量或者说同一物体,运动的快慢有两个原因:(1)运动所通过的介质不同,如通过水或土或空气,(2)运动物体自身轻或重的程度不同,如果运动的其他条件相同的话。

介质造成运动速度的差异是因为它对运动物体的妨碍作用,如果它作相反方向的运动,妨碍作用最大,静止时妨碍作用次之;另外,不易分开的介质,即比较致密的事物,阻碍作用也较大。

运动速度受到运动物体本身差异的影响。我们看到有较大的动势,——重的向下,轻的向上——的物体通过同一距离的速度也较大,并且速度的比等于这些物体量的比。……为什么一物体要比另一物体运动得快些呢?在实的空间里情况必然如此,因为物体破开介质前进的速度若非取决于形状,就是取决于自然运动物体或被抛扔物体所具的动势。

说得再清楚不过了:这不正是我们日常所看见的运动吗?一种向下的驱动力,我们现在叫做“引力”,亚氏叫它作“自然”,将要成为后来物理学家为之绞尽脑汁的题目。而它的本质,直到现在,将近二十五个世纪以后,仍然是个谜。至于“介质”,亚氏用来解释为什么运动有快有慢,为什么最后运动都会趋于静止,则和我们所理解的差不多。介质起了阻碍作用,所以所有的运动都不可能是无限的。这就是任何人睁开眼睛所看见的真实的世界。我们要记得,亚里士多德的世界是建立在人的经验所感受的真实之上的,没有人见过没有介质的世界,因此这种世界也非亚氏所要讨论的对象;从经验出发,亚氏要讨论的,不是无介质的空间能不能造成的无限的运动,而是由没有无限运动这一基本事实来证明无介质的空间,或曰真空,是如何不可能。^①

总的说来,运动对运动都有比例,因为运动都占有时间,而时间

^① 216a9—11, 中译本第115页。

对时间有比例，两者都是可以确定的。但是空对实是没有比例的。这个结论的根据是显而易见的。

没有介质，事物就不会停下来，它因此会无限地运动下去，在亚里士多德看来，这是荒谬的：^①

[在虚空中]没有人能说出为什么原来在运动着的事物会在“某一地方”停下来，因为，为什么停留在这个地方而不是在别的地方呢？因此事物或静止不动，或，如果没有某一更有力的事物妨碍的话，它必然无限地运动下去。

值得特别注意的是，如果不诉诸介质，我们就必须回答，“为什么停留在这个地方而不是在别的地方呢？”亚氏所要求的，正是一种因果解释。我们行将看到，两千年后，这个问题会以一种略微不同的方式重新提出，从笛卡尔到牛顿，表现为一种对原因、对可以表述可以理解的原因的诉求。当然，这是后话。在现在，亚氏所强调的是，没有原因的运动是不可想象的，因为世界如果能够接受没有原因的变化，那么，面对光怪陆离倏忽隐现的现象，将无科学可言。到此为止的思路是：因为一种自在自为的原因，亚氏称之为“自然”的原因，事物要向它们的自然位置移动。但在我们厕身其间的世界里，因为介质的存在，这种自然运动都是有限的。这是经验提供的基本事实。从这个事实出发，我们可以断定没有介质的虚空是不存在的。

似乎有些佶屈聱牙。但是如果我们抛开哲学家的梦呓，睁开眼睛看看我们自己厕身其间的世界，我们会很容易同意，在我们的经验世界中，确乎没有无止境的运动；而要说明使物事之所以停下来，我们除了诉诸介质之外，很难想象别的了。亚里士多德的伟大之处在于，他把

^① 215a20—23，中译本第114页。

我们关于自然的研究牢牢地安置于经验之上；他把研究自然的目的清晰地定义为寻找存在于自然之中的、物质自身的原因。哲学家的玄想，不为经验所提示的，不被经验所肯定的，一概不在议中。

到此为止，我们所说的是我们厕身其间的世界。当我们抬头仰望苍穹时，我们又面对另外一个很不相同的世界。说那个世界是“很不同的”，就在于在那儿，运动是永恒的。这是另一个世界，用亚里士多德的话来说，是“月上界”。^①

宇宙是由天宇和地球以及充塞其间的自然诸物体的一个合成体系。……这宇宙的不做任何运动而固定的中心位置由地球占住在那里，……宇宙的上部各方面都有界限，最高部分称为天宇，这是群神的住处。天宇上尽多神物，通常，我们称这些神物为星辰，星辰们万古相续地在一个轨道上运行，和所有诸天相共，庄严地作永恒不息的旋转。……构制天宇与群星的本质，我们称之为以太。^②……以太异于其他四元素，是神圣而不可毁灭的，……

这就是亚里士多德的“天”，或者叫做“月上”。那儿没有生老病死，没有土崩瓦解，太阳、月亮和星辰庄严地年复一年地重复着永恒的运动，这是可能的：^③

现在我们来论证，某种无限的，单一的和连续的运动存在是可能的，这个运动就是圆周旋转。作位置移动的事物其运动轨迹不外是圆周形、直线形或这两者的混合。……作直线而有限位移的事物不能连续地位移是显而易见的。因为直线形运动到达终点必须折回；

^① 391b9—392a9，《宇宙论》，吴寿彭译，商务印书馆2007年版，第275—277页。

^② 339a12，亚氏又称“在上穹圆轨道上运行的自然物体是由一个[超四]元素形成的，”见《天象论》，吴寿彭译，商务印书馆2007年版，第30—31页。

^③ 261b26—262a4，前引张竹明译《物理学》，第251—252页。

在直线上有折回的运动是对立的两个运动：在空间方面向上的运动对立于向下的运动，向前的运动对立于向后的运动，……单一的和连续的运动乃是一个单一的事物在不间断的时间内所作的没有种上差异的运动，……而对立者是有种的差异的。

只有圆周上的运动可以永远向前，——或者向后，或者无所谓向前向后，因为在圆周上无所谓前后，向前就是向后。这就是说，对于圆周运动来说，不存在“折回”的问题，而这正是直线运动所无法回避的困难。^①

但是，最能说明直线运动不能连续的原因是，折回必然发生停留。不仅直线如此，圆周往返运动也如此，……

对圆周运动的进一步考察，使得亚氏坚信，这是唯一可以无限延续下去的运动：^②

循着圆周线的运动是单一的连续的运动。这里找不到任何说不通的地方。因为事物在作从 A 出发的运动，由于方向相同同时也就是在作趋向 A 的运动——因为这里从 A 出发的运动事物的方向和它的目的同样是 A，——而不会是在同时作两个互相对立的或者互相反对的运动。因为并不是所有趋向这个点的运动都是和从这个点出发发源地互相对立或互相反对的。如果这两个运动在同一直线上，它们才是对立的；如果两个运动只是走过同一长度的线，它们是相互反对的。因此没有什么妨碍圆周线上的运动连续，运动完全可以没有中断，因为沿着圆周线上的运动从某处出发还回到某处，而直线上的运动则从一处出发趋向另一处。并且，直线上的运动是在运

① 262a14—16，前引张竹明译《物理学》，第 252 页。

② 264b9—24，同上，第 259 页。

动的两限点之间一再往返地进行，而圆周上的运动则用无限点；不断前进永无返回的运动是能连续的，一再返回的运动是不能连续的，因为否则必然有互相反对的两运动同时发生了。

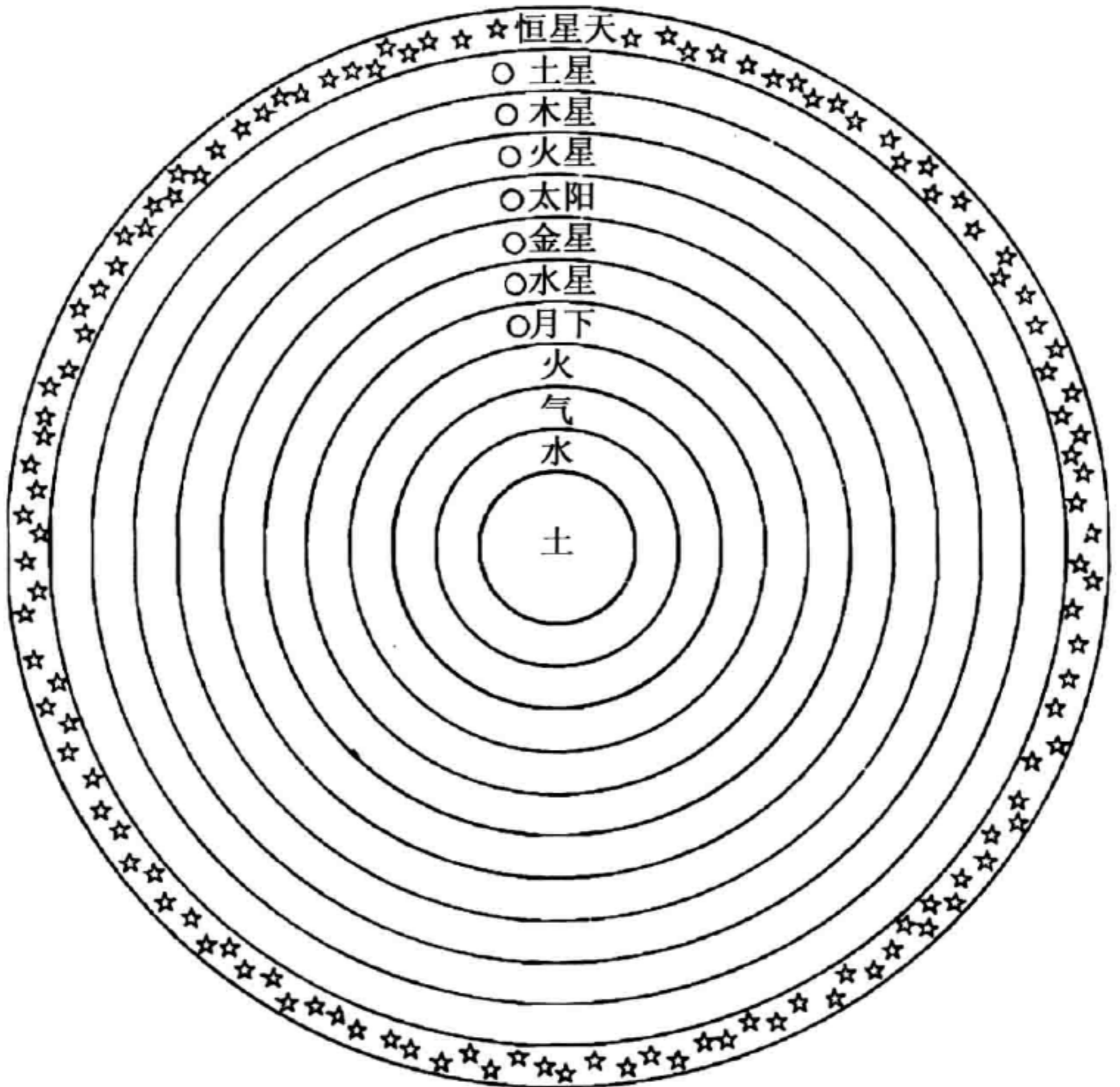
更加具体地说，圆周运动的奇妙之处在于，在运动的过程中，每一点都是相同的，^①

接下来我们要讨论的是：天体的运动是均衡的还是不均衡的。如果它的运动不均衡，显然在移动中就有加速、顶点和减速，因为一切不均衡的移动都有减速、加速和顶点。……但是圆周运动既无起点，也无终点和中点，它没有开端、限界和中点。因为在时间上，它是永恒的，在长度上，它是连续的，没有中断。既然它的运动没有顶点，也就不应该是不均衡的，因为不均衡性正是由于减速和加速造成的。其次，……如果被运动物发生了质变但没保持同一，……那么，被运动物就难保不作不均衡的运动。但是这些情形没有一种能发生在天之上。……再次，如果产生了不均衡的运动，那就或者是整个地发生了变化，即一时较快一时较慢，或者是它的各部分发生了变化。但是，它的各部分显然不会有不均衡的运动；因为如果被运动的东西有的快些，有的慢些，那些恒星在无限的时间中就已经分散了。然而，看不出它们的距离有任何变更。

圆周运动是单一的、连续的、均衡的运动，因此，就不需要给出从一点到另一点的位移原因；这儿的核心理念是关于原因和结果的说明：对于圆周运动来说，既然不存在作为结果的变化，那么也无需费劲去追寻那个不存在的原因。因为同样的道理，这种运动，而且只有这种运动，才可能是永恒的。^②

① 288a13—288b12，《论天》，徐开来译，上引苗力田本，第324页。

② 265a11，《物理学》，张竹明译，商务印书馆1997年版，第261页。



亚里士多德的宇宙：当中是“土”元素构成的地球，其上是“水”，再往外围是“气”和“火”。“火”之上是月亮的天球。至此，亚氏称为“月下”。从月亮的天球再向外，依次排列水星，金星，然后是太阳。这样排列同样能说明内行星的大距。太阳再上，依次为火星，木星和土星。土星的外围是恒星天，包裹整个宇宙。取自托勒密《至大论》，Toomer 译本导言。

因此,除了圆周旋转而外没有任何别的变化是无限的或连续的,关于这个问题我们就说到这儿为止吧。

到此为止,亚氏建立了两个世界,用他的话说,一个是“月上”,一个是“月下”,两者迥然不同:前者永恒,后者充满了变化。从他的命名来看,这是以实体为对象的划分,而月亮是两者的分界。至于“以月亮为界”是说以到月亮的距离来划分,还是以月亮的天球为界,还是以月亮轨道作基准,则仍是晦晦不明;不过当亚氏之时,似乎也没有十分咬文嚼字的人一定要他说清楚“为界”是什么意思。

从人人可见的天象出发,亚氏进一步论个别的天体。他首先肯定天体是球形的:①

天体的形状必定是球形。因为这最适合它们的本质,而且本性上也是最初的。……球体也同样先于其他立体;因为它只是由一个面围绕而成,而那些直线形的立体要由多个面构成。

不同于柏拉图和别的很多同时代的学者,亚氏接着从当时流行的,也是他自己精心重新构造的四元素宇宙论,对天体作了一种物理学上的考察:②

也可以从考察位于中心周围的物体来把握这一观念。因为如果水环绕着土,气环绕着水,火又环绕着气,那么,在上面的其他物体也会按照这相同的道理安排;因为它们虽然不连续,但却相接触。水的表面是球形的,所以,与球形连续或居于球形周围的物体也必然是具有相同的形状。由此清楚可见,天体是球形的。

① 286b9—23, 上引苗力田本,第320页。

② 287a32—287b4,《论天》,上引苗力田本,第322页。

对于水滴和天体形状的类比的基础是，天体和水滴都是“可以感知的”东西，都是经验的对象。亚氏的论述如此排斥玄想，如此彻底地建立在经验之上，真有些让人吃惊：^①

因此，剩下来要证明的就是：我们的这个天是由所有自然的可以感知的物体所构成。我们首先要解释我们所谓的“天”的含义是什么以及有多少含义，以便更清楚地理解我们的研究对象。在一种意义上，我们把整个宇宙最外围的实体称为天，或把整个宇宙最外围中的自然物体称为天，因为我们惯于用天这个词来称呼最外层和最高层的地方，我们相信，所有神圣的东西在那里也有其位置。在第二种意义上，我们把“天”一词用来指整个宇宙最外围连续的物体，它包括月亮、太阳和某些星体；因为我们把这些物体说成是“在天上。”此外还有一种意义，我们把“天”用于指被最外围包围着的一切物体；……

在这儿，“神圣的东西”还有一个位置，但是仅此而已。他们和“自然的、可以感知的”东西并列，并且似乎没有参加到亚氏所谓的“自然”的进程中去。亚里士多德坚决地把他的讨论限制在经验可以触及的范围内，这也使得他的讨论非常明智地成为了一种没有结果的讨论：^②

虽然我们离企图探求的对象有很大的距离，这个距离主要不是由地点的遥远造成的，而是因为天的属性很少为我们的感觉所感知，……

至此，亚里士多德完成了对世界的描述，井然有序：由我们感知的四种性质，得出我们可以感知的四种元素，是为水土火气。由四种元素的本性，得出它们的自然运动，水土向下，火气向上。这种运动是

① 278b9f.，《论天》，上引苗力田本，第295页。

② 286a4f，同上，第318页。

其本性使然，这就是“自然”，这就是我们所厕身其间的世界，其中的一切都在变化之中，没有永恒之说。远离我们，灿烂的日月星辰，浩瀚的苍穹，向我们的感官提供了另一种经验，其中最直接的就是令人凛凛然生敬畏之心的永恒。这就是另一个世界，如果我们要谈论神圣的东西，那么，永恒就是神圣。

从感觉出发，确立研究对象；进而依靠直观的经验，建立一种为常识所能理解的解释，一种因果的联系，这就是亚里士多德的做法。正是在这一点上，亚氏为日后称为科学的东西确立了一种典范。在这个意义上，亚里士多德宜乎作为一个起点。

亚里士多德没有讨论的，是这种因果联系是怎么来的：为什么我们可以认定宇宙万物是由一种理性的关系联结在一起的呢？为什么这种关系是我们的常识所能理解的呢？亚氏认为，这是“自然”之事，不必解释，要求证明人人能看见能感觉的东西是愚蠢的，就像要证明宇宙是永恒的，没有起点也没有终点一样愚蠢，而且也是无法做到的。

从后来的发展看，事情确实没有亚氏相信的那么简单。一方面，哲学家对于因果关系的存在性和可认识性反复诘难，另一方面，神学家又断然拒绝亚氏的自在自为无始无终的宇宙。然而当把这两个极端的困难放在一起考察的时候，中世纪的学者发现，他们可以一石二鸟，一举同时解决这两个困难，获得更加高妙更加完美的图景。

第二节 “读两本书”：基督教的教义断定 研究天象既是必要的又是可能的

柏拉图在《蒂迈欧篇》谈到如何“理解造物者”时写道：^①

^① 《蒂迈欧篇》，47A—C，谢文郁译，上海人民出版社2003年版。“游离”，B. Jowett英译作 *vagaries*，来自拉丁文 *vagari*；游荡，漫无目的的行为，在现代英语中作“无法把握的，不合常情的，游移不定的行为”。中文中似乎没有特别合适的单个词汇，谢译已是难能可贵。

我认为，视觉是给我们带来最大福气的通道。如果我们没有见过星星、太阳、天空，那么我们前面关于宇宙的说法一个字也说不出。但是，我们看见了昼夜、月份、年份，从而有了数和时间的概念，以及研究宇宙的能力。于是我们就开始有哲学。……造物者将视觉赋予我们，是要我们能够注视天上智慧的运行，并把它们应用于相类似的人类智慧的运行，包括正常的和不正常的。进而，我们通过学习而分享它们，然后通过模仿造物者的完善运行来调节我们的游离运动。

宇宙是神在展示自己，是神向人传达他的智慧；而人正是由此走向神的。柏拉图这样结束了他的讨论：^①

我们关于宇宙的谈话到这里就结束了。宇宙拥有各种生命体，可朽的和不朽的，因而它自己就成了一个可见的生命体，其中包含一切可见物和理智的形象。它是可见的神，在优越性和完美性上都是无可比拟的。

“可见的神”，这不是遥不可及的玄想。宇宙和神互为表里，气息相通，从西洋文化传承上看，由来久远，因此这道理也就变得几乎是自明的了。^②

公元56或57年，保罗坐在希腊哥林多城外的一间屋子里给罗马的基督徒写信。那时候他还不是圣，所以别人也并不把他的话当作神的言语，这只是一封信。当时的情形对保罗来说有些严峻：在安提阿，他力陈让外邦人入教的理由，可是并没有被广泛地采信。他于是转向“西方教会”，首当其冲的自然就是罗马教会。他并不认识罗马的信

^① 《蒂迈欧篇》，92C。

^② 又，反观中土文化，《易·乾》有“天行健，君子以自强不息”，《论语·阳货》有“天何言哉？四时行焉，百物生焉，天何言哉”，则其对于天象的考察基础和方式从一开始即迥异于西洋哲学。限于本文主题和作者学识，自然无力讨论这样的大题目，谨提示此一对比，以俟识者，或有助于对西洋观念的理解。

徒，但是他深信神的大能和耶稣的教导，他是亲身感受过神的力量和奇迹的。可是这时候，耶稣，那个生在伯利恒的木匠的儿子，已经被处死二十多年了，他的哪怕是最亲近的追随者也难以重现奇迹。那么，怎么让世人相信神呢？人看不见神，就不能相信神的大能，领悟这至真至美的道了吗？保罗在信的开头就直接面对这个问题。神要救一切相信的，因为神的义本于信而至于信。神的义是明明白白的：^①

神的事情人所能知道的，原显明在人心里。因为神已经给他们显明。自从造天地以来，神的永能和神性是明明可知的。虽是眼不能见，但藉着所造之物，就可以晓得。

在保罗的时代，要把神的义传播出去，除了口口相传的耶稣的教导之外，依保罗的看法，“藉着所造之物”，人人都应该能从中汲取神的智慧和力量，无可推诿。

保罗的话在犹太信仰中确实有其依据，犹太的颂歌或祈祷书的一个主题就是上帝的创造：^②

诸天述说神的荣耀，穹苍传扬他的手段；这日到那日发出言语，这夜到那夜传出知识。无言无语，也无声音可听，他的量带^③通遍天下，他的言语传到地极。神在其间为太阳安设帐幕。

但是值得注意的是，保罗的这封信是写给罗马基督徒的，他们有些是希腊化犹太人，更有很多人是在保罗所说的“希腊人”或者后来更通常地称为外邦人的非犹太人。犹太经典对于他们说来，并不具有那么至上的意义。在保罗的时代，新约圣经还没有形成，保罗怎么期望他的

① 《罗马书》，1:19—20，译文用合和本。

② 《诗篇》，19:1—4。

③ “量带”似不可解。案七十子本原文作 *measuring line*，这应当是从希伯来原文来的，而意义似也晦晦然。NIV本作“voice”，即“声音”，KJV本作“line”，NRSV作“voice”，Vulgate本和Wycliffe本均作“sound”，或对理解有些帮助，录此备考。又案NIV，KJV，NRSV和Wycliffe“他”均作“他们”，由是可知当指“诸天”而不是“神”，这一点对本文有特别的意义，读者其留意之。

听众能领悟神的大能和至美至善的道呢？他自然地转向“苍穹”，转向受造之物。日月星辰，雷电雨露，飞禽走兽，山川河流，在保罗看来，每一件都传达了上帝的智慧和全能。在他看来，这简直就是自明的。保罗要全面地阐述了基督教的基本教义，启示和救赎。基督教的核心是救赎，而怎么能得到救赎呢？途径是信，保罗说，因信得救。那信徒怎么就能信呢？由受造之物，就能看见接受上帝的启示。由此，在以后的十几个世纪里，为探求造物之神，人们探求神造之物。

保罗并没有长篇大论地强调这一点。的确，和“因信得救”的教义相比，上帝创造宇宙万物，而宇宙万物彰显上帝的智慧和全能应当是显而易见、无庸赘言的。当基督教继续向犹太传统外扩张时，它所遭遇的是希腊和波斯两大文化的影响和侵蚀。2世纪到3世纪时，诺斯替二元论^①首先造成了巨大的困惑。

问题的起源是耶稣。他到底是人呢还是神呢？一派认为他是神，是精神实体；一派认为他是人，是玛丽亚和约瑟夫的儿子，是具体的物质实在。诺斯替二元论由此上推到神学，认为有一个至上的上帝，是为至善，负责灵魂；另有一个关于物质的神，叫 Demiurge，是恶的来源，创造天地万物。这就直接挑战了犹太教直至基督教的最核心的一神论教义，这就逼迫教父们正面阐述上帝和宇宙的关系。

首先回答这一挑战的是爱任纽^②，当时他是高卢里昂城的主教。爱任纽生在这样一个时代，这时使徒都已离世，而基督教正以前所未有

^① G. Filoramo, *A History of Gnosticism*, trans. A. Alcock, Cambridge: Blackwell, 1990. 这是一个大题目，以本书的主题和本文作者的学力，自无法追寻。

^② Irenaeus, 130—202, 中译爱任纽从石敏敏译《创世六日》，生活·读书·新知三联书店2010年版。他的最无疑问的著作是 *Adversus Haereses*，常见的拉丁文原本是 *Tertulliani liber De praescriptione haereticorum, accedunt s. Irenaei Adversus haereses III, 3—4*, Bonn: Sumptibus Petri Hanstein, 1906, 这是一个节本；1952年的法译本 *Contre les hérésies*, Paris: Les Editions du Cerf; 1993年的德译本；1992年 Dominic J. Unger 和 John J. Dillon 的英译本，以及1977年 J. T. Nielsen 的英语选译本。最近的研究是 Denis Minns, *Irenaeus: An Introduction*, London and New York: T & T Clark, 2010, 该书附有文献表，著录所有主要的英语文献和近四十年的非英语文献，以及 Thomas Holsinger-Friesen, *Irenaeus and Genesis: a study of competition in early Christian Hermeneutics*, Winona Lake: Eisenbrauns, 2009。

的力量向外扩张；大量的不同于犹太传统的文化观念的入侵，既丰富了基督教的教义，又使得对耶稣基督的教导和上帝的道的解释日见纷繁。爱任纽尝业于波利卡普；而后者，据爱任纽说，曾追随圣徒约翰。如果他的说法属实，爱任纽自然最有责任对教义作纯正准确的解释了。他对于这种责任的回答是 *Adversus Haereses*，或者说是《驳斥异端》，煌煌五卷，大概在180年前后问世，常被称作最早的教父解经文字。

爱任纽认为，断然不同于诺斯替异端，物质不是恶，宇宙是上帝的造物，是上帝通过至善创造出来的。上帝创造的世界本身就是上帝存在和本性的强有力的证据。造物之所以能以这样一种方式存在，是因为上帝存在，事实上，上帝每时每刻都在维护着这个世界。正因为如此，理解这个世界是信徒走近上帝的一个途径：^①

上帝通过他的道和圣灵造成了世上所有的东西。虽然对我们现世的生命来说他是不可见的和不可理解的，但并非是不可知的；他的创造展示了他自己；他的大道表明，有很多不同的方式我们可以看见他、了解他。

“不可理解的，但并非是不可知的”，这有些玄。他接着说：

人应该可以看见上帝，上帝可以和尘世中的人沟通，能和他们对话，能利用他自己的创造来展现自己，使之长存，并使人能由此感觉到他。

那么怎么“使人能感觉到他”呢？爱任纽认为，“不是他的伟大，不是他的形体，”因为没有人能够理解他，没有人能够具体地感受他。上帝要告诉我们的，是——

^① Irenaeus, *Adversus Haereses*, 4.20. 下面一段在同一章。

那个创造并且使我们成形的，那个在我们身体里注入生命的，那个通过创造让我们生机勃勃的，那个通过他的道让万物茁壮生长的，那个以他的智慧把万物凝聚在一起的，是唯一的真神。^①

爱任纽反反复复不厌其详地强调，上帝是唯一的。但要把这件事说清楚，使人信服，在他那时候，并不容易。虽然在他看来，其实很清楚，这可以通过上帝的创造知道；但是要真正说服信众，并不容易。爱任纽当然不是孤军作战。和他约略同时而稍晚，有安提阿的牧首西奥弗勒斯者，再发挥此一论题。

活跃于约公元 180 年前后的西奥弗勒斯^②从小在希腊文化环境中长大，说希腊语，不甚喜爱学习，但通过阅读旧约成为基督徒。大约在 169 年任安提阿的主教。他心仪的圣哲大概是活跃在公元 100 年前后的伊格内修斯，^③据说是使徒约翰的学生，有几封信流传，是最先面对“基督-上帝”的关系的教父。西奥弗勒斯同样致力于神学的研究，尽管优西比乌说他“初等”^④，在安提阿当时的教友中当还颇有影响，比如他对圣经的词源学考察，发现“安息日”的“安息”，Sabbath，来自“七”，seven，而“诺亚”Noah 实际上是“休憩”的意思。他唯一为后人确定的著作是为一部叫做《申辩》的三卷大书，这在当时是颇为流行的文体。他为之辩护的这个人是个异教徒，但是品行端正，学识渊博。这和我们的论题没有多大关系。我们感兴趣的，是西奥弗勒斯在著作阐述的基督教的基本教义。和爱任纽一样，他认为天地万物本身就提示了上帝的存在，而且我们人可以由此知道上帝的存在进而走向他的大道。这篇洋洋洒洒的大文章第一卷的第六章，题目就叫“由上帝

① Irenaeus, *Adversus Haereses*, 3.24.

② Theophilus 的生平没有专门的史料记载。至于 180 年云云是因为他在著作第二篇第 24 章中提到了 Marcus Aurelius 去世，而此事发生在 180 年。这儿的简述主要是依据他自己的报道，见 *Ad Autolyicum*, London: the Clarendon, 1970, trans. Robert Grant, pp. ix—xxi.

③ 优西比乌，《教会史》，II, iii, 22。

④ 同上，iv, 24。

的创造了解上帝”，一千九百年后我们仍旧能清楚地看到，这一感受上帝的途径是自明的，并不需要论证：^①

想一想，啊！人们，上帝的工作——季节时序的次第更换，风的变化，星辰有条不紊的行进，年月日夜次序井然的交替，种子、植物和果类丰富多彩的美，飞禽走兽河海鱼虾繁多的种类，……再想一想喷涌的甘泉和日夜流淌的河流，适时的雨露；天体复杂的运动，晨星升起预告光明的到来，还有昴宿七星的结，参星的带，^②在苍穹绕行的星星的轨道，上帝无尽的智慧指派了所有这些。

在这里，自然界和上帝已是浑然一体，互为表里，不可稍作划分：

最强有力的是他的智慧。他以智慧立地，以聪明定天；以知识使深渊裂开，使天空滴下甘露。^③如果你能感受到这些事，啊，人啊，活在贞、圣、义之中，你能够看见上帝。

这就把尘世的美和天国的美融合一体，这就赋予尘世一种超越，感觉尘世，就是看见天堂。

本时期的另一位基督教理论家德尔图良^④，可能出生在北非迦太基，熟知罗马法，和所有的罗马政论家一样以雄辩著称。和西奥弗勒斯不同，他一定是通过了相当的过程，才皈依了基督教，所以认为基督教教义绝非生而知之的，绝非自明的。^⑤在他的时代，同异端的斗争和建立三位一体的基督教神学是神学家面对的紧密相连的两个大题目。

① Theophilus, *Apologia ad Autolyicum*, 1.6, 下一段在 1.7。

② 这两句出自《约伯记》38: 31, 译文采用了中文版的词句，“参星的带”是指猎户座猎人腰间的三颗小星，时人以图形想象，称之为猎人的腰带。

③ 这一句出自《箴言》，见 3: 19, 译文用中文版《圣经》译文。

④ Quintus Tertullian 的研究见，例如，T. D. Barnes, *Tertullian: A Historical and Literary Study*, Oxford: Clarendon, 1971。

⑤ 他著名的口号是：Christians are made not born.

他一生奋力著作，^①被冈察雷斯称作“基督教理论的奠基人，”^②*Adversus Marcionem* 是他最著名的作品之一，其中第二卷第三章，标题作^③“由他的工作而知的上帝，他的创造力所表现出来的善……”他接着解释道：^④

因此，在我们准备考察我们所知道的上帝时，问题来了：在什么情形之中，我们能了解他；我们必须从那些在[创造]人类之前的工作开始。这样我们就可以从他自身当即发现神的至善，并以此为一种引领的原则，得到一些感受，从而可以理解事物的次序是如何产生的。

这种从上帝的的工作接近上帝的看法，在那时候应当相当流行，特别是在《圣经》抄本对于大部分平信徒还是一个不可企求的奢望时，自然提示的秩序就成了亲炙上帝的一个几乎唯一可以想象的替代。

约翰克里索斯敦^⑤生在安提阿的一个希腊-叙利亚家庭，大概在二十岁的时候受洗成为基督徒，稍后实行苦修。长时间的站立，背诵《圣经》，一方面坚实了神学基础，一方面把他的健康，尤其是胃和肾破坏殆尽，使得他不得不回到常人的生活中去。他是著名的布道家，尤其善于通俗地向教友或教外人士解释基督教的教义。一旦开口，侃侃然，繁征博引，触类旁通，号称“金口”，到后来，想到哪儿讲到哪

① *The Ante-Nicene Fathers* 文集第三第四卷，洋洋洒洒共 24 部。

② Justo Gonzales, *The Story of Christianity*, Volume 1: The Early Church to the Dawn of the Reformation, New York: Harper Collins Publishers, 2010, pp.91—93.

③ *The Five Books of Quintus Sept. Flor. Tertullianus against Marcion*, trans. Peter Holmes, Edinburgh: T. & T. Clark, 1868, p.64. 但是 Ernest Evans 的译本没有这一标题。

④ *Adversus Marcionem*, 2.3, trans. Ernest Evans, London: Oxford University Press, 1972, p.91.

⑤ John Chrysostom 的研究见 William R. W. Stephens, *Saint Chrysostom, his life and times: A sketch of the church and the empire in the fourth century*, London: J. Murray, 1872, 洋洋 475 页，是英语世界少数几部关于 Chrysostom 生平的研究。作者本身是教士，从英国国教的角度阐述了 Chrysostom 的神学理论，内容稍嫌陈旧，但似乎还没有更新的学术研究取代它。

儿，如悬河倾泻，而听众往往神往：^①

上帝通过书本，通过字句，发出他的指示；但是那些不识字的人，如果没有人帮助他们的话，就可能迷失，得不到这厢的好处。有钱人可以买一本圣经，而穷人就买不起。再者，那些懂得这些语言的人可能了解到这里头说些什么，但是那些生活在内陆的，^②那些蛮族，印度人，还有埃及人，他们不通圣经用的语言，就得不到神的指示。但是这不能怪上天，生活在内陆的人，蛮族，印度人，埃及人，天下的每一个人应该听见这声音，不是靠耳朵，而是由眼睛看，从而达到理解。对于所有可见之物，只有一种感受，这种情形不会因为语言而有差异。在这一点上，无知的人和聪明人一样能看见，穷人富人一样能看见，不论在什么地方，只要仰头面向苍穹，人就能由他所见得到充足的教诲。这正是先知者有意安排的，使得这些教诲明白易晓。

他的这段话很有意思；他是说当基督教迅速传播时，教义如何深入到信徒中去呢？不识字的人怎么办，买不起《圣经》的穷人怎么办？在教父时期，基督教同时面临着机遇和挑战。教会的影响迅速扩大，大批外邦人涌入；信徒们热烈地欢迎那些新受洗的兄弟姐妹，同时又肩负着向他们解释教义，帮助他们坚定信仰的重任。上帝在哪里？我们怎么知道他的存在？我们如何能信服他的大能？是最常见的问题。爱任纽是高卢的主教，西奥弗勒斯是安提阿的牧首，而德尔图良在北非迦太基，约翰克里索斯敦在西亚君士坦丁堡侍奉上帝，他们不约而同地诉诸苍穹所展示的创造，诉诸上帝所行之事，这就使我们有理由假定，在2到3世纪，这是一种常见的做法。值得注意的是，在基督教理论草创的教父时代，这种上帝-宇宙-信徒的关系就在与不同的诠释和学说

^① *The Homilies of John Chrysostom on the statues or to the people of Antioch*, Homilies ix, 5, London: Oxford, 1842, pp.162—163.

^② 原文是 Scythian，指生活中当今欧洲东南部，亚洲西部的人。

的斗争中脱颖而出，成为基督教的正统。照他这么说，创造之书甚至更甚于《圣经》：要从圣经得到神，手头尚自要有一本书，要识字，要能正确地领会神的要义；而自然之书则是在我们每个人面前打开，人人可以看，人人可以领会。这一点在一千年后伽利略又着意发挥，成为他和教会争论的一个焦点。当然，这是后话。

381年康斯坦丁那普尔会议修订尼西亚信经，特地在第一行“我们信全能的上帝”之后，加上了“创造天地的主”这一句。^①从我们现在留心考察的问题来看，这实在是把我们上面所描述的关于上帝和宇宙万物的关系以经典的方式肯定下来，成为基督教基本教义的一部分了。

与这种类乎官方颁发的教义约略同时，巴西尔在《创世六日》里对此作了最清晰的说明。“起初上帝创造天地，”他说，“这一思想令我钦佩不已”——^②

……世界原来不是偶然地、毫无原因地构造出来的，而是由一个有益的目标，……因为它实际上就是理性灵魂自我训练的学校，是它们学习认识上帝的训练场；须知，心灵看见了可见的、可感知的事物之后，就被引领着，就如有一只手牵着它，沉思不可看见之事物。如使徒所说，自从造天地以来，上帝的不可见之事是明明可知的，……藉着所造之物，就可以晓得。

这是对保罗的诠释。稍后，奥古斯丁在布道中又一次号召信徒们好好读造物者的大书：^③

^① John Leith, ed., *Creeds of the Churches, A Reader in Christian Doctrine from the Bible to the Present*, Garden City: Doubleday, 1963, p.24, p.30.

^② 巴西尔：《创世六日》，石敏敏译，生活·读书·新知三联书店2010年版，第10页，前一句在第5页。文句和前引《罗马书》稍异，中译者注，“不可见之事”就是“永能和神性”。

^③ *Sermons*, trans. Edmund Hill, New York: New City Press, 1992, III/4, 126:3, p.271. 据注释者考证，这段布道大概在417年。

上帝把你们造成有理性的动物，他使你们比百兽更强势，他按照他自己的形象造了你们。你们难道还是要同一头牛一样用你们的眼睛，只看见那些你们能够嚼得动咽下肚的东西、而看不见智力的吗？建立起你们理性观察的能力，像一个“人”似的用你们的眼睛，看看天上和地上的东西，看看灿烂的天空，富饶的大地，鸟飞鱼跃，种子的勃勃生机，季节的次第更迭。看看这些现实的东西，这些受造之物，寻求它们背后的、使之所以成形的要素，那就是造物主。观察你所见，追寻你所不能见。依据你能够看见的，信仰你不能看见的。不要以为这仅仅是我的话，听听使徒关于这一点是怎么说的：^①自从造天地以来、神的永能和神性是明明可知的、虽是眼不能见、但借着所造之物、就可以晓得、叫人无可推诿。

这是对保罗的再一次的诠释。这一教义在宗教理论上根基牢固，从信众的认知上看也清晰明白，所以自从打败了诸如诺斯替之类的异端以后，就成了一种不言自明的真理，无须解释，无须强调。直到文艺复兴兴盛，欧人对教义的质疑和探讨的兴趣重新增长，才又引起了学者的注意。^②

时隔将近一千年，学者们当然不是简单地重复教父时代的论说。法国西铎修道院的修士阿兰，^③在当时就被认为是万能博士，是道行高深的人。他曾在巴黎研究和授课，1179年参加过拉特朗宫会议，写过诗，^④著作颇丰，而最重要的是他是公认的好教师，极富辩才，讲课讲道至于“使人泪下”^⑤。据说有学者在辩论中失利，竟怀疑他的对手

① 《罗马书》，1：20，译文依前采用合和本，因此与上一段引文稍异。

② 比如爱任纽，他的著作要等到1526年才为D. Erasmus介绍到欧洲学术界。

③ Allain，亦作Alan，生平资料甚是稀少，最近的研究见 Gillian R. Evans, *Alan of Lille: the frontiers of theology in the later twelfth century*, New York: Cambridge University Press, 1983, pp. 1—3。他所在的西铎修道院，*Abbaye de Cîteaux*，初创于1098年，在Allain时代正是如日中天，俨然欧陆基督教教义的中心。

④ 有两首收于 Thomas Wright ed., *The Anglo-Latin satirical poets and epigrammatists of the twelfth century*, London: Longman, 1872。

⑤ 前引 Evens 的书，p. 1。

“不是阿兰就是魔鬼，”可见其籍籍声名。他后来常住在里耶，在那儿写作。他当然认为宇宙万物是上帝传达他的道和大能的手段，而在他的眼中，这种传递中最精髓的东西，是理性：^①

……而理性活动，源于上天，穿越尘世下界，留意天界，返回苍穹。……而后者，人欲，把人心带进罪恶，走向毁灭；前者，理性，引领人性爬升，升到纯正精粹的美德境界。……理性用沉思的光芒照亮了人们头脑中的黑暗，人欲用奢望的黑夜扑灭火灵的光辉。……在其中，在自然的更大的赐予中，宇宙在人心中找到了它的真质。留心聆听，在这个宇宙中，就好像在伟大的城市中，一个永恒的统治者如何驻跸，他发号施令，事无巨细都被查看，并记录在他的律令之书里。

细看阿兰，^②文艺复兴的气息扑面而来。他是最早的“万能博士”，据说他懂得“所有可以弄懂的东西”，身处技术发展迅速的年代，仍能紧跟各种机械发明。更重要的是，他深受坦瑞和吉尔伯特的影响，^③对希腊文化，尤其是其中的理性主义，取明白的推崇态度。

坦瑞^④较阿兰早一代人，是一个影响很大，在学术圈里受到广泛尊重的人。他讲授的“语法、逻辑、修辞”即“三艺课”和后来的数学课特受好评。一般学者认为，阿拉伯数字“0”就是由他引入欧洲学界

^① Alain of Lille, *The Complaint of Nature*, trans. by Douglas M. Moffat, New York: Henry Holt and Co., 1908, pp.26—27.

^② Marie-Thérèse d'Alverny, *Alain de Lille: textes inédits. Avec une introduction sur sa vie et ses oeuvres*, Paris, Librairie philosophique J. Vrin, 1965.

^③ 前引 Evens, p. vii. Gilbert of Poitier, 有时用法语原文作 Gilbert de la Porrée, 1070—1154, 也在巴黎任教, 为 Boethius 的关于三位一体的著作作过注释, 是著名的亚里士多德学者, 一时声名竟和亚氏相当。

^④ A. Vernet, “Une epitaph ineditee de Thierry de Chartres,” in *Recueil de travaux offerts a M. Clovis Brunet*, 2(1955) 660—670. 学术背景见 E. Jeuneau, “Notes sur l'école de Chartres,” *Studi medievali*, 3rd ser., V, 2, (1964) 1—45.

的。由当时或稍后不少著作的献辞可知，他对于希腊学术有精深的了解，深受敬重。西尔凡斯特^①把他的《宇宙学》献给坦瑞时，就称之为“最著名的教师”。1144年在土伦出版的佚名拉丁文版托勒密的《星球学》称他为“柏拉图学者”，近代研究者则常把他定作是第一个注释亚里士多德的《前分析学》和精深的论述方式的拉丁学者，称之为“亚里士多德的当之无愧的继承人”。坦瑞从亚里士多德哲学角度，^②分析了宇宙的存在：上帝是动力因，上帝的智慧是形式因，上帝的善是目的因，而上帝创造的四元素则是“实物”。

从3到4世纪形成的清晰的“宇宙-上帝-人”的关系，到现在的“宇宙-上帝-理性-人”的关系，是一个长期的演变过程。逮至托马斯阿奎那，这一方向的发展走到了极致。在《神学大全》第一部第二题第二讲中，阿奎那讨论了证明上帝存在的认识论原则：^③

证明有两种，一种是根据原因，叫做原因证明，它完全利用先验的东西。另一种是根据效果，叫做效果证明，它是利用先于我们存在的东西。因为对我们来说，效果比其原因更明显，所以我们就通过效果去认识其原因。……我们越认识效果，就越能推论其原因，因为效果渊源于原因，有果必定先有因。由此可知，上帝的存在，从上帝本身我们是无法认识的，但是可以通过我们所认识的效果给予证明。

所谓的“效果”，从后文看，当是“自然之物”。托马斯接着给出了著名的五种证明，谈到运动，谈到事物的井井有序的等级，谈到事物的“治理”：

^① Bernard Silvestre, 意大利学者，这儿说的《宇宙论》*Cosmographia*，可能是指 *De Mundi Universitate*，但关于 Silvestre 的资料多为意大利文，以义限于学力，不克运用。

^② 例如，983a25—34。

^③ 译文用傅乐安：《托马斯·阿奎那传》，河北人民出版社1997年版，第122页。下面一段在同书125页。

我们看到有些东西如自然物体，并无知识却有目的的活动着，而且常常或者说往往按照同一种方式进行活动，以便达到最佳的效果。……无知的东西如果没有受到一个有意识的和有理智的指导，是不会追求什么目的的……

托马斯在这儿涉及自然物体，它们的运动，以及统辖这些运动的规律，而所有这些，按托马斯的推论，都指向同一个方向，即上帝的创造和智慧。我们知道，托马斯的论述几乎立即被学术界接受，并成为基督教正统教义的一个实质部分。

这种观念一直贯穿。逮至哥白尼时代，马丁路德的盟友，马兰克顿^①更是明白地把天体的运动看作是上帝的大智与大善的展示。——不是对事件简单地预示，而是展示神的高妙精深的意图。马兰克顿的说法有些费解，这种晦涩和他对占星术的态度有关，但是他的另一段话似乎有助于理解他的真意：^②

我喜欢这门学问[案指天文学]，不仅是因为它的实用性，更因为是我当我考察天上地下万物的非凡的一致性时，这种和谐和秩序本身就向我提示，这个世界的绝非产生于偶然，而是依据上帝的法则。

几年以后，他又更清楚地强调，“要把基于自然秩序的神性看作是一种神圣活动”：^③

从天体的运动和他的整个创造所显示的秩序来认识作为创世者

^① Philip Melancthon, 1497—1560, 详第二章第六节。

^② *Corpus reformatorum*, Carolus Gottlieb Bretschneider ed., Halle, 1844, v. 11, p. 263.

^③ *Ibid.*, v. 12, cols. 46—52. 英译见 William Hammer, “a translation of his *De Orione*, 1552, (Oration in Praise of Astronomy),” *Popular Astronomy* 51 (1951) 308—319, 引文在 p. 318.

的上帝,这才是真的和实用的神谕,这就是为什么上帝要我们[如同领悟圣经那样]同样领悟他的全部工作。让我们珍视这一题目的研究,正是这种研究表现了运动和年月的秩序;不要被有害的意见吓倒,因为总有那么一些人,不管对错,始终讨厌对知识的追寻。

所以上帝在天上展示的和他在教会里所展示的原来是完全相同的东西。他于是鼓励青年学子观察天象,并认为这是修行的一个自然的成分:①

为了给你们年轻人一些教益和提供一种引导,现在我要谈谈猎户座。首先你们可以观察这个星座和别的星座。要实心实意地经常地作这种观察,星星的特殊的美一定会吸引你们。进一步,看见了这些美丽的光芒,你们或者会领悟到上帝,万物的制作者,创造一年四季之不同的安排和理由。最后,这种沉思能让你们体会和赞美造物主上帝大智和大善,这种大智大善在他的无穷的祝福里熠熠生辉,这种祝福正表明了上帝对人类的大爱。

和马兰克顿约略同时而稍早,神学观念也不尽相同的加尔文的说法似乎为科学革命时代的天文学研究作了一个神学的总结。在注释《创世记》时,他写道:②

天文学家以极大的努力研究所有人的理智洞察所能发现的东西。这种研究当然不会被否定,科学也不受某些狂热分子粗暴的指控,这些狂热分子对于他们所不知道的事一概拒绝。天文学的研究

① *Corpus reformatorum*, Carolus Gottlieb Bretschneider ed., Halle, 1844, v.11, p.313.

② Calvin, "Comment on *Genesis* 1:18," in *Calvin: Commentaries*, Joseph Haroutunian and Louise Pettibne Smith ed., London: Library of Christian Classics, 23, 1958, p.356. 但 Olivier Thill, *The Life of Copernicus*, p.219, n.37, 说是约伯记。

不但使人身心愉悦,而且也极为有用。没有人能否认天文学令人赞叹地展示了上帝的大智。所以在这方面研究上花费劳累辛苦的人是值得赞美的,而那些有能力有空暇从事这种研究的人完全不应该轻视它。

稍后 1552 年在给拉哲蒙坦那的《星表》的序言里,马兰克顿这位当时新学问的领军人物以最明白的语言肯定了天文学研究的特殊意义:①

因此,对于探索上帝的在创造中大智,我们决不能置身局外;我们必须洞悉神圣的智慧之光,而这种智慧本来就深藏于我们的灵性之中。我们决不能忽视这一事实,科学是上帝赐予我们的礼物,他为了让我们认识他、让我们生活在明智的秩序中,把这一礼物赐给了我们。

在哥白尼的日心学说和托勒密的地心学说论争最激烈的年代,和伽利略《两大世界体系》出版约略同时,英国的大学问家托马斯·布朗,清晰地阐述了当时一般人对于“自然”的主流看法:②

所以说我是从两本书开始走向上帝的,——除了上帝写的书,另外一本是关于他的仆人即自然界的,巨细无遗而且在所有的人的眼前展开,无所隐匿;那些在一本书里没有见着他的人,在另一本书里发现了他:我是在说圣经和尚无信仰的人关于神的观念:太阳的自然运动使得他们对于神的赞美,较之超自然的影像之于犹太先民更有过之;对于他们,自然界平常的事物比神迹对于别人来说更加激发赞

① *Corpus Reformatorum, op. cit., v.7, p.951.*

② Thomas Browne, *Religiomedici*, 1643, I, 16, 但书稿在 1634 年就已经写成了。本书有电子版,颇利运用。

美；毋庸置疑，这些教外的人比我们基督徒更能领会这些神奇的字，因为我们常常粗心大意，看见这些常见的神秘符号，却忽略了由此从自然界的花朵中汲取神性。我在赞美自然的时候，并非忘却了神，并非限于学校教的运动和静止的原理，……上帝的智慧为他的不同的造物设定了恒常的行为。东升西落，日复一日，这是太阳之所以为太阳，因为这正是上帝为它所设置的一定之规，不可能有任何的改变，……

基督教关于“宇宙-上帝-人”的教义对本书主题有双重影响：作为上帝的造物，宇宙成了人认识上帝、走向上帝的一个途径，认识宇宙就是认识上帝，这就为研究宇宙提供了一种持久的坚实的支撑，肯定了研究宇宙是有意义的，换言之，是必要的；另一方面，上帝既然创造了宇宙，并由此向人类展示其智慧，这就先验地肯定了宇宙万物之中确实存在着规律，这就保证了对宇宙规律的追寻不会是徒劳，换言之，发现统辖万物的规律是可能的。案人的作为要成为一种持续的、有意义的社会活动，必须要有一种可以为人所能理解的动因。历史上个别人一时忽发奇想的事是有的，但既不能长久、也不会为社会所接受，由此也鲜有历史意义。在长达二十五个世纪的对于天象的、进而对于所有“造物”的研究中，百千研究者在同一个方向上作前后相袭的努力，没有一种可以理解的、可以接受的目的，则是不可想象的。

这一“双重影响”常为我们在中土文化环境中长成的研究者所忽略。对于科学革命已经完成、现代关于科学的观念完全建立起来以后受教育的人来说，科学的重要是不言而喻的。在今天的社会中，尽管大部分人并不理解科学的内容或做法，我们仍然很难找到认为研究科学是没有意义的人了；没有人会蠢到要问“为什么要研究科学？”这一态度的基础是对科学的崇拜，就好像五百年前对上帝的崇拜一样。这种崇拜是科学革命的产物，五百年来科学的成果无可辩驳地说明了科学的意义；但是我们必须牢记，在科学尚未成为科学的时代，这一意义远非

是自明的。^①

第三节 机械钟的建造不知不觉地 把模拟变成了模型

计时工具起源于很早的时代，具体的情形已是无法细致地追寻了。^②以人对于时间的感受，这种后来被称为“钟”的东西大略可以分成两类，一是计量时间的缓缓流逝，水钟沙漏之类是也；一类是记录自然界昏晨晓暮的变化，日晷鸡人之类是也。为了更好地完成计时，在这两类工具之上，又产生出了机械钟。虽然最初的发明者也不可不知，但通常认为很是高妙的玩意儿。但丁在《神曲》中，提到过在天堂里的灵魂，“正如时钟的装置结构中的齿轮都各以互不相同的速度转动，以致在观察者看来，第一个齿轮似乎静止不动，最后的一个像飞也似的旋转……”^③这就把所谓的“時計”和天堂里的活动联系在一起了。晚近的研究认为这一发明和伊斯兰星盘有直接的联系，为大部分学者所同意，而伊斯兰星盘所依据的，则是托勒密的宇宙学说。^④

在托勒密的时代，天象观察已经积累了相当数量的准确和系统的资

^① 细致的讨论参见本书作者，“天象异常诠释异同”，《大陆杂志》，第86卷，第6期，1993，唯注释误植殊甚；幸在稍后收入论文集《溪河溯源》，北京：新星，2004，时大部分错误都已改正；并见“真仁时期学者对天象异常的反应”，《学术月刊》，1994年第三期。作为一个比较，司马光的论述颇能说明除了我们现在对科学的当然的和自然的看法之外，还有对他当时说来更加当然和更加自然的看法。他说：“缘流星每夜有之，不可胜数，本不系国家休咎，虽令瞻望，亦不能尽记，虚费人工，别无所益”。见《会要》职官十八之八十三，台北世界书局影印，2795—2796页，这就明白地否定了这种活动的必要；他又说：“天道精微，非圣人莫能知，……夫天道窅冥恍惚，若有若亡，虽有端兆示人，而不可尽知也”。见《司马文忠公传家集》，卷67，台北商务印书馆1986年影印版，第838页，这就明白地否定了发现规律的可能。

^② H. Spencer Jones, “Foreword,” G. H. Baillie, *Clocks and Watches*, London: N. A. G. Press, 1951, p. vii.

^③ 但丁：《神曲》，“天堂”，24，田德望译，人民文学出版社2001年版，第167页。

^④ 参见 G. J. Toomer, *DSB*, v. 11, pp. 186—206, esp. pp. 189—196。

料，当非亚里士多德时可比。他所要做的事，是把这些观测资料和亚氏的理论连接成一个自洽的整体，即构造一种说法，根据亚氏的原理来解释天文现象。如果呆板地坚持亚氏的“匀速圆周运动”，结果则不能和实际观测到的现象相合。托勒密于是设想天体，即包括太阳月亮在内的七大“行星”确实是如亚氏所说的以匀速作圆周运动，只是这运动的中心并非地球，而是离地球若干距离的一个点。我们在地球上看见的行星运动，因此也并非其“真运动”，而是所谓的“视运动”，即地球人所感觉到的运动。尽管行星实际上所作的是匀速圆周运动，但我们并不处在圆心，所以看上去行星的运动会有时快些有时慢些。调整地球和这个中心之间的距离，即所谓的偏心率，可以使基于这一模型的计算值和实际观测值更好地符合。

托勒密的这一发明在本质上是数学的，或者说偏心率的大小在很大程度上可以任意选定，并没有其他的约束条件。这就使得天文学家可以在很大的范围里调节他们的模型，凑合出和观测一致结果。托勒密还注意到，如果假定行星是在一个圆上作匀速运动，而这个圆的中心又在另一个以地球为中心的圆上作匀速运动，这两种运动的叠加，其效果和用偏心圆图景所作的说明完全一样。后来那个以地球为中心的圆被叫做“均轮”，而中心在均轮上的那个圆就叫做“本轮”。本轮均轮的半径，运动的角速度也都是可以选择的，而且如果需要的话，在本轮上还可以再加本轮，这就给利用这一图景描写天体运动创造了一个巨大的空间，让星象观察者有足够大的余地去调节凑合观测结果。

既然能通过“轮子加轮子”的几何学方法来描绘星空，那么如能把这些轮子实际做出来，进而按适当的方式组合成起来，应当也能够把日月星辰的运动用机械的办法直观地表现出来，这种装置就是天文钟。后来的几个世纪中投身于此项研究、致力于改进其性能的努力，则常因为其构造精妙外观华丽而引起广泛的注意。

大部分学者认为，现在已知最早的天文钟大概出自沃林福特地方的

一个叫做理查德的工匠之手。^①理查德 1292 年前后生于英格兰的赫福特郡，幼年失怙，被当地修道院的主修牧师收养。在牛津大学学习了六年以后，正式进入圣阿尔班修道院，再三年，又由修道院的院长送去牛津，花了九年学习哲学和神学，1327 年成为该院的院长。据他的朋友说，理查德精通天文学和几何学，以及“某些其他的科学。”在他的诸多著作中，有一份特别记叙了他建造的一架叫做 Albion 的天文仪器，取 All-by-one 之意。^②据后来的描述，这架天文钟“显示太阳、月亮和星星的轨迹，潮汐的涨落，……”^③所以说“all-by-one”也不见得就是望文生义的牵强的解释。他曾想以此博取皇室的注意，但是据说当时的英王和他的兄弟都未对此表示很大的兴趣。

和理查德约略同时，意大利帕多瓦的雅高保德东蒂也致力于建造天文钟。帕多瓦是一个去威尼斯，米兰，和佛罗伦萨都不太远的小城。雅高保的父亲是个医生，他也就继承父业，在帕多瓦大学学习医学。1313 年起，受邻近的另一城邦之邀，当了驻城医师，一直到 1342 年荣归故里。在此期间，他发明了一种从阿巴诺湖水中提取精盐办法，并且得到了当地亲王的专卖特许。阿巴诺湖是一个离罗马不太远的火山湖，湖水的药用价值早在罗马时代就已被人注意，而且直到近代还是受人关注，^④想来是有些奇特的地方，而雅高保因此也得以衣食无忧，悉心研究建造大钟，并由此最终名垂后世。他所设计建造的诸多玩意儿中最著名的是他为当地的乌班提诺亲王设计建造的“星相仪”。1344 年，这架大钟建成。据报道，这架钟有一个指示 24 小时的面盘，能显示月相，黄道各宫，到正点时还会打出悠扬的钟声。^⑤这一架钟在当地

^① Richard of Wallingford 见于 J. North, *God's Clockmaker: Richard of Wallingford and the Invention of Time*, London; New York: Hambledon and London, 2005; 这是该作者的更全面的多卷本研究(1976, Oxford University Press)的缩写本。

^② Silvio A. Bedini and Francis R. Maddison, *Transactions of American Philosophical Society*, 56(1966) 6.

^③ Granville H. Baillie, *Clocks and watches: an historical bibliography*, London: N.A.G. Press, 1951, pp.30—31.

^④ Neil T.W. Ellwood, *J. Limnol.*, 68:2(2009) 288—303.

^⑤ Silvio A. Bedini and Francis R. Maddison, *op. cit.*, 17.

至少运行了三百年，因为后来一直到 1623 年还有在当地旅行的学者见到它并且为之震惊：^①

[在城楼上方]则是最匠心独具的大钟，不仅会按时敲钟报时，而且还指示日期，太阳行经黄道十二宫的途径，月相，……

雅高保的儿子叫乔瓦尼，1318 年生于他父亲行医之所，继承家传，也在帕多瓦大学学医。1350—1352 年在该校任教，至 1359 年已经成为兼领医学、星相学、哲学和逻辑学的教授，1368—1370 年间又在佛罗伦萨讲授医学。1371 年出任驻威尼斯大使。^②他是典型的文艺复兴时代的学者，“熟悉他那个时代的人类所有的知识”，但真正让他被后世历史学家一再提起的，一如乃父，却是他在 1348 年起建造、1368 年完工的大钟，或者更准确地说，是他对钟表技术的贡献。

这一架乔瓦尼自己通常称为“普通的钟”的庞然大物后来又被叫做“天文仪”或“行星仪”，^③很可能后两个名字更为确切。整个钟的机构安置在上下两层的框架中，而这个框架粗略地说就是一个有七个面的棱柱体。上层每一个面对应一个当时所知道的“行星”：金木水火土加上太阳和月亮；下层是一个显示 24 小时的钟面，指示教会所规定的用餐时间，帕多瓦当地的日出日落，当天的日期和月份，还有根据儒略历计算的夏至和冬至日。法王查理五世的顾问菲力普梅西埃到帕多瓦时见到了“大钟”，曾作如下描述：^④

^① Vincenzo Bellemo, *Jacopo e Geiovanni de Dondi dall'Orologio*, Chioggia, 1894, pp.197—201.

^② Vincenzo Bellemo, *op. cit.*, p.12. 下文主要据上引 G. H. Ballie 的文献汇编，威尼斯 Marciana Library 文献号 a440, I.278(L. VIII—XVII)。这是一份 85 页的文件，在 Eton College Bodleian 等处有抄件。

^③ Henry C. King, *Geared to the Stars*, Toronto: University of Toronto Press, 1978, 对 Giovanni 的钟有完整的描述并附有图片，pp.28—41。

^④ Philippe De Maisieres, “Songe du viel Pelerin,” Lebeuf, *Actes de l'Academie des Inscriptiões et Belles Lettres*, 16(1757) *op. cit.*, Silvio A. Bedini.

我们知道在意大利的帕多瓦城现在有一位在哲学、医学和天文学上学有专精，在这三门学问上声名遐迩的人。……他造了一架关于天体运动的仪器，有些人叫它作天球，或者叫它大钟，展示天象行星本轮均轮的运动。利用齿轮，转轮……分别展示天球上的各个行星。晚上则清楚地显示行星出现在哪个星座，几度几分，……这个天球制作得非常精妙，轮系由很多个轮子构成，——确实几个，则非要把整个机构拆开才能算清楚，——而轮系的运动又是由一个单一的重锤带动的，……

这一架大钟后来在 1381 年由江·伽莱阿佐安置在巴菲亚城堡的公爵图书馆楼上。这是一间著名的图书馆，后来佩特拉克和达·芬奇都曾在这儿的阅览室里读过书。1529 年或 1530 年间这架大钟为查理五世所得，^①但后来大概毁于战火，没能留到近代。

所幸的是，乔瓦尼除了亲手建造了这架大钟，还撰文细致地讨论了它的结构，制作，和他耗费十六年的心血完成这一大工程的初衷。他说他希望能通过这一工程，“唤起公众对于天文学的注意；由于占星术，很多人把先前关于行星运动的研究视为荒谬，这就使得这一高贵的研究因此而衰弱并且备受困扰”。^②他的两份手稿，^③一篇名叫 *Opus Planetarium*，另一篇则称作 *Tractatus Astrarium*，细致地记录了这一“大钟”的构造；记录和描述如此翔实，以至于上世纪中期美国的考古技术人员还能据此把它复制出来。这个通高四英尺四英寸的模型今藏华盛顿的技术历史博物馆，使我们多少能对这一六百多年前的技术奇迹有个直观的认识。

两代人在钟表技术上的成就使得这个家族姓氏上又加上了

① Francis Maddison, *DSB*, v.4, p.164.

② Bedini, *Op. cit.*, p.16.

③ “*Opus Planetarium*,” 前引威尼斯 Marciana Library 文献号 a440, I.278(L. VIII—XVII). “*Tractatus Astrarium*” 原件藏 Biblioteca Capitolare of Padua, 66 页，又有 15 世纪抄件，藏该城 Museo civico, 编号 CM631, 同被上引文献汇编收录。

“dall’Orologio”即“钟表”：从雅高保·德东蒂起，这个家族就被称为“钟表德东蒂”，一如我们中国传统中的“泥人张”和“样子雷”。但这并不是说建造天文钟是他们一家独占的产业，这一技艺在当时盖已成为一种时尚。查前面引述的两个资料汇编，知在哥白尼1543年《天体运行论》发表之前的五十年间，至少有十五本讨论机械天文钟的专著出现，^①包括达·芬奇的著名手稿和草图。从意大利文艺复兴学者波利兹亚诺^②1484年给他的朋友的一封信里知道，号称“文艺复兴的教父”的洛仑佐梅迪奇还曾要求佛尔帕伊亚^③为他造了一架叫“行星仪”的天文钟。1530年弗瑞西乌斯·吉玛的《天文学和宇宙论原理》在安特卫普出版，第一次提到天文钟和经度测量之间的关系，这就更加推进了关于机械钟的研究和建造。在发现新大陆后三四十年的航海狂热中，这一技术的重要性自然是不言而喻的。1543年再版，1582年法译本出版，为那些不谙拉丁文的航海冒险家和强盗提供了即时的帮助。值得注意的是，在这一历时两三个世纪的努力中，钟表的建造者常常同时是受过系统教育的、熟悉托勒密体系的学者，我们马上会看见，这一点在历史上有深远的影响。

从老德东蒂时代起^④，天文钟的建造渐渐进入高潮。1335年在米兰先后有两架大钟投入使用，一是泽兰蒂诺造的，为圣高塔多教堂所定制；另外一架则安置在维斯孔蒂的教堂里。案逮至十四世纪，维斯孔蒂家族在米兰已是喧赫百年，^⑤一任教皇，三世主政，这时权势正如日

① Bedini, *Op. cit.*, pp.3—14.

② Angelo Poliziano 在佛罗伦萨文艺复兴运动的活动见 P. Godman, *From Poliziano to Machiavelli: Florentine Humanism in the High Renaissance*. Princeton: Princeton University Press, 1998, 以及 P. Strathern, *The Medici: Godfathers of the Renaissance*, London: Random House UK., 1993, 他的书信也已经翻译成英语出版, A. Poliziano, *Letters*, S. Butler ed. trans., Cambridge: Harvard University Press, 2006. 下面提到的信是写给 Francesco della Casa 的。

③ Lorenzo della Volpaia 生平不详，介绍仅见于维基百科。

④ King, *op. cit.*, p.53. 同见 Bedini, p.62.

⑤ Visconti 家族起自 13 世纪初 Giovanni, d. 1278, Tebaldo, 后为教皇 Gregory X, 1210—1276, Matteo, 1250—1322, 其弟 Galeazzo, 1277—1328, 其子 Azzone, 1302—1339, Luchino, d. 1349, 均主政米兰, 后 Giovanni, 1290—1354, 再为米兰枢机。

中天，又刚刚花了六万金币买下“米兰总督”的头衔，俨然皇家代理。在高耸的钟楼上，维斯孔蒂的大钟日夜按点鸣响，播布四方，向他的臣民提示着这个家族的辉煌，天象的庄严和上帝的荣耀。1343年米兰工程师乔瓦尼·德伊·奥尔伽尼所建造的，1347年乔瓦尼为米兰所谓的“广场之塔”所建、1353年安置完成的，1354年热那亚钟楼上的和佛罗伦萨钟楼上的，一大批天文钟争先恐后地在意大利北部出现。稍后，随着文艺复兴的北传，1356年按教皇的敕令在佩皮尼昂城堡上建造了大钟，1380年，坐落在离波罗的海海岸不远的瑞典西岸的伦德大教堂也安置了大钟。伦德当时是北欧的人文荟萃之地，自然得风气之先。1424年重建，上下两层，上层天文钟，展示月相和日落方位，下层则是用于计算宗教节日的年历。此钟外形和著名的布拉格天文钟很相似，当是当时流行的做法。在德国，先是1394年，在北部濒临波罗的海的巴特德伯兰和施特拉尔松德，再是法兰克福大教堂，一一建成大钟，后者一直到近代还很是引人注目。^①这座以圣巴塞洛缪乌斯命名的大教堂坐落在法兰克福市中心，从1356年最初完成以来，一直是该地信徒聚会崇拜的中心，1943—1944年间被盟军的轰炸破坏，战后又按原样重建。任何一本介绍法兰克福的旅游手册，都会展示这座教堂高耸的尖塔和大天文钟。1400年到1405年间，又有五六座天文钟落成，而1410年在布拉格由钟表匠尼科拉斯和数学天文学家约翰安德鲁合力建造的大天文钟常被认为是这一时期的压卷之作，至今仍是旅游者的必造之地。1492年，我们还知道，就在哥白尼就读的科拉科夫大学，也安装了一座大钟，只不过刚刚安装完毕，就在一次火灾中完全烧毁了。^②16世纪初，又有一波造钟的高潮：1529年温特赫尔城门楼上，1530年波尔纳钟楼上，1540年蒙斯特大教堂，1558年在巴黎圣母院教堂，

^① A. Ungerer, *L'horloge astronomique et monumentales les plus remarquables de l'antiquite jusqu'a nos jours*, Strasbourg, pp. 219—220; E. von Bassermann-Jordan, *Uhrmacher-Woche* 36(1929) 440—442.

^② Jan Adamczewski, *Nicolaus Copernicus and his Epoch*, Philadelphia: Copernicus society of America, 1972, p. 78.

1574年斯特拉斯堡城的第二座大钟，几乎是一座接一座地完成。这时候，大天文钟几乎是遍布欧陆主要城市了。

我们知道，16世纪后半期，第谷在观测天象时用来守时的就是这种机械钟而不是后来流行的摆钟。1600年开普勒到达布拉格后不久就结识了鲁道夫二世宫廷的钟表匠伯奇，这时他正忙着建造大天文钟，其中有几台一直保存到现代，使得我们可以直接看见这种模拟自然的技术杰作。^①

我们冒行文啰嗦的风险不厌其烦地列举这些建造，意在说明这在当时该是一种风潮。这种工程耗资巨大，耸动观瞻，当然不是某人某地的一时之兴。除了装饰华美之外，给人以最深印象的恐怕就是这些天文钟对于天体运动的模拟和跟踪了。很容易注意到，天文钟的建造在地理上的发展和文艺复兴向北的扩散大略同步，而这些精美复杂的机器的设计者又都是出自文艺复兴时期典型的万能博士之手。沃林福特的理查德是，德东蒂父子也是，建造布拉格大天文钟的甚至更是两位相得益彰的学者的联盟。他们受过完整的教育，而不只是手指灵巧技术娴熟的工匠。当这些学养深厚的学者在考虑设计天文钟的时候，他们面对的是苍穹。他们必定相信，日月星辰在天上的井然有序的运动能够用他们设计精巧的机器模拟。因为如果没有这样的信念，他们的努力就成了一种毫无意义的活动了。其次，他们有相当的社会地位和经济地位。简单地说，他们并不缺钱；在天文钟上所倾注精力财力物力，和他们可能得到的物质回报相比，绝不相称。他们孜孜然于此，是一种理想的追求。同样，对天球天体的种种准确的模拟，更常令一般公众叹为观止。上天的事情，人是怎么知道的呢？不理解天球天体怎么运动的道理和奥秘，人又怎么可能把它们描述建造出来呢？一般公众当然不能理解天文钟的构造机制，——即便法王的特使，我们上面提到的菲力普梅西埃，当

^① Helmut Grotzsch, "Kepler and Jost Burgi's Cross-beat Clock," *Vistas in Astronomy*, 18(1975) 233.

是饱学之士，对其构造也不甚了了；但是他们相信，造钟的人一定理解洞悉天体运动的最精深微妙的机理。他们相信大钟的机构模仿了天体的运动，但是这种模仿如此惟妙惟肖，慢慢的，他们自然而然地相信，天体的运动其实就是大钟所展示的运动。对现象的模拟变成了对现象的解释，而我们行将看见，这种解释最后又变成了哲学。^①

第四节 数学天文学为凑合现象而煞费苦心

亚里士多德对于天体运动“匀速圆周”的要求如此直观，以至于在古代世界，这一假定的真理性从来没有被质疑过。但是实际的观测数据并不能用如此直观的原理准确地解释，这就使得天文学家必须灵巧地调整他们的理论和模型，从而同时照顾“匀速圆周”的原则和人们实际看见的现象，或者叫天体的“视运动”，即“看上去”的运动。“视运动”一词本身就提示了这样的信念：人们看见的运动和“真实的”运动并不是简单地同一的，而天文学家的任务就是利用符合亚里士多德“匀速圆周”的原则合成出与视运动相合的理论模型。这就是亚氏以后的天象观测者的孜孜所求。公元2世纪，托勒密汇总这些努力，编成了一本大书，致力于系统地建立既合于亚氏理论要求又合于经验事实的模型。

我们对于托勒密的生平所知甚少，^②从他所记录的天象观测的时间知，他大致生活在公元100到170年间，因为他对地理学和光学也有突出的著作传世，所以大概是个极渊博的人。然而让他名垂后世的，主要还是他的天文学著作《至大论》。^③这个书名实际上来自阿拉伯译本，

^① Lynn White Jr., *Medieval Technology and Social Changes*, London: Oxford University Press, 1962, p.125.

^② G.J. Toomer, *DSB* 本传, v.11, pp.186—206.

^③ *Almagest*, G. J. Toomer 据 J. L. Heiberg 的拉丁文本 (2 vols, Leipzig: Teubner, 1898) 英译, Princeton: Princeton University Press, 1998。书名中译从李珣等译丹皮尔《科学史》，人民大学出版社2010年版，第65页。

但既然后来的拉丁文译本未作变更，以后各个译本均因袭此一传统，一直沿用至今。

哈佛天文台的天文学史研究者金格里奇说托勒密要想解决的问题是如何在天空中确定天体的位置，而这是“相当专精深奥的问题”。^①留意《至大论》的原名是《数学天文学大全》^②，即知此书是关于数学天文学的讨论的总汇。古代许多天文学的知识，尤其是伊巴谷^③的工作赖以保存；至于书中哪些是托勒密自己的发明，哪些是前人的著述则无人能一一指明了。后世学者往往把书中提到的都笼统地归于托勒密，名之曰“托勒密天文学”，一晃几两千年，竟为俗成，无法改动了。

《至大论》共十三卷，第一卷共十六章，前九章描述宇宙的构造，后七章以及第二卷讨论数理天文学所必需的数学知识。第三卷讨论太阳的运动，第四到第六卷讨论月亮，第七第八卷论恒星天，第九卷前六章论行星的一般问题，后五章讨论水星，第十卷则是金星和火星，第十一卷木星和土星，第十二卷分别讨论了金木水火土的逆行，最后一卷谈五大行星的纬度，最后一章总括全书。从全书布局上看，《至大论》不愧为一本囊括当时所有天文学知识的大全集。值得特别注意的，正如本书原名说提示的那样，是论述的数学取向。托勒密所做的，不是对天象的解释，而是对天象的描述；他所关心的，不是天象为什么是这样运动的，而是天象是怎样运动的。这就在天文学和占星术之间作出了一种明确的划分，这种划分至关重要，对以后关于天象的研究将要产生深远的影响。当然，这是后话。

托勒密的出发点是亚里士多德和伊巴谷。他首先发挥了亚氏的

① Owen Gingerich, "Forword," *Ptolemy's Almagest*, trans. and annot. by G.J. Toomer.

② 原文是希腊文，*Μαθηματικὴ συνταξις*，英译作 *Mathematical Compilation*，见 *DSB*, v.11, p.187，但在同一作者后来的专著中，书名译作 *Mathematical Systematic Treatise*，见 G.J. Toomer, *op. cit.*, p.1。

③ 对 Hipparchus 的研究散见于各处，而综合评述见于 O. Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, v. 1, New York: Springer-Verlag, 1975, pp.274—343. 比较通俗的叙述见 G. J. Toomer 撰写的 *DSB* 本传，在 v. 15, pp. 207—224，并附有文献综合评述。

“圆周”原则，开宗明义地说明，“苍穹的运动像是一个球”：^①

有理由假定古人是基于下列观察得到这一观念的。他们看见太阳，月亮和其他星星由相互平行的圈承载，由东往西，先是好像从地底下升起，渐渐升高，接着以类似的方式扫过天际，然后渐渐西沉，直至地面，或者说，在一段时间里完全消失，然后，又重新东升西落，……

这确实是亚里士多德原则的经验基础。对哲学家亚里士多德说来，最值得关注的现象，是天体运动的永恒，因而有无始无终的圆周运动之说；对天文学家托勒密说来，这是天体日复一日地扫过的轨迹，因而必须诉诸数学。他们从不同的角度讨论同一个现象，得到了相同的结论，即天体的运动是一个圆周。

哪怕是最粗略的观测也会导向这样的观念，托勒密接着说，如果观测天极附近的星，即后来我们称作“永不下落”的星星，任何人都不会不注意到它们在一昼夜中围绕天极画出的的是一个圆。进一步，我们还可以感觉到，地球本身就是一个球体，因为：^②

我们知道，太阳，月亮和星星在地球上的人看来，不是在相同的时刻升起或落下的：对东边的人来说早些，西边的晚些。在蚀，尤其是月蚀发生时，就有这一现象。尽管月蚀发生在一个时刻，不同地方的观察者记录下来时间却是不一样的。

对于托勒密来说，这些现象清楚地表明，地球处在诸天的中央，类似于一个球体的中心，他用反证法说明这一点：^③

① *Almagest*, i, 3, Toomer, pp.38—39.

② *Ibid.*, i, 4, p.40.

③ *Ibid.*, i, 5, p.42.

如果地球不是在宇宙的中心,那就要从根本上打乱我们观测到的白昼长短变化的顺序。进一步,月蚀也就不再仅仅发生在月亮处于和太阳正相反对的位置……

托勒密注意到,在地球的任何地方,所有的重物都垂直地落向地面。从亚里士多德自然位置的论说,托勒密发现,这正是地球处在宇宙中心的另一个证据。^①由地球在宇宙的中心,托勒密进一步得出地球是不动的:

从与前述相同的理由可知地球在上面提到过的方向上不可能有任何运动,确实从它所处的中心位置不可能有任何运动。因为如果它离开了它所处的中心位置,就会产生出上面提到的那些[不合于观测的]现象。

他接着又从反面论证了地球不动的结论:

有人认为重量如此巨大的地球一动也不动地悬浮在空中是悖于常理的,在我看来他们错在依赖经验的判断而没有把宇宙的特质考虑进去。一旦他们认识到地球这个庞然大物较之包裹地球的宇宙相比只不过是一个点而已,他们就不会认为我们所谈论的有什么奇怪的地方了。

而且就是在地球上,托勒密也发现证明地球不动的证据。因为如果地球真的在运动的话,那么:

结果是,所有不[连接]在地面上的东西,都会显现出和地球相反

^① *Almagest*, i, 7, p.43. 以下诸引文同。

方向的运动；没有任何东西，比如云或者任何飞行的、抛掷的东西，会向东移动，因为地球向东的运动超过和抵消它们的运动……

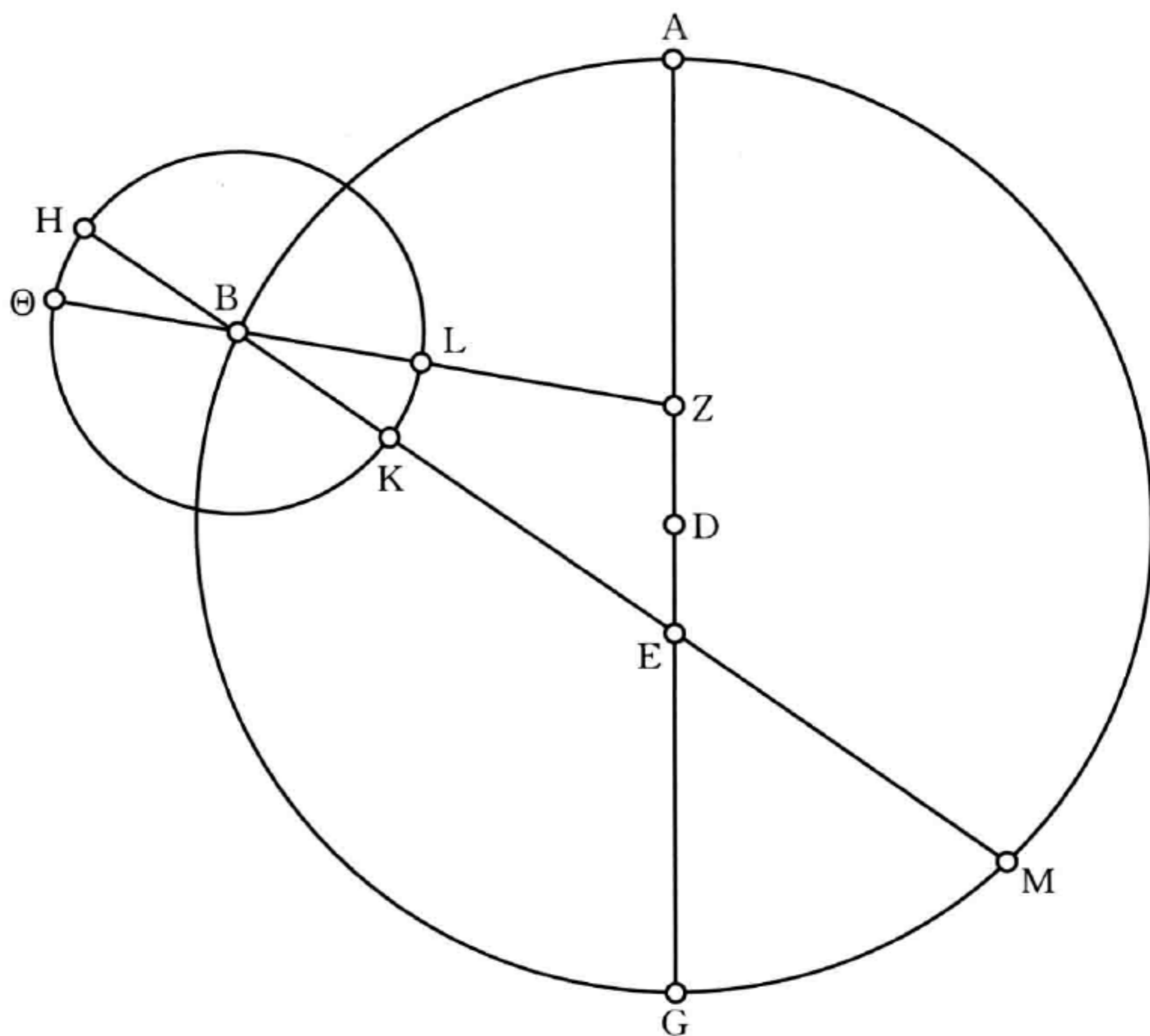
托勒密坚定地把他的出发点放在现象上，然后沿着无可争辩的逻辑路线推进他的论述，至此论述的线索如下：人人可以看见的现象向古人提示了关于苍穹和大地是球形的概念，而且地球正处在这些球的中心。既然地球在中心，它就不可能有任何的运动，因为一旦有运动，它就离开了中心，这和前面的论述矛盾，也和所有我们能够观测到的现象矛盾。很容易看出，托勒密的论述是对亚氏原理的具体化和精细化。对于托勒密来说，球形宇宙，地球处在宇宙中心，以及天动地不动是联系在一起的一套完整的描述。如果我们要严肃地研究历史，我们必定会注意到，托勒密的理论不是愚昧原始的猜想，也不是不着边际的臆测，而是建立在对现象的深思熟虑的分析之上的令人信服的论说。

事实上，《至大论》不是关于发现的记录，而是一本教科书。它讨论了计算行星位置的整个程序和宇宙的构造，“用一种讲授烧菜的烹饪教材的方式教人如何把观测数据一步一步地转化成可资利用的星表”，^①而这些星表又可以用来预测以后任何一个时刻各个天体在星空中的位置。或者说，除了对宇宙的定性的描述之外，托勒密还构造了一套可供操作的模型，而这种操作正是对于观测资料的数学分析。

第三卷讨论太阳的运动。对东升西落的太阳，到了托勒密时代，已经有了很精细的观测和记录，观测者已经发现了其运动的“异常”：太阳似乎有时移动得快一些，有时慢一些，而且也不是始终如一地在天空中划出相同的轨迹。托勒密说“热爱真理、勤奋追求的”伊巴谷对此都曾感到困惑：^②

① O. Gingerich, *op. cit.*, p. ix.

② *Almagest*, iii, 1, p.131.



我们以他对外行星和太阳(当然也同于一颗行星)的分析为例介绍托勒密对行星运动的解释：在图中，行星的偏心圆轨道的中心是 D，这一圆轨道承载本轮的中心 B，行星在本轮圆周上运动。通过远地点的直径是 AG，其上的 E 点是黄道的中心，粗略地说就是地球所在；而本轮的经向平运动的偏心圆的中心是 Z 点，后来称作“偏心匀速点”。图见托勒密《至大论》，x，6，H318，Toomer 译本 p.481。

而其主要原因是，从观测到的太阳回归到分点或至点来推算，一年的长度略短于 $365\frac{1}{4}$ 天，但以回归到某一恒星为准来推算，一年的长度比 $365\frac{1}{4}$ 天略长。

在《至大论》中，托勒密引述了十五次对春分点的观测。^①从这些精细的观测中，希腊天文学家不仅很早就知道一年的精确长度，而且知道一年四季并不是平均地各占全年长度的四分之一；春夏长，春天 $94\frac{1}{2}$ 天，夏天 $92\frac{1}{2}$ 天；秋天最短， $88\frac{1}{8}$ 天，冬天 $90\frac{1}{8}$ 天。^②这就发生了问题：观测数据表明，如果星体，这儿说的是太阳，作匀速运动，其轨迹就不可能是圆；如果其轨迹是圆，那么它的运动就不可能是匀速的。要同时照顾到这两端，托勒密所做的，就是用“匀速圆周”的运动的叠加，构造一种模型，合成出和观测一致的结果。他是这样做的^③：

[太阳运动]表面上的不规则可以用两个基本而简单的假设解释。当从位于黄道面上的、圆心合于宇宙的中心的一个圆来看他们的运动，我们可以假定，或者是各个星体在一个与宇宙不同心的圆周上作常规运动，或者这些星体有一个与宇宙中心相合的圈，但星体并不在这个圈上作常规运动，而是在另一个由这个圈所运载的圈上作常规运动。

这就是后来中世纪星象学家称作“偏心模型”和“本轮-均轮模型”^④的两套描述方案。托勒密用两张图对这两个模型做了简化的介绍。^⑤

① *Almagest*, iii, 1, p. 134, 其中十四次是 Hipparchus 在前 145 年到前 127 年间完成的，另有一次是 Alexandrian 在前 145 年做的。他还提到他自己在 140 年 3 月 22 日下午一点做的一次观测，事在 iii, 4, p. 154.

② 这是前五世纪 Meton 和 Euktemon 的观测，托勒密在 iii, 4, p. 153 引用了这些数据。现在是夏天 93 天，冬季最短，89 天。

③ *Almagest*, iii, 3, p. 141.

④ 均轮 deferent 来自拉丁字 *deferentem*，意为“承载”；本轮 epicycle，由希腊文派生出，意为“轮上之轮”。从两词的词源，可以更深入地了解这一模型的构造。从历史上说，托勒密自己确实在这意义上用过“本轮”一词(iii, 3)，但似乎从来没有用过“均轮”一词。

⑤ *Ibid.*, iii, 3, Figs. 3.1 and 3.2, pp. 144—145.

在偏心模型中，星体是在圆周上运动，但是地球不在这个圆周的圆心，而是在距圆心一段距离的一个点上；在本轮-均轮模型中，地球处于被称作均轮的一个大圆的中心，另有一个小圆，托勒密称之为本轮，其圆心沿这个大圆的圆周运动，而星体则在这个小圆的圆周上运动。很容易证明，这两个模型在数学上是等价的。适当地选用偏心距或者本轮的半径，星体的运动速度，以及均轮的半径，可以很精确地附会出星体的实际运行。托勒密算出，太阳的偏心率为 $2;30$ ，或相当于 $1/24$ ；而远地点在 $65;30$ 。^①至于星体，或者对于这特定的第三卷来说是太阳，是怎么和这些被称作“圈”的东西联系在一起的，托勒密没有讨论，而我们有理由假定，他或许认为这是不言自明的。我们知道，至少中世纪的星象学家的一致见解是，宇宙是以地球为中心的一组同心球组成的，这些球是看不见的，但是充当了星体的承载物。后来的研究者以其不可见如水晶般的清澈透明，名之以“水晶球”；但对于行星运动的“机制”的考虑，即从物理上说行星是怎么安置在天空之中的，要等一千五百年，才会作为一个有讨论价值的问题提出来。这就提示我们，在历史研究中，不应当是按我们的思路提出问题，而是看古人如何提出问题；重要的是，理解他们问题的提法和来龙去脉，而不是强迫他们回答我们的问题。因为现代科学的成果和体系的影响如此巨大，以至于研究者常常会不自觉地按现代科学的逻辑和概念按图索骥，由此循名责实，倒推历史，所以在科学史的研究中，这种做法尤其值得警惕。当然，这是题外话。

我们说托勒密的工作是对亚里士多德原则的具体化和精细化，是说托氏给出了具体的直观的模型，更是说托氏不仅给出了定性的描述，而且给出了定量的计算方法。《至大论》中占主要篇幅的，是大量的“表”，是太阳、月亮和其他行星何时在何地的具体的数据。这些数

^① 托勒密的计算在 iii, 4, 结果在 p.156;注意他采用的是六十进位。Toomer 有一个简化的说明,在 *DSB*, v.11, 190—191.

据可供验证，在这一意义上，托勒密的工作无疑具有我们现在所理解的科学特征。

这一特征导致了理论的进一步发展。所谓定量地验证，就是比较核对理论值和实际观测结果，而两者当然不可能天衣无缝地密合，^①由此产生的差就给理论和观测提出了改进的要求：或者进一步修正理论，或者降低观测的误差。

很早以前天象观察者就知道，和太阳在黄道上运动有快有慢的这种“异常”相比，行星的运动就更加复杂，更加令人困惑。除了太阳固有的异常之外，行星^②还有一种从西向东的运动，持续时间或长或短，覆盖天区或宽或窄，天文学上称为“逆行”，以突出其运动方向与日月星辰正相反对，所谓“倒行逆施”。对逆行的描述，就涉及逆行发生时行星相对于太阳的位置，持续的时间或逆向扫过天区的宽度，以及发生的次数。这时，偏心圆和本轮-均轮模型给出的结果都不能尽如人意。用现代术语来说，就是^③

简单地移动均轮的中心并不能挽救我们的模型[案指偏心圆和本轮-均轮模型]。要使这一模型重现火星逆行的空间尺度，我们必须把均轮的中心向我们的方向移动，但要产生正确的逆行弧的宽度，我们必须把均轮的中心放在相反的方向。因此没有办法通过简单地移动均轮的中心而同时得到正确的空间位置和[逆行天区的]宽度。

^① 库恩对测量以及测量中误差的认定问题有精深的讨论，见“测量在现代物理科学中的作用”，*Isis*, 52(1961)161—193，这是他最初在犹他大学的一个会议上散发的一篇讲稿，后收入《必要的张力》，文在176页。本书作者曾对此有过简单讨论，见《科学革命的历史分析》，复旦大学出版社2013年版，第76—82页。

^② 在Toomer的译文中，特别是在第九卷及以后，金木水火土常被统称为“行星”planets，盖出自希腊文planasthai，“游走”之意也。这当然和后来哥白尼体系中所谓的“行星”不同，只是说这些星辰的运动飘忽不定，不同于其他星辰罢了。

^③ 我们其实不知道托勒密发明“偏心匀速点”概念的历史途径，或者说迫使托氏采用这一做法的直接困难。这种解释是“事后的”说明，依James Evans，“On the Function and the Probable Origin of Ptolemy's Equant,” *Am. J. Phys.*, 52(1984)1084—1085。

托勒密注意到了这一点。^①为此，托勒密引入了第三项假说，即在偏心圆模型中再添加一个在地球相反的方向上、关于均轮圆心对称的点，称“偏心匀速点”，^②这是一个位于均轮中心与地球相反的一侧，而距此中心的距离等于地球的偏心率的几何点。这时，亚里士多德的“匀速圆周”原则的参照点不再是偏心圆的圆心，也不再是本轮或均轮的圆心，而是空间中一个特定的虚拟的点，与地球遥遥相对。这样做的合理性自然就不再是自明的了。为此，托勒密解释说：^③

如果研究的本质迫使我们采用一种不能严格地和理论一致的做法，……或者我们必须作出并不能从那些清晰直捷的原则导出的假定，而只能依靠长时间的边试边用，或者我们必须假设一些并非对所有行星都能不经改动就普遍适用的圈及其运动，如果我们知道不至于因此造成可以察觉的误差，影响我们所期待的最终结果，那么这些不准确的做法可能都是可以接受的；何况我们知道，那些为了取得和现象一致的结果而作的、并没有理论证明的假设，如果没有细致的方法论上的考量，也不可能发展起来，即使要解释为什么可以接受它们也是困难的……

的确，这是作为一种“做法”引进的，而不是原理。但是即便如此，文句的冗长拗口，也反映了论证本质上的困难。托勒密花了很大的篇幅为这一做法寻找合理的依据，细看上文，大概只有“为了取得和现象一致”一说多少有些说服力了；事实上，这在后来发展成一种以现象为中心的哲学，我们稍后还有机会再作讨论。在讨论金星的时候，托氏再次运用了偏心匀速点，^④同样，他仍没有讨论这一做法的合理

① *Almagest*, ix, 5, p.442.

② “偏心匀速点” *punctum æquans*，出自中世纪星象学家，托氏本人似乎没有明白使用过这一术语，虽说他在 ix, 6 细致地描述了这一做法。

③ *Almagest*, ix, 2, pp.422—423.

④ *Ibid.*, x, 3, pp.472—474；对于火星的情形，见 x, 6, pp.480—484。

性。就像大部分当时的科学著作一样，托勒密没有解释他是如何得到这一概念的，^①他只是用了这一方法，而采用这种方法的合理性则依赖于由此产生的理论结果和观测数据的一致。

托勒密模型以惊人的准确性描述了现象，这是这个理论独领风骚长达一千年之久的最重要的基础，坚不可摧。但是为了做出和现象相合的数据，托氏几乎是任意地改动模型——由匀速圆周到偏心圆和本轮-均轮模型，再由本轮-均轮到偏心匀速点，他走得如此之远，以至于当他到达成功的顶点时，他的出发点已经几乎被遗忘了。他的图景不久又和迅猛发展的基督教教义汇合，构成了中世纪欧洲普遍接受的世界观，——有理论的论证，有观测的肯定，有常识的支持，有信仰的认可，对于一种科学理论说来，还有什么更牢固、更有力的支撑呢？在以后的十个世纪里，托勒密没有受到有实质意义的挑战。

《至大论》在公元9世纪初由阿拉伯哈里发的秘书^②的赞助译成了阿拉伯文。在以后的六七十年里，这一著作又由伊本马塔尔和伊本胡纳因两次重译，^③表明阿拉伯人对这一门学问的强烈的兴趣。也许是伊斯兰律法对于占星持消极的态度，也许是伊斯兰教义对于哲学的影响不那么阿拉伯，而学者的思维，而更接近希腊方式，^④穆斯林学者很早就对天文学和占星术作了明确的划分，前者是“关于天球的知识”而后者是“关于星辰力量在某一时刻或将来的影响的知识”。托勒密的《至大论》于是顺理成章地成为阿拉伯天文学的几乎唯一的来源。到12、13世纪时，阿拉伯天文学家尝试了一些有趣的革新。参与其事

^① 对于托氏如何发展出偏心匀速点概念的历史学研究因为史料阙如而一直鲜有进展，试尝从他的理论本身分析其发展的可能线索倒是不乏其人，参见，例如，前引 James Evans, 1080—1089, 以及 O. Pedersen, *A Survey of the Almagest*, Odense: Odense University Press, 1974, pp. 277—279.

^② Yahya ibn Khalid 是 Barmacid 又作 Barmakids 家族的第二代，生在波斯 Korasan 地方，当地文风极盛，曾任哈里发儿子的秘书，权倾一时，卒于 805 或 806 年。

^③ al-Hajjaj ibn Matar 和 Ishaq ibn Hunayn 见 “Astrology/Astronomy, Islamic,” in *Dictionary of the Middle Ages*, 1982, v. 1, pp. 619—620.

^④ 这是 Leo Strauss 的看法，见氏著 *The Rebirth of Classical Political Rationalism*, Chicago: University of Chicago Press, 1989, p. 223. 这是陈克艰研究员告诉我的。

的，现代研究者可以追寻到的大约有十几个人，其时代相近，工作或多或少集中在行星理论，研究方法也颇有类似，于是习惯上被称为玛拉干学派，但并不见得真正意义上的学问上的共享和人事的传承。^①

现在可以追寻到的最早的文献，根据哥伦比亚大学阿拉伯史学者萨里巴的研究，是牛津大学图书馆收藏的编号为 Marsh 621 的手稿。^②作者乌尔迪生活在 13 世纪前半叶，大概在玛拉干天文台完成，即 1259 年前后，曾经和数学家伊本图西一起工作过。对于托勒密天文学，他写道：

在托氏以后没有人正确地做完这门学问了；现在也没有人再给他的工作加一点儿什么或除去什么了，相反，所有人都追随他。但也有几个人提出质疑，比如黑森和玛格瑞比，但是他们除了提出质疑外什么也没有做。

乌尔迪的工作，本质上是数学的，^③他把当时天文学家已经熟知的阿波罗尼定理扩展到等腰梯形，并进一步把它用到托勒密的行星模型中，作出了一个和“偏心匀速点”在数学上等效的小本轮，从而把整个系统的中心合并为一。

比乌尔迪稍晚，是伊本萨蒂尔^④的工作。萨氏幼年失怙，由祖父抚养，成年后游学开罗和亚历山大里亚。回到家乡后在大马士革的一个清真寺任司晨^⑤，掌管每天祈祷的时间，想必因此对太阳的运动有细

① E. S. Kennedy, *Isis*, 57(1966) 365—378.

② G. Saliba, "The first non-Ptolemaic astronomy at the Maraghah School," *Isis*, 70(1979) 571—576. 下面的引文在手稿 fol. 156v.

③ Urdi 原著的英译，即上文所提到的 Marsh 621 中有关的段落，见于 G. Saliba, "The original source of Qutb al-Din al-Shirazi's planetary model," *Journal for the History of Arabic Science*, 3(1979) 3—18, 唯作者当时尚未考证出手稿属于 Urdi 而误以为是 Shaykh Imam. 以此为基础的后来的发展见于同一作者, *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften*, 1(1984) 77—79.

④ Ibn al-Shatir, 见 *DSB* 本传, 在 v. 12, 357—364, 另外综合的介绍见 G. Saliba, *A History of Arabic Astronomy*, New York: New York University Press, 1994.

⑤ *muwaqqit*, 掌每日礼拜的时刻, 译文不尽合适。

致的观测，但他的兴趣则似乎更在行星模型。他说到自己的工作时，明确指出其目的是在修正托勒密：^①

上帝赐给我在天文学方面的成功……我最初接触到了一些这一领域的硕士先贤的书，发现这些最杰出的学者，比如玛格瑞比，黑森，图西，乌尔迪，……以及别的学者，都提到过关于托勒密著名的多球体天文学的疑惑。这些疑惑是不容置疑的，而且有关的问题也不能与托勒密自己建立的物理的和几何的模型自洽兼容。……我于是祈求上帝给我灵感，帮助我发明能满足各种要求的模型，……我祈求上帝指导我撰写一本书，包括如何根据我在观测中发现的平运动量得出精密确定行星位置和运动的法则，以及行星运动的秘密，我计算出来的[星星的]距离，以及我根据最新修正的天文学所编纂的星表。

这段话清楚地记录了他的学术传承。萨蒂尔明白地表示，他对于托勒密体系的不满在于托氏模型“不能与他自己建立的物理的和几何的模型自洽兼容”。

伊本萨蒂尔著作最初由黎巴嫩贝鲁特美国大学一位阿拉伯学学者注意到。^②在关于太阳运动的模型一段中，“他完全抛弃了托勒密的偏心均轮，代之以两个本轮，于是他的太阳和月亮模型就不再和托氏模型一致了”。伊本萨蒂尔断定平太阳周日移动 $0; 59, 8, 9, \dots^\circ$ ，精确到 60^{-8} ，这有些让人吃惊。接着他利用两套本轮模拟了太阳的运动，第一本轮半径定为 $4; 37$ ，第二个是 $2; 30$ 。尽管伊本萨蒂尔的书没有拉丁文译本，但数量巨大的转抄本和笺注本可证，他的工作在近东地区广为人知。从历史上看，伊本萨蒂尔似乎代表了伊斯兰天文学发展的

^① DSB 本传转录，在 v.7, p.358, 原文来自 E. S. Kennedy 的翻译。

^② *Isis*, 48(1957) 428—432. Roberts 研究的手稿藏牛津大学, Marsh 139, 1366 年抄录。下文所用的数字是六十进位小数，直接从 Roberts 的译文中转录，Roberts 在他的文章中给出了用现代数学语言模拟的计算细节。

顶点。^①

一如研究者已经注意到的，“伊本萨蒂尔没有给出他采用两个本轮的动机……”虽然阿拉伯天文学者的工作实际上是消除了托勒密天文学中的偏心匀速点，而偏心匀速点又的确是托氏的一个最重大的缺陷，现有的史料却仍旧无法证明，乌尔迪或伊本萨蒂尔当时的工作，是有目的地针对这一点所作出的修正。^②

① DSB 本传的评价，见 v.7, p.357。

② G. Saliba, “The Astronomical Tradition of Maragha: A Historical Survey and Prospects for Future Research,” *Arabic Sciences and Philosophy*, 1(1991) 81.

第二章

哥白尼根据亚里士多德的原则否定了托勒密的偏心匀速点概念和宇宙模型

哥白尼的大名可以说是家喻户晓，但对其生平事业能道其仿佛的却不多。因为哥白尼在科学史上所占的重要地位，也出于民族主义的推动^①，和哥白尼有关的所有可以想象的资料似乎已被搜罗殆尽^②，但是他提出日心学说的出发点，图景形成的过程，哲学和宗教方面的考量，以及对他可能发生影响的外部因素，一切均晦晦然。并非历史学家不想在这一方向上作深入的探讨，实在是因为史料的匮乏而使这方面的努力收获甚微。

现在可以确认的哥白尼的天文学著作，除了《天体运行论》^③和一

① 参见金格里奇著：《无人读过的书》，王今、徐国强译，生活·读书·新知三联书店 2008 年版，第 177—178 页。这种讨论至今仍是热门，参见，例如，<http://forum.axishistory.com/viewtopic.php?f=6&t=40748>，在线论坛，特别是一篇署名 lukeo 的 2004 年 1 月 20 日和 6 月 3 日上传的说帖。

② 例如 Marian Biskup, *Regesta Copernicana*, Wrocław: Ossolineum, 1973, 将散见于各处的和哥白尼有关的资料，特别是档案资料汇编成册，考究排列，得 500 多条；至于 L. Prowe 的传记，更是巨细无遗，详下。又如以波兰学者为主要撰稿人的 *Studia Copernicana*，从 20 世纪 70 年代初至今，已出版煌煌四十四卷，编辑旧稿，发表新论，从哥白尼就读的学校到他的家庭，无所不至。

③ *De revolutionibus orbium coelestium, libri VI*: Nuremberg, 1543, commentary by Owen Gingerich, Palo Alto, CA: Octavo, 1999, 有电子版。英译有 Charles Glenn Wallis, Amherst, NY: Prometheus Books, 1995, 有 Edward Rosen, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1992, 中文有叶式辉译本，北京大学出版社 2006 年版；有姚守国译本，江苏人民出版社 2011 年版；另有张卜天译本，台北大块文化 2005 年版，但本书未及利用此一译本。

封信^①之外，大概只有我们下文要重点讨论的，后来被历史学家们称作《提要》的一份文字。从严格的史料考证标准来看，《提要》自还有可议之处，但因为这份文字实际上是现今用来分析哥白尼早期思想的几乎唯一的线索，所以受到特别的重视。而哥白尼工作的初衷，则常在贯彻亚里士多德的天体运动原则。

亚里士多德研究自然的原则是一手经验，一手理性。经验提供的是自然现象，即“怎么”；理性要求的是原因，即“为什么”。对于天体，最明显的现象就是其运动的永恒，无始无终，无动力无变化。能合于这一要求的、为理性能作为原因接受的运动模式是匀速圆周运动，亚氏有时把它叫做“常规运动”，以其中规中矩，恒常不变也。细看亚氏的论述，清晰畅达，当之无愧地成为以后两千年学者讨论的出发点和基础。亚氏四百年后有托勒密，撰长篇巨著，对天文学作了总结，是为《至大论》。和亚里士多德不同，托氏从本质上说是一个数学家。利用当时的观测资料和亚氏的原则，作数学计算，于是亚氏对天象的定性的讨论变成了定量的观测，这就有可能把理论和现象作细致的比对，这就要求对现象作更准确地解释。天文学家当时就已经发现，简单的“常规运动”概念不足以说明现象。为此他们发明了一系列“技术”，即偏心圆、本轮-均轮以及偏心匀速点^②，用来处理现象，使之能和亚氏的图景明晰推理畅达的原则相契合。尽管被修正的实际上是理论自身，但是既然不变的是亚氏最初定下的原则，整个活动就被称

① “A letter against Werner,” Edward Rosen, *Three Copernican Treatises*, New York: Dover, 1959, pp. 91—106.

② Equant, 陈方正作“对等点”，见氏著《继承与叛逆》，生活·读书·新知三联书店2009年版，第496页；张卜天译作“偏心匀速点”，见氏译戴克斯特霍伊斯著：《世界图景的机械化》，湖南科学技术出版社2010年版，第69页；王国强作“对位点”，见氏著《新天文学的起源》，中国科学技术出版社2010年版，第13页；王今、徐国强译作“等分点”，见前引金格里奇，第207页；闻人杰译作“均差”和“等化点”，见《自伽利略之后》，宁夏人民出版社2008年版，第15—16页。拙作《库恩》曾作“等位点”，台北东大图书公司1996年版，第57—58页。本书从张卜天译，作“偏心匀速点”，详第四章关于开普勒的讨论。

为“拯救现象”。^①至于所采用的技术是对天体运动真实情形的描述还是为了方便数学计算而采用的技巧，或者说是真实的还是虚拟的，是物理的还是数学的，托氏没有讨论。

托勒密把亚氏颇为形而上的论述数学化，使之成为可以运算，可以预测，可以比对的理论，成果斐然，炫人眼目，但同时也掩抑了哲学和物理学的讨论。后来虽然有所谓的水晶球的图景^②，把天球想象为一个球壳，大概有个厚度，而星星镶嵌其上，赖以支撑，随之运动，但是这些星星竟是如何和球连接，球体自身竟是如何悬浮在空中，球壳和球壳又有何种关联，所有这些我们看来应当是很重要的“物理的”问题，在当时似乎没有什么人认真地考虑过，一切全赖不言而喻的领会，——事实上，整个图景显得如此自然和自明，无须解说，也没有什么人认真追究细节；如果真有人追问，那一定是杞人忧天了。托勒密开创的数学化的天文学在极大程度上取代了亚里士多德的形而上的宇宙论，成为研究的主流。我们以后会看到，正是哥白尼的图景，而不是他的数学处理，使对于天体运行的物理问题的关注重新成为研究的焦点。以后天文学的发展证明，这一转变确乎堪称划时代的转折点。

大部分科学史研究者现在相信，哥白尼的工作大概和后来被称作玛拉干学派的阿拉伯天文学有关。先于哥氏两百年，西亚中东地区的学者注意到，引进偏心匀速点的做法在本质上是把亚氏的“常规运动”分

^① 这个口号最初是 Pierre Duhem 提出来的，并用作他的科学史名著的标题，*Sozein ta phainomena: essai sur la notion de theorie physique de Platon a Galilee*, Paris: A. Hermann, 1908, 这本书有 Edmund Doland and Chaninah Maschler 的英译，*To Save the Phenomena: An Essay on the Idea of Physical Theory from Plato to Galileo*, Chicago, University of Chicago Press, 1969, 通常认为这是托勒密的基本取向，参见，例如，Bernard R. Goldstein, “Saving the Phenomena: The Background to Ptolemy’s Planetary Theory”, *Journal for the History of Astronomy*, 28(1997) 1—12。中译“拯救现象”已为俗成，不便改动，但其意义不仅晦涩费解而且稍有误导之虞。案原文 save 在这儿意为 keep from being lost, 即“保持而不令丧失”，意在“不以理论的需要而对现象稍作变更”，读者当自能领悟。

^② “水晶球”的说法起源不详，可能来自希伯来圣经的一个比喻。格兰特：《近代科学在中世纪的基础》，张卜天译，湖南科学技术出版社2010年版，第132页提到，至少在四世纪哲罗姆就使用这一概念了。本书既不重在讨论中世纪科学，稍后虽有提及，但未作深究，以免枝蔓。

拆成“匀速”和“圆周”两个相互独立的要求，这实际上是偷换了亚氏的原则。他们陆续发展出一套数学变换，意在消除偏心匀速点之类的虚构，把运动中心重新设在地球，实现了真正的、可以有物理意义的地心体系的构建。

哥白尼当时耿耿于怀的，正是要在整个宇宙图景中系统地、彻底地贯彻亚里士多德的原则。1510年的《提要》的初衷，就是要消除偏心匀速点和确立常规运动。哥白尼进一步认为，这种做法对于所有行星应当是普遍适用的，换言之，各个行星的运动应当是可以由一幅统一的图景描述；这种对统一性的追求同样指向日心说，他在《运行论》中特别强调了这一点。太阳居中不动而地球绕日运行是哥白尼对玛拉干图景的本质的革新，但这一革新也带来了一系列的困难，首当其冲的是“地动”假设所遭遇到的常识和权威的反对。细看哥白尼当年所面对的、由常识支持的权威和由权威强调的常识，几乎无法攻破。而且，从纯天文学的角度看，终哥氏一生，地动说也没有得到观测的支持。对于哥白尼为什么把他的理论搁置了三十年，直到1543年才发表，科学史研究者至今未能做出完整的解释，但理论本身所遭遇的困难显然是一个，或者是最重要的一个因素。天文学的传统，自托勒密以下，常以数学模型为工作基础而不涉及物理实在，于是有奥西安德的、所谓哥氏的理论不过是一种为计算方便而作的、并非真实图景的解说。这一诠释在当时人看来应当是更加顺理成章。十几二十年后，对其数学方法深入探讨、对其物理图景存而不论的维腾堡解释，竟成为哥氏理论传播的主要形式，即是明证。而在这样的情形下，哥氏竟不稍为所动。我们不知道是什么决定性地把他引向这一方向，又是什么让他坚持这一在当时人人看来略同于疯狂的观点。在科学发展的重要转折点，我们无法连续地逐点追寻，我们不知道，灵感如何出现，逻辑过程如何中断，人的卓越创造如何完成；的确，^①

^① A. Koyre, *Astronomical Revolution*, New York: Dover, 1973, p.66.

心智之路和上帝之路一样，神秘而且神奇。对我们的知识说来，似乎没有什么比哥白尼的宇宙图景更加茫远；然而，没有这一图景，我们的知识从一开始就不会存在。

第一节 1510：《提要》可能是关于日心学说的第一份文件

现在已知的完整地阐述日心学说的最早的文件是一个后来被称作《提要》^①的说帖，拉丁文，有图。正文篇幅并不长，如果按本书的规格印出来，大概也就是二十五六页。原件的一个残本最初见于维也纳国家图书馆，手稿编号 MS10530，1878年由德国学者柯泽印行。^②1881年，在斯德哥尔摩皇家科学院图书馆又发现一个抄本，^③夹在原来波兰的一个富商兼天文爱好者所收藏的《天体运行论》中。柯泽对这两个版本作了校勘，由于抄本中出现同样的抄写错误，他认定它们有共同的祖本。最早为哥白尼研究收集资料的德国学者普瓦把这个校勘本收入他的《哥白尼传》中，^④纽约市立大学的罗森教授据此完成了英译。^⑤《提要》原稿上的标题，罗森译为《尼古拉·哥白尼：他的关于诸天运动的假说之提要》^⑥；1973年，芝加哥大学的斯瓦德娄认为以前的译本常有失精准，遂予重译，题作《尼古拉·哥白尼就他所发明的关

① *The Commentariolus*. 这是后来被广泛采用的标题，意思约略相当于中文的“解说纲要”，“简述”或“提要”云云似为约定俗成的说法。

② *Mittheilungen des Copernicus-Vereins für Wissenschaft und Kunst zu Thorn*, i, 1878, 5—17, Maximilian Curtze ed.

③ *Bihang till K. Svenska Vet. Akad. Handlingar*, vi(1881), No.12.

④ Leopold Prowe, *Nicolas Copernicus*, Berlin, 1883—1884, v.2, pp.184—202.

⑤ *Osiris*, 3 (1937) 123—141, 旋归人氏著 *Three Copernican Treatises*, New York: Dover, 1939, 较 *Osiris* 版稍有增补。本书使用的页次从1959年再版，原文在 pp.55—90。

⑥ *Nicolas Copernicus: Sketch of his Hypotheses for the Heavenly Motions*, 这儿 heavenly 含义颇为含糊，权作“诸天”，讨论详下。

于诸天的运动模型的提要》^①。

文章作七段，每段前有小标题，如“天球的次序”或“太阳的视运动”之类。在这七段正文之前，有说明文字，斯瓦德娄径名之曰“引言”，而罗森则将其后半部分划出，称之为“假定”。在这段不长的文字中，哥白尼说明了他提出新理论的出发点和缘由：^②

我注意到，为了用常规运动的原则来解释行星的运动，我们的先人假定了很多的天球。因为他们认为如果一个天体不是作匀速圆周运动，那将是很荒谬的。

哥白尼这就开宗明义地告诉我们，他的新理论是建立在亚里士多德-托勒密基础之上的：即用“常规运动的原则来解释行星的运动，”而所谓的“常规运动”就是匀速圆周运动；图景是被称作本轮均轮的转动不息的天球。为什么必定是“匀速”的“圆周”运动呢？因为不如此，如我们在上一章谈论亚里士多德时所力图说明的，就必须给出

^① Noel M. Swerdlow, “A Brief Description by Nicolas Copernicus concerning the Models of the Motions of the Heavens that He Invented,” *Proceedings of the American Philosophical Society*, 117(1973) 423—511. 案原稿题作 *Nicolai Copernici de hypothesisibus motuum caelestium a se constitutes commentariolus*, 和 Rosen 的比较, Swerdlow 似乎有意回避了 *hypothesisibus* “假说”一字, 代之以并不见于拉丁文原稿的“模型”。案 19 世纪最初研究这份手稿的哥白尼学者 Leopold Prowe 认为, 原稿的拉丁文标题很可能是后来抄写的时候加上去的, 因为哥白尼不可能称自己的工作为“假说”, (见氏著《哥白尼传》一卷二册, 288 页和第二卷 185 页的注释), Swerdlow, *op. cit.*, p. 423, 似乎完全接受了 Prowe 的说法, 径称“原稿标题的出处无人知道, 但既然文章是在谈哥白尼自己发明的模型, 这就很不可能是哥白尼自己写的——或者是什么人写在给第谷的手稿上的, 或者是第谷自己写的”。但是 E. Rosen 完全不同意 Swerdlow 的说法, 见“Copernicus’ Axioms,” *Centaurus*, 20(1976) 44—49. 也有人把“假说”一词完全归于 A. Osiander 的篡改, 见 Joseph A. Fitzmyer, “Copernicus,” *America*, 69(1943) 148—150, 但这一说法似乎完全没有史料的支持, 因而也没有引起学术界的认真注意。“假说”一词常令科学史研究者苦恼, 哥白尼如此, 牛顿亦复如此。对于后者, A. Koyre 作过细致讨论, 在氏著《牛顿研究》, 张卜天译, 北京大学出版社 2003 年版, 第二篇中。比较 Rosen 和 Swerdlow 的这两个译本的优劣自非本书作者学力所能企及; 案 Rosen 长 Swerdlow 35 岁, 这一翻译是两代学者毕生努力的事业, 则当无疑义。下文常同时使用这两个译本, 文从字顺, 如无特别的需要, 不再细致地讨论两个译本的差异。

^② Rosen, p. 57; Swerdlow, p. 433.

个为什么“不如此”的理由；而对于“理由”的要求，则是人类以其理性去理解自然时最低的期待。亚里士多德的教导在这儿不是一个有待证明的结论，而是一个无需证明的出发点，同时又是一个理论必须满足的原则，此点甚明。常常让后世读者感到困惑的，倒是“天球”。^①当哥白尼说“天球”的时候，他是在说什么呢？是为了描述行星运动而构造的几何学意义上的、没有厚度也谈不上实体的数学的“球”呢，还是物理学意义上的、行星镶嵌于其中、由此依托运行的真正实体呢？这球到底是一种二维的几何学的面还是一个三维的物理实在呢？

从文本研究来看，哥白尼使用了 *orbis*, *sphaera*, 和 *circulus*, 他有时用其中一个，有时甚至交替使用其中的两个。罗森细致地研究了哥白尼的用词，^②他发现哥白尼对这些词并不那么挑剔。正如谈到“行星”时，哥白尼也交替使用了 *sidus*, *siduserrans*, *planeta*, *stella errans*, *errans* 和 *corpus*。这就真令人困惑了，哥白尼到底想说什么呢？

其实，这是我们这些五百年以后、受现代科学教育的人自己生造出来的问题。如果我们回到 16 世纪初期，哥白尼写作《提要》或者稍后撰写《天体运行论》的时代，就很容易看到我们所发现的问题实际上是堂吉诃德型的。对哥白尼说来，天球就是天球，就是希腊人，或是阿拉伯人，或是他的同时代的令人尊敬的学者们，比如他的老师，多米尼科，或者波尔巴赫和拉哲蒙坦那，以及所有的同行所说的天球。他心目中的天球是什么样子的，我们当然无从悬想，大概就是我们通常说的“水晶球”吧。是二维的还是三维的？是“圈”，是“环”，如何连接，如何推动，哥白尼都没有说。——倒不是他说不出来，而是他可能想都没有想到过这会是个问题。确如罗森所指出的那样，这个问题“本身就是一个在基本观念发生革命性变革的时候术语滞后的例

^① 参见 J. Aiton, “Celestial Spheres and Circles,” *Hist. of Sci.*, 19(1981) 75—114.

^② Edward Rosen, *Three Copernican Treatises*, *op. cit.*, pp. 11—21.

子。”^①斯瓦德娄对罗森的译文常有微词，但至少在这一点上，他完全同意后者，——甚至有过之。他说，“我把 Sphaerarum 当作是说明 orbium 的同义词，”^②进而把 “orbium ou sphaerarum” 径自译作 “spheres or spheres”。这有些滑稽，但是不管怎么样，这个当时 32 岁的芝加哥大学的助教就是这么译了，并且最终得到了学界的接受。^③

哥白尼关心的是如何说明现象而不是我们这些在新天文学建立以后才受教育的人所耿耿于怀的天体运动的物理原因，这对于理解早期天文学革命至关重要，而在以后的文字中，我们也将力图说明这一点。事实上，一如我们再三强调的，亚里士多德关于天体运动的完美原则就是对天体运动为什么这样运动的回答，而这一运动的原因要等到第谷证明天球不存在、开普勒用椭圆轨道代替了亚里士多德的完美的圆轨道以后才真正成为一个问题。——当然，这是后话。为了说明和预测天象，哥白尼说，希腊人卡利普斯和欧多克索把行星安排在一系列同心圆上。但是这种安排还是不能说明行星的运动。因为要真正地把握行星运动，除了行星运行的周年视运动之外，还要说明行星在夜空中的“高低变化”和其他复杂的运动轨迹，这就要引进包含偏心圆和偏心匀速点概念的本轮-均轮系统。这就是当时被广泛接受的托勒密体系。哥白尼紧接着指出了这些技术带来的理论上的困难，而这正是他的新理论和新图景的出发点：^④

尽管托勒密和大部分别的天文学家的理论[预测]和观测数值一致，但它似乎仍旧不令人信服。因为除非加入一些偏心匀速点，这些

① Rosen, *op. cit.*, pp.17—18.

② Swerdlow, *op. cit.*, p.438.

③ 哥伦比亚大学教授，重要的哥白尼学者 George Saliba 称之为“经典的，”见氏著 “Arabic Astronomy and Copernicus,” in *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften*, v.1, ed. by Fuat Sezgin, p.73. 但是 E. Rosen 又不同意这么简单的处理，见他的更加细致的讨论，“Copernicus’ Spheres and Epicycles,” *Archives internationales d’histoire des sciences*, 25(1975) 82—91, 或他为《运行论》英译本标题页的注释，中译见叶式辉译本，252—253 页。

④ Rosen, pp.57—58; Swerdlow, p.434. 下一段引文同此。

理论就不能充分地运作；而根据这样的理论，行星的运动无论在均轮上^①还是相对于它的本轮的中心而言，都不是匀速的。

的确，在哥白尼考察宇宙图景的时候，旧理论即托勒密理论的计算值和观测结果并没有令人不能接受的重大差异。旧理论的问题，在哥白尼看来，并非是我们通常想当然地认为的“与观测结果不合”，而是深藏在其基本的图景之中。偏心匀速点技术的采用，大大提高了理论预期与观察实测的符合程度，但是这是以放弃亚里士多德的“常规运动”即“匀速圆周运动”原则为代价的：相对于偏心匀速点的匀速运动所画出的轨迹，并不是以偏心匀速点为中心、而是以均轮圆心为中心的圆周，而对于均轮的中心而言，这一天体的运动在其圆周上并不是匀速的。换言之，偏心匀速点技术的采用，实际上是把亚里士多德的“匀速”和“圆周”两个条件分离开来了，使之对于偏心匀速点和均轮分别得到了满足；在哥白尼看来，这是不能接受的。正是为了把亚里士多德的原则严格地、不变形地贯彻到底，哥白尼认为，托勒密模型必须作重大修正。这是哥白尼革命的出发点：

我因此常常想，是否能找到一个关于天球的更合理的安排，使得所有的、表面上的不规则运动都能由此导出，同时每一星体^②都能按最完美的运动原则所要求的那样作常规运动。

走出困境的办法是赋予地球运动，——不是一种，而是三种。日心说由此产生。哥白尼用七条“假定”构造他的学说：^③

^① 以上下文意度之，这儿“在均轮上”当指行星本轮的中心。两个英译本均未作特别的说明。

^② 这儿“星体”的原文是 everything，两个译本皆然。若按原文译作“每样东西”似不可取，权揣度文意作“星体”，以俟佳译。

^③ Rosen, pp. 58—59; Swerdlow, p. 436.

1. 不存在所有天球的共同中心。
2. 地球的中心不是宇宙的中心,而只是重力和月亮天球的中心。
3. 所有的天球以太阳为中心点绕行,所以太阳是宇宙的中心。

对于现代读者说来,这儿似乎只有“太阳是宇宙的中心”这一句话多少还有些意义。其实,从毕达哥拉斯以下,到亚里士多德,到托勒密,所谓的“中心”一直是理论的一个核心概念。我们现在看见的哥白尼,正是这个学术传统上的一环。他的唯一的学生,下文中我们将要常常看见的雷蒂库斯,就明白地告诉我们,甚至在写作方式上,哥白尼也在模仿托勒密,^①而“重力的中心”云云也绝非我们所说的万有引力,只不过是亚里士多德意义上的“重物”所奔趋的“自然位置”而已。

4. 日地距离与苍穹的高度之比,较之地球半径与日地距离之比小到如此微不足道,乃至于以苍穹的高度来看,地球和太阳之间的距离实在是不可察觉的。

拗口而且费解。其实哥白尼是在说,地球到太阳的距离和宇宙的尺度相比是微不足道的,从苍穹的高度看,地球和太阳几乎可以看作是同一点。他之所以要反复用“地球的半径”作为基点来讨论,盖因为横亘在他心中的问题是视差。所谓视差,是指在不同位置上的观察者在观察同一天体时所产生的方向上的差异,而这儿“不同位置”之间的距离称作基线。在哥白尼时代,地球的半径常用来当作这种基线;从地球上的不同点看月亮,可以得到月亮的视差。利用实测所得的视差以及已知的这两个观测点之间的距离,即上文所说的基线的长度,可以

^① *The Narratio prima*, Eng. Trans. Edward Rosen, *op. cit.*, p. 109. 波兰学者 Jerzy Dobrzycki 认为哥白尼的七条假定是对 Peurbach 和 Regiomontanus 的 *Epitome of the Almagest* 的模仿,并逐条作了对比,见“Notes on Copernicus's Early Heliocentrism,” *Journal for the History of Astronomy*, 32(2001) 223—225。

算出月亮距地球的距离。这在哥白尼时代早已为天文学家所熟知。阿拉伯人巴特尼^①曾取太阳的视差作 0.3° ，得出地球到太阳的距离是1 146个地球半径；若取同样的数值，则恒星的距离应在1 313 200个地球半径上下，若取视差作 0.1° ，则距离当在3 939 600之谱，较之利用当时托勒密理论算出的20 000要大很多。巴特尼是9、10世纪之交时人，他的主要著作《论星星的运动》在1116年就已译成拉丁文，哥白尼即便没有直接读过他的书，对他的理论当有所了解。不难看出，基线越长，目标星体越近，所能产生的视差越大，由此而来的视差自然也就越容易被观测到。下文我们将渐渐看到，这件事对哥白尼说来有多重要。

5. 苍穹所展示的运动不是苍穹的运动，而是由地球的运动造成的。地球，连同它的附属物，绕地球的恒定的极作完全的周日运动，而苍穹和恒星天则保持不动。

6. 我们所看见的太阳的运动不是它自身的运动，而是地球和我们所在的天球的运动。

7. 行星的逆行和顺行不是它们自身的运动，而是地球的运动。由此，仅以地球的运动就足以解释如此之多的、看上去不规则的天球运动。

这就是所谓的日心说的最初的和最基本的陈述。第5条讲的是周日运动，即我们的日夜交替是由地球自己绕地轴旋转造成的，第6条进一步强调地球的运动是“我们所看见的”太阳东升西落原因，太阳相对于恒星背景的周年运动的原因，以及赤纬的运动^②的原因；第7条讲行

^① 细致的讨论见 N. Swerdlow, "Al-Battani's determination of the solar distance," *Centaurus* 17(2) (1972) 97—105.

^② 哥白尼称之为“倾角的运动”，见《运行论》叶译本17页。到开普勒时代，天文学家才认识到这是哥白尼“错误地设想”出来的一种原理，见 Rosen 对此的注释和开普勒在《新天文学》中的讨论，《全集》，III, pp. 350.

星的视运动其实是地球运动所造成的。

斯瓦德娄教授从纯粹的天文学理论的角度出发，考察了这七条假定，认为“事实上，只有3和6在逻辑上先于其他，而2，4，5和7只不过是3和6的推论而已；至于1则自成一组”。^①此说似尚有商榷的余地。案如果从纯粹天文学的理论考量，3和6倒是在说同一件事，假定6只不过提出“地球”作为一个特例或提醒读者作特别的注意而已。

如果从哥白尼论述的自身逻辑来看，这七条假定的结构是完整的：前三条讨论诸天的中心，在当时其实就是整个宇宙；第4条独成一组，预备对付观察诸天时的一个重要的技术细节，即视差问题；后三条谈论现象，即我们看见的星象，指出按前三条假定的日心说，这些星象该怎么解释的。

考虑到他的读者可能“不熟悉”数学，哥白尼说他略去了数学推理部分，但是仍旧列出了根据他的理论各行星，——当然包括地球，距太阳的距离。“从这些数据，任何人……都能轻而易举地看出，对天球的这种安排与计算和观测多么准确地符合。”^②哥白尼接着说：

由此，人人可以看出，与毕达哥拉斯不同，我不是随意地假定地球是运动的；我对于天球的解说强有力地证明了这一点。自然哲学家赖以说明地球静止不动的主要论点大部分是建立在现象之上的。恰恰在这一点上，他们的论据垮塌了；因为我认为，地球的静止不动只不过是一种现象。

哥白尼再一次强调，他所处理的，不仅仅是，甚至在一定程度上不是，现象：“根据这些假定，我将简要地说明，常规运动怎样可以完整地保留下来。”

^① Swerdlow, *op. cit.*, p. 437.

^② Rosen, p. 59; Swerdlow, p. 439. 下一段引文同。

根据这七条假定，哥白尼全面地描写了他心目中的太阳系，他称之为“天球的次序”，由远及近是恒星天，土星、木星和火星，然后是“我们乘御其上绕行的那个天球，然后是金星，最后是水星”。为了证明这一排列的真实性，哥白尼罗列了由此构造的诸天天球运行的“速度”，并指出这种速度呈现出优美的一致：恒星天包裹着整个宇宙，静止不动，太阳独居宇宙中心；土星三十年绕日一周，木星十二年，火星两年半，再次是地球，一年，接下来是金星，九个月，最后是水星，三个月。^①亚里士多德和欧几里得均作过类似的考察，^②值得注意的是，在这儿，真实性的证明几乎是建立在一种美学的自洽的要求之上的。

接下来讨论地球运动。如果假定地球不动，那么天文学家就必须说明太阳是怎么运动的；现在假定太阳不动，那么从地球上看到的太阳位置的变化，哥白尼称之为太阳的“视运动”，即“看上去的”运动，就可以反推出地球的运动。

“地球有三种运动。”哥白尼宣称。第一种，这在当时看来是最重要的一种，^③是“以一年为期的、在大圈上的围绕太阳的、在相同时间里扫过相同弧度的”运动。但是太阳并不在这个大圈的中心，“大圈的中心距太阳中心的距离是大圈半径的1/25。”哥白尼在这儿未加说明地使用了“大圈”这一术语^④称呼地球所相关的天球，似乎对这一天球赋予了特殊的地位，罗森认为是地心说术语的“残余”^⑤，而斯瓦德娄则认为这可能意味着哥白尼在研究过程中曾经考虑过类似第谷体系的

^① 这是哥白尼当时用的数据，以后迭有增减，如火星的运行周期后来作两年，见《运行论》叶译本第十章，第15页。但大体顺序没有改变，因而在实质上也不影响哥白尼的论证。各个抄本对火星的公转周期所采用的不同的数据又被用来研究这些抄本之间的关系，但对下文的讨论关系不大，详见 Rosen, *op. cit.*, p. 60, n. 7.

^② 亚里士多德，《论天》，II, 10, 291a33—b5。亚里士多德说“依照其距离的不同，它们的运动有些较快，有些较慢。因为已经设定，天体最外沿的旋转运动是单纯的，也是最快的，相反，其他物体的运动则慢些……所以这是很合理的……。”（用前引徐开来译本）。欧几里得的想法见氏著《光学》命题58—9。

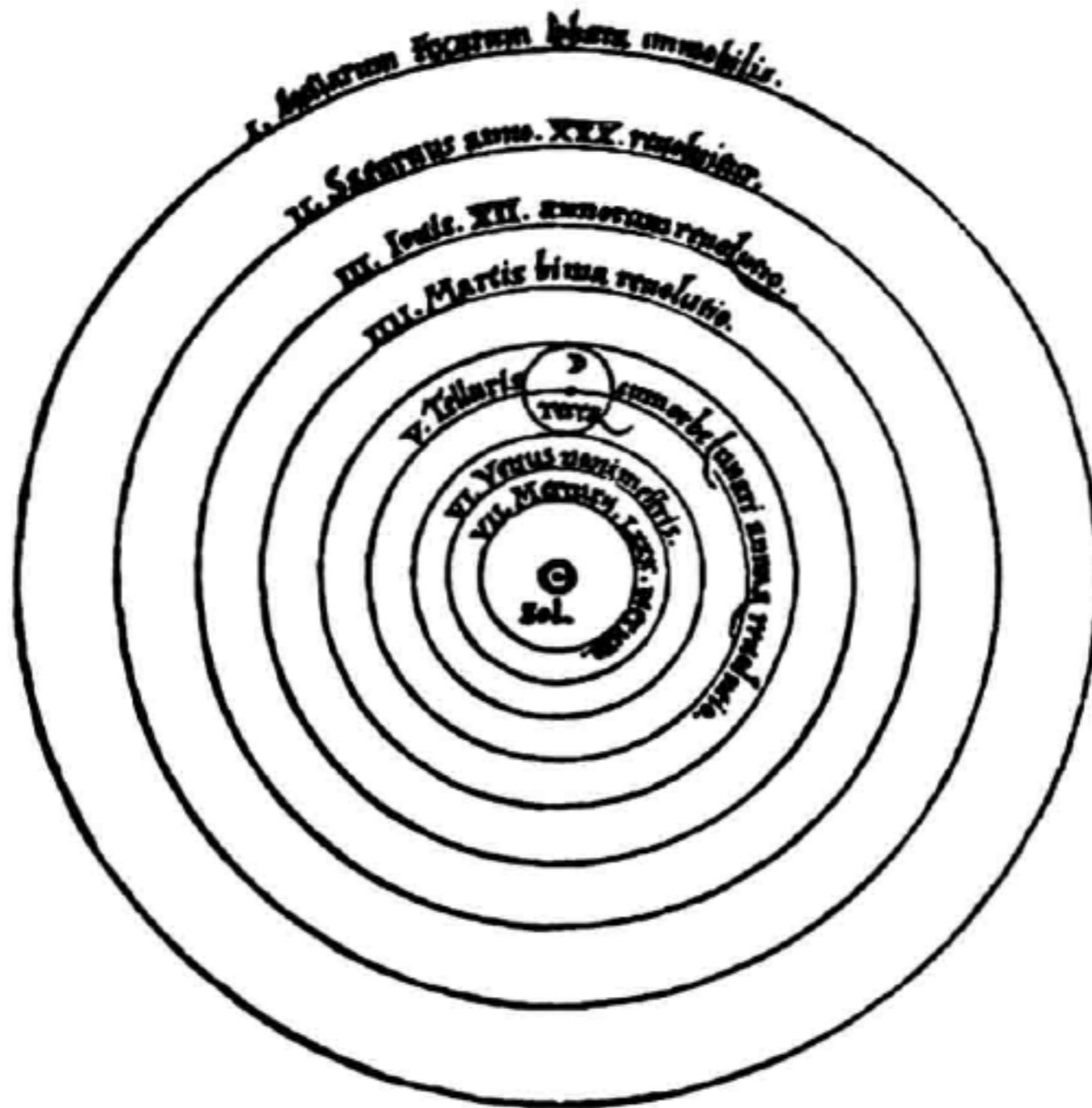
^③ Rosen, p. 61; Swerdlow, p. 411. 与这儿的次序不一样，哥白尼后来把周日运动作为“第一重运动”，见《运行论》，第一卷，第十一章，叶译本16页。

^④ *Orbis magnus*，有时他也用 *circulus magnus*，但哥白尼从来没有做过明白的说明。

^⑤ Rosen, *op. cit.*, pp. 16—17.

NICOLAI COPERNICI

net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reducitur; Sextum deniq; locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circū carrens, in medio uero omnium residet Sol. Quis enim in hoc



pulcherimo templo lampadem hanc in alio uel meliori loco poneret, quàm unde totum simul possit illuminare? Siquidem non inepte quidam lucernam mundi, alij mentem, alij rectorem uocant. Trimegistus uisibilem Deum, Sophoclis Electra intuentē omnia. Ita profecto tanquam in folio re gali Sol residens circum agentem gubernat Astrorum familiam. Tellus quoq; minime fraudatur lunari ministerio, sed ut Aristoteles de animalibus ait, maximā Luna cū terra cognationē habet, Concipit interea à Sole terra, & impregnatur anno partu. Inuenimus igitur sub hac

哥白尼的宇宙图景：太阳居中。哥白尼解释说，最外层是“不动的恒星天”，以下依次是土星，[运行周期] 30 年，木星 12 年，火星 2 年，“地球连同月亮”的周年运动，金星 9 个月，水星 80 天。我们行将看见，运行周期的这一递减的排列对于直到伽利略的天文学家都有重要的意义。注意地球和月亮天球的画法，透露出哥白尼对传统宇宙图景的承袭。本图选自《运行论》第一版。Nicolai Copernici Torinensis, *De Revoltionibus Libri vi*, Norimbergae, 1543, 9v.

构造。^①我们以后会看到，在第谷体系中，太阳运行的圈和其他行星的运行轨道确实有特别重大的差别。不管怎么样，地球的运动现在确实是“匀速圆周”的常规运动了，但这一常规运动并非对太阳而言，而是对地球的大圈的中心而言，——至于太阳的中心，则在离大圈中心不远的地方。显然，哥白尼所采用的，仍是托勒密的偏心圆模型，而哥白尼所力图贯彻的，仍是亚里士多德的“常规运动”原则。在这个意义上，哥白尼表现为人类对我们厕身其间的宇宙的探索的伟大进程中的承上启下的一环。

第二种运动是周日运动，第三种是“倾斜运动”。^②哥白尼注意到地心和地球自转轴的倾斜面的周年运动有“微小的偏差”^③，所以春分点有缓慢的移动。在《提要》写作的时候，哥白尼对此显然还只能作很粗糙的处理，他总结说，^④“虽然我们还没有充分地理解有关的这种变动的规律，但利用地球的运动，这种变化可以用一种不太别扭的方式来解释。”

既然春分点在缓慢地移动，用它来标记地球的运动当然会有问题。哥白尼追溯了历史上对回归年长度的观测和计算，比较了伊巴谷，巴特尼，和托勒密的数据，^⑤发现“以恒星为依据测量周年常规运动比较好”。这样，哥白尼又提出了一个让地球运动而让恒星天静止的理由。

接下来哥白尼用了相当的篇幅讨论月球的运动。“除了周年运动以外，我认为月亮还有四种运动”：^⑥

① Swerdlow, *op. cit.*, p. 438.

② *Motus declinations*, Rosen 译作 motion in declination, *op. cit.*, p. 63, Swerdlow 说他“不知所云”，而他本人将这一术语译作 motion of the inclination.

③ 《运行论》，叶译本，18页。

④ Rosen, pp. 64—65; Swerdlow, p. 445.

⑤ 哥白尼说，Hipparchus 的回归年是 365 1/4 天，al-Battani 是 365 天 5 小时 46 分，“比托勒密短了 13 3/5 分或 13 1/3 分”。这一段话颇不可解，Swerdlow 遂将其彻底改写 (*op. cit.*, p. 452)，但连他也承认这样做的依据不充分，并怀疑哥白尼当年自己在这一点上就不甚了了。

⑥ Rosen, p. 68; Swerdlow, p. 454.

它在均轮上每月一周围绕着地球的中心作顺行^①运转。均轮拖着通常被称作第一不均等性本轮，这个本轮我叫它作第一或大本轮。连接在第一本轮上还有另外一个本轮，以比一个月稍稍长一点的周期作与均轮相反方向的运动。这就是第二本轮，月亮就和这个第二本轮以每月两周的速率沿着与大本轮相反的方向运动。

用两个本轮，哥白尼解释了月相的变化：

……月亮离大本轮最近的时候发生朔望，而月亮在朔点和望点之间，在圆周的四分之一的地方，是离大本轮中心最远的时候。……

月亮的确是一个特例，需要三个天球，要考察四种运动。^②但对于各大行星而言，一旦确立了日心地动的基本图景，描述运动似乎就成了细节问题。事实上，《提要》只花了三分之一略多一点儿的篇幅，就完成了对五大行星的运动的解释。土星、木星和火星，“三个外行星，”哥白尼说，“有着相同的运动模式。的确，它们的天球，完全包围了大圈，按顺行方向绕大圈的中心旋转，而大圈的中心也正是它们的共同中心”：^③

每个天球有两个本轮，其中一个承载另一个，几乎和上面解释过的月球的情形一模一样，但模式有所不同。第一本轮作与均轮方向相反的运动，但运行周期相同；而第二本轮，承载着行星，与第一本轮作方向相反而速度加倍的运行。

适当地设定了各个本轮的半径，哥白尼回到了现象世界：^④

① “顺行”，in the order of the signs，即依各宫的次序。

② 即随地球一起绕太阳的公转，绕地球的公转，自转和“倾斜”。

③ Rosen, pp. 74—75; Swerdlow, p. 465.

④ Rosen, pp. 77—78; Swerdlow, p. 480.

……还有第二种不均等的运动，就是行星时而看上去像是逆行，又常常停着不动。这是运动造成的，但不是行星自身的运动，而是地球在大圈上位置的变动造成的。因为地球比[外]行星移动得快，指向苍穹的视线倒退了。……当视线以相同的速率但沿相反方向运动时，行星看上去就停住不动了，因为在这种情形中，相反的运动相互抵消了。

至于金星，和外行星一样，它的均轮以九个月为周期运行，而它的本轮也以相同的周期运动：^①

金星有时看起来也有逆行，特别是它最接近地球的时候，一如外行星那样，但是却是因为完全相反的理由。外行星逆行的发生是因为地球的运行比它们更快，但对金星说来，是因为地球比它慢；又因为外行星的天球包裹了大圈，而大圈却是包裹着金星[的天球]。地球无论如何不会运行到太阳和金星之间，金星也从不出现在和太阳相对的位置上，而仅仅在太阳两侧的一定的范围内运动。

水星，哥白尼要讨论的最后一颗行星，比较麻烦。哥白尼说，它离太阳太近，所以只有很少几天可以对它作观测。同金星的情形一样，它的均轮上带有两个本轮，大本轮的运行周期和均轮相同，小本轮为其一倍。但是这样的设计还是不能完全解释水星的运动，于是哥白尼又为已有的两个本轮再各加了两个，一共用了七个天球，使水星系统成为整个太阳系中最复杂的一个。不管怎么说，现在哥白尼可以志得意满地总结他的体系了，文字也相应地足够浪漫：^②

^① Rosen, p. 83; Swerdlow, p. 493.

^② Rosen, p. 90; Swerdlow, p. 510.

总的说来,水星靠七个圈运行,金星五个,地球三个,而月亮环绕地球,依赖四个圈运行,最后火星、木星以及土星各有五个。这样,总括起来,34个圈就足以表现诸天的整个结构和行星的整部倩歌曼舞了。^①

一切好像完全清晰了,至少哥白尼说是如此;但是这份通常被称作《提要》的文字,着实给历史学家出了一道难题。

第二节 日心思想的来源是一个正在研究的问题

令历史学家困惑不解的是,哥白尼在以后的文字以及《天体运行论》中,从来没有提到过他曾经撰写过《提要》;哥白尼理论最热烈的鼓吹者,后来在《运行论》的出版中起了关键作用的雷蒂库斯在撰写介绍日心说《初论》时,也没有提到“我的老师”曾有过这样一份重要的说帖。^②柯泽在1878年发现的,是一份从未付梓的抄本,大概曾在一个相当小的范围里流传过。^③上文提到的和后来陆续发现的两份,可以辨认出是来自于同一祖本,即第谷藏本。我们今天的研究者之所以有信心说这段文字是出于哥白尼之手,所依据的是第谷写在这个文件上的一段说明:

……哥白尼写的一小段文字,关于他提出的日心说。抄本。这是我的老朋友,出类拔萃的海奇西乌斯在拉提斯邦地方给我的。我于是又把这份文字的抄件转寄给了我的一些德国的数学家朋友。我记下

^① Zinner, *Entstehung und Ausbreitung der Copernicanischen Lehre*, Erlangen, 1943, p. 187, 指出,其实哥白尼没有把进动等“不规则运动”计入他的模型。如果必须考虑这些细节的话,34个圈是不够的,至少需要38个圈。

^② Joachim Rheticus to John Schoner, 这就是通常说的《初论》, *Narratio Prima*, 在 Edward Rosen, *op. cit.*, p. 107 及以后。

^③ Edward Rosen 说《提要》只是“很小心地在挚友中传阅过”,见 *DSB* 本传, p. 402, 恐怕是揣测之词。我们事实上无法确切知道《提要》当时共抄了几份,曾经分发给什么人。除了下文要讨论的第谷的一个抄本之外,没有旁证。

这些事，是希望那些拿到这份文稿的人知道它是从哪儿来的……^①

第谷说的海奇西乌斯^②是罗马皇帝鲁道夫二世的宫廷医生，同时又是波希米亚颇享盛名的天文学星象学家，1555年在布拉格查尔斯大学任数学教授，发表过对于1572年仙后座超新星的研究。他对天象和天文学很有兴趣而又住在当时的学术中心，和当时主要的天象研究者有密切的通信联系，而第谷作为欧洲最负盛名的天文学家，自然也是他的密友。据说后来第谷应聘到鲁道夫宫廷任职，也出于他的推荐。以海奇西乌斯的身居津要和神通广大，得到哥白尼的手稿应当是可以想象的，而他再把手稿转送给第谷，这一流传也似乎合乎情理。于是尽管这是一条史料多少是孤立的，第谷的这一说明大体为现今的研究者所采信。

至于这份手稿的撰写时间的界定，则更费周详。^③现在唯一可资利用的史料是1900年代波兰学者在科拉科夫大学的马修教授的笔记本里发现的一则记录。^④马氏讲授医学，但对收集手稿情有独钟，藏书中有

^① 这段广为引用的说明见于 *Tychonis Brahe Dani opera omnia*, Dreyer ed., Copenhagen, 1913—1929, 见 Rosen, *op. cit.*, p. 6, n. 4, Swerdlow 则是直接使用了 J. L. E. Dreyer, *Tycho Brahe*, Edinburgh, 1890, repr. New York, 1963, p. 83 上的说明。

^② Thaddaeus Hagecius (又作 Hajek) 的材料主要见于捷克文。这儿的介绍依维基百科，限于学力，无法核对原文。

^③ Swerdlow 有长篇讨论，排除了四五个可能的线索以后，认为定出《提要》写作的时间上限是不可能的，“因为唯一可以确定的是没有任何确定的史料，”见前引 431 页。Jan Adamczewski, *Nicolaus Copernicus and his Epoch*, Philadelphia: Copernicus Society of America, 1973, p. 114, 根据 Marian Biskup, *Regesta Copernicana*, Wroclaw: Ossolineum, 1973, nr. 55 所引用的维也纳国家图书馆档案 10530, c. 34a—43a, 说哥白尼在 1507 年就已完成了《提要》，但 Swerdlow 仍旧坚持他以前的说法，并认为：“1507 年的说法的依据是对一条给哥白尼的献词的非常含糊的解释，可能是太早了。我的猜想是，至早不会早于 1510 年哥白尼离开他舅舅，放弃教会的种种优渥待遇而移居 Frauenburg, 更加投入天文学研究之时。”(N. Swerdlow 和本书作者的私人通信，2012 年 2 月 23 日。)我们知道哥白尼在天文学方面的研究很早就为人所知，1508 年他居住的镇上的书记员 Laurence Corvinus 为他所翻译的希腊书信所写的前言就提到哥白尼“忠心耿耿地陪伴舅舅，还对日月星辰的运动作了研究和描述，并在一个坚实的基础上解释了这些现象的道理。”(*op. cit.*, nr. 57)但是这不足以证明《提要》已经写成。

^④ Ludwik Atoni Birkenmajer, *Mikolaj Kopernik*, Cracow, 1900, p. 31. Birkenmajer 的工作由他的儿子在第七届国际科学史年会上提出，见 *Le premier systeme heliocentrique imagine par Nicolas Copernic*, *La Pologne*, Varsovie, 1933, v. 1, pp. 95—96, 再由 Edward Rosen 介绍到英语世界来，见 *Three Treatises*, p. 66n.

“很多天文学的著作，……”^①曾经捐出过一本珍贵的由阿拉伯学者注释的欧几里得《原理》给该校天文学教授做研究，而后者又把这份手稿送给了图书馆^②。在他的图书收支流水账中提到，1514年5月1日他收到了“一份六页的手稿，谈论有一个作者假定地球运动而太阳静止不动……”^③

凭这么一条含糊的史料，史学界把《提要》写作的下限定在1514年春。我们怎么知道这儿说的就是哥白尼的《提要》呢？走到这一步，最讲究研究严谨的斯瓦德娄也只好说，“很难相信，这儿谈的不是《提要》而是另外一本书。因为如果是这样的话，我们就必须面对一种迥然不同的局面，即另外有一个人描述了日心说的理论，并在1514年的时候把它送到了科拉科夫”。“这实在是很说不通。”斯瓦德娄接着说，“我们几乎可以肯定上面说的那一条纪录指的事实上就是《提要》……”但是，这一条纪录上说的“六页”，原文是 folio，是“六页”还是“六迭”呢？糟糕的是，后来的《运行论》恰恰也是六大篇，哥白尼本人在《提要》中还明白提到说他有一本“大书”，后来在他晚年他甚至还说过他把《运行论》搁置了“约略三十年”^④。从1543年

^① Robert Westman, *The Copernican Question: Prognostication, Skepticism, and Celestial Order*, Berkeley: University of California Press, 2011, p. 532, n. 161, 引 E. Zinner, *Entstehung und Ausbreitung der copernicanischen Lehre*, 2nd ed., Munich: C. H. Beck, 1988, p. 186, 并认为 Zinner 用的是 Ludwik Birkenmajer 的意见, 见 *Stromata Copernicana*, Krokow: Polska Akademia Umiejetnosci, 1924, p. 199 及以后。留意当时学者普遍认为疾病和天象时序之间有重要的关系, 此公同时搜集这两方面的文字就很可以理解了。

^② Anaritius, *The Commentary of Al-Nayrizi on Bk 1 of Euclid's Elements of geometry with an introduction of the transmission of Euclid's Elements in the Middle Ages*, trans. ed. Anthony Lo Bello, Danvers, MA: Brill Academic Publishers, 2003, p. 48.

^③ *Regesta*, *Op. cit.*, nr. 91, 同见于 Rosen, *op. cit.*, p. 67n, Swerdlow, *op. cit.*, p. 431, 但引文稍异: Biskup 将 sexternus 译作“笔记本”而其他几位作者都作“六页”。

^④ “给保罗三世教皇陛下的献词”, 在《运行论》叶译本正文前 20 页, “我把此书埋藏在我的论文之中, 并且埋藏了不是九年, 而是在第四个九年之后……”姚守国译本, 置于正文前, 无页次, “我把此书埋藏在我的论文之中长达 36 年之后……”都作“之后”云云。案原文似指以九年为一期的时段, 典出 Horace 的《诗歌的技巧》, Edward Rosen 笺注甚明, 是指在第四个九年的这个时段之中, 即 27 年至 36 年之间, 原为约数, 似不可坐实 36 年。参见 Rosen 的注释, 叶译本, 第 256 页。

倒推三十年，也就大概在1514年左右，这本“大书”是不是就是《运行论》的初稿呢？

哥白尼最流行的英语传记的作者考埃斯特勒注意到，^①哥白尼似乎喜欢给历史学家出难题。他在波兰北部波罗的海南岸的弗隆堡度过下半生的三十五年，他住所的墙外不远有一个人们通常叫做 Frisches Haff 的淡水湖。在《运行论》里，哥白尼多次把这一水域叫做维斯图拉河，这是流经他出生地的一条河，距我们谈论的小湖有二三十公里。问题是，考埃斯特勒问道，当他从他住所的小窗注视小湖的水面时，他真的以为是维斯图拉河吗？抑或是他随口这么称呼的呢？

如果把“1514年”当作一种工作假说，那么在此之前的十几年、日心学说发展的关键年代里，哥白尼是怎样一步一步地完成这一突破的呢？

哥白尼^②1473年生于土伦，童年失怙，由担任主教的舅舅卢卡斯瓦臣罗德^③抚养。卢卡斯很早就利用自己的势力为哥白尼谋得了一个

^① Author Koestler, *The Sleepwalkers*, New York: The MacMillan Co., 1959, pp.119—121. Koestler 文笔绚丽可读，但行文稍嫌偏颇。不知出于什么原因，他对哥白尼较负面，语多贬损，说哥氏“衰弱阴沉”，论哥氏一章的标题也作“畏葸的教士”，为时人诟病。

^② 哥白尼的传记多得不胜枚举，最早的也应该是最权威的是 Rheticus 写的，已佚，讨论见 Erna Hilfstein, *Studia Copernicana*, 21 (1980) 7。其次是1588年意大利人 Bernardino Baldi 写的，英译见上引作者，“Bernardino Baldi and his Two Biographies of Copernicus,” *The Polish Review*, 24 (1979) 67—80。稍后是 Pierre Gassendi 写的，*The Life of Copernicus*，这本书因为有 Olivier Thill 的笺注本，Fairfax: Xulon, 2002，颇为好用。最详细的当称 Leopold Prowe, *Nicolaus Copernicus*, 1883—1884。一百年后 Rosen 为 DSB 撰写哥白尼条目时称这一工作“至今仍未被超越”(v.3, p.411)。Leopold Prowe, 1821—1887，是哥白尼出生地 Torun 城里的一个体育老师，一生追寻哥白尼的事迹，遍查与哥白尼有关的档案书信，遍访哥白尼曾驻留过的城市，上至瑞典的 Upsala，下至意大利的 Pudua，史料既丰，遂悉心著作，成两卷三册，几千五百页，竟成传世，但似乎没有被译成原文德语以外的任何文字。我们的这本小册子既以日心学说为中心，自然不宜枝蔓，哥白尼生平仅限于和主题密切相关者。稍微详细的描述可参见，例如，N. Swerdlow and O. Neugebauer, *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, 1984，的前言，以及 A. Armitage 略嫌老旧的 *Copernicus, the Founder of Modern Astronomy*, London: Allen & Unwin, 1938，和同一作者的 *Sun, Stand Thou Still, the Life and Work of Copernicus, the Astronomer*, New York: H. Schuman, 1947。

^③ Lucas 的姓德语写作 Watzenrode，有些文献也写作 Watzelrode，盖从波兰文原先的写法。Lucas 在1489—1512年间任 Warmia 地方的 Prince-Bishop，生平散见于哥白尼的传记中，参见，例如上引 Prowe 的标准传记。

教士职位，由此哥白尼一辈子衣食无忧；1491年，出于舅舅的安排，哥白尼进入科拉科夫大学，四年以后又游学意大利，入波罗纳大学学习法律，而这正是卢卡斯舅舅当年走过的路。

科拉科夫曾是波兰王国的首都，商业学术均称繁荣。1364年卡西米尔三世在此创办大学，^①紧随布拉格的查尔斯大学之后，领波兰学术一代风骚。1400年雅吉埃洛王朝的国王和王后恩准从当地盐矿的专营收入中提取特殊款项，^②按一年四季拨发，在大学设立教职，计文科一席，医学两席，教会法三席，罗马法五席。王后还把她的首饰珠宝悉数捐给学校，使得学校能够接收所有203名学生。1473年，波兰最早的印本书就是在这里完成。哥白尼1491年进校时，阿伯特·布鲁泽夫斯基正在讲授天文学和亚里士多德的哲学，情景大概是这样的：^③

教授站在高起的台阶上讲课，学生环绕四周坐在长板凳上；在板凳不够的时候，他们就坐在铺着稻草的地板上。下午，一位有硕士衔的教师指导学生复习授课内容，参加公开的辩论也是授课内容的一部分。

^① Paul W. Knoll, "Casimir the Great and the University of Cracow", *Jahrbucher fur Geschichte Osteuropas*, 16(1968) 232—249. 在创立宣言上，国王决心把这所大学办成“学术的明珠”，“让甦人心脾的泉水喷涌，让所有饥渴的人畅饮学术的甘露……”见 Jan Adamczewski, *Nicolaus Copernicus and his Epoch*, Philadelphia: Copernicus Society of America, 1972, p.67. 对该大学的更详细的介绍见 Paul W. Knoll, "The Arts Faculty at the University of Cracow at the End of the Fifteenth Century," in *The Copernican Achievement*, Robert Westman ed., Berkeley: University of California Press, 1975, pp.137—156.

^② Davies, Norman, *God's Playground; A History of Poland*, v. I: *the Origins to 1795*, New York: Columbia University Press, 1982, p.98. 当时当政的是 Wladyslaw 和王后 Wielizka.

^③ Jan Adamczewski, *op. cit.*, p.77. 这当然是想象之词，但是应当和真实情形相去不远。据哥白尼最早的传记作者之一 Szymon Starowolski(1588—1656)说，哥白尼确实和 Jacob Cobilinius 一起听过 Albert Brudzewski(又作 Albert of Brudzewo 或 Adalbertus of Brudzewo)的课，“学习数学”。见氏著《哥白尼传》，1627年版，重印在 *Studia Copernicana*, 21, Wroclaw: The Polish Academy of Science Press, 1980, p.14, 但是 Erna Hilstein 说档案里并没有 Cobilinius”，见同书 p.38.

据说^①布鲁泽夫斯基对地心说持怀疑态度，并考虑过椭圆形的月球轨道，还注意到月球永远只有一面向着地球，而且对于拉哲蒙坦那的天文表更是达到了“逐句逐段”的熟悉。早在1482年，他就在意大利米兰出版了对波尔巴赫的行星理论的评注，其中提到“可以通过圆周运动合成直线运动”。^②在谈到难以解释的月亮运动时，他又说：^③

这就是为什么要考虑一个本轮，这个本轮自身反过来又搭载推动月亮运动的[另一个]本轮，由此得到符合月亮视运动的结果。……有人想过，月亮有两个本轮，一个大的，一个小的，小的运载月亮。……

双本轮的模型是哥白尼与托勒密相比最突出的不同之一，这不由让人猜想，哥白尼是不是就是从布鲁泽夫斯基那儿得到这样构想的。

布鲁泽夫斯基之前，1430年前后，“从捷克来的”山迪弗吉斯也曾在该校任教。在一份手稿里，他谈到过利用双本轮模型来处理月亮的运动。^④因为两人前后在同一学校同一专业教书，研究者认为，说布鲁泽夫斯基的想法或许是从山迪弗吉斯来的，应当不会太错。但是山氏在科拉科夫一共只在1429—1431年上过两年的天文学课，而当时他还只是个刚刚从学校毕业的二十来岁的青年教师，颇为复杂的双本轮模型似乎不太可能是他的创作，那么山迪弗吉斯又是从哪儿得到这一技术的

① Albert Brudzewski 是哥白尼的老师的说法最初由 Ludwik A. Birkenmajer 提出，见 *Stromata Copericana*, Cracow: Nakladem Ploskiej Akademji Umiejetnsci, 1924, p.95, 原著是波兰文。笔者限于学力，无法利用原文。下面的讨论参见 Grazyna Rosinska, “Nasir al-Din al-Tusi and Ibn al-Shatir in Cracow?” *Isis*, 65 (1974) 239—243。另有简单的介绍见 *15th-Century Polish People*, General Books, 2010。

② *Commentum planetarium in theoricas Georgii Purbachii—A Commentary on Georg von Peurbach's New Theories of the Planets*, 1482, Milan, by Jan Otto de Kraceusae, 引文出自 L. A. Birkenmajer 的编注本, Cracow, 1900, pp.119—120。

③ Jan Adamczewski, *op. cit.*, pp.67—68。

④ MS Jagiellonian Library, BJ 1929, f 99r & v, Gratyna Gosinska, *op. cit.*, 241. 稍晚详细一些的介绍见 Andre Goddu, *Copernicus and Aristotelian Tradition*, Leiden: Koninklijke Brill, 2010, pp.144—145。

呢？这个问题在很长时间里一直困扰着哥白尼研究者，迫使他们对哥白尼早年的学术环境作更细致的考察。

在哥白尼身后留下来的书籍中，^①有些据信是在科拉科夫时期买的。一是1492年威尼斯版的《阿尔封诺星表》，一是1490年奥古斯版的拉哲蒙坦那的星表(*Tabulae directionum*)。后者主要讨论恒星，而前一本则更多关于行星的资料。除此以外还有1485年威尼斯版欧几里得《原理》的坎帕纳斯注释本和阿拉伯学者拉贾的《天文学指南》的拉丁文译本，这是当时关于阿拉伯占星术的最常见的书。

在哥白尼求学波兰的时代，托勒密的《至大论》自然是最重要的天文学经典。最初流行的是崔比宗德的乔治的拉丁文译本。一般认为，这个译本不仅不准确，而且有多处舛误。1460年教皇的特使，也是当时著名的人文学者巴萨瑞昂访问维也纳，提到乔治的译本，颇作批评，并请当时最负盛名的托勒密研究者波尔巴赫去维也纳重译。波尔巴赫即以此为契机，会同阿拉伯学者巴特尼，夸拉和扎卡尔等人的研究，^②对托勒密天文学作全面介绍和评述，成前六篇，遽然去世，^③临终前嘱其门徒拉哲蒙坦那即 Johannes Müller von Königsberg，继续完成这一事业。拉哲蒙坦那不辱师命，结合自己的研究，最终在1463年撰写完成，是为《托勒密天文学大全提要》。拉哲蒙坦那的另一本书，《论三角形》，则介绍了阿拉伯数学家阿弗拉的工作，也是哥白尼求学时代学生们必读的大书。^④哥白尼必定很仔细地研究过这本书，事实上，《提要》中关于恒星年和回归年的长度的讨论完全依赖于本书，后来《运行论》中还有大段的文字几乎就是本书对应部分的改写。^⑤

和波尔巴赫和拉哲蒙坦那的理论书籍不同，所谓的《阿尔封诺星

^① Czartoryski, "The Library of Copernicus," *Studia Copernicana*, 16 (1978) 355—396.

^② Swerdlow, *op. cit.*, p. 425.

^③ Gassandi 说他是被 George of Trebizond 的亲戚派人暗杀的，但于史料无征。

^④ Victor J. Katz, ed., *The Mathematics of Egypt, Mesopotamia, China, India, and Islam: A Sourcebook*, Princeton University Press, 2007, p. 4.

^⑤ Swerdlow, *op. cit.*, p. 426.

表》是由西班牙王阿尔封诺十世主持，利用已有的天文资料和阿拉伯天文学家后来的观测数据，汇集当时犹太和阿拉伯学者编撰的星表，提供太阳，月亮和行星自1252年1月1日起相对于恒星天空背景的位置。^①在瑞典乌普萨拉大学图书馆所藏的、哥白尼一直赖以观测星空的这个星表的最后，还有几页据信是哥白尼手写的草稿，记录了一系列数据，研究表明这是哥氏从波尔巴赫的星表 *Tabulae eclipsium* 1514年维也纳印本上抄下来的。研究者^②最初对哥白尼为什么要抄一个并不难得的印本上的数据感到困惑，但这些后来被称为U-手稿的残页除了确实说明哥氏当时已经很深入地了解了相关的理论和计算方法，还提示了对日后日心学说的最后形成过程的猜测，当然，这是后话。

1495或1496年，哥白尼结束了在科拉科夫的学习，在舅舅的安排下，按当时的习惯，去意大利游学。他先去波罗纳，这是当年舅舅毕业的学校，然后又去了帕多瓦和法拉拉，不知道是刻意的模仿还是巧合，这游学的路线和半个世纪前波尔巴赫走过的完全一样。

拥有“大学之母”尊号的波罗纳大学自称创办于1088年，至少她的校徽上是这么写的。哥白尼在这儿的的专业是民法和教会法，但是对日心说的发展说来，可能最值得一提的是他在这儿见着了多米尼柯马力亚。^③马力亚是该大学的天文学教授，在占星术方面也颇为人知，据说还是达芬奇的朋友。尽管他自己说他曾受学于拉哲蒙坦那，但是如果他不是碰巧收了哥白尼做学生，恐怕在历史上也不会留下什么印记。

^① E. Rosen, with Erna Hilfstein, "The Alfonsine Table and Copernicus," *Manuscripta*, 20(1976) 163—174.

^② 这些手稿以其藏于Uppsala大学图书馆而被Swerdlow称作U. Swerdlow曾经很努力地探寻它们和哥白尼日心说形成的关系(*op. cit.*, pp. 426—429)，但似乎未能尽如所愿。因为大部分数据据信是从Peuerbach的1514年刊本来的，这就和上述的《简述》完成于1514年以前的结论不合；而这些数据到底提示了什么观念，似乎也很难一语道尽。一个稍微详细一些的介绍见Jerzy Dobrzycki, "The Uppsala Notes," *Studia Copernicana*, 13(1975) 161—167，并见下一节的讨论。

^③ Dominico Maria di Novara的主要研究多为意大利文，本书作者限于学力无法利用。Novara地处今意大利西北，米兰之西，当是他的出生之地或是祖籍所在。英文资料见DSB本传，v.10, pp. 154—155。他自己说拥有两个博士学位，在当时应当颇为知名，开普勒在著作中至少有十三处引用过他。

关于哥白尼早年生活和学习的少数可征的史实是，按哥氏的学生雷蒂库斯的报道，哥白尼曾和他一起做过天文观测：^①

我的老师在波罗纳做过最仔细的观测，他那时不仅是个学生而且是博学的多米尼柯马力亚观测的助手和见证人。1500年前后，在他二十七岁的时候，还在罗马给一大批学生和这些领域的硕学之士讲解过数学，……

据雷蒂库斯描述，哥白尼当时选用室女座角宿 α 作为参照星，比较它的位置和历史上的记录的差，以求得这一千多年来进动的数值。哥白尼后来引述过的最早的观察日期是1497年3月9日，这应当是在多米尼柯马力亚门下的时候，但是观察内容并非如雷蒂库斯所描述的室女座而是金牛座的一次掩星。像这样的引述在《运行论》里共有27处，时间跨度长达32年。哥白尼一生记录下的观测总数大概在60—70次之谱，但观测精度很低，以至于后来他的传记作者用不甚恭敬的态度写到，“甚至他用来标记其他观测对象的角宿的位置也有40分的误差，比月面的宽度还要大。”^②

如果以观测来衡量，哥白尼对天文学的贡献的确不大。但是，他的贡献恰恰不是以观测来衡量的。哥白尼从本质上说是一个理论家，他所关心的，是亚里士多德的完美要求如何能在天体运行的理论中得到完美的贯彻。现有的史料尚不足以判定他是什么时候注意到托勒密和亚里士多德的这种冲突的，但我们至少可以说在他的大学时代，哥白尼就表现出了对天文学的强烈的兴趣，并且已经有了相当的天文学训练。他必定很快就注意到，按托勒密的理论，连回归年长度都不能确定和测出一个确定的值。

^① Rheticus, *Narratio Prima*, in *Three Copernican Treatises*, *op. cit.*, p.111.

^② A. Koestler, *op. cit.*, p.124.

很多人猜想，哥白尼对天文学的最初的革命性思考应当在此前后。他所学习的天文学，既为他日后的研究提供了可能，又向他揭示了对托勒密体系作重大修改的必要。另外一个显而易见的问题，正如哥白尼后来向教皇解释的，是按托勒密的做法，“对五个行星，他们〔案指当时的天文学家〕在测定其运动时使用的不是同样的原理、假设”，而必须选用不同的计算方案：^①

他们的做法正像一位画家，从不同的地方临摹手、脚、头和人体的其他部位，尽管都可能画得非常好，但不能代表一个人体。这是因为这些片断彼此完全不协调，把它们拼在一起就成为一个怪物，而不是一个人。因此我们发现，那些人采用偏心轮论证的过程，或者叫做“方法”，要不是遗漏了某些重要的东西，就是塞进了一些外来的，毫不相干的东西。如果他们遵循正确的原则，这种情况就不会出现。

大概在 1501 年，哥白尼转入帕多瓦大学。没有像卢卡斯舅舅那样在波罗纳取得学位，似乎让人小感意外，因为这毕竟是哥白尼第一次没有亦步亦趋地跟着舅舅走。或以为哥氏去帕多瓦是为了“更大的学术自由”，以现有的史料看，则似乎涉嫌推演过度了。^②哥白尼在帕多瓦耽了一年多或者最多两年时间，又转去法拉拉大学，1503 年五月，在该校取得教会法的学位。就好像我们一点儿也不知道他为什么离开波罗纳一样，我们也一点儿也不知道他是怎么去的帕多瓦，也不知道他为什么又转去法拉拉，——尽管有人说是因为法拉拉的学费比较便宜，但哥白尼当时有卢卡斯舅舅在照料一切，他对钱似乎不必如此在意。总

^① “给保罗三世教皇陛下的献词”，叶译本，正文前 21 页。

^② Padua 大学是 1222 年“为了更大的学术自由”从 Bologna 分离出来的，以后又分为法学院和哲学院，后者讲授天文学，辩论术，哲学，医学，语文和修辞，而哥白尼去的是哪个学院于史无征。其校徽上确实标榜“大学自由人人分享，”但这些事毕竟与哥氏转去该校相隔几三百年，而且当时 25 岁的哥白尼是否感受到什么学术上的压迫，也很难说。事实上，他的日心学说的观念当时是否已经形成，还很可疑，遑论学术自由。

之，如果把“1514年”作为工作假说的话，那么对日心学说发展的最关键的几年，科学史家实在是一无所知，这就很容易让人相信，日心说是哥白尼在不依赖任何人、不依赖任何先行理论的基础上创造出来的，因此可以把这一发展看成是真正的突发事件，可以按照字面意义上说，这是一场突如其来的“革命”。

这种看法从20世纪50年代末起受到了强有力的质疑。随着史学研究领域的渐渐拓宽，13、14世纪的阿拉伯天文学的工作渐渐为哥白尼的研究者所知晓。比较这两个方向上的成果于是成为可能。研究者几乎立即吃惊地发现，哥白尼在《提要》乃至后来的《运行论》中和所谓的玛拉干天文学家在讨论太阳的周年运动和月亮的视运动时，“都放弃了托勒密的偏心均轮而采用双本轮系统”，^①特别是和十三世纪的阿拉伯天文学家伊本萨蒂尔的工作，甚至是技术细节，都非常相似：^②

在《运行论》中，为讨论进动的不均衡性和黄道面倾斜的变动，他[哥白尼]采用了带有倾轴的图西解法，《提要》和《运行论》两书在谈到行星纬度理论时，还用相同的方法处理行星轨道面的摆动。在《提要》中带有平行轴的技术被用到了水星半径的变动中……《提要》中行星的经度模型则完全建立在伊本萨蒂尔模型之上，——虽说对于内行星的处置是不正确的，但《运行论》对外行星的做法和乌尔迪和西拉兹的模型一模一样；而对内行星来说，较小的本轮则由一个等效的偏心转动所替换，这就正确地采纳了伊本萨蒂尔的模型。《提要》的月球理论，同样也是《运行论》的，也和伊本萨蒂尔的一模一样。

哥白尼没有告诉我们他是怎么走到这一步的，——在哥白尼的时

^① V. Roberts, *Isis*, 48 (1957) 428. Roberts 说哥白尼和 al-Shatir 的相似是 O. Neugebauer 告诉他的。

^② N. Swerdlow and O. Neugebauer, *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, *op. cit.*, p. 47.

代，引用别的学者的成果并不需要作特别的说明，除非是为了加强论述的力量而强调被引证者的权威。事实上，一直到现在，对哥白尼和玛拉干学派的连接，仍旧晦暗不明。最初把学术界注意力引向这一联系的美籍学者维克多罗伯兹曾半开玩笑地用一句阿拉伯文总结他的讨论：*Allahua' lim*，“天晓得。”^①五十年过去了，若以史料论，我们现在的情形，不见得比他说的好了多少。但是，这么高的一致性显然不可能是偶然的巧合。对于有人仍然因为没有直接的史料支持而持怀疑态度，阿拉伯天文学的主要研究者之一，哥伦比亚大学的萨里巴提出了强有力的反诘：^②

我想说的只是要唤起注意，哥白尼用了和伊本萨蒂尔一模一样的数学模型来处理月球的运动，用了和乌尔迪相同的技术来说明外行星的运动，用了和图西相同的方法来造出直线运动，同样如哈特纳早在1973年就注意到的那样，他在讨论图西连环时连[示意图上所]用的字母都一样，而在讨论水星运动时也和伊本萨蒂尔一样采用了图西连环。把所有这些相同相类似之处放在一起考察，我认为，在两个相邻的文化同时处理相同的问题情形中，一定要说这么多相似之处，在这么高的技术层面上，都是同时独立的发明，或者是偶然的巧合，那就太牵强附会了。

我们现在至少可以说，玛拉干学派的工作，特别是消除偏心匀速点、把地球重新置于天体运动的参照点的努力，客观上为哥白尼日心说的创立奠定了基础。哥白尼接下来所做的，就是把太阳和地球在类似的模型中互换了位置。由此，研究者一般不再把哥白尼日心说的提出看作是一种没有前导事件的突如其来的革命，而转而倾向于相信哥白尼

① *Isis*, 48(1957) 432.

② G. Saliba, *American Scientist*, 90(2002) 396.

自己的理论正是在玛拉干天文学的基础上发展起来的。或者说，对玛拉干的研究在更大的时间跨度上把哥白尼织入了科学发展的前后相袭、持续不断的进程之中。

很多研究者认为，在帕多瓦大学的两年，哥白尼最有可能接触到了玛拉干学派的工作：^①

也许就是在这时候他听说了玛拉干天文学家的行星理论，而正是这一理论后来为他自己的理论的一大部分提供了基础。无论从哪个角度看都有证据表明，15、16世纪之交，玛拉干理论在意大利，尤其是在帕多瓦，已经广为学者知晓。如果哥白尼确实是在那儿听说了这一理论，那该是他在意大利的游学逗留对他后来的工作的最重要的贡献。

问题是，哥白尼是怎么得到玛拉干天文学家的工作的呢？罗森^②考察了哥白尼唯一直接征引过的阿·比特鲁吉情形，认为是通过拉哲蒙坦那的《托勒密天文学大全提要》做到的。没有证据表明哥白尼能够阅读阿拉伯文，但是他确实能阅读希腊文。1503年完成学业以后，哥白尼回到卢卡斯舅舅身边，担任他的私人医生和助手。1509年前不久，哥白尼翻译并且出版了西门卡塔的《尺牍》献给舅舅，^③而这本书的希腊文本1499年才刚刚出版。没有人知道哥白尼为什么单单挑选了这位不太著名的拜占庭历史学家的这一篇不太著名的作品，也许因为他个人的口味，也许因为卢卡斯舅舅特别喜欢西门卡塔。不过不管怎么

① N. Swerdlow, *Mathematical Astronomy*, *op. cit.*, p.6.

② E. Rosen, "Copernicus and Al-Biturji," *Centaurus*, 7(1961) 152—156.事实上Ludwik Birkenmajer在1900年已有这一结论，但氏著《哥白尼传》是波兰文，所以不为西洋学界所知。

③ *Moral, Pastoral, and Amatory Epistles of Theophylactus Simocatta*, Aldus in 1499, 原文收于Prowe前引传记, v.2, pp.45—137。他的历史著作有Michael and Mary Whitby的英译, *The History of Theophylact Simocatta: An English Translation with Introduction*, Oxford University Press, 1986。原始记录见Biskup, *Regesta Copernicana*, *op. cit.*, nr.60, 时间定为1509年下半年。

样，这至少让后来的研究者确定了一件事，那就是哥白尼确实能够在相当的程度上使用希腊文；^①而当时玛拉干天文学家的著作的希腊文译本，在意大利随处可得。这就使得大部分研究者倾向于假定哥白尼是在帕多瓦通过某个谈论伊本萨蒂尔工作的希腊文本了解到阿拉伯人的工作的。斯瓦德娄甚至说，“因此，问题不是哥白尼是否了解玛拉干理论，而是他在什么时候，什么地方，以及以什么形式了解这些工作的。”^②

1510年，和舅舅一起在海尔斯堡住了七年之后，哥白尼移居弗隆堡。这有点儿让人奇怪：哥氏兄弟一直都在舅舅的呵护照顾之下，为什么突然离开了呢？这就引起了遐想，^③哥白尼是不是已经完全醉心于日心学说，但又明白地看到了他自己所笃信的新说必为他那个个性强悍固执的舅舅所不容，因此明智地退到“地球上最遥远的一隅”^④去了呢？如果确实如此，那么《提要》这份科学史上头等重要的说帖大概就是在这时候，即1510年前后写成的。1512年，卢卡斯舅舅去参加波兰新国王加冕典礼，在回家的路上突然去世。哥白尼突然失去了一种长期以来的依靠，但同时也摆脱了长期以来的约束。他可以自行其是了。

可是他没有做什么特别惊人的事。至少在这几年他没有。

1514年，他应邀去罗马参加了第五次拉特朗宫会议。这是教皇列奥十世召集的最高级别的会议，以其辉煌的会址拉特朗宫命名。会上

① 另一个说明哥白尼的希腊文水准的事实是一则1512年2月12日的档案记录，说哥白尼写了希腊-拉丁文的纪念John Dantiscus Flachsfinder的小诗献给波兰国王和王后。见Marian Biskup, *Regesta*, *op. cit.*, nr.71。

② Swerdlow, *op. cit.*, p.47.

③ 下面的猜想来自E. Rosen, *Three Copernican Treatises*, 3rd ed., pp. 334—345。Swerdlow很赞成，称之为“对哥白尼生活和工作的重要的深刻的见解”，但是波兰的研究者似乎持一种比较谨慎的态度，认为“没有文字史料证实这一点。Lucas舅舅去世时哥白尼不在场很可能完全是偶然的……”并认为哥白尼一直留在Lidzbark，即Lucas主教的驻地，直到1512年舅舅去世，见Jan Adamczewski, *Nicolaus Copernicus and his Epoch*, Philadelphia: Copernicus Society of America, 1972, p. 103和p. 119。前引Biskup, *Regesta*, nr.70，也提到1512年1月19日，也就是舅舅去世前不久接见Gdansk特使时，哥白尼还代表舅舅在城堡门前迎候客人，在会谈时也在座。

④ 哥白尼给教皇保罗三世的献辞，叶译本，正文前22页。

主教们讨论了教会的财务，讨论了土耳其的回教徒，讨论了灵魂不朽，讨论了对出版业的管理。哥白尼应邀出席，据说是为了修订历法，^①可见他作为天文学家在当时就已经是名震遐迩了。但是从会议进程和讨论议题的完整的记录看，似乎并没有什么人把日心学说之类的事当作重点谈论过。回来以后，1516年，哥白尼和他的挚友，邻教区的主教梯埃德曼·盖尔斯一起，曾给波兰国王西格蒙德一世写信，要求他保护遭受条顿骑士团威胁的普鲁士。他关于货币的论文也同样是在这段时间里完成的。至于日心学说，可没有提起。在科拉科夫求学的时候，他有可能已经听说了玛拉干学派；在意大利，他应该听说过伊本萨蒂尔，不一定是他的名字，但肯定知道阿拉伯人企图消除偏心匀速点的努力。如果我们接受“1514年”的说法，那么到日心说真正被人了解，到1543年《天体运行论》刊行，有一个长达三十年的间隔。哥白尼为什么如同他自己说的，把他的伟大学说埋藏在“别的论文中”整整三十年，他在犹豫什么呢？

第三节 1510—1540：从《提要》到《运行论》的撰写

哥白尼从来没有细致地叙述过他走向日心说的过程。他后来提到的导向地动日心学说的主要的理由，^②回归年的长度和计算各个行星运动的方法的不一致，似乎都未见得必然地、排他性地指向日心说；哥白

^① 由哥白尼屡次提到的回归年的长度问题，Jerome R. Ravetz 颇倾向于“历法改革”对哥白尼学术的影响，见“The Origins of the Copernican Revolution,” *Scientific American*, 215-4 (1966) 88—98。

^② 这是哥白尼在给教皇的献词中列举的，见叶译本正文前21页。上引Jerome R. Ravetz，曾特别讨论过历法和年的长度对哥白尼革命的影响。对于各个行星计算时采用的 ad hoc 即特异性假说，自为现代科学方法论不容，但这种负面的批评也不正面地导致日心说的建立。换言之，这种批评是说原来的做法不好，但并没有指出哪一种做法好。

尼是以一系列“假说”开始他的论述的。但是现代研究者根据哥氏当时的学术环境和有限的史料，竟然复制出了他当年可能走过的路线，^①——未必必定如此，未必无可争辩，但近似仿佛，和真实情形应当不至于相差太远。

上一节提到的乌普萨拉大学图书馆收藏的所谓的 U-手稿，即几张哥白尼用过的草稿纸，从史料真伪上看，应该不会错，因为整个档案是 17 世纪瑞典人入侵波兰时从哥白尼的家乡作为战利品带回来的。手稿显示，一系列行星的本轮均轮半径的数值引起了哥白尼的注意。研究者认为，哥白尼可能是在利用这些数值试算一个行星模型，其中地球居中不动，太阳环绕地球运动，而五大行星的均轮再以太阳为中心运动。我们以后会看到，这一图景和半个世纪以后第谷的模型非常相似。它的优点很明显：这种日心、地不动的模型，保留了日心模型的主要部分，理顺了行星运动的描述，又不会带来因为引进地球运动所产生的种种困难。我们在下一节的讨论中会看到，哥白尼的日心说所遭遇的第一波诘难，主要的并不是针对“日心”的假设，而是针对“地动”的论说。从 U-手稿看，哥白尼有可能考虑过“日心地不动”的图景。但是，承载各个行星的天球的大小并不是理论可以任意选择的，而必须与由观测推演出来的具体的数值相一致。而根据由此计算出来的天球的大小，火星和太阳的天球就必须重叠，换言之，太阳必须每年两次穿越火星的天球。这是不可想象的。

按照亚里士多德学派和传统的说法，^②行星镶嵌在后来中世纪天象学家称为水晶球的中空的载体中，而这一球壳的厚度恰好容纳该行星的

^① Alfred Romer, “The Welcoming of Copernicus’s *De revolutionibus*: The *Commentariolus* and its Reception,” *Physics Perspect*, 1 (1999) 157—183.

^② 这一图景最初由 Plato 的学生，Cnidus 的 Eudoxus 和 Archytas 在公元前 4 世纪上半期提出，由亚里士多德的同时代人 Cyzicus 的 Callippus 进一步发展。但他们似乎认为这些天球是为了从几何学的角度理解天体运动的纯理论的假设。亚里士多德简单地描述过后者的理论，见 1073b17—1074a14，苗力田译，苗力田主编《全集》第 7 卷第 281—282 页。后来 Simplicius 又在他的注释中作了详细的发挥，把天球想象成为真实的存在，但拒绝回答运动的机制，“至于为什么必然是这样，就让给那些更有能力的人去讲吧”。

本轮，所以本轮可以在其中运行。这种球绝对透明所以不可能通过观察看见，但是又确乎是实体，自然如同我们日常看见的任何东西一样，绝不可能相互重叠，占据同一空间。对此哥白尼“坚信不疑”。^①这倒不是哥白尼见解独到所以如此坚持，也不是他对于亚里士多德情有独钟所以不愿放弃。当时的情形是，除了这一天球模型外，没有其他替代的，或者与之并存的、或者与之竞争的模型可以为神经正常的人所想象。这一图景是如此清晰，人人知晓，以至于在哥白尼时代以前并没有人认为有必要加以说明或强调，而天文学家的关注点也常在天球的大小尺度而不是它们真实的物理的存在。一直到16世纪末，天球概念遭受观测的严重挑战时，才有人注意到哥白尼“认为行星和其他天体一样，由它们所依附的天球带动”。^②稍后开普勒更指出，哥白尼“无法看出这种[类似第谷的日心地不动的]图景，是因为他相信天球的实在性。”^③所以，要坚持地球居中，采用我们上面描述的日心地不动的方案，就会把用一层套一层的天球所描写的整个宇宙图景搅得一团糟。显然，真正迫使哥白尼考虑日心图景、采纳地动说的力量，还是天球作为实体的存在和与之相关的直径的数据不相洽合。我们说“迫使”意在强调：科学观念的重大改变，绝非是诗意的想象，也不是天才的猜测，而是在基本原理和现象所提供的数据之间的艰苦的平衡。

从《提要》所说可知，大概至晚到1510年前后，日心图景对哥白尼说来已是了然于胸。哥白尼在《提要》中就提到他要写一本“大书”：^④

① Swerdlow, *op. cit.*, p. 466.

② Francesco Parrizi, *Nova de universis philosophia*, Venice, 1593, *op. cit.*, Rosen注《运行论》卷1注39，叶译本265页。

③ 这是Noel Swerdlow教授告诉我的，他认为开普勒所指的一定是太阳和火星天球相重叠的问题，“虽然没有多少人相信我，但我觉得这些人中似乎没有一个真正看懂了第谷和实体天球的理论”。（和本书作者的私人通信。）

④ *The Commentariolus*, E. Rosen, *op. cit.*, p. 59. 下文Rosen的推论见于所附注释。

然而，我反复考虑之后，决定为明白直捷计，从这一简单的叙述中省略了数学推演，并把这类推演留给我的一部更大的著作。

罗森立即断言，“由此我们可以推断，哥白尼在撰写《提要》时就已经在计划或已经在撰写《运行论》了。”大部分学者认为，未必可以骤然下此结论。要把一种想法，一个图景缜密地描述出来，完整地建立相关的理论并令人信服地表达出来，殊非易事。哥白尼本人从来没有明白说过《运行论》的写作起于何时，或是成于何时。^①早在一百多年前，波兰的哥白尼研究者路德维克·博肯马吉尔就拒绝了“大书”就是《运行论》的说法，^②斯瓦德姿在重译《提要》时也重申，“没有任何理由相信它[哥白尼所说的“大书”]是任何类似《运行论》的东西”。^③事实上，1524年6月3日哥白尼在后来被称为“论第八重天”的信里就明确提到，^④“因为我计划在别的地方阐述我的观点，我想在这儿作进一步的发挥实在是既无必要，也不合适”。这似乎说明晚至1524年，《运行论》或类似的“大书”还未付诸实施，还只是在“计划”之中。

16世纪30年代后期的两封信给了我们关于《运行论》写作时间的上限。1536年11月1日哥白尼的朋友，枢机尼古拉斯·施翁伯格在给哥白尼的信中说：^⑤

我还了解到，您对天文学的这个完整体系写了一篇解说，还计算了行星的运动并把它们载入表册，这会赢得所有人的最高的赞赏。

① Rosen 断然拒绝这种说法，见 *Sudhoffs Archiv*, 61 (1977) 144—155。

② L. A. Birkenmajer, *Mikolaj Kopernik*, Krakow, 1900, p. 74: “很清楚，《提要》在这儿提到的‘大书’不可能就是《运行论》。”

③ Swerdlow, *op. cit.*, p. 439.

④ “Copernicus’ letter to Bernard Wapowski,” Prowe, *op. cit.*, v. 2, 145—153, 英译见 Edward Rosen, *Three Copernican Treatises*, *op. cit.*, p. 106.

⑤ *Nicholas Copernicus Complete Works*, Warszawa: Polish Scientific Publishers, v. 2, p. xvii, 中译见叶译本正文前 19 页。但我们仍无法断定 Schonberg 所说的“解说”就是《运行论》。

稍后，哥白尼的学生雷蒂库斯在1539年9月23日给约翰舒纳信中则明白提到，哥白尼“著书六卷……包括整个天文学的内容……我已掌握了前三卷的内容，抓到了第四卷的主要观点，并开始捉摸其余的假设”。^①

纵观以上史料，我们大概可以推想，《运行论》成书的时间应该晚于1524年而早于1539年。如果从酝酿写作算起，那么更可以上推至1507年；如果计入书写成以后的修改，那么可以一直下推到1542年付印前夕。在这个意义上，波兰研究者厄纳·希尔夫斯坦^②说哥白尼的《运行论》酝酿了三十年，倒确实说出了科学史上这一重要的事件的曲折的历史。在写完《提要》到《运行论》的三十年里，哥白尼又干了什么呢？

哥白尼决不是我们或者会想象的每天能安安静静坐下来写作的学者。哥白尼的时代和他所处的地域纷争动乱频仍。1510年他离开舅舅去弗隆堡时，他是教会负责地方事务的重要官员，担负着处理当地世俗和对外交往的责任。就在舅舅去世的前夕，他曾应当地教区的要求传送波兰国王雅吉埃洛和条顿骑士团和解条约，^③1516年应教皇列奥十世之邀参与讨论历法的修改，^④1517年他草拟关于普鲁士货币改革的建议，^⑤1520年他和斯库尔特梯教士一起完成了包含一千多个地点的普鲁士西部边界的地图，^⑥1520—1521年间甚至参加了和条顿骑士团的战斗。

哥白尼还是一个颇受病家喜爱的医生。哥白尼的好友盖尔斯曾把他和传说中的爱斯克拉里皮亚斯相提并论。^⑦爱氏是希腊神话中的一个

① Rheticus' letter to Johannes Schoner, 1539年9月23日, Prowe, v.2, pp.295—377, Rosen, *op. cit.*, pp.109—110.

② Erna Hilfstein, *Studia Copernicana*, 21, p.19.

③ *Regesta Copernicana*, *op. cit.*, nr. 64a; 资料来源: ADW Olsztyn, sign. Y2, p.12.

④ Jan Adamczewski, *Nicolaus Copernicus and his Epoch*, Philadelphia: Copernicus Society of America, 1973, p.124. 也见于上引 *Regesta*, nr.103.

⑤ *Regesta*, nr.144: [Olsztyn, August 1517].

⑥ Jan Adamczewski, *op. cit.*, p.115.

⑦ P. Gassendi, *Copernicus*, *op. cit.*, p.63.

半人半神的角色，以神奇医术和济世之心著。1507年起，哥白尼任卢卡斯舅舅的私人医生，颇有声名；到16世纪30年代，他好像更是成了当地一名不可须臾或缺的名医。1531年年底，哥白尼所在教区的主教，卢卡斯舅舅的后任，毛瑞斯·弗伯尔主教病了，从12月26日到次年的1月22日，哥白尼一直奉命留在他的驻地。^①罗森还引述了哥白尼1532年2月为他的朋友弗恩德特的妹妹开的药方^②，用的药有红珊瑚，有印度产的小豆蔻肉桂，还有白糖。据现代研究者说，从盖仑的医学理论看，这个药方很有可取之处。^③1535年春天，弗伯尔主教的病情又见恶化，3月1日他急召哥白尼来他的驻地。他说他的“舌头突然不听使唤了”，不能说话了。他把症状详细地报告给哥白尼，寻求帮助。1536年的整个4月，哥白尼都留在他的身边，不能分身，甚至于不能离开几天去参加他亲戚的婚礼。哥白尼一直主持弗伯尔主教的治疗，直到1537年7月他去世。^④甚至在后来《运行论》撰写和出版的繁剧之中，1541年晚春，哥白尼还被叫到普鲁士公爵的驻地，耽搁多日，为公爵治病。^⑤公爵和哥白尼所在的教区的通信表明，至少到5月3日，公爵还要求哥白尼继续呆在他的驻地，尽管哥白尼不愿意在那儿停留这么多时间。同年6月，公爵再次为病人要求哥白尼提供咨询。

是够忙的。但是哥白尼并没有放下日心学说。在《运行论》中提到的哥白尼自己的观测，最早可以追溯到1512年。1518年12月12日对火星冲日的观测^⑥，1527年10月10日对土星冲日的观测，^⑦10月21

① M. Ferber 和教士 Albert Kijewski 的通信, *Regesta*, *op. cit.*, nrs. 320—326, 资料来源: ADW Olsztyn, v. A1, c. 316v, 同见于 Prowe, *op. cit.*, v. 1, 2, p. 297. 下面哥白尼看护 Ferber 的情形同见 *Regesta*, nrs. 351—353, 355。

② Edward Rosen, *Minor Works*, p. 302.

③ Olivier Thill 对 Gassendi 著哥白尼传的注释, *op. cit.*, p. 67.

④ *Regesta*, nrs. 320—326, 342, 351—353, 355, 364—368.

⑤ *Op. cit.*, nr. 447—450, 452, 456—457. 下文关于 Kunheim 的病见 nr. 461—464.

⑥ *Op. cit.*, nr. 173, 《运行论》第5卷第16章利用了这一观测结果, 见叶译本第195页。

⑦ *Op. cit.*, nrs. 279, 281.

日对土星远地点的观测，^①都有完整的记录。1526年11月28日、1529年2月1日对木星冲日的观测，^②1529年3月12日对金星的观测，^③都为《运行论》所直接采用。1530年10月6—7日他还观测了月全食。^④记录表明，^⑤1537年10月10日到11月7日，11月12日到次年2月1日，他又作了不下十次的观测。

1535年10月15日波兰国王西格蒙德一世的秘书瓦珀夫斯基给在维也纳的赫博斯坦男爵寄去了一份“历书”，并附上了哥白尼的“最权威的和最好的、关于行星运动的解说”。瓦珀夫斯基是哥白尼的老朋友，早在1524年，就曾为纽伦堡的约翰瓦纳的关于“第八重天”的论文征求过哥白尼的意见。^⑥哥白尼当时严厉地批评了约翰瓦纳的说法，并且显然得到了瓦珀夫斯基的赞同。在现存的希尔夫斯坦社交档案里，我们了解到瓦珀夫斯基称他给希尔夫斯坦“送上了学者们期待已久的东西”：^⑦

这是根据瓦米亚的教士哥白尼所做的新数值表作出的。哥白尼是一个成果辉煌的数学家，一直坚持认为为了证实行星的运动，必须引入地球的某种运动，而这种运动是无法感觉到的。因为我急着要离开弗隆堡，哥白尼没有能够把这份文字涉及的所有方面全都作透彻的解释。但是相关内容其实可以由任何人，甚至教育程度不高的人，记录清楚。我期望哥白尼的历书能广为流传，特别是在德国撰写

① University Library, Uppsala, sign 34:65, Prowe, v.1, 2, p.268.

② 11月28日的观测见 *Regesta*, nr.279, 2月1日的见 nr.292, 《运行论》第5卷第11章, 叶译本第189页。

③ 1529年3月12日的观测见《运行论》第5卷第23章, 叶译本第206页, 但仅见于早期版本。

④ *Regesta*, nr.303, 资料来源: Astronomical Observatory Library.

⑤ *Op. cit.*, nrs.375—380, nrs.382—386.

⑥ *Op. cit.*, nr.264, 信的日期是1524年6月3日。哥白尼对 Werner “第八重天” 的回答见 E. Rosen, *Three Copernican Treatises*, *op. cit.*, pp.91—106.

⑦ *Regesta*, nr.345, 资料来源: Herbersteini Collectio Diplomatica, Lat. 258, Budapest, xvi, pp.182—183。为了符合现代读者的阅读习惯, 下面的译文改动了原件的用第三人称的叙述方式, 直接使用了第一和第二人称。

天文历书的专家之中流传，以便他们能意识到他们自己的错误，写出更好的历书来。我希望……你在维也纳刊行这本历书，以使得欧洲的天文学家能发现他们的错误并更勤勉地做出对行星运动的更正确的研究。我请求你告诉我什么时候这本书可以交付出版，因为我本人和哥白尼，以及很多别的人，为了公众的利益，都希望如此。

瓦珀夫斯基没有说明这本“历书”的作者是谁，但是可以肯定的是，这位作者是利用了哥白尼的星表来推算天象和人事的。值得注意的是，瓦珀夫斯基留意的，是“地动”，而对“日心”并未特别强调。这是哥白尼学说的最初传播和接受过程的一个特别的地方。希尔夫斯坦的这一份档案表明，大概到1535年的晚些时候，《运行论》还没有成书，但哥白尼的观念却是已经很是为人知晓，并且不见得产生了常常被以后研究者所津津乐道的反动。

次年，1536年11月，上面曾提到过的，枢机尼古拉斯·施翁伯格的信^①再一次印证了这一情形。施翁伯格当时在罗马，他说他在“几年以前”就听说了哥白尼的“新的宇宙论”，并由此对哥白尼深感敬佩。他要求哥白尼赶紧让学者们知晓他的发现，还郑重其事地提出他能在金钱上赞助这项工作。我们不知道哥白尼后来是不是确实拿到了赞助，因为在这封信发出后不到十个月，施翁伯格就去世了，此事也就没了下文。但是哥白尼好像确实从这封信得到了不小的鼓励，他在后来给教皇的献词中说，他由此从“几乎完全放弃了已着手的工作”中坚持下来。

他为什么要放弃已着手的工作呢？日常的行政事务和作为教区医生应尽的义务占去了他的大部分时间；对天象的观测，虽说验证多于研究，似乎也未能尽如人意；对他的新理论必然要遭遇的来自常识和《圣

^① 这封信因为后来被哥白尼在给教皇的献词中引用变得很有名，通常冠于《运行论》正文前，英译见 Rosen 的译本，同见于 *Regesta*, nr. 359，中译见叶译本正文前第 19 页，各个译本的祖本常是 Prowe, v. 1, 2, p. 276。

经》的批评的担忧，都可能是《运行论》写作时断时续的原因。但是还有更烦的事呢。在弗隆堡哥白尼的住处有一个照顾他生活起居的女佣叫安娜西琳，有一天在哥白尼那儿呆了整整一夜，^①一时人言籍籍，教区主管约翰但梯斯库斯也参与过问其事。1538年12月2日，教士芮克向主教报告，哥白尼已经接受了主教对他的“父亲一般的训诫”，并且看了主教为这件事的通信，他一定会铭记在心，因此不需要再行责罚了。^②哥白尼同日给主教的信也说他“真心诚意地”接受责骂，但是，“因为不能马上找到一个合适的和有经验的女佣”，他打算到第二年的复活节，即1539年4月6日再辞退安娜。^③“但是，为了不使主教觉得我是有意拖延，我决定由此一个月里，即到圣诞节时，即中止（安娜西琳的服务）”。可是这件事好像仍在发展。1539年1月11日，哥白尼又写信给主教，解释他的做法；而芮克同一天寄出的长信表明，他完全站在主教一边，并催促主教采取他所建议的惩戒行动。芮克甚至建议由地方长官处罚安娜，并告诉她的丈夫。^④这些建议最后大概没有能够付诸实施，因为不到两个月以后，芮克就死了，而他的职位竟然戏剧性地由哥白尼接替。

另一方面，哥白尼也没有“真心诚意地”接受“父亲一般的训诫”。1539年7月5日，但梯斯库斯主教又给哥白尼的好友，时在邻近教区当主教的盖尔斯写信，请他帮助教育哥白尼：^⑤“我了解到，杰出的学者哥白尼正在你那儿做客。尽管年事已高，他暗中仍旧和情妇幽会。”他请盖尔斯私下里对哥白尼施加影响，让他不要再这样做。主教还要盖尔斯不要泄露出是他始作俑者，参与到这一事件之中的。

^① *Regesta*, nr.315, 资料来源: Czartoryski Library, Krakow, manuscript 284, p.169.

^② *Op. cit.*, nr.403, manuscript 1597, pp.327—330.

^③ *Op. cit.*, nr.404, manuscript 1596, pp.519—520. Prowe 也引用了这一封信, 见 v.2, pp.161—162.

^④ 哥白尼的信见 *Op. cit.*, nr.406, Reich 的信见 nr.407, manuscript 1597, pp.377—378.

^⑤ *Regesta*, nr.423, Manuscript 245, c.199, 下面一段在 manuscript 1597, p.715.

开始盖尔斯还不希望代主教做这个恶人，但是大概是主教的坚持，到9月12日，盖尔斯报告说，^①他和哥白尼作了一次“严肃的谈话”。据说哥白尼表现得很沮丧，说他一直是服从主教的，而现在又被指卷入这样的丑闻。哥白尼说自从他辞退安娜西琳以后，他只是偶尔在集市上见到她。盖尔斯要求主教不要轻信传闻。第二天，另外一位教士又同哥白尼作了谈话，证实了盖尔斯的说法，他报告主教说，他相信他们的努力不会是徒劳，因为“这个正直和善良的人的年龄和智慧在今后很容易阻止这类事情的发生”。^②

我想他是够烦的。安娜西琳被赶走了，以后好像也确实没有什么机会再有什么事了。16世纪30年代正是新教传播的高潮，离哥白尼家乡不远的维腾堡，正是马丁路德的重镇，教士恋爱成家已经不是那么骇人听闻了。但是对于哥白尼所隶属的天主教教会而言，这仍然是悬为厉禁的行为，何况又正当面临新教有力挑战的敏感时刻呢。在这件事上反反复复的纠缠，可以想象，自然严重地影响了《运行论》的写作，但是更加值得留意的是，在这长达几乎两年的过程中，没有人，哪怕是力主严办的芮克，都没有提到哥白尼的日心学说。事实上，如果要想摧毁哥白尼和他的学说的话，没有比现在更容易的时机了；说是哥白尼是因为害怕教会的迫害而迟迟不敢发表日心学说，以现有的史料看，并没有直接的支持。^③

就在这多事的1539年的初夏，维腾堡大学的数学教授乔治·亚基姆·雷蒂库斯慕名来访。他的到来，成为后来日心说发展的一个转折点。

雷蒂库斯^④1514年生于奥地利，母亲是意大利人，父亲行医，因为

① ADW Olsztyn, v. D2, c. 120.

② *Regesta*, nr. 427, Manuscript 247, pp. 329—331.

③ 前引陈方正，《继承与叛逆》，第501—502页。

④ 稍早出版的他的专传，Dennis Danielson, *The first Copernican: Georg Joachim Rheticus and the Rise of the Copernican Revolution*, New York: Walker, 2006, 可能是对这一怪才的唯一的研究所。

施巫术被砍了头，那时候雷蒂库斯才十四岁。从此隐姓埋名，游学欧洲，见过大学问家帕拉塞尔苏斯，后来又考取了维腾堡大学，获硕士学位，1538年请假，原意是想去纽伦堡跟约翰内斯·舒纳继续学习数学和天文学。舒纳是当时最著名的数学家和天文学家，1515年曾印行欧洲第一张天球图。大概正是在舒纳那儿，他听说了哥白尼。他后来解释说：^①

我听说了住在北方的哥白尼的大名。我不在乎要花多少钱，也不在乎有多少艰难困苦，我一定要见到这个人。我一点儿也不后悔我这么做了，因为我用我年轻人的冲劲……说服了他，把他的天文学理论在全世界刊行。我因此知足了。等这本现在正在纽伦堡印刷的书出版后，所有的学者都会同意我的想法。

5月下旬到达波兰北部这个边远的小镇后，稍事休息，雷蒂库斯立即在哥白尼的指导下开始了系统的学习，当时雷蒂库斯二十五岁，哥白尼六十六岁。整个夏天，除了在哥白尼的好友盖尔斯主教在鲁巴瓦的处所小憩数周外，前后十个星期，雷蒂库斯都在哥白尼的指导下研究日心学说。在动身前往哥白尼居住的、偏僻的弗隆堡时，雷蒂库斯曾说他要亲自了解一下哥白尼的学问是不是名副其实，现在，他心悦诚服地对舒纳说，^②哥白尼“在学问的每一个方面和在对天文学的把握上都无逊于拉哲蒙坦那，我甚至更想把他和托勒密相提并论”，因为他们各自创立了各自的天文学体系。

雷蒂库斯接着向舒纳介绍了哥白尼的工作，这就是他称为《初论》的文字，依次讨论《运行论》六卷的主题，这使我们知道，至少到1539年秋天，《运行论》已是基本写成了。对于前两卷，雷蒂库斯说，他“没有必要”向舒纳复述，“一方面因为我另有安排，一方面因为我的老

^① *Regesta*, nr. 487, 1542年8月13日给Feldkirch市市长Henry Widnauer的信。

^② *Narratio Prima*, Rosen ed., *op. cit.*, p.109.

师关于第一种运动的论说无异于通常流行的、普遍接受的说法”。^①从前半句话，学者们猜想这雷蒂库斯当时还计划继续写“再述”之类的说明文字，后来因为《运行论》的出版而作罢；但后半句有些让人吃惊，因为雷蒂库斯当然知道，哥白尼所谈论的太阳的周日运动是“视运动”，而到他写下这段话的时候为止，学者们谈论的却是太阳的真实的运动。这当然不是一回事——在很大程度上，这是日心说的精髓所在，怎么会“无异于”当时流行的说法呢？或以为这是为了行文的方便，虽然未见得一定如此，但从下文的安排上看，似也不能说完全是无稽之谈。

雷蒂库斯从“恒星的运动”开始谈。《初论》的前三分之一强都在谈回归年的长度。或许这是和观测联系最密切的一个方面，或许这是争论最小的一个方面，或许这是技术内容最深、最不容易被外行人说三道四的方面，雷蒂库斯选用了这一个主题作为开场。他列举了从公元前4到公元前3世纪亚历山大天文学家铁木卡瑞斯的时候，经托勒密到公元11世纪的阿拉伯天文学家阿扎克尔的时候，一直到他自己所在的年代即1525年分点的进动，^②解释了为什么“我的老师仔细地研究恒星年”。雷蒂库斯给出的恒星年是365天6小时9分36秒，比后来《运行论》中的数据稍短4秒。

紧接着关于恒星年和回归年的高度专业化的讨论，雷蒂库斯花了相当的篇幅插叙了一段占星术：“我要加上一个预言。我们看到所有的王国都是在[太阳的]偏心轮的中心居于某些特殊点的时候创立的。”^③这显然不是哥白尼的意思，事实上，在整个这一段，他也没有提到“我的老师”。但是如果我们记得他的父亲正是为了这些神秘的理想掉了脑袋，而他的学位论文又是为此所作的辩解，^④我们也许就不会觉得那

① Rosen, *op. cit.*, p. 110.

② *Op. cit.*, p. 116.

③ *Op. cit.*, p. 121.

④ *DSB*, v. 11, p. 395. 他1536年4月在Wittenberg大学的学位论文力图说明罗马法并不绝对禁止所有的占星术预言；基于物理原因的预言是允许的，就好像是医学上的预言一样。

么吃惊了。没有任何的过渡，就好像天文学和占星术是一回事儿似的，雷蒂库斯又转回了他对回归年的长度的“专门的考量”，并得到这样的结论：

从上述，博学的舒纳，你看到利用分点测量得出的太阳运动不均衡的四个原因：分点的不规则的进动，太阳在黄道上运动的不均匀，偏心率的减小，以及最后，远地点因为双重原因的移动。因此，回归年不可能相同。

尽管“月食的理论本身似乎就能在无知的人中间提升天文学威望”，^①雷蒂库斯并没有花很多篇幅来讨论哥白尼的双本轮月球理论，而这种双本轮系统本来应该是哥氏理论的特色之一。他简单地介绍了一下这一模型，接着就直接道出了哥氏理论的出发点并由此很自然地引出了地球的运动：^②

进一步，最博学的舒纳，你在月球的情形中看见，通过引述这一理论，更是通过经验和所有的观测，我们消除了偏心匀速点。我的老师在别的行星的情形中也抛弃了偏心匀速点：为三个外行星他设定一个本轮和一个偏心轮，它们各自绕着各自的中心规则地运动，而行星又在本轮上以同于偏心轮的周期绕行。对于水星和金星，他设想在偏心轮上再加上偏心轮。……这些现象，除了归于行星之外，我的老师指出，可以通过地球天球的常规运动来解释。这就是说，通过把太阳置于宇宙的中心，是地球而不是太阳在偏心轮上运转，他喜欢把这个偏心轮叫做大圈。对天象的确实的理解一定要依赖于地球的常规的和均匀的运动，这一情形，千真万确，当有神意。

① Rosen, *op. cit.*, p.133.

② *Ibid.*, pp.135—136.

为什么要抛弃古代天文学家的假说呢？雷蒂库斯说理由有六：首先是分点的进动，使得“我的老师相信赋予地球运动能造出大部分天象，至少是说明它们”；其次对于太阳和其他行星的偏心率的缩减也是这样；第三，古人也认为太阳显然是行星本轮的中心；第四，“我的老师认为，只有在这一理论中，才能作出宇宙中的所有圈或轨道，满足围绕它们自己的中心、而不是别的中心作常规匀速运动的要求”；第五，数学家和医生一样都同意盖仑的说法，“自然从不作无谓之事”；第六，天文学家“应该模仿音乐家，当一根弦或者太松或者太紧时，用很高的技巧和极度的小心调整所有的弦，直到听不见噪音，直到得到我们所期望的和谐”。^①

我们必须记得，这是将近五百年前的论述，我们不想把它现代化。但是从行文中，我们还是可以梳理出两条原理，一是对匀速圆周的“常规运动”的要求，一是对整个太阳系的统一图景的要求，从三十年前开始考虑日心说时到《运行论》成书，贯穿始终。至于“自然从不作无谓之事”，我们在以后开普勒、伽利略和牛顿那儿将一再见见，当然，这是后话。这些与其说是天文学的、不如说是哲学的要求，是哥白尼革命的初衷。

但是天文学毕竟是天文学，雷蒂库斯说，从这些原则出发，下一步要考虑的，就是现象：^②

你当然知晓假说或理论对于天文学家的重要性，以及数学家之所以不同于物理学家。我觉得你会因此同意观测的结果和苍穹本身所一再提供的证据是必须要接受的，而我们必须面对所有的困难，在上帝的指引下，在数学和不懈的努力的帮助下，克服这些困难。

^① Rosen, *op. cit.*, pp. 136—138.

^② *Ibid.*, pp. 140—141.

当雷蒂库斯谈论“数学家之所以不同于物理学家”时，他是在说后者必须面对实在的世界，他是在说一个深刻的差别；这个差别最早由亚里士多德作了清晰的表达：^①

……接下来必须研究数学家和自然哲学家的任务有何分别。……也必须弄清，天文学是自然哲学以外的一门学科呢，还是它的一个部门呢？因为如果认为自然哲学家应该了解太阳和月亮是什么，却可以不去研究它们的本质属性，这是奇怪的，……数学家虽然也讨论面、体、线、点，然而不是把它们作为自然物体的限，也不是作为这些自然物体显示出来的特性来讨论的。……理念论的哲学家无意中就这样做了，他们把自然的对象分离了开来。……这一点可由那些与其说是数学的不如说是自然的学科，如光学、声学、和天文学得到进一步的说明。这些学科和几何学有一种正好相反的情形：几何学研究自然的线，但不是作为自然的，光学研究数学的线，但不是作为数学的，而是作为自然的。

显然，哥白尼谈论的是真实的世界，换言之是运载行星的天球；不然的话，就不存在太阳和火星天球相互重叠的问题了。我们不知道雷蒂库斯是想特地强调了这一点，还是正恰提到这一深刻的差别。无论如何，稍后我们将看见，在日心说发展的下一个阶段中，是“数学模拟”还是“物理描述”的问题将成为讨论的焦点。当然，这是后话。

宇宙必须是有限的，雷蒂库斯再一次引用亚里士多德说，因为“在事物本性所允许的范围内去寻求某一类事物的确切表述，是任何一个受过教育的人的标志。”^②“在物理学同样也是在天文学中，我们必须尽

^① 《物理学》，193b22—194a11，张竹明译，商务印书馆1997年版，第46—47页。

^② 《尼各马科伦理学》，1094b23—25，参考了苗力田的译文，《全集》，第8卷，第5页。

可能地从结果和观测推出原理”。^①雷蒂库斯接着从人所能看见的最远处，即他所说的第八重天开始描述哥白尼的宇宙：^②

恒星天是宇宙的边缘，各个行星的天球按自然赋予它的运动作常规运动，完成它的运行，并不会被上一层天球的运动扰乱。而且，比较大的天球运动得慢一些，——这是合适的安排，而离太阳较近的，则移动得快一些，因为太阳可以说是运动和光的本源。于是，土星在黄道上无窒碍的运动，三十年一周，木星十二年，而火星是两年。

我们知道行星运行周期的递减在哥白尼看来是日心说的一个重要支撑点，雷蒂库斯当然很忠实地重述了老师的教导，但是“太阳是运动和光的本源”，则是一个前所未闻的物理解释。以后开普勒也会在这一方向上发挥，当然，这是后话。雷蒂库斯还特别提出，按哥白尼的学说，天球一共是六个。他继续问道：^③

谁能选一个比“六”更合适更稳妥的数字呢？……因为“六”这个数字在上帝的和毕达哥拉斯以及所有别的哲学家的神圣预言中异乎所有其他数字而特显荣耀。^④……而且，天界的和谐由前述的六个运转的天球更臻完美，它们之间没有隙壑，每一个的位置形状在几何上恰恰精准，你如果要把其中一个从它的位置上移开，你就会把整个系统搅乱。

① Rosen, *op. cit.*, p. 142.

② *Ibid.*, pp. 146—147.

③ *Ibid.*, p. 147.

④ 对于数字“六”的特殊之处，奥古斯丁写道：“万物在六日内完成，是因六数字的齐全，乃将日字重复了六次，并非天主需要时间，不能同时造成一切……因为这数字是第一个可用自己的部分，即六、三或自己的一半，一，二，三，加之为六而成的。”所以六既有神学的意义，又有数字学的意义。见《天主之城》，第十一卷，第三十章，吴宗文译，吉林出版集团2010年版，第381页。

这种数字学的考量，不见于哥白尼的《提要》，也不见于后来的《运行论》，当是雷蒂库斯的发挥。有趣的是，我们下面将看见，这一段文字几乎就像是五十年后开普勒的工作的一个序言。

关于地球，雷蒂库斯接着说，利用和其他行星的类比，“我的老师”设想了三种运动：其一是造成日夜的周日运动，其二是周年运动：

“当地球移动到天秤座和太阳之间大圈上的某个位置时，那些假定地球静止的人就认为太阳在白羊座，因为从地球中心通过太阳画一直线正恰指向那一个星座。”但是真实的情形却是，太阳是静止的而这一运动本来就是地球的。第三种运动造成了太阳和其他的行星看上去在一个相对于赤道倾斜的圈上移动，造成了季节的周而复始的变换。^①

基本假设叙述完毕以后，雷蒂库斯介绍五大行星的运动。从天文学来说，这是我们可以看见的、可以用来验证的天象；然而从理论自身而言，这只是日心地动说的自然推论，无怪乎雷蒂库斯只是做了相对比较简单讨论了。

第四节 1540—1543：《运行论》的撰写和出版

1539年9月23日，雷蒂库斯写完了《初论》，^②清楚地介绍了哥白尼的日心学说，并把文稿寄给了舒纳。^③1540年2月14日，《初论》在格但斯克出版，^④这是哥白尼学说第一次正式印行。按当时通行的做法，他把这本小书寄给了一些朋友，包括伊拉斯穆斯·瑞因霍德，^⑤安德鲁·奥西安德，当然还有维腾堡大学的改革派的领军人物菲力普·

① Rosen, *op. cit.*, pp.148—150.

② *Regesta*, nr.428, 下文的出版信息见 nr.434.

③ Prowe, v.2, p.295.

④ Edward Rosen 英译, 见 *Three Copernican Treatises*, *op. cit.*, pp.107—196.

⑤ *Theoricae novae*, ... Nuremberg, 1542, Preface, f.4, cf. A. Koyre, *The Astronomical Revolution*, Eng. tr. R. E. W. Maddison, New York: Dover, 1992, p.34.

马兰克顿，以及他的一个介于父执师友之间的医生加瑟。^①次年7月，《初论》的第二版在巴塞尔出版，^②书前加上了加瑟写的前言，赞许有加。加瑟长雷蒂库斯近十岁，曾在维腾堡学习哲学，后来到法国学医，回来以后由某种渊缘继雷蒂库斯的父亲在当地行医。也许是出于对死于非命的前任的侧隐之心，他很是帮过雷蒂库斯一些忙，包括给他的老师马兰克顿写信，让雷蒂库斯进了维腾堡大学。

这是欧洲学术界第一次看见他们耳闻已久的日心说的系统论述。这些人，学者，神学家和天文学家，他们会怎么想，自然是哥白尼所关心的。1540年7月1日，在给安德鲁·奥西安德的信里，哥白尼问道，如果他发表关于地球运动的理论，会引起“哲学家和信徒们”的反对吗？^③

奥西安德^④原名赫斯曼，早年在德国多家大学学习神学和希伯来语，后来辗转在德国南部的一些学校教书。1520年代，时当宗教改革的高潮，奥西安德在纽伦堡结识了一批追随路德改革派领袖斯班格勒的、热烈赞同改革的、急进的知识分子，并很快成为这一运动活跃的中坚，一时声名大噪。十几年后在亨利八世朝担任坎特伯雷大主教的克雷默由此和他结识，很是受了他的影响，最后娶了他的外甥女为妻。雷蒂库斯和奥西安德同在维腾堡的新教圈内，而后者交游甚广，所以雷蒂库斯把自己的著作寄了给他，也是意想之中的事。^⑤至于奥西安德个性冲动执拗，而温文平和的哥白尼何以特地向他请教，我们无从考察，解释只能付诸猜测了。

① 《初论》的第二版文前附有 Gasser 的信，由此知道，雷蒂库斯曾把《初论》的第一版寄给他。

② *Regesta*, nr. 467.

③ *Ibid.*, nr. 440. 资料来源: Prowe, *op. cit.*, v. 2, p. 139, 而 Prowe 的根据可能是开普勒的一则笔记，大概写于 1600 年以后。

④ Bruce Wrightsman, "Andreas Osiander's Contribution to the Copernican Achievement," in Robert Westman ed., *The Copernican Achievement*, Berkeley: University of California Press, 1975, pp. 213—243.

⑤ 1540 年 3 月 13 日奥西安德致信雷蒂库斯感谢他的赠书，见 Martha List, *Studia Copernicana*, 16(1978) 443—460。

奥西安德著作颇丰，最著名的当推 1544 年出版的《猜想》^①，这是根据圣经《丹尼尔书》和《启示录》，以及犹太经典，所作的一系列关于末世论的解释和预言。要留意的是，奥西安德从来没有把关于天文学的讨论和他的解经文字掺杂起来，在《猜想》里偶尔提及的天文现象最多只不过是用来强调最后审判的临近。他认为，天象只是历史事件的一种反映，并不预示未来的发展。1538 年彗星出现时，他曾写道：“我不想根据星象，我要用神学，来谈论德国的将来。”事实上，除了为《运行论》写的那一篇颇受非议的《致读者》外，他只是在 1544—1545 年间为当时的一个奇人卡尔丹^②撰写的《大术》写了另一篇序，就是他和当时学术界的联系了。

但是在维腾堡，在奥西安德交游切磋的友朋中留意天文学的确乎大有人在。曾由他推荐得到教职的当时声名籍籍的数学家舒纳正是雷蒂库斯的赞助人，《初论》一文从本质上说是雷蒂库斯写给舒纳的一封信。而正是在他的另一个朋友所藏的《运行论》的页边上，^③开普勒发现了一段小注，说《运行论》前的《致读者》的作者其实不是哥白尼而是奥西安德。^④当然，这是后话。哥白尼大概是通过雷蒂库斯结识奥西安德的。尽管他们分属不同的教派，奥西安德的交游和社会能力应当会让哥白尼印象深刻，所以写信询问他的意见。

时隔十个月，1541 年的 4 月下旬，哥白尼才看见奥西安德的回信。奥西安德说：^⑤

① 《全集》十卷，到 1997 年由 Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus Mohn 出齐。De conjectura, 1544, rf., Bruce Wrightsman, op. cit., pp. 221—222. 这本书有 George Ioye 英译: The Coniectures of the Ende of the Worlde, Antwerp: S. Mierdman, 1548, 该译本有电子版，颇利应用。

② Hieronymus Cardan, 1501—1576, 有时写作 Girolamo 或 Jerome 或 Hieronymus, 以数学、医学、占星术著，一生大起大落，见 M Fierz, Girolamo Cardano (1501—1576): Arzt, Naturphilosoph, Mathematiker, Astronom und Traumdeuter, Basel: Stuttgart, 1977, 有 Helga Himan 英译, Boston: Birkhauser, 1983。

③ Hieronymus Schreiber 的这本《运行论》后来转辗到了开普勒手中，见前引《无人读过的书》，第 279 页。

④ 我们现在知道这是奥西安德自己告诉 Philip Apian 的，Philip 又告诉了开普勒的老师 Maestlin, Maestlin 又告诉了开普勒，开普勒最后在《新天文学》的扉页上写下了 Schreiber 云云，这本书最后在 1609 年出版。参见 A. Koyre, op. cit., pp. 97—98。

⑤ Regesta, op. cit., nr. 453, 资料来源: Prowe, op. cit., v. 1, 2, p. 522. 参见《运行论》叶译本第 253 页。

[我]从来认为假说不是信念,而是用于计算的基础。即便是不实的假说,它们仍然能准确地导出现象。其实没有人能用托勒密的假说确凿地说出太阳的不规则运动是来自本轮还是来自偏心轮,因为这两种说法都能解释这些现象。在序言里提一下这件事或许是值得的,因为这样可以平息你所担心害怕的来自哲学家和神学家的反对。

奥西安德在给雷蒂库斯的信里更加明白地说明了他关于日心说的看法：^①

如果亚里士多德派和别的哲学家在序言里看到,书中引进了假说,但并不是因为其真而是因为它可以用于解释行星运动的计算,进一步简化作者基于观测的研究,他们就会平静很多了。

哥白尼对此的答复不见于史料。从后来雷蒂库斯和盖尔斯的态度来看,哥氏大概没有同意奥西安德的说法或做法。事实上,如果不把日心说当作真实的东西,那么最初对于火星天球和太阳天球相互重叠的问题就不存在了,而一如我们上文所力图说明的,很可能正是出于这一考虑,哥白尼才最终在类似第谷的日心地不动的模型和他自己的日心地动说两者之间选择了后者。当然,这是后人的猜测。对于深爱哥氏的纽约市立大学城市学院的教授罗森来说,奥西安德是一个十足的恶棍,是一个时时处处心积虑地企图阉割哥白尼革命思想的人。在谈到他时,这位和他的后一代研究者格格不入的老学者^②毫不迟疑毫不吝啬地使用了他所能想到的、所有的、负面的非科学用语,“对命运的令人难

^① 奥西安德 1541 年 4 月 20 日致雷蒂库斯的信, *op. cit.*, nr. 454, 据 Prowe, *op. cit.*, v. 1, 2, p. 523。上引叶译本第 253 页。Rosen 注文中采用的与 *Regesta* 稍异, 后者可能是对原文的改写。

^② 上引叶译本第 254 页。欧文金格里奇说他“在内心里是一个小肚鸡肠的纽约人”, 见前引《无人读过的书》, 第 137、233 页。

解的歪曲”，“偷偷摸摸地编排”，“私货”，“诡计”，为的是“愚弄读者”。另外一些科学史家如法国的迪昂和荷兰的戴克斯特霍伊斯^①则采取一种比较中性的态度，不无称赞地谈论奥西安德的实证主义或是实用主义的认识论原则。从直到哥白尼时代的天文学传统看，亚里士多德的论述常在天体运动的物理原因，对他来说，天是实在的、具体的、物质的；托勒密所致力建立的是天体运动的数学模型，他关心的是如何根据数学化了的亚里士多德的“匀速圆周”原理计算出天体的位置和预测诸如食或冲之类的天文现象。亚里士多德是要解释天体运动“为什么”会是这样，而托勒密要回答的则是它们是“怎样”运动的。当这两个表面上看起来并非那么不一致的传统最初被合在一起的时候，奥西安德和哥白尼的可能的分歧，也就首先表现为个人偏向取舍的对立上。而这种认识论上的深刻的冲突，要再过八十年、到伽利略的时候才演绎成为真正的悲剧。当然，这是后话。

不管怎么样，日心说引起了普遍的兴趣，而反应也未见得如想象中的那样敌对。于是雷蒂库斯着手联络《运行论》的出版了。他有好几个方面的事要做：他要找一个合格的出版商，他要说服他的脾气有些古怪的老师同意出版他花了一辈子写的书，他还要取得当局的出版许可，而为了有时间去处理所有这些繁剧，他要在他任职的维腾堡大学，得到请假的许可。

在他前年动身来哥白尼住所的时候，他预备了一份很有意思的礼物，五本书：1533年希腊文版的欧几里得《几何》，舒纳注释的拉哲蒙坦那五卷本《三角学》，彼得阿皮阿诺和阿拉伯人扎贝尔合著的《运动学的主要工具》，《光学》，这是13世纪的波兰学者和僧侣维提罗即Viegtellius的名著，主要介绍阿拉伯人阿尔黑森的工作，这也是后来开普勒了解黑森光学的主要渠道，以及托勒密的《至大论》。这些书合

^① P. Duhem, *La theorie physique*, Paris, 1908, p. 58f, E. J. Dijksterhuis, *Die Mechanisierung des Weltbildes*, Leipzig, 1956, p. 330f. A. Koyre 引, 见前引书 98 页。

订成三大卷，白色猪皮封面，装帧精美，以至于四百年以后哥白尼研究专家在瑞典乌普萨拉看见它们的时候的反应仍旧是“令人感到震动”。^①这五部书中的三部出自纽伦堡出版商佩特里乌斯；早在1540年，当雷蒂库斯在纽伦堡和舒纳讨论他的《初论》时，佩特里乌斯就表示过^②对他的敬仰和赞美，强调愿意参与编辑出版“学者们的著作”。

1541年春雷蒂库斯通过朋友向维腾堡大学的校长提出，他正忙于“我的老师”的工作，因此不能参加学校方面的活动，到了6月，他还在弗隆堡等待哥白尼完成对《运行论》的修改，以后则奔走于弗隆堡和维腾堡之间。^③10月18日，他被选为文学院主管，但这似乎并没有影响他关于哥白尼的工作，事实上，不到四个月以后，他把《运行论》中关于球面三角学的部分，加上他自己的一些工作，先单独成册出版。他的努力，他带去的礼物，他的《初论》，以及同仁友好对《初论》的反应，最终推动了哥白尼，很可能在当年的6月9日，在本教区旦梯斯库斯主教交谈以后，哥白尼同意把手稿交给佩特里乌斯出版。^④

1541年8月28日借献书的机会，雷蒂库斯给普鲁士公爵写了一封信，解释对数学著作的“不断的需求”，“在天文学方面，托勒密的著作已经用希腊语出版了，而根据我的老师哥白尼的杰出的工作，我们可以学会计算一年的长短，日月星辰的运行及其原理”。^⑤第二天他正式向当地的候选侯约翰菲特烈和维腾堡大学提出出版“我的老师”著作的申请。^⑥9月1日，公爵把雷蒂库斯的请求通报给了菲特烈，“雷蒂库

① 前引《无人读过的书》，第54—55页。

② *Regesta*, nr. 442, 1540年8月1日，这是他在 Antonio de Montulmo *De judiciis nativitatum* 献词里说的话。同见 Prowe, *op. cit.*, v. 1, 2, p. 516。

③ *Op. cit.*, nrs. 451, 459. 他的申请很快就得到了批准，见 nr. 475；9月1日普鲁士公爵 Albrecht 还特别给学校写信，让雷蒂库斯得到长假，使得他的“天文学著作”得以出版。资料来源：St. Arch., Gottingen HBA, Ostpr. Folianten, Bd. 17, pp. 206—207。

④ Pierre Gassendi, *op. cit.*, p. 195.

⑤ *Regesta*, nr. 471.

⑥ *Ibid.*, nr. 473. 这封信原来在 Universitätsbibliothek, Msc. nr. 390, 第二次世界大战以后丢失。

斯是维腾堡大学的数学教师……专心致力于天文学并有著作行世，他希望在普鲁士以外的地方刊行这一著作”。公爵要求学校确认此事，“俾使他能去出版地而不至于太影响他作为教授的收入”。^①9月20日，公爵致函雷蒂库斯，感谢他8月28日和29日的来信，很是关心地询问了他在“这门科学”方面工作的进展，并请他转达对维腾堡大学诸公，特别是对马丁路德博士和马兰克顿博士的问候。^②这大概就是正式的出版许可了。

1542年5月，雷蒂库斯再次向学校请了长假，赶到纽伦堡去监督《运行论》的印刷出版。6月，哥白尼写完了给教皇保罗三世的献词，类似于序言，冠于全书之首。^③9月，当地圣劳伦斯教区的管事报告说，一个“普鲁士的非凡的天文学家”关于地球运动而苍穹静止不动的著作已开始印刷，——“大概要用100个印张，而我在月初已经看见了2个印张。以后的校对工作会交给一个维腾堡的教授负责。”^④这当然是指雷蒂库斯。显然，出版工作已经完全就绪。10月，雷蒂库斯接到了莱比锡大学邀请他任数学教授的聘书，于是他把剩下的事托付给了奥西安德，匆匆赶往莱比锡履新。离开《运行论》的印刷时，雷蒂库斯一定觉得他已经完成了为他的老师和这本大书所应尽的责任；他不知道，真正的麻烦才刚刚开始：一是奥西安德为《运行论》加了个“告读者”，二是哥白尼不久病逝，于是奥西安德的说法真正成了一件“死无对证”的假说了。

大概在11月底或12月初，哥白尼病了。哥白尼的一个同僚，和他同在弗隆堡的一个教士写信报告了主教，哥白尼长年的至交，“好心的”提埃德曼·盖尔斯，12月8日后者回信说：^⑤

① *Regesta*, nr.474.

② *Ibid.*, nr.476, 资料来源: St. Arch., Gottingen HBA, Ostpr. Folianten, Bd.29, pp.126—128.

③ *Regesta*, nr.481, 原信在 Bibliotheca Vaticana, Palatina III, 103.

④ *Ibid.*, nr.486.

⑤ *Ibid.* nr.490, 同见于 Prowe, *op.cit.*, v.2, pp.418—419.

我们的、令人尊敬的长者哥白尼生病的消息让我感到非常的难过。因为他平时喜欢独来独往，到了生病的时候，想必就不会有很多的朋友来关心他的健康状况，^①——尽管我们所有的人都得益于他高尚的道德和精湛的学问。我深知哥白尼一直把你看作是可数的几个密友之一，他对你和对我一样亲密。因此，我要求你在他需要的时候，给他以保护和照顾，以使得哥白尼不至于失去兄弟情谊，而我们自己也不至于显得对于一个值得感谢的人冷漠寡情。

他得的是脑溢血。他已经是七十岁的人了，在他那时候，很少有人能活过七十岁。北极的寒风从波罗的海直扑这个海岸边上的小镇，哥白尼在教堂后院石筑的居室想些什么呢？是他将要见到的上帝还是他沉湎多年的日心说呢？虽然完全失去了对右半边身体的感觉和控制，^②他竟然熬过了这个冬天。春天来的时候，他大概已经不能说话了。

但是哥白尼和他的新学说已经名满天下了。1543年3月21日，一个叫做库兹的人从纽伦堡给神圣罗马帝国皇帝查理五世写信，信里提到：^③

……一个名叫哥白尼的数学家，写了一本《天体运行论》，共六卷，刚刚出版。其中有一点不寻常的、以前从来没有听说过的事，那就是太阳是所有东西的中心并且静止不动，而地球沿黄道十二宫运动，就像我们现在认为太阳的运动那样。我知道您推崇热爱数学，所

^① 对于当时的人情，我们当然知之甚少，但史料表明，也不是没有人“关心他的健康状况”的，比如12月30日他的妹夫 Michael Loitz 就急急地通知教区主教 John Dantiscus 说“在不久以前”他已经让哥白尼同意把教士薪俸和教士职位让给了他的儿子即哥白尼的外甥 John Loitz 了，见 *Regesta*, nr. 491, Czartoryski Library, Krakow, manuscript 1599, pp. 277—278。这件事后来在5月21日得到教会的批准，见 nr. 496。

^② *Regesta*, nr. 492, 1543年1月29日 Dantiscus 主教通报说哥白尼已经瘫痪，并已经把他的著作交给了“某一个数学家”，以便可以出版。

^③ *Ibid.*, nr. 494.

以把这本书呈上,但愿这些观点和奇想能给您带来阅读的快乐,其作者已为很多数学家所接受和称道,因为他们认为解释苍穹的运动要比解释太阳的运动更加容易。

这位库兹是奥斯堡的一个富有的商人傅格尔的助理,名不见经传,但显然不是学术圈中人。傅格尔是皇帝的财源之一,他们之间有信函往来倒是可以想象的事。信中准确地说是“六卷”,而且诸如“中心”和“黄道十二宫”之类的复述也很像哥白尼的原文,表明他应当真的看见过刊印的《运行论》。由此我们知道,至迟在1543年3月,《运行论》已经出版了。^①

1543年5月24日,哥白尼去世,这是大家都预料到的。6月1日,他所在的教堂把他原来的住所,一共两处,价值大约130个马卡尔,分给了一位等候已久的教士和另外一个人,^②而他的遗骸则埋在教堂正面的第三根柱子底下。除了安娜西琳还时不时地跑到老主人的旧屋来“找东西”,以至于弗隆堡的教士们不得不向教区主教旦梯斯库斯报告,明令禁止她再来哥白尼的住处之外,一切都恢复了平静。^③

据说^④哥白尼是在他去世“几个小时”前才拿到《运行论》印本的,这个凄美的故事大概是从哥白尼的很亲密的朋友,上文屡屡提到的盖尔斯的报告发展起来的。在哥白尼去世后一个多月盖尔斯给雷蒂库斯的信里^⑤,盖尔斯要求雷蒂库斯把他写的哥白尼小传附在他们想象中的《运行论》的重印本里,并要说明:

……他是1543年5月24日因脑溢血和右半身瘫痪去世的,在

^① *Regesta*, nr.493.

^② *Ibid.*, nr.500, 资料来源:ADW Olsztyn, Acta cap.2, c.14v.

^③ *Ibid.*, nrs.507, 508, 1543年9月10日Warmia教区给主教的信。13日主教回信说,她已经诱使了那个才去世的人犯罪,可能还会诱使别人,最好不要让她再来了。“人人都知道她已经给教区造成多大的危害了。”

^④ Prowe, v.2, p.420; Pierre Gassendi, *op.cit.*, p.225.

^⑤ *Ibid.*, nr.503, 1543年7月Giese给雷蒂库斯的信。

去世前很多天他已丧失了记忆和知觉。尽管如此，他确实是直到去世的那一天才看见他的著作完成的。这件事，尽管如此，应该不能作为不把这本书说成是他去世以前出版的理由，因为[出版和去世的]年份是同一年，而出版商并没有在印成的书上注明具体的日子。

我不知道为什么盖尔斯对这本书是在哥白尼去世前还是去世后出版这一细节这么在乎，但在哥白尼去世时，盖尔斯事实上不在场；七八十年后，斯塔若夫尔斯基^①的小传中也未见到这一段关于“去世前一天才看见”之类的浪漫动人的描述。至于伽桑狄，他说哥白尼的神志是“衰落了”而不是如盖尔斯所说“丧失了”，并加入了“几个小时”之类比“前一天”更戏剧性的细节，不过那已是哥白尼逝世后将近一百年的事了。后来还有研究者甚至说正是“敬告读者”要了哥白尼的命。^②事实上，如上所述，《运行论》的出版在1543年3月21日就已经完成，——我们不知道是完整地印出了第一本，还是所有的400本或500本^③都印出来了，封面上的书名是“《哥白尼著六卷本天体运行论》，纽伦堡的出版商佩特里乌斯印行，1543年。”打开书首先是前言，“为本书中的假说敬告读者”，接着是枢机尼古拉斯·施翁伯格1536年11月1日致哥白尼的信，再是哥白尼给教皇保罗三世的信，然后是正文。

“敬告读者”不长，第一句话就概括了哥白尼理论的全部：地动，日心。然后提出了天文学家的任务，那就是要说明“天体运动的历史”。至于这种运动的原因，奥西安德说是“无论如何也不能得出

^① Szymon Starowolski, 1588—1656, *Hekatontas*, 1625, Frankfurt am Main, reprinted 1644 and in Wroclaw in 1733. Enlarged and improved 2nd ed., 1627, Venice, 英译见 Erna Hifstein, *Starowolski's Biographies of Copernicus*, Wroclaw: The Polish Academy of Science Press, 1980.

^② 见 Ernst Zinner, *Entsehung und Ausbreitung der Coperniscanischen Lehr*, Erlangen, 1943, 2nd ed., Munchen: C. H. Beck, 1988 和 Herman Kestenn, *Copernicus and his World*, 2nd ed., London: Secker & Warburg, 1946, 但似乎已不被现代研究者所采信, 见 Olivier Thill, *op. cit.*, p.218. 事实上, 据 Giese 说, 哥白尼在去世“很多天以前”就已经失去了意识和知觉, 见 *Regesta*, *op. cit.*, nr.503.

^③ 这是欧文金格里奇的估计数, 见前引《无人读过的书》, 第309页, 他的推算见同书第152—157页。

的”，于是就必须诉诸假设，而“这些假设并非必须是真实的，……如果它们能提供一种与观测相符的计算方法，单凭这一点就够好了”。^①

奥西安德这儿提出的从本质上说来是一个认识论的问题，即科学知识和认识对象之间的关系问题。他认为，两者不可能是同一的；科学的认识并不是无所不能的，它只能依于观测，从而其正确与否的判定，也止于观测：合于观测的，就是好的，否则就是不能接受的。当哥白尼的眼光落在地动还是不动的问题上时，他首先遭遇了这个认识论上的困难：理论必须建立在感觉之上，但是感觉却不足以回答理论的问题；人只能通过感觉和外界沟通但是感觉又限制了这种沟通。他要人的感觉证明一种当时人所感觉不到的运动。当人的认识深入到直观感觉之外时，关于认识的理论就不那么直观明晰了。科学所提出的认识论问题，先是笛卡尔，再是休谟，再是康德，将要被反复讨论；科学所建立的理论，先是星空，再是原子，再是生命，也将要被反复质疑：所有这一切，它们的真实性和真理性是如何保证的呢？

没有证据显示奥西安德是那么深刻的一个哲学家。虽然这些问题在不到五十年后就要成为学界的热门话题，奥西安德至少没有感觉到他已经走到了问题的核心，并且在以后五百年里还常常会因此成为名人。他没有在这篇文字上署名，^②因为作为一个激烈鼓吹改革的路德派活跃分子，突然转去为一个罗马天主教教士的书作宣传，恐怕终究有些不太合时宜，——不过也仅仅不合时宜而已，因为那时候这两派的争吵，还更像是一家兄弟反目成仇。

接下来是给教皇保罗三世的信，如我们前文提到的，哥白尼列举了他提出“新说”的理由，回归年的长度和对各个行星运动处理的不一致性，使得对天球运动的研究“成了一头怪物”。他说他的想法不应该

① 前引《运行论》叶译本，正文前18页。

② 但是他似乎也并非有意要让读者相信这篇文字是出于哥白尼之手：在哥白尼写的前言“致保罗的信”的页眉上有“作者前言”的标注，而在“致读者”的部分没有类似字样。

是惊世骇俗的，因为自古以来很是有些哲人有类似的想法。^①他最后提到，有人从《圣经》中断章取义，对他的学说吹毛求疵，而他认为所有这些都是无稽之谈。但他确实没有像谈论回归年那样细说别人是怎么“吹毛求疵”的，而他为什么可以断定他们所说的都是“无稽之谈”。他的注意力之所在，至少这份作为前言的给教皇的信所强调的，是地动说。

《运行论》正文六卷 131 章，^②第一卷很明显但不太自然地分成两个部分。^③前十一章描述他心目中的宇宙，第十二章起则是为专业天文学家所作的高度技术化的讨论；其中第一卷的后三章更加像是平面和球面三角学的初中教科书，而第二卷则是数学天文学的准备，这大概就是雷蒂库斯说用不着向舒纳解释这两章的真实原因吧。^④

第三章说明天地都是球形的，这在古代就已经为几乎所有人接受，而哥白尼所做的也几乎是亚里士多德，托勒密和普列尼有关论述的重述，^⑤所以没费什么篇幅。而这些内容，在《提要》里几乎提都没提。第四和第五章讲天体的“匀速的、永恒的和圆形的、或是复合的圆周运动”，凡是多少知道一点亚里士多德的人，对此也都一目了然，但紧接着“地球的位置”问题直指哥白尼学说的核心。“地球的位置”或者

^① 研究者曾做过一种假想，描述哥白尼最后走向日心说的可能的道路，见 J. L. E. Dreyer, *History of Planetary System*, New York: Dover, 1953, p. 312; 但情形肯定是复杂的，正如 A. Koyre 的说法，“人人都读过[这些著作]但没有人从中得到要用日心说取代托勒密的灵感。”见氏著，*The Astronomical Revolution*, *op. cit.*, p. 39 以及 p. 100。

^② 《天体运行论》拉丁文原著和其他主要欧洲文字的译本在哥白尼出生四百年前后即 1973 年前后由波兰科学院出版，共 6 卷。Edward Rosen 的英译本，Jerzy Dobrzycki ed., Warsaw: Polish Scientific Publisher, 1978; rpr. Baltimore: John Hopkins University Press, 1992, 最常用；“西方经典文库”第 16 卷，芝加哥，1952，所收的 Charles Glenn Wallis 译本，行文常被有“现代化”之讥，似乎用得较少；另有 A. M. Duncan 译本，New York: Barnes & Noble, 1976。中译有叶式焯译本，北京大学出版社 2006 年版；有姚守国译本，江苏人民出版社 2011 年版，均从 Rosen 的英译本译出。因为两个中译本前均有长短不等的介绍，很是方便阅读，因此本文对原书仅作若干有选择的讨论，以避续貂之嫌。

^③ Rosen 注说，“按哥白尼原订的写作方案”，从第十二章起为第二卷。但他没有说明这一判断的依据。见叶译本第 21 页。

^④ *Narratio prima*, E. Rosen, *op. cit.*, p. 110。

^⑤ 参见 Rosen 注本，亚里士多德的《论天》，《产生和消灭》，托勒密的《地理学》，Pliny 的《自然史》均被一一指证。

说“世界的中心”在《简述》七条“假说”中占了三条，这正是打破地心说，建立日心说的关键。第六章“天比地大，无可比拟”的内容和《简述》的第四条假说指向一个方向。哥白尼强调说，^①

从地球表面引向天空中一点的直线与从地心引向同一点的直线自然不重合。可是因为这些线与地球相比其长无限，它们可以认作平行线。由于它们的端点相距极远，因此两线看起来重合为一条线。……这种论证完全清楚地表明，天穹比地球大得无与伦比，可以说是无限大。地球与天穹相比，不过是微小的一个点，如有限之比于无限。

从上下文来看，第六章显得有些突兀——第五章的结尾在谈地球是否独居宇宙中央，第七章开头讲为什么古人认为地球静居于宇宙的中心，语气相当连贯。但是如果考虑当时地动说所面临的一个严重挑战的话，哥白尼的这种安排就稍微容易理解一些。对于地动说，即便在哥白尼的时代，略有天文学知识的人都会马上想到应该可以期待由此产生的视差，而观测无法证实这一视差的存在在很长一段时间里都是地动说的一个软肋。所谓视差，就是观测者从不同的位置看到的天象在位置上的差异，一如我们用左眼和右眼分别注视一件物事会感觉对象在背景上移动了一样。只有充分了解天穹之大，恒星之远，才能化解这一疑虑。可能是出于这一考虑，哥白尼先作了这样的说明。接下来，他列举了“古人”对地心说的质疑，对常见的反对论据，如重物的自然位置，运动造成地球可能的瓦解，云和悬浮物的运动，以及我们感觉证实的天穹的运动等等，一一作了讨论。哥白尼总结说：“否认地球运动是没有道理的。”

第十章正面描述了宇宙的面貌，即“天球的顺序，”这是“日

^① 《运行论》，叶译本第9页。

心”，第十一章证明地球有三重运动，这是“地动”。一是周日运动，一是周年运动，第三种哥白尼称之为“倾角的运动”，“这是由于赤道和黄道不重合，约有 $23^{\circ}26'$ 的交角，于是地球的赤纬在一年中不断变化。”^①

接下来的五卷，讨论日月星辰，有星表，有图，充满了数学推演。封面上对读者的承诺，“购买、阅读、受益”显然只是对少数人为真。——“少数人”，据欧文金格里奇一一细数，一共只有九个人“受益”。^②当然，名列榜首的是雷蒂库斯，但哥白尼的好友盖尔斯未能获此殊荣；这是对的：盖尔斯主教不可能看懂书中高度技术化的内容，但是，是他第一个发现当时印行的《运行论》有一处大错：奥西安德的那篇“为本书的假设告读者”杂厕于哥白尼的原文之中。1543年7月，也就是哥白尼去世后一个多月，他写信告诉雷蒂库斯，他是在参加完波兰国王的婚礼回到普鲁士时才收到“我们的”哥白尼的书和他的死讯的。^③在“读到序言或者叫做前言的时候，纽伦堡的出版商佩特里乌斯的伪善的欺骗”使得他非常愤怒。他又猜想，“一定是一个罪大恶极的人，出于妒忌，骗过了佩特里乌斯，意在削弱哥白尼著作中的信念”。盖尔斯马上写了一封信给出版商所在地的政府，要求准确地恢复原著的原貌。“如果必要的话，”他要雷蒂库斯一起“采取适当的步骤，迫使[出版商]重印这部著作的某些部分，”他本人还预备为此再写一个简要的说明。^④他最后还问雷蒂库斯，《运行论》是不是已经送

^① 叶译本正文前第7页。哥白尼花了很大的篇幅讨论这种运动。对于现代读者说来，他的讨论颇是费解，这是因为哥白尼所依据的是实体的天球模型，而这种图景已被后来的模型所取代。Rosen对此作了简单的说明，见叶译本第274页注139，引开普勒《新天文学》第57章，“哥白尼错误地设想应有一种特殊的原理，以使地球每年一度在南北方向上来回振荡，冬夏由此而生……”“其实是不必要的”。

^② 前引《无人读过的书》，第29—31页。

^③ *Regesta*, nr.503.

^④ *Ibid.*, nr.506, 1543年8月29日，Nuremberg的市议会给Giese回信，委婉地表示它不打算对出版商Petrieus作任何处罚，同时附上了Petrieus提交的书面辩解。Petrieus说他的确不知道，而且也无法知道作为前言的“致读者”不是出于哥白尼的手笔，因为原稿是作为书稿的一部分一起送到出版商手里的。资料来源：Staatsarchiv, Nurnberg, Ratsverlasse, nr.960, c.19a。

呈教皇，——“如果没有的话，我愿意为逝者再一次效力。”

第五节 16 世纪 40 年代：对《运行论》的最初反应

提埃德曼·盖尔斯出生在格旦斯克一个富裕的商人家庭。他很早就结识了哥白尼，甚至可能还是远房亲戚。我们还记得 1514 年他和哥白尼一起，为条顿骑士的事上书波兰国王。早在 1536 年他就在他的书中盛赞哥白尼的学问，同时还引述了伊拉斯谟，当时的大学问家，文艺复兴的领军人物，说是伊氏在世的时候对哥白尼的学问曾经有过肯定的意见。^①1540 年 4 月 23 日，大概听说了一个天主教的主教给普鲁士公爵寄去了雷蒂库斯的书，他特别写信给公爵，为哥白尼的工作先容：^②

……哥白尼，一个弗隆堡的教士，他的关于天文学的独创的新观点让每个人都发生了特别的兴趣，而现在维腾堡大学的数学家正因此赶往普鲁士去了解这一理论的基础。在这个新理论刊行之前，这个数学家写了一本小册子叫《初论》，介绍其内容，同时也歌颂了您和普鲁士。

我们知道盖尔斯是个好人，是个好教徒，后来升任主教，并调任哥白尼曾当过教士的教区主教，但没有史料表明他也懂天文学——他或许有一些天文知识，这是每一个教士的必修课，但是决非精深到可以理解评判哥白尼的程度。他支持、赞扬哥白尼，是因为他相信哥白尼，相信他的好朋友们的学问是不会错的。这和雷蒂库斯的情形有些不一样。

远在荷兰鲁汶的数学家吉玛也听说了哥白尼。1541 年 7 月 20 日，他写信给哥白尼的教区主教约翰旦梯斯库斯，要求出版哥白尼的著作：^③

^① *Regesta*, nrs. 348, 358. 他的书是指 *Hyperaspistes*. 资料来源: The Astronomical Observatory Library, Krakow, nr. B505, K.S. III, 10.5.

^② *Ibid.*, nrs. 438, 439: 公爵特别提到这本书是关于行星和地球的运动。

^③ *Ibid.*, nr. 469, 这封信后来被瑞典人当作战利品带到 Uppsala 大学, 资料号 H155, c. 49v—50v.

赞美波兰王，他的土地庇护缪斯，众星之神在那儿安置了新的座位，迎来了新的仰慕者，为我们展示了日月星辰和整个宇宙的新的图景。且不说哥白尼假说的品质和纯正，这位著者在他以前的序论里提到过这些说法并用来作为他的[宇宙图景的]论据。……我希望，还有很多学者也希望看到这部著作完成。因此我请求你帮忙加快出版这位著名作者的著作，有一次我们在讨论地球和苍穹的运动时，我还曾提到过他。

这个吉玛是鲁汶大学的教授，以制作精巧的科学仪器和注释彼得阿皮阿诺的三角学著作著名。他第一个提出了可以利用精确的时钟来测定经度，在哥伦布麦哲伦远航刚刚完成、无数帆船正起航向西向南进入大西洋的16世纪30年代，这是一个备受关注的、并且有头等实用价值的难题。他因此自然注意天象。至于在理论天文学方面，则未闻他有特别的建树。

哥白尼关于日心地动的新奇说法当然也传到了学者圈子以外。1540年1月22日离哥白尼当时住地不远的埃尔布隆格市的一个中学的校长向普鲁士公爵献上了他们学校要上演的一幕喜剧，剧名叫《傻瓜》，^①而其暗中讽刺的，谁都看得出来，是哥白尼和他的学说。第二年上半年，这个剧本在格旦斯克出版，据说是在谈论“都很搞笑的、都很令人尊敬的、真的和假的聪明”，仍旧用了最初上演时的名字《傻瓜》。据和哥白尼几乎同时代而稍后的学者布鲁扎克说，他看见过盖尔斯写的一封信，其中提到这个所谓的喜剧，说是“强烈地反哥白尼的”。^②但不久，可能在雷蒂库斯的影响之下，这位中学校长的态度又有了相当的变化，变得不那么极端了。

① “Morosophus”，*Regesta.*，nr.432.

② *Ibid.*，nr.445. John Brozek生于1585年，出身清寒，后来由自己的努力进了Cracow大学，成了16、17世纪间波兰的领风气的大学者，见Erna Hilfstein, *Studia Copernicana*，21(1980)26—27。

的确，哥白尼和他的日心说在 1540 年前后，在欧洲的学术圈内外，早就不是什么秘密。哥白尼最早的传记作者之一，斯塔若夫尔斯基，^①是哥白尼学说的热烈支持者。他写道：“赞颂哥白尼，整个世界都赞颂哥白尼，他的著名的信念，地球的不知止息的运动，这个世界正是因此被照亮。”在传记的修订第二版中^②，斯塔若夫尔斯基曾列举了几个哥白尼学说的主要反对者。

奇怪的是他所列举的三个人中有两个是法国人，而不是当时在东欧影响更大的德国人。先是朱利安·斯卡利吉尔，^③其学问在当时被认为是自亚里士多德以下第一人，而在 16 世纪是无人可以比肩的传奇人物。据他自己说是出身名门，但他死后很多人质疑这一说法。他的著作甚多，其中造就他声名的主要是对亚里士多德的《形而上学》的注释。不难想象，从亚里士多德出发，斯卡利吉尔以“极度的傲慢和粗暴的言语”拒绝了哥白尼学说。

热昂·鲍丁后来被称为是 16 世纪法国最重要的政治哲学家。在谈到哥白尼学说时，他以最坚决的态度拒绝了地球的运动，因为如果哥白尼是对的，那么：^④

物理学的整个基础就将化为齑粉，……没有一个神经正常的、在物理科学方面有哪怕是最起码的训练的人会相信，地球，厚重如此，连同它的全部重量，会绕其中心，同时绕着太阳，像月亮那样上下运动。

① Szymon Starowolski, 1588—1656, *Hekatontas*, 1625, Frankfurt am Main, reprinted 1644 and in Wroclaw in 1733. Enlarged and improved 2nd ed., 1627, Venice, 即《百人传》，英译见 Erna Hilfstein, *Starowolski's Biographies of Copernicus*, Wroclaw: The Polish Academy of Science Press, 1980. Starowolski 在上述《百人传》里把哥白尼列在第 67 位，但这是按传主的官阶大小排列的，哥氏仅为一教士，当然屈居达官显贵之后。据说这一做法是循 Albert Miraeus(1573—1640)，在所著 *Elogia Belgica* ... 1609 的先例。

② Hilfstein, *Starowolski's biography*, *op. cit.*, p. 51.

③ *Encyclopedia Britannica*, the 11th edition, 1911. 这一版本的依据大概是 M. de Bourousse de Laffore 的 *Etude sur Jules Cesar de Lescale* (Agen, 1860) 和 M. Magen 的 *Documents sur Julius Caesar Scaliger et sa famille* (Agen, 1873)。

④ Jean Bodin, *Universae naturae theatrum*, Lyon, 1596, pp. 580—582, *op. cit.*, Edward Rosen, "Galileo's Misstatements about Copernicus," *Isis* 49(1958) 326.

其实，热昂·鲍丁的天文学数学知识并不足以理解哥白尼的学说——他只是听说了有这么一回事儿，又很自信地同时又很不明智地说了些他认为不可能错的话。他接着引述了“哥白尼的”关于王国的兴衰和地球的偏心运动论述，殊不知哥白尼从来没有谈论过占星术，而他引述的则是雷蒂库斯《初论》中的一段，^①这表明他大概并没有看过哥白尼的原书，很可能只是耳闻而已。

和这两位几乎同时代的，有极富争议的巴黎大学教授佩德鲁·拉摩斯，他对哥白尼则取赞同态度。他说：“在我们的时代有占星家哥白尼，他不仅堪比古人，而且在占星术方面几乎是独步当代。他摒弃了陈旧的假说，另立他说，虽非全新，仍该钦慕。他表明星占并不依赖于群星的运动，而有赖于地球的运动。”拉摩斯显然也没有直接读过哥白尼的书，他不仅把哥白尼错划为“占星家”，而且注意点也侧重于哥氏“堪比古人”。拉摩斯以其哲学和逻辑学著，对天文学和数学相当隔膜，所以他大概也只能做到这样的评价。如果全面地考察拉摩斯的立场，很容易发现他对哥白尼学说的称赞，更多地来自他对亚里士多德的批判。拉摩斯出身清寒，1536年靠工读完成学业，据说学位论文的题目是“亚里士多德全盘皆错”^②，近代拉摩斯的研究者进一步解释说，拉摩斯的意思是“亚里士多德说的不能构成一个整体，因为这些说法没有很好地系统化而只能靠随意的零星记忆取用”。

巴黎的一个学院的教授，拉摩斯的好朋友塔隆，在1550年出版的《学术问题》中写道：“我们这个时代的哥白尼，循着地球运动的古训，写了很多书，并证明了地球运动和苍穹不动的理论。”^③看来塔隆对哥白尼也是所知不多，因为哥白尼没有写过“很多书”，这是遐迹皆

^① Bodin, *Commonweale*, p.454.

^② Walter Ong, *Ramus, Method, and the Decay of Dialogue: From the Art of Discourse to the Art of Reason*, Cambridge: Harvard University Press, 1958, pp.46—47.

^③ Talon的研究比较少见，这儿的材料来自 Frederic J. Baumgartner, “Specticism and French Interest in Copernicanism to 1630”, *Journal for the History of Astronomy*, 17(1986) 78.

知的事，——倒是有不少人劝他写。而对塔隆印象最深的，似乎也是“古训”，这大概是从拉摩斯那儿听来的，多少是有些道听途说。有意思的是，塔隆是在谈论“感官误导”的可能性时谈到地动说的，这倒是相当深刻的一个论题，但是我们其实无法确指他是真的对此有心得呢还是正好举了这么个例子。这一论题的深刻意义还要再等八十多年，直到伽利略的《对话》，才真正展开，当然，这是后话。

1544年，《运行论》传到罗马，据说当时的教廷检察官巴托洛米欧·斯比纳对哥白尼的新说颇不以为然。但是他好像还没有来得及说什么就去世了。他的朋友和同僚托洛萨尼在1547年出版的一本书的附录里评论了哥白尼，他的资质以及他的写作风格，以及他的观点。托洛萨尼是饱学之士，他的看法当是很多神学家学者共同的，因此也为后来的科学史家所留意：^①

……书中他想让那些消亡已久的教条起死回生，除了他本人以外无人相信。——照我的看法，他自己也不相信。正恰相反，在这本书里，他想炫耀他心智的敏锐而不是论述真理。从阅读他这本书我可以判断，他是一个心智敏锐的人。他懂希腊和拉丁文，用这两种语言雄辩地表述了他的观念，尽管遣词造句并非没有晦涩不清的地方，因为他用了太多的不常用的词。他也是数学和天文学的专家，但在物理学和雄辩术方面有所欠缺。

这段杂乱无章的评述用在其作者身上倒是恰如其分。接下来的批评是以亚里士多德理论为出发点的。因为物质元素有轻重之分，地球自然在下，而“他企图把较之任何其他元素更加厚重的地球，从它低下

^① Tolosani 先是有 E. Rosen 的研究，“Was Copernicus’ *Revolutions* Approved the Pope?” *Journal for the History of Ideas*, 36 (1975)，后有 Robert S. Westman, *The Copernican Question: Prognostication, Skepticism, and Celestial Order*, Los Angeles: University of California Press, 2011。Tolosani 的评论是用笔名 Joannes Lucidus Samotheus 发表的，下引文转引自 Rosen 的文章。

的位置抬升到一个高度，每个人都同意，这个高度对太阳的天球正合适。”他接着从亚里士多德的自然运动和强迫运动的概念批评了地动说，认为没有理由可以说明地球绕日运行是自然的，那么这运动就应该是强迫的，这也不合理。托洛萨尼于是得出结论：

哥白尼既没有读过作为哲学家的亚里士多德和作为天文学家的托勒密，也不理解他们。

这当然是胡说。但是，从亚里士多德的理论出发，托洛萨尼确实看出了哥白尼的本质困难：如果抛弃了元素诸如轻重的本质属性，如果抛弃了运动的“自然”和“强迫”的划分，我们如何从“物理上”解释天体运动呢？从本质上说，哥白尼的日心说是一个数学理论；我们已经看到，正是在数学上优美地消除了偏心匀速点，哥氏才得以把亚里士多德“匀速圆周”的要求完美地实现，但是亚氏的要求恰恰是基于对天体运动的“物理的”而不是“数学的”考量，而“物理的”考量的基础则是常识。很难相信当年托洛萨尼写下他的驳难时就已经有了这么深刻的认识，他只是在讲他所理解的亚里士多德，试图说明天体运动的物理原因。我们可以相当保险地假定，托洛萨尼并不知道他自己在说些什么，但是，在五十年以后，这个问题将注定要成为天文学的核心问题；开普勒将要发明一种离奇的理论来解释它，伽利略则断然拒绝任何的尝试，而牛顿则将要为此苦恼一辈子。当然，这是后话。现在值得我们注意的倒是，尽管是教廷的高级神职人员，托洛萨尼批评主要的依据是亚里士多德和常识。至于教义或是教廷的权威，并没有被用来当作克敌制胜的致命的武器。

马丁路德对哥白尼的批评可以说是在这一方向上的流传最广的一个例子。路德既自立门户，追随者日众。至于1540年前后，俨然一大宗师，每晚常与当时硕学名流共餐。酒足饭饱以后，即兴论说，品评月旦学说人物，宗教人生，无所不至。迨其身后，学者根据门人的记

录，编纂成册，是为 *Tischreden*，或译作《炉边谈话》。1539年6月4日，路德谈到哥白尼：^①

……有人提到有一个新进的天文学家，他想证明是地球而不是日月苍穹在运动。这就像一个人驾车或乘船而要想象他是静止不动的而整个大地树林都在移动。就是这么回事儿，无论什么人，想要显得聪明，就要把别人相信的东西批得一无是处，他必须标新立异。这就是那个家伙干的事，他想把整个儿天文学翻个个儿。就算他能把所有这些事都搅得乱七八糟，我仍旧相信圣经，因为约书亚是对太阳，而不是对地球，说“停下来”。

路德“想要显得聪明”而“标新立异”的一个重要方面就是强调《圣经》是基督教真理的唯一源泉。现在，他所最不能容忍的，当然是对《圣经》的哪怕是最间接的宽泛诠释。他所说的“约书亚……”云云在《圣经·约书亚书》10：12—13，说的是约书亚率兵进入应许之地的战斗。“当耶和华将亚摩利人交付以色列人的日子，约书亚就祷告耶和华，在以色列人眼前说，日头啊，你要停在基遍。月亮啊，你要止在亚雅仑谷。于是日头停留，月亮止住，直等国民向敌人报仇。这事岂不是写在《雅煞珥书》上么。日头在天当中停住，不急速下落，约有一日之久。”^②这一段经文的意思甚明，而强调《圣经》的权威正式路德宗改革的基本诉求之一，无怪乎路德会不假思索地援引《圣经》经文，用一种几乎不屑的口气拒绝了哥白尼。不难看出，路德所恃，是宗教的权威，同时也是常识：在他那个时代，《圣经》是常识的一部分；而他所倡导的改革的锋芒所指，则常在教廷的权威。他在这

^① Weimar Ausgabe, *Tischreden*, v. 4, nr. 4638, Capt. Henrie Bell 英译, London: William Du-Gard, 1652。并见金格瑞奇的引用，在《无人读过的书》中译第170页，但我未及利用中译者的译文。

^② 和合本译文。

儿并不打算强调教廷的权威；至于要挑战《圣经》的权威，哥白尼还谈不上，——在他看来，这只不过是一个新进好事之人，想要炫耀自己的小聪明罢了。路德当时的声望，如日中天，像哥白尼这样的问题，应该三句两句就能解决，尽管他关于“驾车乘船”的比喻后来很是为哥白尼的支持者所利用。当然，这是后话。

马丁路德的这段话，常被用来证明“基督教和科学之间的战争”。^①但是更细致的考察表明，^②在哥白尼学说传播的最初阶段，宗教方面的反对其实并不是哥白尼面临的主要问题。新教改革的另一个领军人物加尔文对哥白尼的批评的主要立足点同样是常识而不是宗教，和马丁路德不同，他并不主张逐字逐句地用圣经去规范天文学研究，而更强调前者的启示意义。他认为：^③

圣灵无意讲授天文学；对于最简单的和受过最好的教育的人来说他一视同仁，他通过摩西和别的先知用普通的言语预备他的教诲，因此没有人能够用费解的晦涩来遮蔽他……圣灵宁愿像小孩子那样向卑微的和没有上过学的人说话，而不是高深莫测。

他似乎是说，关于天文学，《圣经》中的话并不能当作教科书那样照字面来理解，但是对于地动说，他还是明白地表示了反对的态度：^④

苍穹日复一日地旋转……我们感觉不到任何的震动，——没有

^① 这一说法最早见于 Andrew D. White, *A History of the Warfare of Science with Theology in Christendom*, 1895, rep. New York: George Braziller, 1955, pp. 120—130。后来研究哥白尼革命的大家如 Dorothy Stimson, 研究科学革命的 Marie Boas, 都相当程度地强调了这一点。

^② 甚至马丁路德的这段引文的史料价值都在被质疑之列，见 J. R. Christianson 的综述，“Copernicus and the Lutherans,” *Sixteenth Century Journal*, 4, 2(1973) 2, esp. n. 6。

^③ Calvin, Commentary on Ps. 93:1, *Commentary on the Book of Psalms*, James Anderson 英译, Edinburgh, 1845—1849, v, p. 184, 原文见 *Calvini opera*, v. 32, pp. 364—365。

^④ *Ibid.*, v. 32, p. 16. 英译见 *Commentary on Ps. 93:1*, *op. cit.*, iv, pp. 6—7。

任何东西扰乱他们运动的和谐。虽说太阳逐日的运行不尽相同，但年复一年它总是回到原来的位置之上。

从历史上说，哥白尼的学说开始是通过学者的通信，后来是通过雷蒂库斯的《初论》传播开来的。有趣的是，最先作出反应的，并不是学有专精的天文学家，而是显然无力理解学说本身的人。他们支持或反对的理由和理论本身并没有什么直接的关系；支持者更多地出于对哥白尼的信任和友谊，或是喜爱它的新颖；反对者也并没有把它当作一个值得认真对待的对手，只是或是从常识，或是从宗教的教条，直觉地提出他们的意见。说实在的，当时很多人会认为，从常识出发，这种解释天象的奇谈怪论根本不值得一驳。^①而所有反驳的着眼点则几乎无例外地集中在“地动”这一基本假设上，因为任何一个脚踏实地的学者都不能想象他们脚下的地在动；至于没有机会学习读书写字的农民，他们对自己的简单的头脑通常并没有什么信心，但是这一次，对于他们生于斯、长于斯，几辈子劳作耕耘其上的土地，他们是知道的。哥白尼学说的最初遭遇，清楚地提示了它面对的困难的本质：任何一个自以为受过教育的人都会不假思索地拒绝显而易见的荒谬；这种荒谬如此显而易见，以至于无需诉诸教育、用常识就可以判断。

但是，对于新学说的不假思索的、直觉的反应并未持续很久，至少在学术圈内是如此。离哥白尼家乡不远是维腾堡，这个不起眼的小镇一直到16世纪初才开始热闹起来。市中心的市场广场一边是市政厅，

^① Edward Rosen 倾向于不能用几段话就认定加尔文是反哥白尼的，说见 *Journal for the History of Ideas*, 21 (1960) 431—441, 后收入 *Copernicus and his successors*, London: the Hambledon Press, 1995, 他认为加尔文对哥白尼的态度是“不置可否”，见上引书第171页。Heinrich Bornkamm 则认为马丁路德的《炉边谈话》并不是对哥白尼的正式的讨论，见“Kopernikus im Urteil der Reformation,” *Archiv für Reformationsgeschichte*, 40 (1943) 171—183. 这个问题的讨论延续了很久，见，例如，Wilhelm Norlind, “Copernicus and Luther: A Critical Study,” *Isis*, 44 (1953) 273—276 和 Heinrich Meyer, “More on Copernicus and Luther,” *Isis*, 45 (1954) 99. 但他们的说法似乎有过分的“辩解”的色彩；事实上，在16世纪，基督教的影响远比我们想象的大，一般人的分析评判常基于基督教教条，了解这一点对于理解哥白尼有非常重要的意义。

有两个塔楼，而不是一个。这很像布拉格，不同的是，在世纪交替的年代，维腾堡远不是像布拉格那样是学术政治经济的中心。这个小镇不在当时的主要贸易路线上，也没有深厚的学术或宗教传统，用路德的话说是“文明世界的边缘”。直到萨克森候选侯菲特烈 1486 年就位，情形才开始发生变化。菲特烈号称“明智”，去事实也不远。1521 年教廷会议以后，正是他把路德置于瓦特堡城堡予以庇护，而他本人则既非路德的朋友，又非新教信徒，但称惟有时间才能判断孰是孰非，其开明如此。1502 年步巴黎和布拉格大学后尘，在这儿建立了一所大学。

这是欧洲第一所没有按照惯例得到教皇旨谕批准的大学。先是 1508 年路德来此任教，1517 年他就是在这儿的圣徒教堂门上贴出《九十五条论纲》，掀起轩然大波的。在传统看来，这是个离经叛道的渊藪，无怪乎后来被正统的教派指为浮士德的家乡。这个从德国 16 世纪的传说中发展出来的角色，“把圣经放在门背后，凳子底下，拒绝别人称他为神学博士而宁愿被叫做医学博士”，^①而把这个故事传扬开来的马娄^②最后终于以渎神罪被处死。在路德改革派看来，这是新思想的发源地，科学、神学和哲学在这儿融合，相互发明。这所大学于是在圣经研究上崭露头角，维腾堡一蹴成为新教重镇。1518 年，路德的盟友菲利普马兰克顿出任该校校长，讲授物理学和天文学；二十年后，这所大学的数学教授雷蒂库斯就要从这儿出发去见哥白尼，撰写《初论》，使得哥白尼学说在整个欧洲传播开来。

马兰克顿^③从 10 岁起接受拉丁语和希腊语文学的训练，并开始接

① *Encyclopaedia Britannica*, New York, 1910, 浮士德条。

② Charles Nicholl, “By my onely meanes sett downe: The Texts of Marlow’s Atheism,” in Takashi Kozuka and J. R. Mulryne, *Shakespeare, Marlowe, Jonson: new directions in biography*, Burlington: Ashgate, 2006, p. 153. 我们现在所熟知的浮士德的形象主要来自于后来歌德的作品。

③ O. Kirn, “Melanchthon,” in *New Schall-Herzog Encyclopedia of Religious Knowledge*, Philip Schaff ed., New York: Funk and Wagnalls, 1908, v. 7, pp. 277—287. 这是很多马兰克顿传的源头。同见 Sachiko Kusukawa, “Melanchthon,” in *The Cambridge Companion to Reformation Theology*, David Bagchi and David C. Steinmetz ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2004, pp. 57—67。

触亚里士多德的哲学。1509年进入海德堡大学学习哲学，修辞学和天文学，当时还不到十三岁。不久转入图宾根大学，学习法学，数学，天文学和医学，当代学问无所不至。1518年往维腾堡大学任希腊语教授。时届宗教改革高潮，更与马丁路德气味相投，诘难先哲，发明新说，而这种对《圣经》和古典学的研究，又强烈地刺激了他对天文学的兴趣。在大学任教到担任校长的三十多年里，马兰克顿撰写了好几本教科书，推动了一系列的教学改革。他为中世纪最流行的天文理论家萨克罗博斯科^①的《论天球》写序，为他的学生瑞因霍德对波尔巴赫的研究写序，为再版欧几里得的《几何学》写序，极力鼓吹科学教育。细看马兰克顿的学问，亚里士多德的哲学是贯穿始终的主线，而正是亚里士多德，把他带进了自然界，使他面对苍穹。他认为，这种“学问的大融合”包含天文学，也包含了历史的教益。

大约在1540年前后马兰克顿第一次从雷蒂库斯的《初论》系统地了解到哥白尼的新说，最初的反应自然是直觉的否定。在1541年10月16日致一位朋友的信里，马兰克顿曾不无讽刺地提到一个“萨马”天文学家；案“萨马”是伏尔加河和维斯图拉河之间的区域，略同于今日的东欧，当暗指哥白尼无疑：^②

像这个萨马天文学家那样做出这么个荒诞的东西真是奇妙极了，他要让地球运动而让太阳停下来。明智的人该管一管，让这个鲁莽的天才停下来。

^① Sacrobosco, 大约卒于1256年，圣奥古斯丁会教士，著有《论算法》、《论计算》和《论天球》和天文学基础多种，直至13世纪，一直是欧洲各学院的主要教科书。这些著作又不断被以后各个时代的学者研究注释，如1550年佛罗伦萨的Maurus注本，1537年和1550年Sienna的Francesco Pifferi注本，见Lynn Thorndike, *The Sphere of Sacrobosco and its Commentators*, Chicago: University of Chicago Press, 1949, 并见John Daly, "Sacrobosco," *DSB*, v.12, pp.60—63.

^② 这是给Burkhard Mithobius的信，中译依*Regesta, op. cit.*, nr.478, 同见于Prowe, *op. cit.*, v.1, 2, p.232. E. Rosen的英译有细微差异。

这时他四十三岁，担任校长也已经差不多二十年了，旗下聚集了一大批路德派的学术精英，俨然是领一代风气的大师，对于新说，宜乎有这样轻蔑的反应。稍后在1549年，马兰克顿又提到了哥白尼学说：^①

苍穹每二十四小时在空中运行一周，这是睁开眼睛就能看见的证据。但是某些人，或者是为好鹜新奇，或是想炫耀见解独特，说是地球在运动；……这个笑话并不新鲜，阿基米德有一本书，叫做 *De numertionearenae*，他在书里说萨摩斯的阿里斯它喀斯就曾力挺这一似是而非的怪论，说是太阳停留不动而地球绕着太阳转。尽管机敏的学者为了给他们的独创一个说法而研究了很多问题，年轻人应该知道，公开地为这么一个荒谬的想法辩护并非体面或诚实的事，也不该开此先例。

他的主要论据仍是“睁开眼睛看”。的确，常识即经验是亚里士多德关于天地的论述最强有力的基础，当常识被权威强调时，它们几乎是不可撼动的。

但是可以留意的是，在距他对哥白尼的最初评论将近九年以后，马兰克顿的确提到了有些“机敏的学者”想要给哥白尼的独创“一个说法”。这是指他的学生的工作，首先是雷蒂库斯，也应当有瑞因霍德和他的女婿卡斯帕波瑟，一组当时欧洲最高水准的数学天文学家。马兰克顿的细微而缓慢的改变，很是描画了哥白尼理论在欧洲的扩散的最初情形。哥伦比亚大学的桑达克注意到，从1545年起，^②

^① 这一段评论素为论者所重视，原出自 Philip Melanchthon, *Initia Doctrinae physicae*, 1549, 见于 *Corpus reformatorum*, v. 13, p. 216. A. B. Wrightsman, "Andreas Osiander and Lutheran Contributions to the Copernican Revolution," Diss. at the Univ. of Wisconsin, Madison, 1970, p. 342; Bruce T. Moran, "The Universe of Philip Melanchthon," in *Comitatus*, 4 (1973) 14; Olivier Thill, *op. cit.*, p. 217, 都有讨论。中译参考了以上诸家的英译。

^② Lynn Thorndike, *History of Magic*, New York: Columbia University Press, 1941, v. 5, p. 385. 下文“1562和1570年”版成于马兰克顿身后，似不宜用来讨论他态度的变化，但原文如此，置此存疑。

马兰克顿自己对于哥白尼理论态度好像发生了可以察觉的变化,他支持瑞因霍德以哥白尼模型和理论为基础编纂星表,前后长达六年之久。1549年的第一版《物理学原理初步》,虽说也用了一些哥白尼《运行论》,但不仅整个理论的基本上仍是托勒密的,而且在提到日心说时,少不得带着轻蔑。但是在后来的1550,1555,1562和1570年版中,马兰克顿改变了引用日心说的口气,删除了一些话,这些话本来暗示日心说只不过是好鹜新奇的胡说,荒诞不经的奇谈和噱头。可是到了1553年,他又对“太阳的运动”而不是地球的运动作了长达十一页的计算。^①

1553年,马兰克顿发表了“关于猎户座的演说”。^②这时他已经是在维腾堡大学执教三十五年,公认的“欧洲的导师”,学术界无可争议的大师级人物了。这篇演说的正式标题是,“对天文学研究的评论:驳那些通过不公正的诽谤来删节辱骂妨碍这一研究的人”。他重申了天文学研究对于认识上帝的特殊意义,他讲了猎户座在星辰中的特殊地位,讲了《圣经》,也讲了神话和传说,但是日心说引人注目地未被涉及。1553年正是日心学说被热烈讨论的年代,维腾堡正是日心说最初的研究中心,马兰克顿正是当时领一代风骚的学者——他对天象和天文学的研究兴趣广为人知,他对占星术的热爱曾被路德所诟病,而他在讲演中,没有谈日心说,没有谈哥白尼。这就给人留下了想象的空间,我们当然不能确指他是怎么想的,但我们确实知道,马兰克顿的态度,至少给当时的、较他年轻一代的学者和他的学生们留下了想象的空间,或许哥白尼的新说中至少有些成分是可以接受的。

^① 手稿和1482年米兰版的 *Peckham's Perspectiva communis* 装订在一起,今藏加州 San Marino 的 Huntington 图书馆。

^② *Corpus reformatiorum*, v.12, Halle, 1844, col.46—52, 有 William Hammer 英译,在 *Polar Astronomy*, 51(1951) 312—319。

菲利普马兰克顿对哥白尼学说的态度在一定程度上可以看作是 16 世纪中叶、日心说刚刚为世人知晓时学术精英阶层反应的一个缩影：从最初的断然拒绝转向部分的、有选择的接受。马兰克顿不是一个随便改变主意的人，但显然他是一个深思熟虑的人。他的拒绝不仅是因为他的直觉告诉他说地动说是荒谬的，而且对亚里士多德的长年的、坚实的研究也告诉他，要抛弃亚氏，就是要抛弃整个宇宙图景和秩序，而在 1550 年前后，尚没有足够的理由使他相信这是唯一的出路。另外一方面，哥白尼学说的明显的优点，宇宙图景的一致性，尤其是通过消除偏心匀速点而实现的、对亚里士多德原则更完美的贯彻，又令他不能简单地否定或拒绝这一重大修正。为了贯彻亚里士多德的原则就必须抛弃亚里士多德的图景，这个选择对于文艺复兴以后在亚里士多德抚育下成长起来的一代学者说来，太严酷了。在 16 世纪中叶，在离哥白尼最近的维腾堡，摆在学者面前的，就是这么一个问题。

第六节 16 世纪 50—60 年代：维腾堡解释

马兰克顿所从事的不是天文学，他也从来没有接受过哥白尼的日心说。但是他是一个学者，是一个心态平衡的人，他对于学问，有他独到的品味。在应聘来维腾堡的第四天，他以“改进青年学子的教育”为题发表演讲，虽然只有二十一岁，他所展示的大师风范，“学识，对要点的把握，强有力的推理，以及优美的遣词造句”，^①竟使在座的马丁路德动容，^②从此结为挚友和同志。他确实认为科学，或者更准确

^① Joseph Stump, *Life of Philip Melancthon*, 2nd ed., New York: Pilger, 1897, p. 33.

^② 在听马兰克顿讲演的第二天，路德写信给 Spalatin：“既有了他，我就不再想要别的希腊语教师了。……我听说因为工资太低，莱比锡实力雄厚的教授希望很快把他从我们这儿拉走。” De Wette, *Luther's Briefe*, v. 1, p. 135, James William Richard, *Philip Melancthon, the Protestant Preceptor of Germany, 1497—1560*, 这本书有 Nabu Press 2010 年翻印本，p. 41 引。

地说，天文学和物理学，是为神学服务的，而科学的价值，首先是来自于科学所提供的这种服务；但是正是科学的这一功用，使得科学变得无比重要。“不管怎么说，教会所教导的很多事，没有物理学是无法解释清楚的。”^①

从纯粹的学术史来看，马兰克顿鲜有特别的发明建树。除了关于圣餐的解释之外，他从最严格的意义上说是一个路德派教士；他一直把仅仅比他长十五岁的路德称作精神上的“父亲”。^②他是作为一个改革家，一个教育家载入史册的。1545年马兰克顿对教学科目和教材作了重组，初级班的学生以普列尼的《自然史》、亚里士多德的《伦理学》和我们上文提到过的萨克罗博斯科的《论天球》为教材学习数学和物理学，高级班则学习欧几里得，以及波尔巴赫的行星理论和托勒密的《至大论》。经过三十五年的精心培植，维腾堡大学渐渐跻身于欧洲学术中心之列，这是马兰克顿通过招募收罗的一大批学术精英实现的。科瑞乌斯^③，一个很认真投入的学生，注意到马兰克顿对隐秘科学的大师帕拉塞尔苏斯有严厉的批评；卡瑞昂，大学早年的学生，1521年成了布兰登堡的宫廷占星家，他对1550年天象的预言，后来影响颇大。这些人从四面八方汇聚到马兰克顿麾下，砥砺切磋，辩诘驳难，又分散到各地，把新观念，新理论传播出去，号称菲利普派；^④而菲利普，正如学

① *Corpus reformatorum*, *op. cit.*, v.13, pp.190—191.

② 1546年2月18日给朋友的信，转引自Joseph Stump, *op. cit.*, p.185.

③ L.Thorndike, *op. cit.*, v.5, p.381.

④ Robert Westman列举了维腾堡的学生和教师散布到欧洲各大学的情形：马兰克顿的密友，后来成为他的传记作者的Camerarius和雷蒂库斯的学生Johannes Homelius(1518—1562)，去了Leipzig，我们稍后还会看见他；Samuel Eisenmenger和Jacob Heerbrand在图宾根，1569年，Philipp Apianus(1531—1589)，继任他的教职。Apianus的学生Michael Maestlin(1550—1631)，先是在Heidelberg，后来自1584年起在图宾根任数学教授。雷蒂库斯的学生Matthias Stoius和Friedrich Staphylus在Konigsberg；马兰克顿的学生Hermann Witekind(1522—1603)，在Heidelberg和Neustadt，Michael Neander(1529—1581)，在Jena成为希腊语和数学教授，并在1561年撰写了论天球的著作。雷蒂库斯的另一个学生Joachim Heller在纽伦堡接替了Johannes Schoner(1477—1547)，甚至在Scandinavia，波瑟和Sebastian Theodoricus的学生Jorgen Dybvad, d. 1612，在1575年当上了哥本哈根大学的神学、自然哲学和数学的教授。见“The melanchton circle, Rheticus, and the Wittenberg Interpretation of the Copernican theory,” *Isis*, 66(1975) 171。又据Thorndike, *op. cit.*, v.5, p.381, Hieronymus Wolf(1516—1580)，于1543年在Mulhausen获得古典学教职。

生们如此亲切地称呼的马兰克顿，他的人格力量，他对莘莘学子的爱惜庇护，又在学问之上，使得他当之无愧地成了“欧洲的导师”。^①

在他的《物理学原理初步》中，马兰克顿讨论了哥白尼的新理论^②，他认为哥白尼在八个方面“不通”。在神学方面，马兰克顿引述了诗篇第19章和约书亚书，指出新说和《圣经》的明显抵牾；在数学方面，他说苍穹既然可以看作是一个大圆的圆周，那么一个旋转着的圆周的中心应该是不动的；物理学方面，他引述了亚里士多德关于简单物体只能有一种简单运动的理论；在天文学方面，如果地球不在宇宙的中心，那么四季的长短将不断地变化；最后，从常识出发，他还指出，如果地球运动，所有的东西都将变成碎片飞散开来。很容易注意到，马兰克顿的诘难，除了一处是以《圣经》为出发点的，其余的都建立在常识或亚里士多德的理论之上，而如我们一直力图强调的，亚氏的理论的基础仍然是常识。可能是唯一的例外，对哥白尼的月球理论，从模型到推导，马兰克顿称赞有加。他说整个论述是“如此优美地安排成一体”，至于整个的宇宙图景，他建议学生们仍旧用托勒密的模式。^③“物理不通，数学精湛”，这就是总评；于是，维腾堡诸公对哥白尼的学说的态度，很自然的是，取其精湛而去其不通。

月亮是哥白尼《运行论》的第四卷讨论的主题。和别的天体不同，月亮是绕地球转的，自然和“地”动与不动、“日心”或“地心”的关系不那么突出，这使得这一段讨论变得“更加直捷，成为对《至大论》和

^① 语出自前引 Richard 的书名，以后各家转辗引用，竟为俗成。Robert Westman 特别指出围绕马兰克顿形成的学者集团主要是靠他个人魅力凝聚在一起的，*op. cit.*，p. 167。

^② *Initia doctrina physica*，bk. 1，pp. 59—67，这儿的简述采自 Dorothy Stimson 在哥伦比亚大学的博士论文，*The Gradual Acceptance of the Copernican Theory of the Universe*，New York: Baker & Taylor，1917，pp. 39—41。

^③ Emil Wohlwill in *Mitteilungen* . . . ，v. 3，Leipzig，1904，最初注意到马兰克顿对哥白尼的评论不见得是完全负面的，以后又有 Wilhelm Maurer，*Archiv für Kulturgeschichte*，44(1962) 223，和 Konrad Müller，*Centaurus*，9(1963) 16—28，提到这一点。在英语文献中，只有前引 Thorndike，v. 5，p. 385，提到，见 Robert Westman，*Isis*，66(1975) 173 的评述。

[波尔巴赫和拉哲蒙坦那的]《概要》的方法更加直接的应用”。^①在这儿，哥白尼运用了两个本轮来说明月亮复杂的、在他看来是四重的运动。^②马兰克顿当然不知道，这一月球理论和伊本萨蒂尔两百年前提出的一模一样；而伊本萨蒂尔当年发展这一套理论的初衷正是要消除偏心匀速点，从而真正贯彻亚里士多德的“匀速圆周”的完美原则。显然，把亚里士多德的原则完美地贯彻到底，在“地不动”的前提下系统地运用哥白尼的数学方法，求得和现象与观测更加密合的结果，是最理想的了。这就是16世纪50年代以及稍后，在维腾堡大学以马兰克顿为中心的学术圈的孜孜所求。

大学的数学家们极为深入地研究了哥白尼的数学方法和星表，并且在相当的程度上采纳了哥氏的做法，然而对于以日心说为特色的宇宙图景，则取颇为消极的态度；不仅因为这一新说不合于《圣经》，不仅因为它和常识抵牾，而且因为新说确实又造成了新的物理学和天文学的困难。于是出现了这种对哥白尼理论的一分为二的接受：数学和技术部分被采纳，图景和物理部分则被搁置，或者套用当时通常的说法，就是把哥白尼的日心说当作一种为方便计算而设立的假说，——倒也不一定坐实其“假”，但也不必力辩其“真”。这就形成了所谓的哥白尼理论的“维腾堡解释”。这一解释的哲学背景有时被归为“实用主义”，^③虽然这种标签式的批评似乎失之过度简化。事实上，这一解释是对哥白尼的日心说的高度理性化的分析的结果：试想贸然接受没有观测数据支持、和常识相悖逆、与当时流行的哲学不相容的一种新说，将是一种什么局面。如果把维腾堡解释放到16世纪中叶的历史环境中考察，我们会看到，这正是科学发展中的一个关节点。“是鸟绕着树转还是树绕着鸟转”从来没有成为一个问题，因为我们睁开眼睛就可以看见；但

① N. Swerdlow and O. Neugebauer, *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, *op. cit.*, p. 75.

② 《运行论》第4卷，第3章，叶译本第128页；在《简述》里有一个更简单的、非技术性的说明，见 *Three Copernican Treatises*, *op. cit.*, pp. 68—69.

③ Robert Westman, *op. cit.*, p. 174.

是当我们的认识要面对“是地球绕着太阳转还是太阳绕着地球转”这样的问题时，情形就不那么简单了。这是科学第一次面对一个我们的感官所不能直接感知的对象，这在人类认识自然的历史上，没有先例。没有人可以看见地球是不是绕太阳转，我们只能想象，这就发生了真伪问题。科学在本质上是保守的；而正是这种保守性，保证了科学的严谨和稳定，摒弃了天马行空式的狂想，杜绝了似是而非的臆造。在物理和宇宙论层面上的对哥白尼日心说的批评，正帮助凸显了这一学说的致命的薄弱环节，而以后五十年的发展，将集中在这一方向上。新学说于是得以精粹磨炼，如金在砺，基础更臻深厚，构造更呈完整，与观测数据更趋密合，在整体上更加坚不可摧。马兰克顿对于这一解释的贡献，不在于他对此学说了什么或是写了什么，而在于他对于此一学说的、建立在深思熟虑上的批评和诘难。他所开创的风气，他对科学的尊重，与他广博的学识互为表里的平衡的心态，以及他平和的个性，都影响了他的学生们对新学说的评价和态度。如果把日心说的发展和三百年后量子论的发展作一比较，很容易发现这两个科学史上最重要的突破在很多方面有惊人的相似，而这种比较为我们理解人类认识的发展所提供的岂止是一种深刻的启发。史家常以后来科学发展的结果来评判科学发展的过程，把最终成果与发展阶段中的种种尝试作静态的比较，自诩春秋笔法，妄论是非曲直，实际上恰恰抹杀了科学发展从不知到知，从知之较少到知之较多的、不断试探不断修正的本质特征，而懵懂于科学发展的动态分析。殊不知科学史研究的大题目常不在于我们最后知道了什么，而在于我们是怎么知道的，而这正是科学史的精髓。

从这一观点来考察，那种把数学计算和物理模型分开考虑的想法就变得可以理解了，——事实上，岂止是有人这么想，实在是当时颇为流行。早在《运行论》问世以前，我们上文提到的数学家吉玛，鲁纹大学的数学教授，就有过清楚的陈述：^①

^① 1541年7月20日致Dantiscus的信，*Regesta*, *op. cit.*, nr.469。

我并不十分在乎地球是运动的还是静止的，——不在乎这两种说法谁对谁错，我只在乎对星辰的运动和时间区段的知识，并把它们应用于最精细的计算之中。

这就让人想起奥西安德。他在“告读者”中写道，^①“这些假设并非必须是真实的，甚至也不一定是可能的”。这招致后来很多作者的严厉批评。但是另一方面，值得注意的是，他也确实在哥白尼和托勒密之间作了如下平衡：

我们把这些新的假设也公布于众，与那些现在不再认为是可能的古代假设共同存在。我们这样做，更是因为新假设是令人赞美的、简明的，并且与大量珍贵的、非常精巧的观测相符合。

如果套用库恩的术语，这就是所谓的并存规范的相互竞争。奥西安德认为，“如果它们[假设]提供一种与观测相符的计算方法，单凭这一点就够好了。”很多年以后，梅斯特林在奥西安德的“致读者”的页边上写道：^②“这封信的作者，不管他是谁，是想要引导读者，既不要鲁莽地把这些假说抛到一边，也不要接受它们；他其实是很不小心地把本来最好不要说出来的东西信口大谈一通。”正是在这种学术气氛之中，维腾堡大学的数学家们拿到了雷蒂库斯带回来的《运行论》。

把哥白尼介绍给欧洲学术界的雷蒂库斯是个怪才，或者是因为他先天地有怪诞的倾向，或者是因为爸爸被砍了头而后天地受了刺激，他生性不安分，他必须到处乱跑。^③当年在维腾堡拿到学位后仅仅教了三年

^① 叶译本，正文前第18页。下两段引文同。

^② *Op. cit.*, Robert Westman, *Isis*, 66 (1975) 174n32, 金格瑞奇也考察过Maestlin用过的《运行论》原本，见前引书193—199页，现藏The Stadtbibliothek, Schaffhausen, Switzerland, 但他没有提到这一段眉批。

^③ 雷蒂库斯生平参见Dennis Danielson, *The First Copernican: Georg Joachim Rheticus and the Rise of the Copernican Revolution*, New York: Walker and Co., 2006。

书，就离职往各地游学，先是彼得阿皮阿诺，后是舒纳，再从后者那儿听说了哥白尼，才有了《初论》，才有了《运行论》的出版。他在本质上是个数学家，1541年10月18日他回到母校维腾堡时，首先出版了《论三角学》^①，这是《运行论》中关于平面和球面几何学的阐述，再加上了他自己关于弦长的数值表。这实际上和我们现在常用的正弦函数表差不多，但不知为什么原因，哥白尼和雷蒂库斯都没有用“正弦”这个词。次年，在快要完成对《运行论》出版的监督时，他又接任莱比锡大学的教职，离开了纽伦堡，并客观上给奥西安德的“告读者”造成了一个机会。在莱比锡呆了不到两年，1545年，再度出外游学，其间发生了一次严重的精神失常，康复后几经辗转，回到莱比锡教书。不到两年，因酒醉后和学生发生同性性关系，被迫离开。奇妙的是，尽管颠沛流离，他在三角函数表上的工作并未放弃。在维腾堡大学学生瓦伦廷奥多的协助下，1551年他完成了对所有六个函数的数值计算。到他死后的1596年瓦伦廷奥多最终完成了函数表的出版。雷蒂库斯-奥多表在第一象限提供了每45"的正弦值，后来更扩充到每10"的正弦和余弦值。至于天文学，雷蒂库斯的兴趣一如既往地星象和星占之上。——我们还记得他的博士论文，直到1562年3月，雷蒂库斯还在努力研究从创世以来的年代学，这在现在大部分人看来几近荒诞的追寻，在16、17世纪可是一门牛顿也下了大功夫的学问，当然，这是后话。^②

当时在维腾堡一定弥漫着浓厚的占星术气氛。我们提到过马兰克顿对此道颇是热衷，雷蒂库斯自然也是。大学的数学和占星术教授米利奇^③更是认为占星术不应该仅仅因为不能准确地预测事件的发生就被藐视或摒弃。他争辩说，别的学问不是也不能做出准确的预测吗，为

^① *De lateribus et anguis triangulorum*, 雷蒂库斯在1542年6月20日送给 Gasser, Enrico Stevenson ed., *Bibliotheca apostolic vaticana*, Rome, 1886, nr. 1528, E. Rosen, *DSB*, v. 11, p. 396 引。

^② 参看，例如，本书作者，《牛顿》，台北三民书局2000年版，第五章。

^③ L. Thorndike, *op. cit.*, v. 5, p. 386.

什么对占星术独独如此苛求呢？事实上，他们的同学，数学家加瑟^①在1544年到1547年间就连续完成了三次星占，天气收成，战争矿产，甚至个人命运，屡言屡中，这一门伟大的技术或艺术的意义还不是自明的吗？米利奇长雷蒂库斯十三岁，在家乡受基础教育，1536年获得博士学位。据他自己说他出生时的星象就表明他是个有天赋和有大学问的人。他对哥白尼的宇宙论兴趣不大；在谈论为什么白昼的长短有规律性的变化时，他毫不犹豫地引用了普列尼的《自然史》。一千五百年的时间间隔并没有引起他的不安，他还认为彗星是地球的“气”，桑迪克说，“即便在16世纪这也显得惊人地落伍”，但这又有什么关系呢？

马兰克顿在天文学方面自非专精，但也绝非外行。早在1537年他就和约翰舒纳一起整理编辑过9世纪的阿拉伯天文学家的著作。舒纳则是早享大名，雷蒂库斯后来就是在他的指点下找到哥白尼的。1545年在为舒纳的一部著作撰写的序言中，马兰克顿说，星占神谕是物理的和自然的，并非虚构，和天意喜好息息相关，绝不是迷信，而是人在自身体验中对于神意的考量。他认为上天的法则和《圣经》并不禁止星占预言，并把预言分为依于“自然原因”的和依于“物理原因”的，其论颇是费解。马兰克顿对于占星术的信赖和推崇，至死不衰。^②正是在这种学术气氛之中，维腾堡大学的数学家们拿到了雷蒂库斯带回来的《运行论》。

在维腾堡，《运行论》的物理和宇宙论部分，沉浸在混沌之中；但从技术上来说，抛弃偏心匀速点的数学模型确实是全新的，并且确实引起了注意。科学史研究者对维腾堡当时的这种学术取向的细致考察，还只是近三四十年的事。1970年11月，为了准备一篇纪念哥白尼诞生五百周年的报告，哈佛大学的金格瑞奇意外地在爱丁堡皇家天文台的图书馆里注意到了一本第一版的《运行论》：“令人惊奇的是，这本书从头到

① L. Thorndike, *op. cit.*, v. 5, p. 390.

② *Ibid.*, v. 5, pp. 393, 399.

尾，字里行间，都有十分丰富的评注。……而奇怪的是，阐述日心说宇宙论的部分几乎没有评注，而后面那些技术性极强的段落，却在页边上写得满满当当。”^①这些边注眉批做得如此专精，金格瑞奇在仔细研究过这个本子以后曾感叹说，“几乎没有可能找到一处没有被标记出来的印刷错误”。^②书面上的“盲印”表明，书的主人是瑞因霍德，米利奇的学生。^③这让金格瑞奇再一次感到“一丝震惊”。金格瑞奇是写作的高手，能把枯燥的手稿研究写成类似于侦探小说般的引人入胜：我们几乎可以看见瑞因霍德，端坐在维腾堡的图书馆，悉心研读由雷蒂库斯带回来的“我的老师”的《运行论》。这不禁令人浮想翩翩：在沉沉的暮霭之中，他看见的是渐渐西沉的太阳呢，还是一个带着疏林田野、教堂的尖塔和学校的回廊，以疯狂的速度旋转着奔离太阳的地球呢？

他没有想。他其实完全没有我们所想象的浪漫，他想的是数学。瑞因霍德被金格瑞奇称作“数学计算能力在哥白尼之上的”^④“16世纪40年代北欧数一数二的天文学教授”，1536年起在维腾堡任教，而教的就是数学。很可能早在1542年他就从雷蒂库斯那儿听说了哥白尼。在给波尔巴赫《行星的新理论》一书撰写的前言中，他再三提到“为了进一步改进天文学，有一个新的声名卓著的大学者已经着手预备出版他的著作，这就让人翘首以盼。在天文学的别的方面，比如在解释月亮的多种运动时，他和托勒密不同。”^⑤不愧是马兰克顿的学生，瑞因霍德一开始就抓住了月球理论，而这正是哥白尼学说中数学最精彩的、宇宙图景和物理学与亚里士多德抵牾最小的部分。然而在另一方面，在

^① 金格瑞奇，《无人读过的书》，作者序，第4页。下文“一丝震惊”云云在正文第33—34页。

^② Owen Gingerich, “Reinhold,” *DSB*, v.11, p.366.

^③ Owen Gingerich, The Role of Erasmus Reinhold and the *Prutenic Tables* in the Dissemination of the Copernican Theory, *Studia Copernicana*, 6(1973) 43—62, 以及他在 *DSB* 为 Reinhold 写的传记。一个对于 Reinhold 在《运行论》上的批注的研究，见 Owen Gingerich and Robert Westman, “The Wittich Connection,” *Transactions of the American Philosophical Society*, 78(1988) pt.7, 27—30.

^④ *DSB*, v.11, p.365; 下半句见前引书，第4页。

^⑤ *Regesta*, *op. cit.*, nr.480, 又见于 Prowe, *op. cit.*, v.1, 2, p.279.

整理编纂前辈留下来的星表时，瑞因霍德一定深切地感到一种对于大的改进的需要。他深刻地认识到，^①

为了要理解行星运动纷繁的现象背后的原因，一般来说，博学的天文学家一直假定或者构造偏心的均轮或者多重的天球。由此而来的众多的天球应该归功于天文学家的技艺，或者说更应该归罪于我们理解能力的羸弱无力。

他说“天文学长期以来一直在等待另一个托勒密，而我希望这个人就出在普鲁士，他的神授的天才得到以后世世代代的赞美”。这个人就是哥白尼：

我们的后代就要满怀感激之情称颂哥白尼的名字。研究天体运动的科学简直是一片荒芜，而哥白尼的研究和著作让它得到了重生。上帝慈悲，照亮了他的智慧，他于是发现和解释了大量的问题，而这些问题直到今天，还不为知晓或是依然隐没在黑暗之中。

没有理由假定瑞因霍德现在说的不是日心说。但是，在他精心钻研过的《运行论》的扉页上，瑞因霍德又恭恭敬正地写道：“天文学的基本前提：天体运动是匀速圆周运动或者是它们的组合”。这是他的出发点。对他的批注的研究表明，他所醉心的，不是包含有潜在革命意义的第一卷，而首先是偏心匀速点的消除。正如波兰的研究者首先注意到的，瑞因霍德真正保持了“在地心学说和日心学说之间的最完美的中立”。^②

^① 转引自 Pierre Maurice Marie Duhem, *To Save the Phenomena, an essay on the idea of physical theory from Plato to Galileo*, tr. by Edmund Doland and Chaninah Maschler, Chicago: Chicago University Press, 1969, p.71. 下一段在 pp.72—73。

^② Aleksander Birkanmajer, “Le commentaire inedit d’Erasmus Reinhold sur le *De revolutionibus* de Nicholas Copernic,” *Etudes d’historire de sciences en Pologne, Studia Copernicana*, 4, Warsaw: Ossolineum, 1972, p.765.

作为马兰克顿的爱将，瑞因霍德在维腾堡大学的最初十年是愉快的。为了使这个“懂得哲学的各个方面”的饱学之士可以心无旁骛地做他的星表，马兰克顿三次写信给普鲁士公爵，言词之恳切谦恭，奖掖爱惜后进之情跃然纸上。^①当上数学教授不久，瑞因霍德娶了市长的女儿，并开始了对波尔巴赫的研究。1548年，妻子难产去世，四年后他续娶的妻子再因难产去世，他不堪继续呆在大学，逃回老家，次年和他的一个兄弟同死于时疫，得年42岁。有科学史家注意到在某些地方瑞因霍德接近过类似后来第谷的宇宙图景。如果他得享天年，瑞因霍德会不会打破所谓的维腾堡解释，打破仅限于数学上运用哥白尼方法，进而在真正的物理或天文学的意义上接受哥白尼的体系呢？历史学没有假设。但是从他留下的手稿和著作中表现出的学术走向来看，似乎没有理由认为他会。^②他的纯数学倾向和当时大学的占星术环境不支持向这个方向的发展，而日心说本身也还有太多的问题要解决；除了消除偏心匀速点这一诱人的亮点之外，日心说也创造出了很多新的问题，而这些问题答案对于当时的学术界说来则是匪夷所思的。但是瑞因霍德毕竟透彻地研究了哥白尼学说，他的笔记成了后一代天文学家的宝贵财产。第谷从来没有见过瑞因霍德，但他确实多次访问过维腾堡。1575年他在瑞因霍德的家乡见着瑞因霍德的儿子时，着意抄录了瑞因霍德在阅读《运行论》时留下的批注。第谷后来回忆说，^③

我记得有一次，我途经他的家乡，和瑞因霍德博士谈起他的非常杰出的父亲的遗稿。这时博士向我展示了很多东西，其中有《普鲁士星表》，含有精密到 $10'$ 的行星的运动[的数值表]，还有一些用

^① *Corpus reformatorum*, *op. cit.*, v.5, p.444, pp.510—511, p.791. 英译见 *Comitatus*, 4(1973) 15—16。在资助学生方面，Melanchthon 从来非常慷慨，他的女婿波瑟曾说任何人赞助 Melanchthon 都是徒劳，因为他转手就把钱财送给学生了，也不问受益者“到底值不值得帮助”。但 Melanchthon 说他是“心甘情愿的”。见 Joseph Stump, *op. cit.*, pp.48—49。

^② A. Birkenmajer 在 1957 年曾指出这一点，见 *DSB*, v.12, p.366。

^③ Tycho Brahe, *Opera*, v.3, p.213。

某种别的方法所作的延展。从我们如此之短的、完全是应酬寒暄的交谈中我所能看出来的是，他之于乃父的博大精深全然是望尘莫及，较之更赚钱的行医鬻药，他在数学研究方面似乎是微乎其微的。

如果说瑞因霍德的儿子没有继承他父亲的事业，那么第谷至少在1575年这个非常关键的时刻接触到了瑞因霍德对哥白尼的探讨和发挥，瑞因霍德的学问并没有淹没在他死后的碌碌之辈的手中。至于他到底在多大程度上影响了第谷，则很难遽然断论，因为一则第谷生性倨傲，目无余子，很少谈论别人对他的启发，二则当时的学术规范也不要求如同现在这样的对其他作者作细致的引述。有论者以为，^①“瑞因霍德的批注特别提到了哥白尼间或运用另类的行星运行的圈，而正是在这一框架里第谷探究了最后导致他的地心体系的种种模型”。也有论者认为，^②第谷并不曾受到过瑞因霍德的启发。至于谁是谁非，以现有的史料看，似乎很难作一个非此即彼的判断。

瑞因霍德的学生卡斯珀波瑟，1553年接任因为恩师去世而出缺的数学教授讲席。波瑟生在德国中部的东萨克森的一个小城，他的小学老师是马兰克顿的学生，完成初等教育后，进入维腾堡大学学习，不仅从头到尾地听了马兰克顿的课，而且借住在他家，最后在1550年又娶了马兰克顿的小女儿为妻，登堂入室，成了家庭的一员。案马兰克顿子女四人，一子早殇，一女所嫁非人，早早去世，波瑟自然成了马兰克顿学问的传人。^③在维腾堡，他真正是生活在马兰克顿的精神圈里；就

^① DSB, *op. cit.*

^② Edward Rosen, "Tycho Brahe and Erasmus Reinhold," *Archives internationales des histoire des sciences*, 32(1982) 8. 细看此公论述，繁征博引，但最多只能证得“所引史料中没有发现第谷受 Reinhold 影响的证据，”而不能即由此断言“没有影响”，因为第谷确实看过并抄录过瑞因霍德的批注。在包括引文在内一共四页多一点儿的文章中，Rosen 九次纠正别的作者，似涉意气之争，因而结论也可能稍有偏颇。

^③ Joseph Stump, *op. cit.*, p. 49: 马氏最钟爱的女儿 Anna 嫁给 George Sabinus, 一个颇具天赋的诗人但不是一个好丈夫，Anna 仅得年 23 岁，遗下一子由祖父母抚养；马兰克顿的另一个儿子 Philip, 自幼体弱多病，虽活到耄耋之年，但在学问上鲜有建树。

本书所关心的哥白尼学说而言，他求学的时期正是维腾堡诸公对此热烈追求的时期。波瑟比瑞因霍德小 14 岁，比雷蒂库斯小 11 岁，正是在这些人的影响之下，波瑟完成了他在维腾堡的学业，1548 年起开课讲授历史，数学和天文学，1560 年又被任命为医学教授。岳父去世以后，波瑟颇不明智地更深地卷入了当时深不可测的宗教-政治斗争。先是颇得奥格斯特地方的候选侯的青睐，1563 年，出任大学校长，1570 年又被任命为侯爷的私人医生。但是波瑟来自马兰克顿的宗教观点，诸如自由意志，对圣餐变体说的解释，常和正宗的路德派解释向左，在当时人看来就很有加尔文派的嫌疑。1574 年，侯爵对他的种种不满终于爆发，而波瑟竟全然不知退让，以至于被囚 12 年，直至 1586 年 2 月才获释。

在行星理论上，波瑟在 1550 年出版《论地球的尺度》，在稍后 1556 和 1571 年出版的《关于行星理论的天文学假说》都致力于把哥白尼的方法和托勒密的学说调和起来。的确，和很多他同时代的学者一样，波瑟始终坚持亚里士多德的原则。我们留意到他可以为对于圣餐的解释被囚 12 年而不稍为所动，他对哥白尼的拒绝或修正显然不是出于宗教的考量或压迫而作的违心之论。这是他的教育和学问要求他坚持的。在他的 280 本哲学类的藏书里，亚里士多德占 28 本，仅有两本是柏拉图。^①至于行星理论，波瑟没有细致地给出他的替代性模型，但他坚持认为可以通过再加上两个天球，即“第九重天和第十重天”，而使黄道相对于第八重天保持不动，“我相信[按照这样的安排]，不需要改变古人的假设就可以得到[和哥白尼]相同的效果，”^②即哥白尼和托勒密在几何上是等效的。

波瑟稍后到莱比锡大学讲授数学。他大学的同学霍姆利乌斯也在

^① Robert Kolb, "Caspar Percer's library: Portrait of a Wittenberg professor of the mid-sixteenth century," *Sixteenth Century Bibliography*, 5(1976) 1—78, 引用数字参阅 p. 17.

^② Percer, *Hypotyposes orbium coelestium*, 1568, pp. 516—517, Robert Westman, *Isis*, 66(1975) 180.

那儿教书。霍的岳父^①正巧也是维腾堡的学生，又是马兰克顿的密友。1562年，年仅16岁的第谷在私人教师的陪同下游学德国，在莱比锡见到了霍姆利乌斯。研究者认为，很可能正是这个时候，第谷第一次听说了哥白尼和他的理论。^②后来在1566，1568和1575年，第谷又多次造访维腾堡，前两次还去听了波瑟的课，并和他讨论了替代哥白尼行星模型的可能。第谷了解维腾堡的想法，但他受教育的环境却迥异于维腾堡的数学-亚里士多德传统；第谷不是一个理论家，他的注意力常在对天象的观测和模型的构建上。1575年，第谷带着哥白尼理论，离开维腾堡回到故乡丹麦，重新进入了现实的世界。

^① *The General Biographical Dictionary*, Alexander Chalmers ed., 1812—1817, v.8, p.124, 这大概是1911年版 *Encyclopedia Britannica* 的祖本。Camerarius 著作颇丰，包括一本马兰克顿的传记，1592年在Leipsic出版，见 *The American Cyclopaedia*, George Ripley and Charles Dana, 此书有电子版，颇利利用。

^② Robert Westman, *The Copernican Achievement*, Berkeley: University of California Press, 1975, p.306.

第三章

第谷以缜密的观测摧毁了永恒的 恒星天和实体天球两个概念

第谷布拉赫是受神双重眷顾的宠儿。作为一个天文学家，他有幸在一生短暂的五十年中观测到独一无二的丰富的天象，其中 1572 年的超新星和 1577 年的大彗星特别引人注目。如果要认真追寻的话，上一次超新星的爆发，要上推五百年。^①作为一个贵族，他有幸享受了对研究工作不可或缺的闲暇和几乎是用之不竭的财力的支持。四百年后培养抚育了几二十位诺贝尔获奖者的波尔研究所，也不过在哥本哈根小街上占了一幢三层的小楼^②，和第谷独霸一岛自不可同日而语。这两件事成就了第谷一生的事业。

第谷生在与国王关系极为密切的一个贵族家庭。十三岁入哥本哈根大学学习，很早就表现出了对天文学的极大的兴趣。1560 年在学校观测日食，以后四十年，对星空的观测活动没有间断过。1562 年起在私人教师的陪同下遍游德国的主要学术中心，前后八年，颇受菲利普马兰克顿和维腾堡学派的影响，到 1570 年回国。

^① 即 1054 年的“至和新星”SN1054。《宋会要》7861 卷有记，但欧陆鲜有记录。

^② 即哥本哈根大学物理研究所，到波尔逝世后三年，始称波尔研究所，此处从俗，非为考证其源流究竟也。至于波尔后来倒确实住进了号称丹麦第一豪宅的卡尔斯堡即 Ny Carlsberg，但那是在他功成名就以后由丹麦啤酒大腕赞助、作为荣誉国民入住的，并非皇家所赐的研究场所。

1572年仙后座超新星爆发，第谷根据他自己的极为缜密的观测，发现这颗星不可能在月圈以下。次年撰《论新星》^①，严密地证明了这颗星不可能比月亮离地球更近。这就对亚里士多德的宇宙图景提出了严重的质疑。按亚氏，月圈以上的世界在本质上不同于我们所居住的尘世，不仅无风无雨，而且不生不灭，没有任何变化，是为永恒。现在竟有新的星产生出来，骇人听闻，何况正是在文艺复兴之后不久，亚氏学说如日中天之时。亚氏的说法初看粗陋幼稚，其实是对天体运动本质特征的深刻把握。撼动亚氏，就是撼动人类的整个学问；因为这套学问不仅推理精密，而且为常识所支持。第谷面对的，是由常识支持的权威和由权威强调的常识；而他所依赖的，是缜密的观测及其所记录的现象。这些现象幽邃深奥，解读殊非易事；但是，要想视而不见或者曲解附会，苟合旧说，却也不能够。的确，事实是很顽强的东西。

在皇家支持下，第谷前后耗时十年，建造了天文台，装备了当时世界上形制最大，设计最精，功能最全的仪器。1577年，他利用这些设备观测了彗星，再次证明在月圈之上的恒星天不是一成不变的。他的观测结果表明，彗星行踪诡异，显然穿过若干行星的运行区域，这就明白否认了所谓的实体天球的存在。古人认为，星辰不可能凭空运行，必有某种支撑，这就是后来被通俗地称为水晶球的天球，星辰附着其上，层层相依，依次运行。现在，这一观念显然必须抛弃。乍一看来，天文学家由此可以更加自由地发挥，构造他们的宇宙图景，而不必顾虑所谓的天球相撞的问题，——第谷由此发展了一种“日心地不动”的模型，说在1588年的《论最近的天象》^②。按第谷的说

^① 即 *De nova stella*，1913年收入《全集》，J. L. E. Dreyer, *Tychonis Brahe Dani Opera Omnia*, Copenhagen, v. 1。

^② 即 *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis . . .*, Uraniborg, 1588年出版；Prague, 1603, Frankfurt, 1610年重印，1929年收入上引《全集》第4卷。陈方正：《继承与叛逆》，生活·读书·新知三联书店2010年版，第543页，说“他这方面的著作……在身后不久出版，但并没有发生影响，”当是陈先生一时误记。

法，地球居中，岿然不动；太阳绕地球运行，而当时已知的五颗行星又依次绕日运行。时人以为，第谷模型有哥白尼的优点，又免除了哥氏引进的地动说所造成的，和常识、和权威、和教义的冲突，堪称尽善。其实不然。

哥白尼从本质上来说是个理论家，所以搁置其物理真实性而把日心说当作一种数学假说的奥西安德解释才有可能，所以剥离其图景而发挥其技术的维腾堡解释才有可能。第谷的学问以观测为基础，和星象的物理实在有天然的联系，所以他考察彗星的运行，首先是天球的存在与否而不是一种算法。现在一旦废除天球，就把原来因为天球存在的假设而不太引人注意的物理问题凸显出来了，变成了下一阶段科学革命的主题。

第一节 1572：超新星

第谷姓布拉赫，到第谷的时候，这个姓氏在丹麦已是煊赫百年了。他的父亲奥托，祖父第谷，外祖父，曾祖父，和曾外祖父，以及他的两个兄弟，都是元老枢密院的成员，^①在《丹麦传记大字典》中有传。^②稍后在1565年和瑞典的战争中，第谷的叔叔兼养父还救过丹麦国王的命。^③第谷的贵族背景 and 家世，对他的生涯和以后科学史的进程有重要的影响。

^① *Rigsrad*，丹麦当时的最高权力机构，选举国王，主持和战，J. R. Christianson 译作 sovereign council，见 *Isis*，70 (1979) 110。以此忖度，作“元老枢密”云，以俟识者。

^② *Dansk biografisk leksikon*，Povl Engelstoft and Svend Dahl ed.，Copenhagen: Schultz, 1934, v. 3, pp. 574—575, pp. 23—26, 583, v. 20, pp. 286—287, v. 3, pp. 50—51. 尽管已有电子版可资利用，但因原文是丹麦文，以义限于学力，只能退而使用上引 J. R. Christianson 的介绍。

^③ John A. Gade, *The Life and Times of Tycho Brahe*, Princeton: Princeton University Press, 1947, pp. 28—29.

第谷^① 1546 年出生在自家的领地，现在属于瑞典的斯凯恩。他的孪生兄弟在出世时已死亡，而他的叔父也没有男孩，有很长一段时间，第谷被叔父偷走，带到自家城堡里抚养。^②因为是富家子，所以不须惶惶然急着在糊口的行当里谋一个职位，他可以自由地学习他自己喜欢的东西。他喜欢追求神秘深奥，对世俗常存不屑。在一封给朋友的信里，他说，“我不喜欢这个社会，礼仪，还有所有这些垃圾……和这些贵族交往，浪费了我很多的时间。”^③1559 年进入哥本哈根大学学习，当时菲利普马兰克顿的影响正如日中天，而哥本哈根又是新教的重镇，从开始受教育的时候起，第谷就得以优游于亚里士多德和维腾堡的学术传统之中。1560 年 8 月 21 日日食，哥本哈根可见偏食。天文学星表对于初亏时刻的准确预测，使十四岁的第谷大为震惊，“凡人竟能如此准确地知悉星辰的运动，早早地预言其方位”，对他说来，真是“神乎其技”了。他立刻买了一本星表，这个星表的基础是瑞因霍德的星表，而后者所依据的模型在很大程度上是从哥白尼理论导出的。^④这可能是第谷对天文学的最初接触，也是对哥白尼的最初接触。

① J. L. E. Dreyer, *Tycho Brahe, A Picture of Scientific Life and Work in the Sixteenth Century*, Gloucester: Peter Smith, 1977, 并见 O. Gingerich 的 *DSB* 本传。案 J. L. E. Dreyer 的书是英语世界中第一部完整的第谷传，1890 年初版，Eddinburgh: A. & C. Black, 以后迭有重印，至今仍是第谷的标准传记；O. Gingerich 为 *DSB* 撰写的第谷传常基于是书。从 Dreyer 引用的 62 部著作看，P. Gassendi 1654 年的第谷传，*Tychonis Brahei, Equitidani*, ... 是在时间顺序上排得最早的资料来源，但该书没有现代重印本，不易使用。前引 John A. Gade 的书是为纪念第谷诞生四百周年所作，对 Dreyer 传颇有补充，但作者不谙天文学，且所设定的读者群似也不像前书那样为专业人士，所以叙述常偏于人文背景和历史脉络。另外有 Wilhelm Norlind 1963 年的新传，丹麦文，本书未能利用。V. Thoren, *The Lord of Uraniborg: A Biography of Tycho Brahe*, Cambridge: Cambridge University Press, 1990, 是现今常用的第谷传，Kitty Ferguson, *Tycho and Kepler, The Unlikely Partnership ...*, New York: Walker, 2002, 是以现代风格撰写的第谷传，重在“可读”，自应另当别论。

② 第谷的叔父 Jorgen Brahe, 娶丹麦首相 Peder Oxe 之妹，无子，因取第谷抚养，视如己出。第谷尝自述其童年，对叔父和婶母充满了感激，见 Tycho Brahe, *Astronomae instruite mechanica*, Wandesburgi, 1598, 1946 年重印，*Tycho Brahe's Description of his Instruments and Scientific Work*, Hans Raeder, Elis Stromgren, Bengt Stromgren, trans. and ed., Kobenhavn, 上文见是书 p. 106。

③ *Tychonis Brahe Dani Opera Omnia*, J. L. E. Dreyer ed., Copenhagen: Gyldendal, 1924, v. 7, p. 25; *op. cit.*, Christianson, p. 111. 本书有电子版，颇可利用。

④ 前引 Dreyer 传，pp. 13—14, 引文见上引 P. Gassendi 书，p. 5。

第谷是个贵族，所以他不需要在大学里争取一个学位。1562年，在哥本哈根大学学习了三年以后，按照当时流行的做法，雅根叔叔送第谷去欧洲中南各国游学。15世纪和16世纪早些时候，丹麦的贵族多往法国或意大利，尤其是巴黎大学完成他们的学业。16世纪中叶以后，德国^①大学渐获青睐。叔叔的首选是莱比锡大学，这所大学在哲学、政治和历史方面声名卓著，而为丹麦布拉赫家族的长男考虑，自然是在治国或者外交方面的仕途，莱比锡大学应当是最合适的选择。但是第谷不喜欢，他不喜欢这些尘世的东西，他的注意力一直指向苍穹。对于一个贵族来说，天文学其实不是一个太合适的行当，^②可是第谷对此道情有独钟。在莱比锡，他背着奉命陪伴他游历的私人教师凡德尔^③夜起观星，并把钱都用来购买天文学书籍，还自备了一个小小的天球，当然是只能在凡德尔睡着了以后才能拿出来把玩。在大学里，他还结识了霍姆利乌斯，我们还记得，此君是马兰克顿的密友的女婿，还有他的同学舒尔兹和瓦伦廷陶。后者可能就是在帮助雷蒂库斯他完成三角函数表的瓦伦廷奥多，^④而舒尔兹对天文学也很有兴趣。

1563年8月，第谷在莱比锡观测了土星和木星交会，舒尔兹也参与其事。一连串的观测在8月24日达到了一个令人兴奋的顶点：第谷看见这两颗星运行到如此接近的一个位置，以至于他无法看出这是一颗星还是两颗星；但同时第谷也发现他所用的星表，早年买的阿方索星表和

① 案当时还没有现在意义上的“德国”。史书中常在地域或语言区域上使用 German 一词，本书通俗，聊以泛指今日德国所在的地区。

② Gade 上引书，p. 19，他说在哥本哈根，学生分为两组，一组出自上层，常留意将来更好地为王室服务，另一组来自清寒家庭，通常以医、法，以及吏事等行业为目标。

③ Ander Sorensen Vedel, 1542—1616，后以1570年的《丹麦编年史》著，1582年被任命为皇家历史学家，后来编纂《百首歌谣：国王、巨人和其他》，但他的大部分著作毁于1728年哥本哈根大火。他笃信基督教，每年复活节以鞭打子女为主要庆祝活动，据说是要使他们牢记耶稣当年所受的苦痛。他的传记材料见前引《丹麦传记大字典》，v. 18，pp. 292—301，并见前引 Gade 传 pp. 21—22，n. 10。

④ Dreyer, *op. cit.*, pp. 16—17. Dreyer 的猜想 Valentine Thau 就是 Valentine Otho，但苦无的证。见上引书，p. 16，n. 3. Bartholomaeus Scultetus Schultz, 1540—1614，后来声名颇著，和第谷一直有通讯，但在天文学上未闻有特别的贡献。

后来的普鲁士星表，^①在描写恒星位置时都有相当大的误差，“虽说后者比前者稍为好一些”，至于上文提到的土木交会时间，第谷注意到，阿方索星表的误差竟为一个月，而哥白尼的计算，也相差几天。^②

1565年春雅根叔叔应召赴前线参加对瑞典的作战。他希望在离开家乡之前再见见侄儿第谷，于是第谷结束了在莱比锡的学习，取道维腾堡回国。是年6月，叔叔因奋不顾身跳入河里救护国王，风寒发作，不幸死于肺炎。第谷打点家务以后，1566年春，赴维腾堡继续他的学业。在维腾堡，第谷选修了卡斯珀波瑟的课，我们还记得，此公是菲利普马兰克顿的女婿，日心说维腾堡解释的传人。9月，维腾堡爆发时疫，第谷不得不移居北面的罗斯托克。这是德国靠近丹麦半岛的一个小城，北临波罗的海，在当时是一个很热闹的港口，古朴而繁华，现在也还是旅游者的热选。城里的大学在天象研究方面当然不及维腾堡，但也还小有名气。第谷在这儿结交了一些对星占有浓厚兴趣的朋友，其中有大卫克特瑞欧，^③此君长第谷十五岁，当时已有不少著作行世；还有巴特斯，他的注意力常在炼金术上，拳拳服膺于帕拉塞尔苏斯的学说。帕氏认为占星和医学在本质上相通，一时声名籍籍。在罗斯托克逗留期间，第谷还完成了一系列的观测，包括1566年10月28日的月食和1567年4月9日的日偏食。大约在1568年年初，第谷离开罗斯托克往南方的奥格斯堡等地游历，直到1570年回到故乡丹麦，这时他恰好24岁。

回到故乡，想起还没有出生就已经死去了的弟弟，第谷倒不怎么伤感。他用弟弟的口气写了一篇墓志，对人生作了一通颇是哲理化的反思：^④

^① 瑞因霍德主持编撰的星表，1551年完成，本哥白尼图景，说在 Gingerich, *Studia Copernicana* 6(1973) 43—62。

^② Tycho, *op. cit.*, p.107.

^③ David Chytraeus, 1530—1600, *The New Schaff-Herzog Encyclopedia*, *op. cit.*, p.116.

^④ Gade 上引书, p.12, 但作者没有给出史料的原始出处。

……因为我是个孪生子，还有一位和我同在[母亲腹中]的哥哥[案指第谷本人]，他还活着。上帝给了他更长的生命，于是他可以看见天上的地下的各种各样的奇异的东西。但我的命不见得比他的差。他生活在地上，而我在天堂。他面临地上的海上的星辰的千百种险厄屯困，而我在天堂里和上帝一起安享绵长的和平和快乐。

第谷是诚挚的。第谷在这篇墓志里所透露出来的，是他对这个世界的理解，使我们得以窥见四百年前一个年轻人的心态，而这种心态对于我们说来是极其陌生的。从历史研究的方法论来看，体察古人既为最初的功课，而实在也是最后才能达到的一种境界。天地幽明的一统，是第谷理解天象的哲学基础；理解了这一基础，就不难理解他在这个阶段对于天象的注意，常带有明显的占星术意味。

先是，1566年10月28日发生了一次月食，第谷占之，推出其应在土耳其，苏丹当死。这本来是一个挺不错的推测，因为老苏丹当时已是七十三岁高龄，在16世纪七十三岁可是比现在九十三岁还要稀罕，所以说他会很快地死掉应当是一个比较保险的预言。第谷大概对此颇有信心，遂以拉丁文写了一首小诗，把他的预言公之于众。不久消息传来，老苏丹早在9月初就已经去世，第谷星占之离谱，播腾人口，遂为笑柄。圣诞前后，在好几个社交场合，第谷的一个远亲借此说笑，语涉轻薄，第谷数为所窘。12月29日第谷再占，占词说当日不宜外出。捱到傍晚，以为霉星已经过去，第谷于是上街晚餐。不幸，这次他算得出奇地准，出门就碰见这位对头，两人决斗，第谷剑术稍逊一筹，被削掉了半个鼻子。^①

可能深受维腾堡浓厚的占星气氛的影响，第谷对于占星的信心和热情至老不衰。1588年他曾追述说他早年在莱比锡曾为他的恩师卡斯珀

^① 这个故事传播甚广，第谷自己的记录见前引《全集》，v. 1, pp. 135—136；V. Thoren前引传记 p. 23 引述了一位目击者的孙子的回忆。同见前引 Ferguson 的书，pp. 31—32。

波瑟批过命相，说此公运命蹇舛，或窜逐或縲继，至六十岁始由“强人”得解。但第谷所说的，其实早已发生，波瑟确在十四年前有过牢狱之灾，并在两年前获释，倒恰好是六十一岁。于是第谷的星占到底是事后有先见之明呢还是如他所说的是真正洞察宵渺，却实在是不好说。^①

要清楚地总结第谷二十岁时的品味取向是困难的。但是，毫无疑问的是，他笃信上帝，他相信上帝以其大智安排了日月星辰，上帝要通过天象向人传递一种消息，这种消息应该是人可以理解的，而占星术和天文学则是在各自不同的方向上揣摩忖度，以求一窥。如果从后来科学的发展来倒推，妄言占星术是“落后的”而天文学是“革命的”，则将尽失科学发展的从不知到知的探求的本质，且与史实乖戾。从认识的哲学基础看，此两者都致力于建立一种因果关系，只不过前者幽渺，而后者常强调现象之间可见的联系罢了。至此，我们看到，为了尽可能准确地领悟上帝要传达的消息，就必须尽可能准确地测量天象；1572年，在谁都没有想到的时候，这种准确的测量，让整个欧洲的学界陷入了困境。一颗星，第谷叫它作“新的星”，后来被证明是我们称之为“超新星”的星体爆发，出现在傍晚的天空，吸引了第谷的全部注意。他马上写信给叔叔，^②“带着一位父亲宣布头一个孩子出生时的狂喜”，报告了这一伟大事件。他对这颗星作了持续不断的细致观测，在笔记中描述了他看见的所有微小的变化：先是亮如金星，白色耀眼，渐渐减弱，转为黄色，一如木星，再后由红色转至暗青色，到最后变为六等，直至消失。一年以后，他把他关于新星的工作整理出来，向学问界报道说：^③

① 参见前引 Dreyer 传，p.21。

② Gade, *op. cit.*, p.41.

③ Tycho Brahe, “De Nova Stella,” *Opera omnia*, v.1, J. L. E. Dreyer ed., 1913; 英译见 *A Source Book in Astronomy*, Harlow Shapley and Helen Howarth ed., trans. John H. Walden, New York: McGraw-Hill, 1929, pp. 13—20, 下文引文见同书，不另出注。

去年[1572年]11月11日傍晚，日落以后，一如往常，在对着晴朗的天空中熠熠的星辰沉思时，我注意到一颗不平常的新的星，几乎是在我头顶的正上方闪耀，光亮使其他的星星失色。我从孩提时代起就已经对苍穹上的所有的星辰了如指掌，这本非难事，所以我清楚地知道，在天上的那个位置，从来没有任何的星，哪怕是最小的，别说像这颗这样光亮夺目的了。我吃惊到如此地步，甚至怀疑自己的眼睛。然后我注意到，其他人，当我把这颗星的方位指给他们以后，他们也证实在那儿确实看见了一颗星，我不再有任何怀疑。一个奇迹，真正的奇迹——

常言道，眼见为实。眼前的景象不容怀疑。第谷说，天上平白无故地多出一颗星来，确乎神奇，自开辟以来，只有约书亚时太阳停在空中和耶稣蒙难时白天变成黑夜可比。^①为什么这么说呢？第谷说，他可不是危言耸听，因为——

所有的哲学家都同意，而且事实也清楚地证明了，在天界，在以太充盈的地方，不存在有任何的变化，没有生成，也没有腐朽；苍穹和天上众星辰也无增减盈缩，他们数量的多少和光芒的强弱，或者任何别的事情，永恒不变。岁月不能磨损消耗他们任何一个方面……

这是亚里士多德。可以想象，如果第谷完全不知道亚氏的学说，不知道亚氏享有如此的大名，他大概也不会如此惊诧。事实上，在11月11日第谷大惊小怪地把这颗新星指给路人看时，谁也没有如同第谷那样讶异。因为第谷知道亚里士多德，知道亚氏的学说不是向壁虚构，而是建立在观测和现象之上的人类理解自然的基石，他当然深刻地了解，撼动亚氏，就撼动了整个人类对自然的解释。除了“哲学家”的看法，对第谷说来，更重要的是：

^① 这两则《圣经》故事在《约书亚书》10:12—13和，例如，《马太福音》27:45。

数千年以来,所有科学的奠基人所作的观测证明,星星的数量,位置,亮度,运动以及它们的大小……亘古至今未变。也没有文字记录说是在苍穹出现过新的星——除了伊巴谷,如果我们相信普列尼的说话的话。普列尼在他的《自然史》第二卷里说伊巴谷曾注意到过一颗星,和以前看见过的都不一样,出现在他的那个时代。

第谷并不是盲目地相信亚里士多德,他知道亚氏的结论来自观察事实,而且亚氏以后那些“观测天象并且乐此不疲的人”也证实了这一点。在第谷的记忆中,至少从前二世纪以下的一千七百年中,这是绝无仅有;如果不计普列尼的那一则记录,那么就更是闻所未闻的了。这颗星自然引起了第谷的极大注意,从1572年11月第一次看见这颗星星起,直到1574年3月,前后十七个月,他完全中断了正在进行的炼金术的研究,醉心于新星,直到这颗星完全消失在茫茫夜空之中为止。

第谷关于这颗新星的研究报告的题目,特别强调了这是自创世以来从未有过的事;事实其实并非如此。从第谷的时代倒推五六百年,至少有两次相当确定的新星爆发,一次在1006年,另一次在1054年。近代天文学家已经确定,后一次爆发的遗迹就是金牛座蟹状星云中的强射电源。^①宋代司天监记录了这两起天象异常,^②称前者明亮至“煌煌

^① David H. Staelin and Edward C. Reifstein III, “Pulsating radio sources near the Crab Nebula”, *Science*, 162(1968), p.1481.

^② 1006年超新星见,例如,《宋会要辑稿》,瑞异1,10,台北世界书局影印本1964年版,第2069页。原书已佚,这是从《永乐大典》第15396卷中辑出的。1054年超新星见,例如,《续资治通鉴长编》第176卷。并见David H. Clark and F. Richard Stephenson, *The Historical Supernovae*, Oxford: Pergamon Press, 1977, p.117,另有2002年增补本,王德昌等据1977年初版中译,《历史超新星》,江苏科学技术出版社;关于1006年超新星的现象记录在第7章,第128—144页,洋洋洒洒,征引中朝日阿拉伯和欧洲的记录凡25条,关于1054年超新星的第8章,第164—171页近十条。为方便查实,这儿页次依中译。原著者可能限于利用中国古代文献的能力,资料多取自《宋史》而对《会要》和大臣奏折等史料价值更高的材料未能充分采录,稍有微缺。稍为详细一些的介绍和讨论见本书作者,“1006—1066年异常天象及其反应”,《学术月刊》,1994年第3期,第80—86页;“天象异常诠释异同:科学史比较研究一例”,《大陆杂志》,86(1993)263—272。

然可以鉴物”^①；此外朝鲜日本阿拉伯的史书也都有记录。^②当其时也，欧陆民智未开，对此竟视而不见；中国虽有广泛的注意，但理解的框架模式均以儒家学说为基础，种种讨论最后则完全转向了哲学和政治学，其结论对于中华文化后来的发展意义深远，但对于我们眼下讨论的天文学则没有什么关系了。

亚里士多德把我们厕身其中的宇宙分为“月上”和“月下”，也就是在月球天球之上和在月球天球之下。从千百年的观测，亚氏断言月上的基本特征是永恒，月下则是风雨雷电，流星彗星，变化无穷。从这一原则判断，这颗“新的星”只可能出现在月下。是不是真是如此，必须通过测定它到地球的距离来判定。第谷要做的，就是这么一件事；虽然很难，但他确信他能做好。他要做的是测定这颗星的视差：

因为星星离开地球远到难以想象，要想判定它们到底离我们有多远是件困难的事，这需要洞察精微的心智。要做到这一点，没有比测量其周日视差更便捷更可靠的方法了——如果确实有视差存在的话。

所谓视差，是指从不同位置观测某一对象时，被观测的对象在更远的背景上所显示出来的位移。这有点拗口。让我用一个不太准确的比方来说明这个概念。如果你从天安门前的西看台注视矗立在广场中央的旗杆的话，你会看见它背后是历史博物馆；如果你从天安门正中看的话，背景变成了纪念碑；如果你从东看台看，背景成了人民大会堂，好像旗杆在从东向西移动似的。你的观测对象离天安门越近，这种背景的变化就越大；不难想象，如果有一个人站在前门楼子上，不管你怎么

^① 语在《宋史》，中华书局1977年版，第56卷，第1226页。

^② 对阿拉伯记载的研究见于 B. R. Goldstein, *Astro. J.*, 70(1965) 105。

移动位置，他的背景不会有太大的变化。很久以前，天文学家就利用这一原理来测量天体离地球的距离。他们把遥远的恒星天作为不动的背景，如果在不同的地点观测某一天体而发现它在背景上的位置有变动，那么这一被观测的天体就不在恒星天上，换言之，就离地球比较近。在背景上位置变动越大，就离地球越近。最容易体验天文学家所谈论的视差的做法是，^①把你的手臂伸直，竖起大拇指，闭上左眼，用右眼注视这根手指，注意它的背景，再闭上右眼，用左眼注视这根手指，你会发现它在背景上的位置发生了明显的变化。

所谓从“不同的位置”作观测，当然可以理解为在地球上跑来跑去，选择不同的地点来观测。在第谷的时代，这一做法在技术上很难完成。第谷用的是从拉哲蒙坦那发展出来的方法来实现“不同位置”的：

如果一颗星在靠近地平线时的位置和它在最高的靠近天顶时的位置看上去不同，它就必然是在某一轨道上，对于这一轨道而言，地球的半径不能忽略不计。比较视差和地球的半径的尺度可以清楚地了解到我们所说的这个轨道有多远。如果一颗星在靠近地平线和天顶时都出现在恒星天球上的同一位置，那么毫无疑问它或者是在第八重天上或者是在其下不远；对于它所处的轨道说来，整个地球不过是一个点。

根据这一理论，第谷着手测量这颗“新的星”的视差，看看它到底是在月上呢还是在月下：

我观测了这颗星和仙后座的王良四之间的距离，因为这颗星和王良四正好在同一子午线上。当这颗星靠近它的最高点时，离天顶

^① 这是 Ketty Ferguson 建议的方法，见前引书，p. 48。

只有6度。……在它离天顶最远时，也就是最靠近地平线时，我做了相同的观测。在这两个观测中，我测得它距上述恒星的距离完全一样，即7度55弧分，变化不超过一弧分。然后我用相同的方法以其他恒星[为基准]又作了无数次的观测，由此我得出结论，这颗新星[的位置]看上去没有变化，甚至当它靠近地平线时也复如是。

利用拉哲蒙坦那的定理29以及哥白尼确定的月地距离即52个地球半径^①，第谷算出这颗“新的星”如果是在月下的话，那么应当有至少58'30"的视差，但是

在用最精巧最精密的仪器进行了多次细致的观测以后，我发现，并无此事。

第谷的观测表明，没有可见的视差。那就是说，这颗星比月亮离地球更远，而且远得多，远到接近恒星天：毋庸置疑，它是在月上。这不容易证明，但是第谷的观测无可辩驳地证明了这一点。第谷最后总结说：

因此，这颗新的星既不是在月下的由火气水土构成的区域中，也不在七颗行星的轨道范围内，而是和其他恒星一起，厕身于第八层天球，这就是我们要证明的。它也不是突然显现的一种什么特别种类的彗星，或者其他种类的流星，因为没有一例这类东西会在苍穹中形成，而相反，它们总是出现在月下，在空气的最上层，正如所有的哲学家都一致同意的那样。……即便说我们假定真是那样，仍然不能说这颗星是一种彗星；首先从它的形态说，它和所有真正的星星一样而

^① 这是指月球天球和地球的最小距离，见《运行论》叶译本第4卷，第十七章，第149页；哥氏值为 $52\frac{17}{60}$ ，第谷盖采其约数。

不同于至今所有被观察到过的彗星，而且，在这么长的一段时间里，它无论在经向或是在纬向都没有像通常观测到的彗星那样的自行。……因此我断定，这颗星不是任何种类的彗星或发光发热的流星，不管它们是在月上还是在月下产生出来的。这是一颗在苍穹闪耀的星星，一颗我们这个时代以前从未看见过的、自从开辟以来任何时代都没有看见过的星星。

这是一个链式反应的起点，局面大有不可收拾之势。这和三十年前哥白尼提出日心说时的情形不同：日心说，不管有多离经叛道，不管能引起多大的震动，说到底，是一种学说，换言之，你可以接受它，也可以不接受它。事实上，上一小结讨论的所谓的维腾堡解释，就是在相当的程度上自由地选择了当时学人认为可以接受的东西而弃另外的一些东西于不顾。这和 1572 年的情形有深刻的不同。先是，第谷在仙后座发现一颗“新的星”，他利用拉哲蒙坦那的理论，通过测定其视差来推算其距地球的距离。观测表明，这一颗星的视差非常非常小，或者说简直就是没有，这说明这颗星应该是在恒星天，远在月下之上。现在，欧陆学人要面对的，是一颗星，煌煌在天，人所共见，这在很大程度上被很多人解读为一个事实。你无法不接受这颗星，它就在你的头顶上闪耀，在每个人的头顶上闪耀。在亘古不变的月上界生出了一颗星，一颗新的星，这就和亚里士多德关于月上世界是不生不灭的理论直接抵牾。但是，亚氏的论断又不是一个孤立的猜测，而是一套完整严密的哲学体系中的一个不可分割的部分。要放弃这一论断，势必放弃亚氏关于月上月下的划分，势必要放弃天体运动的永恒，势必面对回答解释天象及其运动的原因的问题。天体运动的原因，这可是个全新的题目；因为亚里士多德假定天体运动是永恒的，因而也无所谓原因，换言之，这个问题在亚氏理论里是根本不存在的。如果第谷的说法属实，那么整个知识界即面临双重挑战：亚里士多德关于宇宙结构的学说被否定，天体运动的原因成了新的、摆在大家面前亟待解决的问题。

另外一条路是，质疑第谷的结论。第谷怎么知道这颗星是在“月上”呢？他是从视差推算出来的。他怎么知道视差极小极小，或者简直没有呢？他是从观测得出的。但是，他怎么能相信他的观测呢？我们又怎么能相信他的观测呢？第谷会信心满满地告诉你，不仅是他，而且还有别的一些天象观测者，也得出了相同的结论；而最重要的，是第谷相信，他的观测，他的观测仪器，是“最精巧最精密的”，世罕其匹，足可信赖。

第二节 第谷观象台使他的观测精度独步当代

天上多出一颗星星来，即便在今天，在我们对宇宙颇有了解的时候，也是件稀罕的事，何况在1572年；经过了近两千年的磨砺和完善，比至16世纪，亚里士多德的宇宙图景早已成为一切学问的无可争辩的基石和出发点；撼动这块基石，就是撼动整个学问的基石。和第谷同时的学者们都感到——当然他们未必充分地认识到，这是一件大事。

比利时鲁汶的考纳利乌斯·吉玛是最早发表意见的学者之一。^①他出生在一个学者世家，他父亲因二十一岁时完成注释彼得阿皮阿诺的著作为世人瞩目，据说他的注“细致地改正了[原著]所有的错误”。和当时很多学者一样，老吉玛也动手自己做仪器，而他的学术兴趣常在地图的制作，第一个提出了利用机械时钟和观测星辰来测定经度的设想，^②于是精密地测定星星的位置即成为这一方法在运用中成败的关键

^① Dario Tessicini, “Cornelius Gemma and the new star of 1572,” in *Change and Continuity in Early Modern Cosmology*, ed. Patrick J. Boner, John Hopkins University, London: Springer, 2011, as *Archimedes*, 27 (2011) 51—66. 他的生平见 C. D. Hellman, *The Comet of 1577*, Ph. D. diss., Columbia University, 1944, pp. 177—181.

^② A. Pogo, “Gemma Frisius, this method of determining longitude . . .” *Isis*, 22 (1935) 469—485. 文后附印了 Gemma 的论文原文，颇利应用。下文引文均出此，不另出注。参见第二章第五节。

之一。考纳利乌斯于此道盖得之于家传，1572年11月9日，他首先注意到这颗“新的金星”。在测量新星的位置时，他注意到这颗星恰好和仙后座原有的其他三颗亮星构成一个相当规则的四边形，而这一特别的图形所提示的，按他的看法，正是耶稣殉难的十字架。对于新星位置的这一考量，设定了考纳利乌斯研究的基调，即解读新星的宗教学和末世学意义。他的这一诠释在当时显然得到了热烈的回应：一份仅仅七页的说辞，在不到一年的时间里重印了四次。第一页描述新星和仙后座诸亮星的相对位置，让读者能方便地找到仍然在闪耀的新星，辨认出星空中的十字架，慢慢地品味上帝对人类的关爱或警示。考纳利乌斯也留意到新星的物理特征，特别是其星光的闪烁，不无困惑地指出，按亚里士多德，^①星光闪烁是只有恒星天上的天体，或者说是真正的星星，才具有的特征。而且考纳利乌斯又有足够的理由使他自己相信，这颗星不可能是彗星，因为凡他见过的彗星都有彗尾，而且也不似这一颗星这么明亮。考纳利乌斯的结论典型地代表了当时一般人的理解：“这不能叫作是一颗[恒]星，也不是嘘气^②，更不是一颗彗星。”^③

两年以后，1575年，考纳利乌斯出版了他的第二本书，这时新星已经消失在茫茫的夜空中，由此兴起的热情也渐渐消退，冷静的分析重新审视了匆忙的结论。他发现，这颗星的视差不是他先前宣布的4'，而是接近于零。困于现象和理论的矛盾，考纳利乌斯只好说，这是一个具有某种天体运动的、在哲学理解之外的、超自然的东西”，这是一个信号，一种神秘的预示，宣告即将发生的耶稣的第二次降临。

对于16世纪的一般人来说，1572年新星当然是一个智力上的重大挑战。像考纳利乌斯所做的，坚持亚里士多德，同时诉诸神秘，对于多少受过些教育但对天文学了解不多的人，是一个不错的解释；但对于饱学专精之士，则自然不能仅止于此。那么，要想在亚里士多德的体

① 亚里士多德，《论天》，290a18—290a20。

② 这是亚里士多德对彗星的一个说法，说在344a20前后。讨论见下一节。

③ Tessicini, *op. cit.*, p.52.

系之内消化这一新现象而不诉诸神秘，证明新星仍在月下看来几乎是唯一的出路。英国的汤姆斯·迪格斯，当时在莱比锡的梅斯特林，还有保罗·法布里西乌斯都利用拉哲蒙坦那四十年前在他的书里的“命题16”提出的测量视差的方法观测了这个不速之客。令当时人吃惊的是，没有人测得可以看得见的视差。的确，事实是很顽强的东西。但是，“没有测得可见的视差”并不等同于“没有视差”：完全有这样的可能，这一颗“新的星”的视差其实是有的，只是未能被观测仪器有效地分辨出来而已。第谷已经证明，^①58'30"的视差是划分月上还是月下的关键值；问题于是转化为，对于1572年的观测者说来，他们的仪器能不能确实保证他们成功准确地捕捉到这个大约一个弧度的视差呢？

第谷说他能。的确，观测是他的一生的事业，早在十四五岁游学时，他已是沉湎于此道，但是苦于不能按照自己的想法来购买设计制作更好的仪器，“因为陪伴我游学的私人教师抓住钱包的拉锁不放，不让我订购这些东西”。后来，他继续说：^②

[我]再度往游德国，先是在维腾堡，后来在罗斯托克，我一有机会就研究星辰。从1569年起，我更是频繁地观测星象，不仅利用我在城外市长的花园里建造的非常大的象限仪，还用了另外一件仪器，一件我在那儿发明的木制的小六分仪，并特别用一本本子把所有的观测结果都纪录下来。

第谷对星象的兴趣发生得很早，对于很多男孩子而言，这并非是闻所未闻。但他在这种观察中所表现出来的近乎专业的特点，连续不断

^① Tycho Brahe, "De nova stella," 在上引 John H. Walden, p. 18f.

^② Tycho Brahe, *Astronomiae instrurate mechanica*, Wandesburgi, 1598; 这本书有现代英译本, *Tycho Brahe's description of his instruments and scientific work as given in Astronomiae instrurate mechanica*, trans. Hans Raeder, Elis Stromgren and Bengt Stromgren, København, I Kommission hos E. Munksgaard, 1946, p. 108. 下一段引文同此。

的系统的观测和措辞准确的翔实的纪录，则并不是他那个时代大多数观测者，甚至专业观测者，能留意做到的。正是 1572 年对新星的观测，把这种由好奇心所驱动的活动，变成了他终生的事业：

回到祖国以后，我用一个类似的但稍大一些的仪器，继续勤恳地作观测。特别是在 1572 年，奇异的新星光芒闪耀，我由此放弃了我从奥格斯堡时就完全为之吸引的化学研究，转向对天象的研究。经过对这颗新星的努力的观测，我对它作了描述，先是一本小册子，后来则是深入细致的和全面完整的一部大书。在此期间，我制作了一架又一架的天文仪器……

第谷用来观测新星的最主要的仪器是一架他自己设计制造的“大六分仪”。^①所谓六分仪，是一架看上去有些像圆规的测量仪器，圆规的脚在这儿是由两根长长的木条做成的“臂”。两臂之间安有弧形的刻度盘。使用时，观测者把两臂分别瞄准要测量的两点，然后在刻度盘上读出所对应的弧度。^②在第谷的时代，天象观测者通常用它来测量星和星的视距离，即两颗星在天球上“看上去”相距多远；也用它来测星的高度，即星离地平面的角高度；也用它来测量星的方位，通常是指被测的星距某一子午线的角距离。第谷的大六分仪和当时通用的有所不同。首先，所谓“大”，确乎其制：第谷用来测量星星高度的两臂各长六英尺，最大张角为 60° ，活动臂由一枚大螺丝控制，可以精确地作极小的移动。其次，他的六分仪不是一种通用仪器，只用于测量星的高度。为此，一条臂被固定在水平的位置上，这就几乎消除了由于观测者手臂或身体的几乎无法避免的抖动，极大地降低了观测中的人差。

① Hans Raeder *et al.* ed., *op. cit.*, pp.84—87.

② John Christianson, “The Celestial Palace of Tycho Brahe,” *Scientific American*, 204(1961) 118—128. 通俗而且细致地描述解释了第谷所使用的天文仪器，图文并茂。

另一条臂可以绕固定的端点活动，臂上有两个视窗，观测者通过这两个视窗校准视线，捕捉观测目标；一旦确定，在臂的远端的弧形刻度盘上即可读出该目标的角高度。第谷用大六分仪观测的精度高达 24 弧秒，^①这对于他的前辈观测者说来是一个实实在在的跃进。^②第谷对 16 世纪天文仪器的贡献，一是他在实际上建造了当时最精美的仪器；一是他完成仪器的建造之后，又著书细为描述，使之因此得以流传，也使我们今天在看不到原件的情况下可以准确了解复制当年的仪器；一是他在理论上提出，仪器应当一物一用。案当时天文学仪器常是多用途的，既可以用来测高度，又可以用来测方位，以此顾此失彼，难臻完美。

在评论第谷的观测工作时，英国天文学史家椎伊尔作了如下总结：^③

第谷从来没有过忽略过一次他的观测所提示的发现。他的工作习惯是，把对太阳、月亮和行星的观测和星表作比较，他的观测记录本中满是这种比较，通常还有关于[这种比较所提示的]差异的评论。他的观测日志和信件表明，在一开始留意到观测结果和古人的理论有差异时，他就感到他对于月亮的观测成果的重要意义。对于行星，特别是火星的观测，也复如是……

这可以说是第谷对天文学的专业研究的开端，而这个研究一开始就

^① J. L. E. Dreyer, *Tycho Brahe*, Gloucester: Peter Smith, 1977, Appendix E, pp. 387—388, 第谷观测的误差对赤经而言大约在 $\pm 24.1''$ ，对赤纬在 $\pm 25.9''$ 。注意这儿的 24'' 云云是对于九个“基准星”通过多次观测和计算达到的精度。一般而言，他的仪器精度还有大得多的误差。

^② 托勒密的观测精度大概在 10' 左右，哥白尼在 6—10'，换言之，第谷几乎一下子把误差缩小了十几二十倍。直到望远镜被普遍使用后的 1660 年，Johannes Hevelius 也不但在第谷的基础上把精度提高到 10—20"。Gudrun Wolfschmidt, "The Observatories and Instruments of Tycho Brahe," in John Robert Christianson *et al.* ed., *Tycho Brahe and Prague: Crossroads of European Science*, Proceedings of the International Symposium on the History of Science in the Rudolphine Period, Prague, October 22—25, 2001, Frankfurt am Main, 2002, p. 211.

^③ *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 71 (1910) 75—76.

是和仪器制作联系在一起。这是科学发展的一个全新的特征：学者和工匠，对纯知识的追求和对实用技艺的改进第一次如此紧密地联系起来，成了日后所说的科学革命的一个特色。^①

当然，第谷对天象观测的热忱，他对仪器构造的深刻的理解，他在建造工艺方面的精益求精的追求，对于完成大六分仪都是必要的。另外一个不可或缺的、但有时未被充分强调的因素是，要建造这样的庞然大物，要有雄厚的财力，^②这并不是任何人可以轻易拥有的条件。但第谷有，他是个贵族。除了他自己有钱之外，他还有国王的恩宠，他的事业得到整个王国的支持。

据说莎士比亚创作《丹麦王子复仇记》时，确乎受了第谷对于1572年新星的研究的影响，二十五年后剧情的发展和先前的天象暗合，剧中两个主要人物的名字也略同于第谷家族的两位纨绔。^③是否真的如此，我困于学力，当然无从判断，但在16世纪70年代及稍后，丹麦确实被看作是一个处在文明边缘的小国，宜乎各种离奇的事发生。而就在这儿，从第谷以下，三百年间，汉斯奥斯特，安徒生，索伦克尔凯郭尔，尼尔斯玻尔，竟然人才辈出，其王族的文治学养，常使人神往。

对新星的观测和描述使第谷声名鹊起，他自己也想安顿下来，“为天文学的复兴打下基础。”他最初考虑的是瑞士的巴塞尔，气候温和，地处意、法、德三国之间，著名大学和学者都在左近，便于切磋。^④在

① 科学和技术的联系当然不是如此三言两语就可以说明的。C. C. Gilliepie, "The Natural History of Industry," *Isis*, 48(1957) 398—407。讨论18世纪科学成果向技术和工业转化的过程，可以参考。

② 据John Christianson 1961年的估计，第谷天文台的造价当在一百五十万美金上下；约略近于今天的一亿人民币。见Christianson, *op. cit.*, p. 119。

③ Peter D. Usher, *Shakespeare and the Dawn of Modern Science*, Amhurst: Cambria Press, 2010, pp. 102—103. 著者甚至列表作出了逐日的对比，证明1572年新星和汉姆莱特在城堡上见父王在情节上的一致。Usher显然不是唯一尝试为莎士比亚寻找历史渊源的人。Stefan Zweig 1935年出版的苏格兰女王玛丽斯图亚特传就曾想象过莎氏利用苏格兰女王的故事写《丹麦王子》和《麦克白》。是书有郑海娟译本，《权与欲的狂飙》，北京：国际文化，2009，事在193页。所谓剧中人名字，是指第谷的表亲Jorgen Rosenkrands和Axel Gyldenstjern，在莎剧中有两个丑角Rosencrantz和Guildenstern，似乎是英语化了的丹麦名字，当非偶然，可发一噱。

④ Tycho Brahe, trans. Hans Raeder, *op. cit.*, p. 108.

他几乎已经着手实施这个计划时，情形突然发生了变化。2月11日夜，第谷已经就寝，一封日夜兼程的王室专函送到了第谷的“床前”。^①第谷以天文学家特有的精确，记下了这个时刻：“当时夜色仍旧沉沉，天未破晓，日出应当尚在两个小时之后”。他后来这样追述了这个戏剧性的转折：^②

当我正在默默地考虑这些事并准备移居那儿[巴塞尔]时，高贵威武的菲特烈二世，丹麦和挪威的国王，由他出众的记忆[想起了我]，派了一个年轻的贵族，赶到克努兹特茹浦[Knudstrup，案此为第谷的另一处封地]给我送来了一封王室专函，要我立即觐见……当我赶到御前，出于他的宸衷独断，也是他高尚仁慈的愿望，国王赐给我丹麦海峡中的那个国人叫做文岛的岛……要我在那儿建造房舍屋宇，以及天文学化学研究所需要的仪器。他仁慈地承诺负担所有一切的费用。

第谷虽然未必是受宠若惊，但这毕竟是一个好到不能再好的恩赐。他立即赶往这个小岛踏勘。^③这是一个很小的岛，据第谷的步测，环岛一周是8160步。^④岛上除了一个小村庄之外，还有一座相当破旧的

^① 这是第谷1576年2月中旬写给他的挚友Johannes Pratensis的信，最初刊在John R. Christianson, "Cloister and Observatory: Herrevad Abbey and Tycho Brahe's Uraniborg," Ph.D. diss. Univ. of Minnesota, 1964, 同见于K. Ferguson, *op. cit.*, p. 75.

^② Tycho Brahe, trans. Hans Raeder, *op. cit.*, p. 109.

^③ J. L. E. Dreyer的书里(p. 90)有地图，描述见于该书，pp. 89—92，下文对建筑的描写见同书pp. 96—99；同见上引Ferguson的书，pp. 78—82。Dreyer的地图来自Willem Janszoon Blaeu, 1571—1638，他曾和第谷一起在Hven岛上住过，该图最初见于他的儿子1663年出版的*Grand atlas, ou cosmographie Blaviane*, v. 1, p. 61，Dreyer说这和第谷的自述“相合”。1937年，Charles Humberd在维也纳购得Braunii 1586年的另一幅Dreyer提到过但未作细致讨论的地图，复制发表于*Popular Astronomy*, 45(1937) 118—125。其中对Uraniborg的描写较Dreyer所引更多一些细节，唯所附天文台内部布置与上述Dreyer所引正恰相反成镜像，因此标注的方位也颇不可解。Humberd注意到了这一问题，但未作进一步的讨论。

^④ 按Humberd的说法(上引p. 119)，第谷的“一步”约为5英尺，于是岛的周围大约是12.5千米。如果把这个小岛看作大略是圆形的话，那么从处在岛中央的第谷的天文台看，向东向西到海边大约各是2千米。但Humberd所假定的5英尺之说似乎还有可议之处：案第谷身材不高，5英尺一步似乎强人所难。

教堂，这也是从海峡的对岸、丹麦一侧可以看见的唯一的建筑。在岛的南半边，有三个大小不等的池塘，还有一些树，其他就什么也没有了。虽然离哥本哈根不太远，但多少有些化外的荒凉。这倒没什么，因为他想要离开丹麦的原因之一本来就是摆脱“那些打搅和阻碍科学研究的贵族和朋友的川流不息的来访”。从纯科学的角度看，在这儿建天文台有利有弊。第谷注意到^①哥白尼所处的弗隆堡纬度太高，又很受维斯图拉河水气的影响，不利于观测；但是这个小岛的纬度更高，很多南方的星座都沉没在地平线以下，而四面海水的雾气也更大。好处是，第谷同样注意到，四面环海的位置，使得他得以观测高度很低，或者说很接近地平线的星辰，我们已经提到过，这对于测定视差有特别重要的意义。

第谷把他的天文台建造在岛的中央，一半用作观测天象，一半是生活设施，地下室则是用作化学研究的实验室，装备有 16 座火炉。最重要的观象台在主楼的南侧，装备有六套大型仪器，旁边是稍小的辅助观象台，专为赤道浑天仪所设。与之相对的是北观象台，装有四套设备，同样在侧室附有大小赤道浑天仪。^②

一楼是四间成田字形的大房间。首先是装饰成红色的国王卧室，虽然从建成到最后拆除，国王从来没有来住过；另外是装饰成蓝色的王后卧室——王后倒确实曾在这儿享受过很愉快的夜晚，很喜欢主人的殷勤好客，虽然平民出身的女主人^③不方便露面而只好由第谷的妹妹索菲

① Tycho Brahe, trans. Hans Raeder, *op. cit.*, p. 110.

② Charles Humberd, *op. cit.*, p. 121.

③ 第谷大概在 1572 年或稍后邂逅他后来的妻子，Kristine（从 Gade, *op. cit.*, p. 193）或 Christine（从 Dreyer, *op. cit.*, p. 70），据说这也是第谷放弃移居巴塞尔的原因之一。Christine 可能是第谷封地上的一个农奴的女儿，或者是第谷的女仆，总之不是贵族出身。第谷颇是我行我素，对此并不十分在意，但一个出身低微的人在王后驾临时毕竟不能堂而皇之地作为女主人出现（Kitty Ferguson, *Tycho and Kepler*, *op. cit.*, p. 150）。1593 年访问第谷的英国人 Fynes Moryson 即径称这位女士为“妾”，盖因为第谷和她似乎确实没有正式成婚。他们共有八个孩子（Gade, *op. cit.*, pp. 193—194），直到第谷去世二十九年以后，孩子们的姑母，第谷的小妹妹 Sophie，才签署了一个文件，作证说这些孩子应该可以合法地继承第谷的社会地位（*Danske magazine*, ii, p. 367, Dreyer, *op. cit.*, p. 367, n. 1）。Sophie 援引的是丹麦古法，说是一个女人如果连续三个冬天和一个男人公开地住在一起，掌管他的钥匙，同桌吃晚饭，就是他的妻子。但深可感叹的是，我们其实连第谷深爱的这位 Christine 姓什么都不知道。

亚代行女主人职务，但王后的兴致好像并没有太受影响。最令人惬意的是西北角的大餐厅，装饰成绿色。透过餐厅的窗户向西向北眺望，连接波罗的海和北海的海峡尽收眼底，窗外佳树婆娑，远处蓝天之下可以看见点点风帆。

主楼顶上安装了风向标，通过第谷设计的一个精巧的装置，观察者可以在八边形的三层顶楼房间里读出风向风速而不必走到室外。围绕整个天文台的是菱形的土墙和花圃，再外圈是 300 多棵树形优美的矮树。这项工程耗资巨大，1576 年动工，断断续续进行了十年。菲特烈二世既然把这个岛赐给了第谷，按当时的规矩，岛上的农民也自然成了第谷的农奴。建造天文台的工作主要由他们承担。这一附加徭役是如此沉重，在第谷工程开工后的几年，不断有农奴上告第谷强加给他们的“有害的、不合常理的负担”^①。但第谷是个贵族，他的事业是整个王国的事业。这个研究者的天堂终于按第谷的设想建成了，他把这个城堡名副其实地命名为尤瑞尼堡，——尤瑞尼亚即 Urania，希腊神，主天文，而第谷则是这个城堡的主人。

在第谷时代，星辰的位置是天文学观测的主要目标——即它们的相对位置和它们的高度和方位。留意“关于星辰的知识”这门大学问已被命名为 *astrology*，而我们所谓的“天文学” *astronomy* 只不过是“星辰的命名”。^②显然，高度和方位随观测者的位置而变。为了排除观测者位置因素，天文学家用赤经赤纬标记星星在天球上的位置，所谓赤经是指所观测的点从春分点向东计算的经度坐标，而赤纬是指这一点从天赤道起算的南北的位置。浑天仪是用来测定赤经和赤纬的仪器。

第谷建造过好几台浑天仪，先是比较小的，主环直径在 6 英尺上下。最后在 1586 年完成的，直径达 10 英尺的大浑天仪，^③安装在尤

① Ferguson, *op. cit.*, pp. 113—114.

② 构词法: *astro*-星; *-ology*, 系统的知识, *-nomy*, 命名。

③ Tycho Brahe, trans. Hans Raeder, *op. cit.*, pp. 64—67, 另外, Allen Chapman, “Tycho Brahe—Instrument designer, Observer and Mechanician,” *Journal of British Astronomical Association*, 99(1989) 72, 作了简述, 该杂志比较容易看到。

瑞尼堡天文台室外南约 130 米，第谷称作“星堡”的第二个观象台，其遗址现在还可以辨认出来。^①案浑天仪的主体是一系列的环，用以标记黄道，天赤道和子午线。既要提高精度，第谷的不二法门是尽量放大仪器的尺寸。随着仪器越造越大，其自身重量也越来越大，于是在实际使用时就变得很迟滞笨拙，转动和校正遂殊非易事。第谷的贡献是，一方面尽量缩减环的数量，一方面在中心轴坐落在地面上的一端安装类似于半球形轴承的装置，承载浑天仪的巨大重量，另一方面在中心轴的远端也加装滚珠。这一设计使得浑天仪的环可以相当轻巧自由地移动，但又不至于因为机构的配合间隙影响仪器的精度。

说实在的，在第谷的时代，没有什么人能够梦想有这样的研究条件。天文学已经走到了这一步，这已经不是一两个“观星者”能够凭个人的热忱和天才，单打独斗地推进其伟大的事业了。第谷可以，他是个贵族。他可以什么事都不干，一心一意地观测，而且一干就是一辈子。他后来回忆说：^②

所以，我从十六岁起就持续不断地观测天象，至今将近 35 年，当然并非所有的观测都是同等精密和同等重要的。那些我年轻的时候直到 21 岁在莱比锡所做的观测，我想是幼稚的，其价值也还存疑；其后直到我 28 岁，观测结果虽说还不成熟但大致可堪应用。第三组，我在过去大约 21 年的时间里，直到我 50 岁上下，在尤瑞尼堡所作的观测，用力最勤，装备亦精，可称作我研究工作的成熟期，其成果完全可靠、绝对确定，这是我的看法。正是在这些工作的基础上，我奋力奠定了天文学的基础并且发展了全新的天文学。

① 发掘照片见 John Christianson, *op. cit.*, p. 122.

② Tycho Brahe, trans. Hans Raeder, *op. cit.*, p. 110.

第谷的主要传记作家都着意写他的倨傲狷狂^①。的确，他也够资格狂傲。有谁能得到上帝这么多的宠爱；得到宠爱的人里又有谁能这样努力地工作，始终不懈；努力工作的人里又有谁能真的做出这么大的成果呢？第谷接下来细数了他的成绩。

第谷说，首先，他准确地确定了太阳的运动，不仅是分点，而且是至点，由此“我从数学上确定了[太阳的]远地点和偏心率，”纠正了哥白尼和阿方索星表的错误。^②“我还测定了黄道对于赤道的倾斜率，发现这一数值有异于哥白尼和他同时代的观测者的数据，即23度31分半，较他们的数值大了3½分。”^③

至于月亮，第谷相信他已完成了所有的研究：^④

至于月亮，其复杂的轨迹在很多方面让人感到扑朔迷离，远非像古人或哥白尼所想象的那样简单或易于理解，为此我们一点儿也没有少花气力。……最后我们终于发明了一种方法，用圆和数字表达的规律可以把月亮的不规则的和受诸多因素影响的运行表达出来。所以，通过建立与观测现象相符合的假说，我们调整了描述月亮规则的和不规则的运动的数值，不仅是经向的而且也包括纬向的，同时运用一种不同于托勒密和哥白尼的方法，把月亮的视差也考虑了进去，这一做法与经验相符，也合于上述假说。……我们把所有这些，还有一些别的和月亮有关的东西，编成了简明的星表，为的是通过计算可以把运动的不规则部分描写出来。……从今以后对这些天体的研

① 例如，Dreyer 注意到，第谷的书房里挂了八幅古今著名的天文学家的画像，除了 Hipparchus，托勒密，哥白尼，编写他那时候最常用的星表的 Alphonso 等六人以外，还有第谷自己。最后一张空白，留给他的继承人，叫 Tycho nides，而画像中的第谷手里拿着一张纸，其上大书：“后继者其谁？”见是书，pp. 106—107。

② 哥白尼用的偏心率是 0.032 3，与此相应的经向位移是 1°51′，第谷的测量值是 0.035 9，位移是 2°3′。

③ 第谷这儿用的是哥白尼给出的黄赤交角的极小值，即 23°28′，见《运行论》第三卷第十章，叶译本 99 页。案第谷本文是对其工作的一般性叙述，所以他并没有涉及黄赤交角的变化和更细致的计算。

④ Tycho Brahe, trans. Hans Raeder, *op. cit.*, pp. 111—112. 下一段引文在 pp. 112—113。

究,所要做的不过是对将来的几个世纪[数值变动]的调整,还有对更一般的情况的表述。

第三件事是恒星坐标的测定。在16世纪,恒星被认为是远在第八重天的永恒的天体,既无视差可言,又无诸如亮度颜色变化之类的后世称为天体物理的研究,其坐标的精确测定,就几乎成了天文学唯一的可以想象的任务。第谷凭借他强大的观测仪器所完成的星表,是他对天文学所做的最令人叹为观止的贡献之一:

尽时间和条件的许可,我们非常细致地测定了所有肉眼可见的恒星的位置,其经度和纬度,甚至包括那些六等星。精度达一弧分,对有些星甚至达到半个弧分。用这样的方法,我们测定了一千颗星的位置。尽管古人生活在地理纬度比我们低的地方,可以看见对我们说来常隐[于地平线之下]的多达200颗的星,他们也不过[比我们]多记录了22颗。^①……这一项大工程耗用了我们几乎20年的时间,因为我们希望利用不同的仪器对这一问题作细致的研究。这些非常小的星通常只有在冬天,足够黑暗的夜间才可以看见,而且还一定要在没有月亮的夜晚。把这项工作以令人满意的方式完全做完,耗费了很多年耐心的工作。

第谷观测的精度,对于暗星的记录,足以让他骄傲。不仅如此,第谷说他还发现了恒星的纬度随黄道的倾斜而变化,而且,因为计入了这一变化,“我们可以充分地肯定,我们所测定的恒星位置已经达到了完美的、无可挑剔的精度。”^②

^① 哥白尼的星表一共记录了1 022颗星,见《运行论》第二卷附,叶译本68—80页,其中六等星38颗。

^② Tycho Brahe, trans. Hans Raeder, *op. cit.*, p.114.

至于恒星，唯一还没有做的事是确定它们在自创世以来的千百年中的一般运动。如果古人在这方面的观测没有被采用的话，要细致地完成这一事本来也不难，可是事实上这些[数据]都被采用了。尽管如此，我确信，通过适当的纠正和调整，在这一点上，我能在可能的程度上让天文学家们感到满意。

总而言之，在天文学中，可以做的事都做完了；第谷宣告了一个时代的终结，一个用肉眼观测天象的时代的终结。的确，他没有言过其实。1666年，当时的天文学史家编写了一本书，^①收罗登录“从古到今恒星位置的观测工作及其成果”。从远古到第谷前的纪录，共99页，从1601年第谷去世后到该书记录的下限17世纪30年代，得67页，而第谷的观测，竟然花了746页才完成逐项罗列。如果第谷的工作就到此为止，在天文学的发展上他应该已经有足够的理由享有一席之地了；但是第谷注定还有一次辉煌。1577年，一颗大彗星出现在人马座；第谷对这颗彗星的观测，把天文学引领到了一个新的时代。

第三节 1577：彗星带来了新的消息

对第谷说来，1577年真是忙碌的一年。整个春天忙着文岛的建设，——自从1576年8月8日法国驻丹麦宫廷的使节、第谷的密友查理丹瑟在众多王公贵族的注视下象征性地埋下了紫黑色埃及斑岩的基石，^②天文台的建筑工程就没有间断过。以第谷的个性，事事考究，自然不放心假手他人。春天还没有过去，4月12日，王子诞生，国王当然很高兴。联想到去年有报告说外海有美人鱼出现，而且事后的预言

^① Albert Curtius, *Historia coelestis*, Augsburg, 1666, 分析见 John Robert Christianson et al. ed., *Tycho Brahe and Prague*, op. cit., p.21.

^② Dreyer, op. cit., p.93.

家都说是吉兆，国王遂命第谷为王子占，作进一步的细致的考究。这一年国王着实给了第谷不少好处，^①现在有这么一个报效的机会，他自然全力以赴。7月1日，第谷呈上了长达几30页的天宫命相图，正文拉丁文，附德文摘要，对王子的长成运命作了预测。^②

11月11日圣马丁节，菲特烈二世和一大群侍从在丹麦外岛上最古老的梭仁修道院^③晚餐，一颗大彗星出现在人马座的夜空，这自然引起了极大的关注。圣马丁节真是个奇怪的日子：上回的新星也是出现在这一天，这就不能不引起人们的联想。大部分人认为，这不是一个好兆头。哥本哈根大学的一位天文学教授当时在座，五个星期以后，他成了第一个对彗星发表研究报告的人。^④他的报告回应了一般人的见解，认为这颗可怕的彗星，连同五年前的新星，是上帝向人类发出的警告，告诉人们最终的审判正在临近。他列举了过去两千年中将近50颗彗星的情形，展示了他的博学，同时说明彗星一定会带来政治和气候的巨变，包括正在步步逼近的大雪和严寒，预报地域几乎覆盖了当时欧洲人所知道的整个世界。

在第谷的岛上，圣马丁节前后两天是阴天，第谷直到13日才看到彗星。傍晚将近5点，第谷正在岛上的鱼塘边抓鱼，预备给晚餐添个菜，突然注意到^⑤夕阳最后一抹的余晖中竟然闪亮着出现了一颗大星，星体呈惨白色，看上去和土星差不多，“而且确实离土星也不远”。有了1572年新星观测的经验，有了在已经开工一年多的天文台中装备好了的精密仪器，第谷现在是兴奋多于惊奇。天色渐渐暗了下来，壮

① 先是每年从 Elsinore 海峡过往船只的通行费中拨出 500 丹麦金币加到第谷的本来就丰厚的年金中，使得第谷的收入增加了四分之三，又终身免除了第谷本来要交纳给王室的各种供奉，另加 400 金币专门用在岛上建造府第。见 J. R. Christianson 的研究，*Isis*, 70(1979) 117。

② 这儿说“几30页”是指在后来 *Opera omnia* 第一卷中的页数，原文见是书，pp. 179—208。

③ Zealand Island 岛上的 Soro Monastery，建于 12 世纪，葬有三位丹麦的国王。

④ Jorgen Dyvbad 的报告在 1578 年发表，丹麦文，本书作者限于学力，无法利用。C. Doris Hellman, *op. cit.*, p. 351 的简单介绍仅作了版本学著录，不敷应用。

⑤ Tycho Brahe, “German Treatises on the Comet of 1577,” 现代重印本，J. R. Christianson, *op. cit.*, p. 134。

丽的彗尾慢慢地显露出来，长达 22° ，呈淡淡的暗红色，“像是透过烟尘的火焰”，朝背着夕阳的方向伸展——毫无疑问，这是一颗彗星。第谷奔回正在建设中的观象台尤瑞尼堡，直奔二楼，奔向已经安装好的象限仪，开始了长达两个半月的观测，直到次年1月26日，这颗彗星完全不可见为止。我们现在还可以看见第谷的原始记录，完整地保存在哥本哈根的皇家图书馆里，四开本，包括11月13日当晚他看见彗星时潦草涂写的第一幅速写，兴奋和匆忙跃然纸上。

彗星和五年前的新星不一样，它横亘夜空，吸引了所有人的注意。任何眼睛，训练有素的还是愚昧无知的，都不会漏过这一奇怪可怖的景象；至于新星，哪怕对于是有相当教养的人，仍然是一个需要解释和引导才能了解的事。1573年第谷带着他关于新星的文字在哥本哈根见到他的一个好朋友，后来的哥本哈根大学教授，此公竟然完全不知道新星的事，对第谷的叙说也将信将疑；我们上文提到过的为第谷观象台奠基的法国大使查理丹瑟在和第谷共进晚餐时，听到第谷谈论新星，还以为他是在开玩笑。^①但是，现在，1577年，当大彗星在每个人的头顶上缓缓移动时，这可不是开玩笑的时候。国王想知道，第谷是怎么想的。

彗星出现不久，大约在1578年^②，第谷用德文撰写了一篇说辞——既非丹麦文也非拉丁文，所以后来的学者据此猜想这可能是为王室阅读准备的报告。^③第谷从宇宙的结构说起，先是准确地复述了亚里士多德的说法，但是加上了上帝的工作：天地万物是上帝的创造，火和气在

① Dreyer, *op. cit.*, p. 42.

② C. D. Hellman, *The Comet of 1577*, *op. cit.*, p. 122. 她后来又重申了这个年代，见“Was Tycho Brahe as Influential as He Thought?” *The British Journal for the History of Science*, 1(1963) 296。细看这份“德文说辞”，其中星占部分提到的“今年1578年”大概是其依据，但她未作特别的考证。

③ 这份“德文说辞”并没有标明是给王室的报告，但Christianson说“这份说辞中的很多因素表明它可能是写给丹麦王室的报告”(*op. cit.*, p. 127)，虽然他没有进一步列举和说明这些“因素”。因为本书侧重日心学说的发展，对这份说辞和王室的关系即不作深究，以免枝蔓。这份报告直到1922年才有印本，1944年C. D. Hellman在她的论文里(pp. 123—136)给出了详细摘要。Christianson的现代重印本在1979年出版，共8页，颇可利用，下文引文均从此，不另出注。

上，水和土在下，而我们人则被上帝放在最下层的地球上，“从而可以在冥思中认识他的大能和宇宙的无可名状的奇迹，以上帝赐给我们的分辨力探求宇宙，由是了解伟大的造物主”。但是，我们从小就看惯了日升月落，斗转星移，竟然渐渐地不以为然，不再关注苍穹了。于是，为了提醒我们，

上天就造出了迥然不同于寻常所见的东西，而整个人类会认为这是一种大的异像，急切地想探其究竟。殊不知这是只有上天才知道的事，没有人，无论多么博学，能够真正知晓。

从我们现代人看，这一段关于彗星起源的奇谈真可谓是匪夷所思。但是如果从思想的发展上考察，第谷在这儿发动的是一场革命：通过引进造物主的创造，第谷否定了亚里士多德关于上天无始无终的基本假定；上帝打破了永恒。上帝可以做他想做的事，可以造他想造的东西，而他的大能，绝非是作为受造之物的人所能真正知晓的。亚里士多德试图把倏然隐现的彗星归入月下的宇宙，但是，第谷说，

四年前出现在仙后座的新星或彗星就没有视差，并且像别的恒星一样一直停留在一个相同的位置上。因此，它不仅不可能是在月下的火或气的范围里，而且应该是在恒星圈的最高层，一如我那本关于这颗星星的小册子所证明并且充分讨论了的那样。……这一奇异的神迹要求我们必须放弃亚里士多德的看法而转向另一种解说，即苍穹之上也可能产生新的东西。

“必须放弃亚里士多德的看法”！表面上是神打败了亚氏，实际上起作用的是“四年前的新星”，是观测。第谷由此转而讨论眼前的这颗彗星：

已经充分地证明，四年前^①出现的那颗星的位置不在火气水土的区域，而是高高地在苍穹之上。通过对现在的这颗星的细致观测和讨论，我发现它的位置和运行轨迹也远在月球之上，同样是在苍穹之上。因此，亚里士多德的意见是完全错误的，他说彗星是从地面上升的气，绝不可能在苍穹中产生出来，^②这些说法是以他自己的精心构想为基础的，而不是建立在数学的观测和推理之上。……至于它们[案指这些彗星]是由上帝指使、由我们所不知的神力所编织构建的，抑或是全能的上帝由他的大能和意愿在他愉悦的时候在天空中投下的这样一束新的无迹可寻的光，警示我们将要来临的惩罚，在此不作细论，因为我们既为尘世的理解力所限，实在没有合适的基础和观念的构架去解释彗星的构成材料和在我们看来近乎奇迹的产生过程。

“亚里士多德的意见是完全错误的”！以前也有人如此争辩过，但是第谷的反驳有更深一层的哲学意义：他指责的是亚氏的论述的基础，即“他自己的精心构想”。第谷所要的，是把关于彗星的讨论重新建立在观测和计算之上。亚氏也强调观察，但不是观测；亚氏要把推理置于观察之后，第谷则要求把推理置于观测之中；亚氏力图在认识中反映观察的对象，而第谷现在所要做的，是利用观测的结果和数学，对所观测的对象作出分析。在完成了可以说是对彗星研究的方法论论述之后，第谷转向了实证层面：彗星的外观，出现的时刻，及其准确的位置：在11月13日最初的观测中，它在距天鹰座的亮星 $26^{\circ}50'$ 、距“摩羯座犄角最低处的星星” $21^{\circ}40'$ 的地方，到14日五点再观测时，和天鹰座那颗星的距离变为 $23^{\circ}45'$ ，和摩羯座的 $18^{\circ}30'$ 。日复一日，第谷不倦地记录了彗星的运动，直到次年1月26日，彗星淡出视野，消失

^① 从1572到1577应当是五年，但第谷原文均为“四年”，似非笔误或是误植，或谓第谷的意思是“过去了四年”，苦无的证，志此存疑。

^② 亚氏论彗星，参见，例如，343b8—344a1，344a5—a32，以及344b20ff。

在茫茫夜空之中。

对于那些坚持亚氏理论，认为月圈以上不可能有“任何新的东西产生”的人，第谷说：

……他们不是从经验或缜密设计的数学的观测得出这些观念想法的，而是从幽微玄妙的推理论说中得出来的，在眼下的讨论中，这并不能引向真理。正如用合适的仪器进行的观测所表明的那样，利用三角学的方法，可以证明什么是可以相信的。……事实上我已经极其缜密地测定了这些[视差]——关于彗星的位置和特征的整个科学正是以此为基础的；我利用恰当的仪器作了无数次的观测，并通过球面三角学的方法发现，这颗彗星离我们如此遥远，它在靠近地平线的地方的最大视差不可能大于15弧分，且只可能更小，不可能更大。

第谷表明，他的论述基础是精密的观测，除了他所精密测定的视差之外，他什么都不相信。他信心满满地指出，

根据我的观测，我发现彗星的位置就在这儿……在金星的天球里。如果不拘泥于通常的天球顺序，而把有些古代哲学家和当代的哥白尼的观点看作是正确，水星的轨道环绕太阳，金星环绕水星，太阳约略处于中心，这一推理也并非完全和真理相悖逆；甚至如果不像哥白尼所假设的那样，把太阳静止地置于宇宙的中心，仍旧可以把彗星看作是产生于月球和上文提到过的、绕日运行的金星的轨道之间……

这段话写于1578年，第谷的日心地不动的图景在这儿已现雏形，但是到他完整地描述这一体系，我们还要再等十年。眼前要回答的是，这颗彗星到底要说什么呢？“德语说辞”的后半部致力于对彗星的占星学的分析。对于现代读者来说，这有些滑稽。这是在事情已经

弄清楚、四百年以后的今天，人类对自然的探索被不适当地划分为“科学的”和“迷信的”两个互不相容的范畴以后产生出来的一种看法。这种划分的一个明显的害处是，它逻辑化了历史，对历史的发展作了极度的简化，从而把人类对自然的探索，这一充满失败、困惑、误解和失望，这个不断尝试、不断修正的摸索过程，改写成了一次目的明确的、全程由GPS定位系统导航的平淡无奇的旅行。四百年前，当第谷和他同时代的学者们面对异象频现的夜空时，他们最终想知道的是，上帝到底想说什么呢？

第谷先是对彗星作了一般的分析：

经验告诉我们，彗星通常带来大旱以及大热，强力的摧毁性的风暴，有些地方则是漫天的大水，另外一些地方是可怕的地震，毁坏谷物和果树，由此造成饥馑。在人则是热病瘟疫，并毒化空气，很多人会因此命丧黄泉。它还意味着当权的孔武有力者之间的分裂，由此而来的战争和流血，常常还意味着首领和世俗统治者的薨崩。

他什么都说到了，也好像什么都没有说，不过反正是坏事。接下来第谷说得比较具体了。彗星的类似土星的死灰惨白的颜色，加上它在出现的第二天，11月14日，就移到了离摩羯座 10° 的地方，都提示了死亡，“人类的异乎寻常的大量的死亡”。说到彗星影响的地域，第谷依据一种天和地在分野上的对应作出预测：彗星最先是出现在离夕阳不远的天空，在尘世中首当其冲的当然是西边的国家，而“土耳其和波斯之类统辖的地区，影响当不似剧烈。”这些影响将要在德国造成分裂，——对于这六十年来已经被马丁路德搅得乱七八糟了的德国来说倒不失为一个相当保险的预言，但是，第谷还补充了一句，如果有一个和天秤座相关的人或事出来干预，事情可能也可以避免。作为一个忠实的改革派教徒，第谷认为，这颗彗星对于那些和教皇沾边的教派很不利，他们可能要为他们加在“很多虔敬的人”身上的苦痛偿付代价。

这些预言，第谷说，可能在当年实现，也可能是在次年或更晚一些。但到 1583 年也就是六年以后，因为先前的新星将要在白羊座和外行星交会，对于基督世界说来会是件好事。

细看第谷的星占，他考虑的依据一是天象发生的星座，按占星家的理论，各个星座本身有各自的意义；一是当时的形势。这些在后人看来相当任意的揣摩忖度甚至臆想猜测，在第谷的时代并没有被严重地质疑。在第谷的时代，人们更关心的是上帝为什么要在日月星辰之外再创造一个另类的星体。所以，不能把彗星同其他天象看作一律：

……但是情形不可能是这样的，因为彗星并不具有像其他星辰、日食月食那样依据自然过程的起源和意义，而是全能上帝的一个新的、超自然的创造，在上帝选定的时刻被置于苍穹，其意义和影响不仅完全不同于行星通常的影响，而且是正相反对，强力地干扰了行星正常的影响……这种情形，早已预设并必将实现，完全不是任何人可以真正知晓，而只能由全能的上帝通过特别的方式展现。上帝的工作，光芒熠熠，每天自然地展现在我们眼前；尽管从创世以来各处的人孜孜然钻研追求，[其意义]对大部分人而言至今仍是深不可测、不可知……人们看见天上这些不常见的景象和伟大的奇迹时，急切地想知道其影响和含义，虽说洞悉将来的正确基础对所有人都隐翳不彰，对于这种苍穹中非自然产生的[东西]仍可能从古代阅历深厚的占星家的著作中得到一些消息；如果不超越这门技艺现在所能知悉的范围，排除所有迷信和臆想是可以做到的。

一方面人们急切地想知道上帝要说什么，一方面上帝的意图从本质上说来是不可知的，这就是占星家面临的理论上的困难，尽管这种预设的不可知性常常能为星占失验提供一种解释。在实践上，占星家们明白地感觉到他们处于这样的两难困境：过于空泛的讨论当然会被受众视为搪塞，过于具体的预言又每每陷于不验。但是，窥测未来的渴望如此强

烈，幽深玄妙、似有似无的星占异象对于观天者的魅力决不会因几次失败的窘辱就消失。一直到去世前两年，第谷仍表达了这样的信心：^①

在占星术方面……我们的目的是扫除迷信和错误，并尽可能地求得和它所依据的经验相一致。在这一领域中，我认为很难发现一种可以同数学和天文学的真理比肩而立的、完美精密的理论。……当我最终得到天体轨道的更精确的知识以后，我常常重新考察占星术，并得出结论……不仅在对于气象影响或是预报天气方面，而且在预测个人命运方面，只要时间拿捏得够准，星辰的运行和进入特定天区[的数据]合于真实的天象，这一门科学……会比通常想象得更加可靠。

星占和对天体轨道的测定，在我们看来是两回事，在第谷看来则一。对预知未来的渴求无疑推动了缜密的观测，缜密的观测自然地导向对细节的注意，这些细节提示了彗星运动轨迹，对轨迹的推算又逼使第谷放弃了关于行星天球是类似水晶球的实体的假设，而由此竟然引出了一种新的宇宙图景。这一系列的变化究竟是如何一步一步地完成的，至今尚晦晦然^②，但可以肯定的是，第谷的宇宙图景绝非一蹴而就地完成，而是在1578到1587的大约十年间，增删往复，渐次形成的。

第谷在1578年就注意到彗尾总是背着太阳，^③他认为这就提示了彗星和太阳的关系，所以他几乎不加证明地断定彗星是绕太阳运动的，而且运动的范围很大：^④

① Tycho Brahe, *Astronomiae instaurate mechanica*, *op. cit.*, pp.117—118.

② 细看第谷的主要传记，如前引 Dreyer 和 Gade，对这一段均语焉不详；至于 Ketty Ferguson, pp.147—150，对发表经过有所交代，但于思想线索则仍称阙如。

③ Tycho Brahe, “German Treaties,” 前引现代重印本, p.135: “……所有的彗尾都转向背离太阳的方向。由此可见，彗尾不过是太阳光的射线穿过彗星星体……而这个星体截留了太阳的一部分射线……”

④ Tycho Brahe, *On the Most Recent Phenomena of the Aetherial World*, Uraniborg, 1588, 第谷在他的岛上自己的印刷厂里用自己造纸厂生产的纸印行——真正的贵族做派。后收入《全集》，J. L. E. Dreyer ed., Copenhagen, 1929, v. 4, 下文引文在第8章，用 Marie Boas and A. Rupert Hall 现代重印本, *Occasional Notes of the Royal Astronomical Society*, London, 3(1959) 257, 不另出注。

现在的问题是……我们应该给它[彗星]在和别处相同的广阔的以太空间中划定一个区域……确实,以太世界广阔到不可想象,假定把从我们这个火气水土的世界到最近的月球的范围算作52个地球半径,我们现在谈论的空间还要更大235倍^①,即从地球到土星的最远点。在这个巨大的空间里,七颗行星永无止息地作奇异的依照近乎天谕的周期运动,至于到第八重天的巨大的距离,毫无疑问地比土星天球最远点还远得多,我真不知道说什么才好。

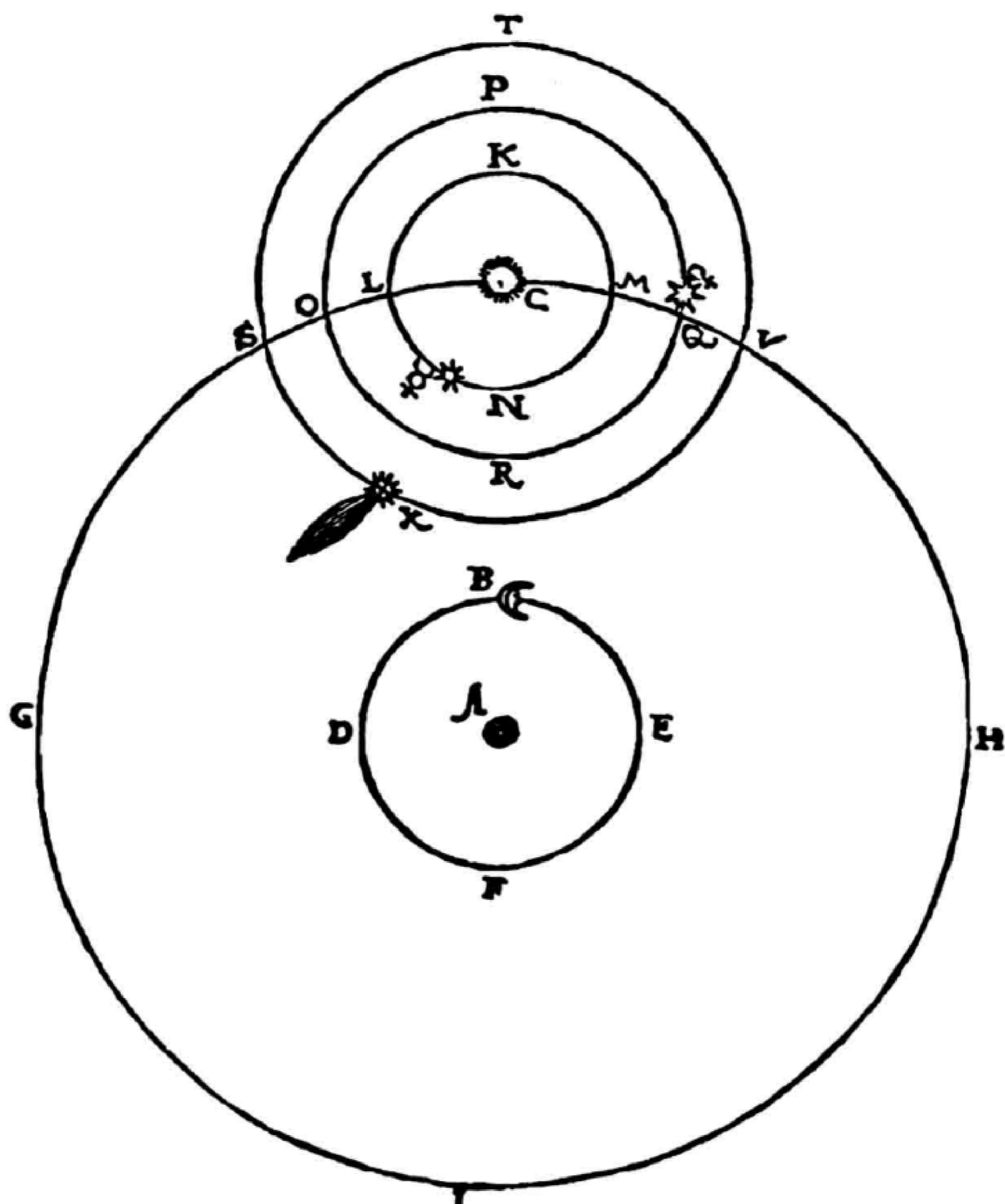
第谷接着引述了哥白尼的说法^②,进一步表明宇宙极为广阔:“不然[哥白尼所假定的]地球沿大圈的周年运动从第八重天看来就不可能是不可感知的了”。考虑到这一点,第谷说他经过四年的反复考虑,对于天象运行的图景,归纳出一个体系:

我认为,无可置疑,我们所居住的地球处于宇宙的中心,古代的天文学家和自然哲学家认为如此,《圣经》也证实是如此,而不是像哥白尼所希望的那样,有一种周年的旋转运动。但是,坦率地说,我也不同意托勒密和古人的说法,认为我们所谈论的空间里所有轨道运动的中心是在靠近地球的某个地方。……我认为,其他五颗行星的圈圈围绕太阳,在运动中常把太阳当作它们运行的中心,一如领袖和帝王。……我发现,不仅金星和水星如此——这一点由其较小的大距可知,而且其他三颗外行星也复如此。

第谷接着说,由此他放弃了古人用偏心圆和偏心匀速点、哥白尼用

^① “我们现在谈论的空间”完全是按我的臆想译的,原文是 *Secundum Mobile*, 以上下文文意揣测,似指彗星活动的范围,志此以俟高译。下文“七颗行星”云云当指金木水火土加太阳月亮。

^② 《提要》“假定”第四条,参见前引 *Three Copernican Treatises*, p. 58;《运行论》第1卷第6章,叶译本,第9页。前已提及,第谷见过《提要》,见前第2章第2节。



第谷的“日心地不动”体系。在他的体系中，地球 A 居中，月球沿 BDFE 绕地运行，水星和金星则分别沿 KLMN 和 OPQR 绕太阳 C 运行，而太阳本身则沿标有 CGTH 的大圈绕地球运行。留意第谷没有一一标注外行星的运行轨道，但确实标出了一颗彗星。从他的书的出版时间看，不难猜出这应当就是 1577 年的彗星。本图取自 Tycho Brahe, *De mundi aetherei recentioribus Phaenomenis*, 1577。

偏心圆加本轮的说法，提出了“对天体运行轨道图景的更充分的解释。”细致的历史研究表明^①，第谷不是唯一一个人，也不是第一个人提出这种行星绕太阳，太阳绕地球的“日心地不动”图景的。先是，维腾堡大学的瑞因霍德注意到：在这种图景中“日心”和“地心”在数学上是等效的，他在他编维腾堡撰的教科书中指证某一点时，常会说“……在点 F 的位置上……假定是地球，而哥白尼假定是太阳，”或者说“……线段 ES，对托勒密说是本轮的矢径，对哥白尼则是地球轨道的半径，而根据我们新的假设，则是太阳轨道的半径……”根据“我们的新假设”一语，论者以为瑞因霍德确实在谈论一种日心-地心模型。^②

同一研究还表明，第谷也不是在完全孤立的或独立的环境中发展出他的理论的。1583年在科隆曾有“一个叫作阿尔伯特·隆尼切瑞斯的人”发表过类似的想法。更有甚者，1586到1590年间，我们现在知道，德国数学家克里斯多夫·茹斯曼还和第谷通过信，介绍了他在讨论“托勒密还是哥白尼”的专著中提出的日心-地心学说。在1587年10月1日给第谷的信里，茹斯曼抱怨说现在大学里没有人真正懂得哥白尼的数学。如果第谷仅仅是勾画出了一种新的宇宙图景，那么他应该只是在这些著作人之中占了一席之地。但是，重要的是，第谷进一步说，他由此得到了一个重要的推论，

这个推论首先是在彗星的运动中表现出来，然后被清楚地证明，苍穹的机关构造不是一种被真实的天球所充塞的、坚硬的、不可穿透的实体，虽然至今大部分人还这么认为。可以证明，苍穹延伸，无处不在，极为流通简约，略无障碍，绝非先前所想象。行星的运行，在上

^① Christine Scholfield, "The Geoheliocentric Mathematical Hypothesis in Sixteenth Century Planetary Theory," *The British Journal for the History of Science*, 2 (1965) 290—296. 下引 Erasmus Reinhold 以及稍后的 Albert Lonicerus 云云转引自此。

^② Alexandre Birkenmajer, "Le Commentaire inedit d'Erasmus Reinhold sur le *De Revolutionibus* de Nicolas Copernicus," *La science au seizième siècle*, 2 (1960) 170—177.

天的统辖下依照既定的规律，完全不受羁绊，无须费力，也无任何真实球体的旋转。

这可不是一个“推论”。这是第谷除了他名震遐迩的精密观测之外，对天文学的最重要的贡献，足当“革命”之名。想法是，既然彗星穿越了如此广大的空间，它必然不可能只是在某两个天球之间活动。对托勒密和哥白尼来说，同心球的存在是不言自明的，不需任何解释的；这一情形很可以借用亚里士多德的话来说，^①是“自然”的，而没有什么比追问“自然”或证明“自然”更幼稚可笑了。既然观测表明彗星不是在两个天球之间，它必然要穿过一个或几个天球，它的天球和其他行星的天球必然要相撞，而这是不可能的。现在的选择只有两个：或者是对彗星轨道的观测和计算有错，或者是这种天球根本不存在。第谷绝对相信他的观测，于是答案就在眼前：天球的观念必须抛弃。第谷稍后又对此作了进一步的说明：^②

在天空中其实没有圈……所谓的圈是著作家们为了解释现象发明出来的，只存在于想象之中，由此行星各自运行的过程才可以被人理解，利用几何的解释，算出数量的结果。想努力发现彗星所依附的、与之一同运动的真实的圈，看来是徒劳的。把苍穹看作是由一层一层不同的、由坚硬的不可穿透的物质构成的圈，星辰附着在这些圈上并且随圈一同运动，是现代哲学家认同的古代最通行的信条，并被视为当然的和无可辩驳的。但即便是没有其他的证据，单单彗星一事就以最清晰的方式使我们信服，这种见解并不反映真实情形。作为最确定的观测和演示的结果，彗星已经多次被观测到是在以太的最高处完成其运行的，由此完全没有可能证明它们是被任何圈拖着走。

① 193a3—5.

② Tycho Brahe, *op. cit.*, v.4, 上引文第10章, p.222.

彗星在中外都有“扫帚星”之名，喻其形而赋予涤荡旧尘之意。1577年的彗星所扫荡的，是有史以来人人视为当然、从来没有人深究过的天球概念。在观念草创之初，用词杂混。我们还记得哥白尼在谈论天球时，对“球”还是“圈”不加区别，两词同义，几乎是在可以互换的意义上交替使用，^①在讨论第谷时，霍尔夫妇^②也注意到，一词两义。第谷在不同的意义上使用同一个词 orb：在谈到“古人”时，orb 指的是实在的球，^③在谈到他自己的发明时，他的意思是一个圈，或者是星行的路径。第谷、哥白尼面向宇宙，时当现代意义的科学草创之初，术语的定义尚未明晰，甚至对于必须无歧义地定义术语这样的观念也还尚未明晰；这种混乱正反映了这种蓬勃的创造。

但是，第谷抛弃实体天球概念的革命意义是如此深刻，以至于很可能连第谷本人都没有充分地意识到：他是在一条“推论”中顺便提出来的。第谷真正感兴趣，第谷的同时代人真正感兴趣的，是他的“日心地不动”的图景：一方面是各个行星绕太阳运行，一方面保留了太阳绕地球运行，地球虽然未见得处于宇宙的中央，但确实是岿然不动。

对于哥白尼说来，“日心”和“地动”是一件事的两个方面，不能分割。但他所举的例子，^④如罗马诗人维吉尔的诗，其实和当时大家熟知的奥瑞姆^⑤之类的例子没有根本的差别，都不是后来科学哲学中所

^① 前已提及，在《提要》的第一个假说中，他混用了 orbis, sphaera 和 circulus, 见第二章第一节。甚至以咬文嚼字著称的 Rosen 也说在哥白尼那儿前两个词是“同义的”，见氏注《运行论》，叶译本，第 252 页。金格里奇注意到了这一点，见前引《没人读过的书》，第 76 页以及别的若干处，以至于译者将金氏的看法不无揶揄地归纳作“细节大师”，见序，第 9 页。

^② M. Boas and A. Rupert Hall, *op. cit.*, p. 255.

^③ 其实“球”的说法仍旧待考。Edward Rosen 在《运行论》的注文里对此有一段相当长的讨论，并引用了巴塞尔的数学家 Sebastian Munster, 1488—1552, 在去世前出版的初等数学教科书，认为哥氏心目中的图景可能是一种类似我们今天所谓的“球壳”。这一说法在逻辑上成立但在历史上证据不足，见《运行论》叶译本第 253 页。

^④ 《运行论》叶译本，第一卷，第八章，第 11 页。

^⑤ Oresme, *Le livre du ciel*, bk. 2, ch. 25, 1968, p. 525, *op. cit.*, Edward Grant, *Planet, Stars, and Orbs: the Medieval Cosmos, 1200—1687*, Cambridge: Cambridge University Press, 1994, p. 654.

说的“判决性”例证，即只能说明地球不一定不动，但也不能断定其动。在地球绕太阳移动，太阳绕地球移动，或是两者都在移动的三种情形中，当时并没有一种决定性的判据，指明其中一个无可辩驳地、排他性地优于另外两个。哥氏提出的，选用第一种情形的依据，不过是对各个行星运动解释的和谐的要求，其代价则是要面对由于地动的假定所造成的种种困惑。托勒密选用第二种情形，好处是明显地和常识相一致，代价是各个行星的运动图景或将自行其是，被哥氏讥为只会画头画脚而不会画人的蹩脚画家。

但是托勒密地不动假说的优势是明显的。从物理上看，当时人认为，假定地球确实是由西向东转动，那么应该有强烈的东风，而在日常生活中，谁也没有感觉到。即使空气被地球带动，托勒密还进一步细致地考虑到^①，那么在空气中的飞鸟和其他物体，也应该表现出偏西的倾向，而在日常生活中，谁也没有感觉到。从传统的哲学看，亚里士多德的世界图景清楚地描绘了我们周围的环境，构成了一个自洽的整体。地动说否定了地球是宇宙的中心，这就导致了整个宇宙的定位问题，而这一中心位置是亚氏世界图景的基础概念，是轻重高下运动形态赖以划分的唯一的参照点。破坏了这一点，就是破坏了整个图景。哥白尼一定深刻地认识到了这一点，所以在他的著作中对于“世界的中心”位置反复驳难，用力最勤。^②从神学看，地动说当然直接和《圣经》相抵牾。即使奥瑞姆费尽心机地解释说其实地球停下来和太阳停下来在约书亚看起来是一样的^③，当时恐怕没几个人会接受这种牵强的解说。

现在，因为不再有天球相撞的问题，第谷就有可能在精密观测的基础上提出一种图景，将“日心”和“地动”分拆开来，行星围绕太

^① Ptolemy, *Almagest*, i, 7, 前引 Toomer 译本, p. 45.

^② 我们还记得，在《提要》的七个“假设”中有三个讨论“中心”问题，在《运行论》的第一卷中，花了十四章中的五章（第五章到第九章）讨论这个问题。

^③ Oresme, 上引书 p. 531.

阳运行，因此保留了哥白尼图景的全部优点；地球置身在外，保持高贵的静止，^①太阳绕地运行，日夜交替，四季更迭，井然有序，又自然避免了哥白尼“地动”假设带来的种种困难，在学术圈里立即得到了相当的称赞和认同。

我们还记得，有迹象表明，哥白尼可能也考虑过类似第谷的“日心地不动”的图景，但苦于无法安排天球而作罢。对于哥白尼说来，实体天球是不言而喻的，是一种重要到不需要说明的自明的事。十六世纪的观天者无法想象，如果没有这样的天球，日月星辰是如何悬浮在空中，而包含这些星辰的宇宙如何可能是“空的”。对他们说来，这些天球的存在是如此直观，——并不是它们的存在易于想象，而是它们的不存在实在不可想象。

于是，摒弃实体天球的观念，第谷自己都没有认识到，不是解决了一个问题，而是提出了一个天文学家从来没有处理过的问题：天体运动的机制问题。星辰附着在被称为水晶球的看不见摸不着的实体球上，随之一同运动，千百年来人人认为如此，人人习以为常，从而也不存在天体运动的物理学问题。对天体运动的描述是，而且仅仅是，数学的；这是托勒密为天文学立下的规范，也使得所谓的维腾堡解释成为可能。摒弃天球概念现在无可规避地引出了天体运动的物理问题，换言之，没有天球支撑，天体是如何悬浮在空中的呢？又是谁，用什么力，通过什么方式推动天体作生生不息的运动的呢？第谷好像不太担心，他的确很模糊地提到过某种“流动的”东西，——他也不可能想到别的，因为真空的概念要到七八十年以后才出现，而力的概念则差不多还要再等待一百年。

现代科学史研究倾向于相信，^②在16世纪末，大概有半数的欧洲天文学家接受第谷的观念，剩下的大部分人会认为既然模型本身只不过

^① 从亚里士多德的观点看，静止是月下运动的“目的”，所以应当视为运动的自我完善。参见，例如，Amicus, *De caelo*, tract.8, qu.4, *op. cit.*, E. Grant, p.662。

^② Owen Gingerich, "The Galileo Affair," *Scientific American*, (1982) 133—143.

是几何的假说，采用什么图景都可以，大概不到百分之十的人会同意说哥白尼应该被好好惩罚一下，但大多数人会说他们在计算行星位置时会用哥白尼的星表，但这并不表明他们服膺日心学说。

第谷作为“推论”提到的，对实体天球的抛弃，连同他的精密的系统的观测数据，导致了开普勒对天体运动规律的研究；他所珍视、寄予无限希望的日心地不动的模型，将被开普勒和伽利略的研究所取代。1601年第谷去世的时候绝没有想到，建立在他的工作之上的科学革命，已经悄然进入了高潮。

第四章

开普勒在追寻行星运动的物理原因中发现了行星运动的规律

当第谷见到开普勒的时候，他想的是用他以毕生心血积累起来的观测数据建立“日心地不动”的宇宙模型。他很快发现，他和开普勒很难沟通。这种交流上的困难，固然有社会地位上的、行事风格上的问题，更因为他们的对于天文学的理解完全不同：第谷关心的是星星在苍穹上的位置，以及这些位置的意义，——如果这意义是可以理解的话。第谷的专长是观测，他对理论的兴趣最多是第二位的：他也做模型，但那是为了直观地展示宇宙，而数学在他的工作中最多也只是辅助性的、为了表明星星的远近方位的手段。日心图景是不可接受的，这不仅是常识问题，而且在观测没有提供支持的情况下接受一种解说，是不可想象的。

开普勒则不同。他是带着他关于宇宙和谐的信念去见第谷的，这种和谐通过数学优美地表现出来，最后落实在日心图景之上。哥白尼是对的，这不是观测的结果，而是理论的要求。尽管在第谷去世前，开普勒的研究在很大的程度上受了第谷的限制，但他从来没有偏离过他所坚信的研究方向。开普勒关心的，是宇宙的秘密，即深藏在这些现象之中的、宇宙之所以是我们所看见的宇宙、现象之所以是我们所看见的现象背后的、物理的、或者用他更喜欢的说法是形而上学的原因，这

个原因直指上帝。他曾经这样解释他关于几何的工作：^①

我也在摆弄符号，……用几何学处理关于自然的“想法”，但在这么做的时候，我从来没有忘记我只不过是在摆弄符号。我们永远也不可能用符号来证明任何事情；在关于自然的哲学中，没有一件隐秘的事可以由几何符号得到彰显……

从可以追溯的时代起，开普勒就坚信天象之中深藏着一种神秘的原因，这是他的不可动摇的信念，也是他毕生的追求，从他的孩提时代，贯穿始终，直到他对天象研究的最后完成。他的研究历程，复杂而且神奇，为方便阅读，大略归纳如下：^②

他的第一个尝试是所谓的正多面体模型，说在1596年的《宇宙的秘密》中。为了进一步验证他的假说，他利用第谷的观测数据复算了火星的轨道，所有这些努力，都细致地记录在《新天文学》中，最后在1609年出版。他最初假定，火星轨道的中心，并不等分偏心匀速点和太阳的连线，这一连线有时叫做拱极线，在开普勒时代，是一个重要的行星轨道参数。他随后把理论和观测的数据作了对比，结果显示这种“不平分”是错的。开普勒又转向“平分”，由此一前提出发，利用偏心匀速点和太阳的对称位置，他得出了火星运行的速度和它距太阳的距离成反比的结论，即所谓“距离定律”，开普勒认为，这是行星运动的物理原因的反映。他利用一系列推理，把距离定律改写成了面积定律，即行星的矢径在相同的时间里扫过相同的面积，史称第二定律。再和观测资料作对比时，他发现理论值有一种系统偏差，这使得他确信

^① 1608年5月12日给Joachim Tanckius的信，后者是一位解剖学教授和外科医生，见C. Baumgardt, *Johannes Kepler: Life and Letters*, New York: Philosophical Library, 1951, p. 80。

^② 这一归纳当然会引起对历史进程的逻辑化和概念化的误读。这儿只是希望为读者提供一种方便，一种起辅助作用的线索，多少有些效仿开普勒在他的《新天文学》的开头所作的那样，并非意在全面介绍开氏的工作，晓者鉴之。

行星运动的轨道不是圆形而是椭圆，史称第一定律。他进一步用磁力构造了行星运动的机制和图景。他认为，这就是物理的原因，从而解释了天体的运动。稍后他又回到《秘密》所提出的问题，希望从更高的层次上解读上帝所预设的秘密，是为1619年的《世界的和谐》。

这种物理原因的确立，对于日心学说有特别重大的意义。因为一直是到了开普勒手里，日心学说才真正获得了对于其他模型和解释的排他性优势；换言之，一直到开普勒，行星运动的物理原因才变成一个主题，而正是物理原因，才使得日心学说卓然特异于其他种种理论，摆脱了“又一说”的地位，成为唯一的可以接受的理论，而其他所有的说法则被认为是“错的”。开普勒没有找到他梦想的物理原因，但是他提出了问题，指明了方向，完成了最初的尝试。引导开普勒得出这一结论的种种推理，种种论证，在现在看来，不仅奇特，而且常常是不可理解的。

在开普勒的时代，科学尚未成为我们现在意义的科学。他的逻辑并不严密，时断时续；数学的推演常常被物理的假说所切断，倏然上升至另外一个层面。开普勒的天才和直觉，就像是黑暗中闪烁的星火，时断时续，在希望和失望中逶迤前行，而科学就这样成长。

1630年11月25日，开普勒在十三年前结识的好友，图宾根大学的数学教授，写信报告了开普勒的死讯，十天前的，“数学天空中头等明亮的大星陨落了”，^①正如他最钟爱的小女婿巴兹克说的，“留下了悲惨的黑夜，无力的争斗和迷茫……”如果开普勒能再一次回望人生，他还会坚信他一生的种种遭遇，都有天象表现出来的物理原因吗？

第一节 开普勒想要研究的不是现象，而是原因

据开普勒自己说，他生于1571年12月27日下午2点30分，而受

^① Baumgardt, *op. cit.*, p.194. 下一句引语在 p.195.

孕则发生在他父母的新婚之夜，当年的5月16日，清晨4点37分。^①开普勒当然不可能“记录”上述时分，他是推算出来的。对于现代读者说来，这似乎完全是胡扯；但是对于开普勒说来，这是对他一生遭遇的解释，这是他所深信的上帝手造的原因。正是这种对上帝和原因或上帝即原因的坚定信念，构成了他一生对“宇宙奥秘”孜孜探索的基础，也提供了他面对一生屯难蹇困的勇气。

据开普勒自己说，他祖上是贵族，至于祖父辈，家道仍称殷实，^②而苦难的渊藪则是他那个全然不负责任的父亲。这位仁兄除了任性骄矜之外，没有一点贵族气象。尽管是个长子，^③却不事稼穡。开普勒三岁时，他离家参军去尼德兰作战，不久母亲也往随军旅，把尚不知事的开普勒交给了祖父母抚养。^④两年后回家稍事停留，又投身军伍，往比利时作战。不知何事触犯，差一点儿被执行绞刑。这一经历大概有些惊心动魄，让他在家消停了五年，其间忽而奔走置业，忽而改换户籍，翻滚折腾，再五年，改投海军，但从此再没有回家，有人说他当过海军的小官，后来死在奥格斯堡附近。

多年以后，开普勒逐一批注了他家人的天宫命理。名列第四的是老开普勒，即：^⑤

① *Opear omnia*, Ch. Frisch ed., Frankofurti et Erlangae, 1858—1871, v. 8, p. 670 seq., 英译见 A. Koestler, *The Sleepwalkers; A history of man's changing vision of the Universe*, New York: MacMillan, 1959, p. 225.

② Max Caspar, *Kepler*, trans. ed. by Doris Hellman, London: Abelard-Schuman, 1959, p. 34. Max Caspar, 编纂《开普勒全集》，Max Caspar, Walther von Dyck, Franz Hammer, and Volker Bialas, eds., *Johannes Kepler Gesammelte Werke*, 22 vols. Munich: Deutsche Forschungsgemeinschaft and the Bavarian Academy of Sciences, 1937—, 由此机缘更作是传，1948年出版，常被称为可取代1871年 Frisch 版《全集》所附的开普勒生平。Caspar 认为专业的史学讨论会破坏读者阅读的趣味，故氏著全采用叙事体，无注释，无考证；而以其研究之浩瀚精深，学者对此传均采信不疑，略同于原始文献。1993年再版，O. Gingerich 序，New York: Dover, 并附文献著录，参见 James Evens 对该书新版的评论，*American Journal of Physics*, 63(1995) 1054.

③ 老开普勒实际上是第四个孩子，但前三个均未长到成年。案欧陆风俗，长子当在家主持家事。

④ Caspar, *op. cit.*, p. 36.

⑤ A. Koestler, *op. cit.*, p. 229.

我的父亲,1547年1月19日生……生性阴刻,执拗好斗,注定不得善终。金星和火星使他的恶性大增。木星西落时太靠近太阳使得他始终是个穷光蛋但却能娶到一个富婆为妻。土星在第七宫^①使得他沉湎军旅。……徒劳地追寻虚荣,结果是一场空。……对我母亲极坏,最后弃家出走,客死他乡。

对这样一个爸爸,开普勒略无好感,这本也在意料之中。值得留意的,是他对乃父的种种劣行的解释:每一项都归属落实到一样天象之上。显然开普勒深信每一劣行自有其原因存在,并且可以追寻。

开普勒一辈子一直到老死,常感到他的少年时代苦痛不堪;父母的争吵,经济的拮据,当然都是。但似乎也有温馨的瞬间。他成年后确实说起1577年母亲带他到山坡上看大彗星横亘天际,1580年父亲也和他一起看过月食。^②更重要的是,尽管家里的气氛常称乖戾,他毕竟还是去了拉丁学校,学习读写和算术,受到了很好的教育——这在当时并不是每个孩子都可以期望的理所当然的享受。1584年起,入住教会中学,或者叫做Seminary,在这儿,学生要完成进入图宾根大学研读神学继续深造的准备。开普勒体质孱弱而天资颖慧,这一学习方向似乎是上乘之选,开普勒自己也很喜欢。这就开始了他对无所不能的和无所不为的上帝的追求,这一追求贯穿一生,始终不懈。1589年,完成了入学考试和其他学业要求,开普勒进入图宾根大学,当时他十八岁。

图宾根大学的神学院创立于1477年,到开普勒时已逾百年,而以其严格的学术训练著称。事实上,开普勒以后两百多年,这儿还要产生出像黑格尔、谢林以及歌德那样的人。其中任何一个,都足以使一

^① 原文是“Saturn in VII”,当时星占术语,VII表示宫位。案十二星座和十二宫是不同的概念,黄道既穿行十二星座,同时也在占星的意义被分为十二宫,开普勒时欧人普遍采用的是拉哲蒙坦那的系统。考察星空时,要同时考虑星座和分宫法,计算在某时刻某地的星盘上,各宫的起点在哪一个星座中位置,分宫完毕后再放入星辰。这是钱立卿博士为我解释的。

^② Caspar, *op. cit.*, pp. 37—38.

所大学傲视同侪。开普勒告诉我们，在这儿，他比较喜欢亚里士多德的《后分析篇》和《物理学》，对《伦理学》则无太大兴趣。此外他还细读了意大利学者斯卡利吉尔的《海外奇谭》，^①这在当时是数一数二的热门书，后来又读了亚氏的《气象学》。^②但对日后让他永垂不朽的天文学，则要归功于数学和天文学教授迈克尔·梅斯特林。

梅斯特林^③生于1550年，长开普勒二十一岁，从小在路德教学校学习，1571年在图宾根获硕士学位，在海德尔堡教了四年书以后转入图宾根执教，淳淳然凡四十七年。从日心说的发展来说，梅斯特林是一个重要环节：据说伽利略是通过他第一次听说哥白尼的，^④而开普勒的工作则几乎每一步都和他的鼓励和参与有关。

在16世纪下半期，梅斯特林是很活跃、同时也是被广泛接受的天文学家。他关于1572年新星和1577年彗星的观测和评论深得第谷的好评；在1588年出版的《论世界》中，第谷对其工作作了长篇的摘要和评述，这使得他在学者圈内声名鹊起。他一定很早就留心哥白尼学说了，早在1570年，他就从维腾堡的一个路德派教士的遗孀那儿购得一册1543年版的《运行论》，^⑤是书在当时价格不菲，对于一个学生来说，买这样的书并不平常。同年，梅斯特林完成了对瑞因霍德星表的编辑，并为之作序，这似乎提示了他和维腾堡学派的关系，而这一星表是以哥白尼学说为图景的最早的工作之一。第二年星表出版时，他还

① Julius Caesar Scaliger, 1484—1558, *Exotericarum exercitationum*, 即 Exoteric Exercises, 1557.

② Caspar, *op. cit.*, pp. 44—45.

③ *DSB*, v. 9, pp. 167—170; Gerhard Betsch, "Michael Mastlin and his Relationship with Tycho Brahe," in *Tycho Brahe and Prague, Crossroads of European Science op. cit.*, pp. 102—109.

④ 伽利略曾回忆说, *Opera*, national ed., v. 7, Florence, 1897, rep. 1968, p. 154, 在他读完哲学课程后不久, 听到了一个“外国的”教授讲哥白尼, 并由此转向日心说, 但他记不清讲演者是谁了。在德国学者 Gerhard Johann Voss 1650年发表的文章里, 这个“外国教授”被确认是梅斯特林, 但没有给出根据。比及大家读到 Voss 的说法时, 他已于前一年去世, 遂成悬案。见 *DSB*, v. 9, p. 168.

⑤ 这是 Owen Gingerich 对原书的研究结果, 见 *Zum 400, Geburtstag von Wilhelm Schickard*, Friedrich Seck ed., Contubernium 41, Sigmaringen, 1995, pp. 168—169.

对其技术细节作了详细的勘误，展示了他在天文学方面精深的造诣。

通过对梅斯特林在《运行论》上的批注的研究，现代研究者相信，他很早就坚信哥白尼学说是宇宙图景的真实描述、而不是为方便计算而虚构的假说。事实上，他很可能是最早明白指出《运行论》第一版书前所附的“致读者”并非出于哥白尼之手的学者。据金格里奇报告：^①

在最开头的地方，也就是匿名序言《致读者》的上边，有很多种笔记。梅斯特林的开场白是这样的：“这段序言是某个人后来加上的，也许是作者本人；事实上，风格的软弱与用词的选择显示，它并非出自哥白尼之手。”

对于这一判断，金氏赞叹说，“我不得不认为能够察觉如此微妙之处的人是一个特别精明而敏锐的批评家”。在迎面页的顶端空白处，梅斯特林又补充说：

注意，关于这篇《致读者》，哥白尼的弟子，那个莱比锡的教授雷蒂库斯与印刷商发生了激烈的争吵，印刷商声称这篇序言是与书的其他部分一起交到他手中的。而雷蒂库斯却怀疑是奥西安德（此书的校对者）所作。他宣称，如果这是真的，他就会对付那个家伙，让他规矩一些，以避免对天文学家更多的诽谤。不过，[彼得]阿皮安告诉我，奥西安德开诚布公地向他承认，是他把这篇序言加上去的。

梅斯特林在那篇匿名序言的上边还写下了一个第三手的简要评论：“注意：我很肯定这篇序言的作者就是奥西安德。”

但是，在课堂教学中，梅斯特林用的仍旧是亚里士多德和托勒密的

^① 前引《无人读过的书》，第197页。下面一段引文在第198页。

地心图景。这是可以想象的；在16世纪80年代，对哥白尼日心说，维腾堡学派的解读正牢牢占据主流的地位，而梅斯特林则既不愿搅乱学院的秩序，也不愿丢掉教授的饭碗，去公开谈论这么一个敏感的题目。^①不容易理解的倒是，梅斯特林何以有这样的信心，断言哥氏的图景是“真实的”。^②

开普勒是从梅斯特林那儿听说哥白尼、听说哥氏的图景是真实的。他后来说，梅斯特林就像是“一溪活水浇灌了我的心田”。^③他回忆说，^④

六年前，我在图宾根杰出的学者梅斯特林大师那儿学习，颇为当时流行的宇宙图景的困难感到困惑。梅斯特林在他的课上常常提起哥白尼，这使我对哥白尼的学说颇有好感。我不仅常在物理学的学位候选人辩论中为他的观点辩护，^⑤甚至还形诸文字，细致地讨论过第一种运动，认为这是由地球运行造成的。

我们由此知道，梅斯特林是开普勒走向哥白尼日心说的关键一环。当时的情形是，从维腾堡解释出发，16世纪80—90年代的学者们其实倒并不一定认为哥氏的图景是异端邪说，但是，他们也不认为哥氏的说法在物理上是“真实的”：“一说而已”，换言之，日心说对于地心说而言，并不具有压倒性的或者排他性的优势；相反，日心图景带来的和

① Caspar, *op. cit.*, p. 46.

② 金格里奇提到，同上书，第203页。“在施莱伯笔记的下面还有另一处笔记，乍看很像是开普勒的手迹……我认为它更像是出自梅斯特林之手。……这段笔记宣称，‘关于这个问题，可以接受的说法在书的第五卷中，他们让太阳固定，让所有的行星的中心稍微偏离它。’”义案：同书第175页有“施赖伯”，Jerome Schreiber，疑为同一人。

③ Baumgardt, *op. cit.*, p. 24.

④ *Mysterium cosmographicum*, 1621, trans. A. M. Duncan, New York: Abaris Books, 1981. 这是拉英对照注释本，包括1596年（实际是1597年刊出的）第一版和1621年开普勒自己所作的修订。书前有E. J. Aiton的长篇导读，引文在p. 63.

⑤ James R. Voelkel, *The Composition of Kepler's Astronomia nova*, Princeton: Princeton University Press, 2001, p. 26 seq. 作者讨论了后来发现的开普勒发言的原件，“作为图宾根大学的学生，他的很多物理原则还显得稚嫩，但他已经很清楚哥白尼学说面临的阻力了”。

常识、和权威的冲突倒是成了新的不容易解决的问题，所以学者们宁愿沿用托勒密。梅氏卓然于潮流之外却又不能给出令人信服的论证，这就对开普勒产生了双重的影响：他为这个深邃敏锐的学生描述了一幅图景，并告诉他这是“真实的”，但另一方面他又说不出为什么这是真实的，而把这个问题留给了后者。回答“为什么”哥白尼一定优于托勒密，就成了开普勒毕生为之奋斗的事业。但是直到1594年，他还不知道他正在走向由此而来的命定的辉煌。

在图宾根的日子是开普勒一生中最快乐的几年；有心仪的老师，有稳定的生活，还有对未来的憧憬：完成学业以后他将参加考试，通过考试以后他就会被授予一种神职，侍奉上帝。^①以他的资质和勤奋，这不是个问题。

但是，正如开普勒后来常常提到的那样，上帝另有安排。1594年年初，格拉茨地方新教教会附属中学的一个数学老师去世了，需要有人立即接手他的课程。这所学校的主事是图宾根的校友，他自然向母校求援，要一个品学兼优的、深谙数学的、能教一两门古典语言的、信奉新教的老师。环顾四周，非开普勒莫属。

这当然不是一个好差事。在当时人看来，放弃一个神职去当一个中学的数学老师，匪夷所思；更何况格拉茨在图宾根人的眼里是一个遥远的外国，连历法都和图宾根不一样，而且居民多是罗马天主教徒——这一点，开普勒很快就要尝到苦果了。他确有犹豫，但是，他很快领悟到，这是神的召唤。想到这一点，他说，“我发现，我比以往坚强了很多”。

在格拉茨，按照惯例，数学老师兼任政府的“数学家”，后者的一个职责是每年要为当地居民颁发一部类似黄历的东西，根据星辰天象预言来年的天气和庄稼的收成，为人们居家出行提供建议和警告。早在图宾根时，开普勒就表现出了对星占和天宫图的独特的理解。多年以

^① Caspar, *op. cit.*, pp.48—49.

后，他总结他自己的星占经验时说：^①

以星占预言为职业的人首先要有勇气排除两方面常见的但相互矛盾的看法，要抗拒两个源于品味低下的情感和冲动，即自大的野心和自卑的恐惧。因为民众鹜新求奇的巨大的力量……或是报告了自然界中本来没有的事，或是不深入探讨真正原因而宣布神奇事物的发生。……但是如果他手中真有支持他的说法的道理，而且可以由睿智明达之士验证，他却担心空泛的讨论和没有根据的反驳，被那些奇怪的外部反对意见从他本来的目的逼退，那么他也真是个懦夫。虽说这种从阿拉伯传来的技艺的很多原理什么都说明不了，但其中也并非一点儿也没有自然的秘密，因此也不宜作为一种一无是处的东西全盘抛弃，而必须把真正的宝石从粪土中挑选出来，通过对自然的沉思来彰显上帝的荣耀……

星占命理是开普勒一生贯穿始终的事业，他确信这是侍奉上帝的大事，也希望由此可以让他的雇主考虑提高他的年俸。^②他说，有江湖的星占，有学者的星占。前者是粪土，是“耍猴的把戏”，^③后者则是对自然的沉思，而这种沉思最终展示上帝的荣耀。这两者之间，在他看来，是占候者手中有没有“道理”，这一道理可以由有识之士评判。我们必须认识到，星占所追求的，也是一种因果关系，一种在现实中无法连续追寻的、虚幻的关系，但是这种追求的基础，却是对因果关系的认同：即假定天地间发生的事，确实是由，或者确实是有因果关系联系在一起的；而对开普勒来说，这种关系的存在，则正是上帝大能的表

^① Caspar, *op. cit.*, p.59.

^② 开普勒 1598 年 12 月 9 日给梅斯特林的信，见 Baumgardt, *op. cit.*, p.49。事实上，因为 1595 年的历书和预言，他确实得到了 20 个金币的奖金，近乎他年薪的七分之一，见 Caspar, *op. cit.*, p.60，后来的学者称这一类的收入对开普勒“不无小补”，见 James R. Voelkel, *Johannes Kepler and the New Astronomy*, New York: Oxford University Press, 1999, p.27.

^③ *Gesammelte Werke*, v.6, p.145; Koestler, *op. cit.*, p.243.

现。星占以其对于准确预言的追求鼓励了对准确观测的追求，以其对天、人、上帝的因果信念鼓励了对天体运动原因的沉思。占星术之于天文学就像脐带胎盘之于婴儿一样，在发展的一个阶段中，不可须臾或分。如果径斥以荒怪诞幻而不顾，是为求其真而反失其真矣。

1594年4月，开普勒到达格拉茨。仅仅几个星期以后，他完成了1595年的历书。对于即将到来的一年，开普勒做了相当的预言，其中两个，最重要、最引人注目的两个，即1594—1595年间冬天会有异常的严寒和次年土耳其人的入侵，竟然被他准确言中，^①年轻的“数学家”声名大振。

至于他的另一项职务，教书，开普勒做得实在不怎么样。他的天文学课，第一年就只有几个学生，到了第二年，竟然是一个都没有，所以他只能改教修辞学和算术，还有维吉尔的诗歌。的确，他的身心一定完全被关于宇宙图景的“困惑”所吸引。到格拉茨的第一年，他沉溺于对哥白尼图景原因的追寻之中：“为什么”哥白尼是对的，“为什么”是地球绕太阳运行而不是相反，开普勒想要的，是给出一个原因。

因为梅斯特林的影响，开普勒说，^②他很早就注意收集哥白尼日心说在数学上优于托勒密的论据。他首先注意的，是行星的数目，天球的大小及其运动；永恒不动的太阳，恒星和行星间的空间，提示了天父、子和圣灵的三位一体；而运动的，应该也有类似的关系蕴藏其中。他一开始以为行星轨道的尺度是成倍增长的，“一个圈是另一个的两倍，或三倍，或四倍，”经过艰苦的长时间的计算，他发现情形并非那么简单。他于是“以极大的勇气”假定我们看得见的行星之间还有小到我们看不见的行星，存在于木星和火星之间，金星和水星之间，构成数学上的和谐。这一尝试很快复归于失败。他又想到雷蒂库斯在《初

^① 开普勒在格拉茨一共刊出过五部历书，涉及的年份为1594年到1599年，前三本已佚。对于1594—1595年占候言中，开普勒颇为得意，见于他写给梅斯特林的信，*Opera omnia*, v.8, p.19, 英译见上引Koestler, pp.242—243。

^② *Mysterium cosmographicum*, *op. cit.*, “Preface”, pp.7—9. 英译在pp.63—65。

论》中提到有六个行星的论述，但对于为什么是六个而不是五个，或者是七个，或者是如同恒星那样多，他又百思不得其解。但是，对上帝必然按照某种和谐创造世界的信念使他坚定地相信，行星轨道不可能是随意的安排。他尝试了其他更复杂的数学联系，正弦的，其他曲线的，始终不得其门而入。^①

这种梦幻般的追求在 1595 年 7 月 19 日^②突然达到了一个神奇的境界，当时他正在给他那寥寥可数的几个学生讲解土星和木星的交会周期。他在黑板上画出了这种交会的示意图。这张不太复杂的示意图自然而然地显示出，内接土星天球大圆的正三角形几乎恰恰外切木星的天球大圆。意识到正三角形是诸多正多边形中最简单的一个，或者说是“第一个”，开普勒立即想到，根据哥白尼的说法，行星一共六个，依次是土星、木星、火星、地球、金星和水星，它们会不会是按一种几何次序安排的：正三角形，正四边形，正五边形，正六边形……等等，依次嵌入它们的天球大圆，从而展示出一种和谐。

他立即着手计算，然而计算结果表明，情形并非如此，他的猜测是错的：这些行星所画出的大圈不能归入他所设想的优美的序列中去。^③这一尝试未获成功。可是开普勒坚信，上帝是通过秩序和法则来构造这个世界的基础、确立它们的尺度的。这就可以认为，“建筑师并非师法自然，而是自然必然按照建筑师的设计运作”；上帝从一开始就确立了创造的模式。必须回答的问题是，为什么行星是六个？为什么行星到太阳的距离是如此安排？为什么距太阳越远行星运行的速度就越慢？开普勒认为，所有这些，在上帝创世时一定有计划有安排，而 7 月 19 日出现在黑板上的正三角形一定是一个提示。从几何的和谐解释

^① A. Koyre, *The Astronomical Revolution*, New York: Dover, 1973, pp. 140—142, 讨论了这些尝试。

^② 开普勒多次提及这个对他说来神奇的日子。有时也作 7 月 9 日，这是因为当时欧洲各地采用两套历法，两者恰相差十天。开普勒自己则以 1595 年 7 月 9/19 日 (9. vel 19. Iulii anni 1595) 记录了这一天，见前引 *Mysterium cosmographicum*, 1621, p. 8。

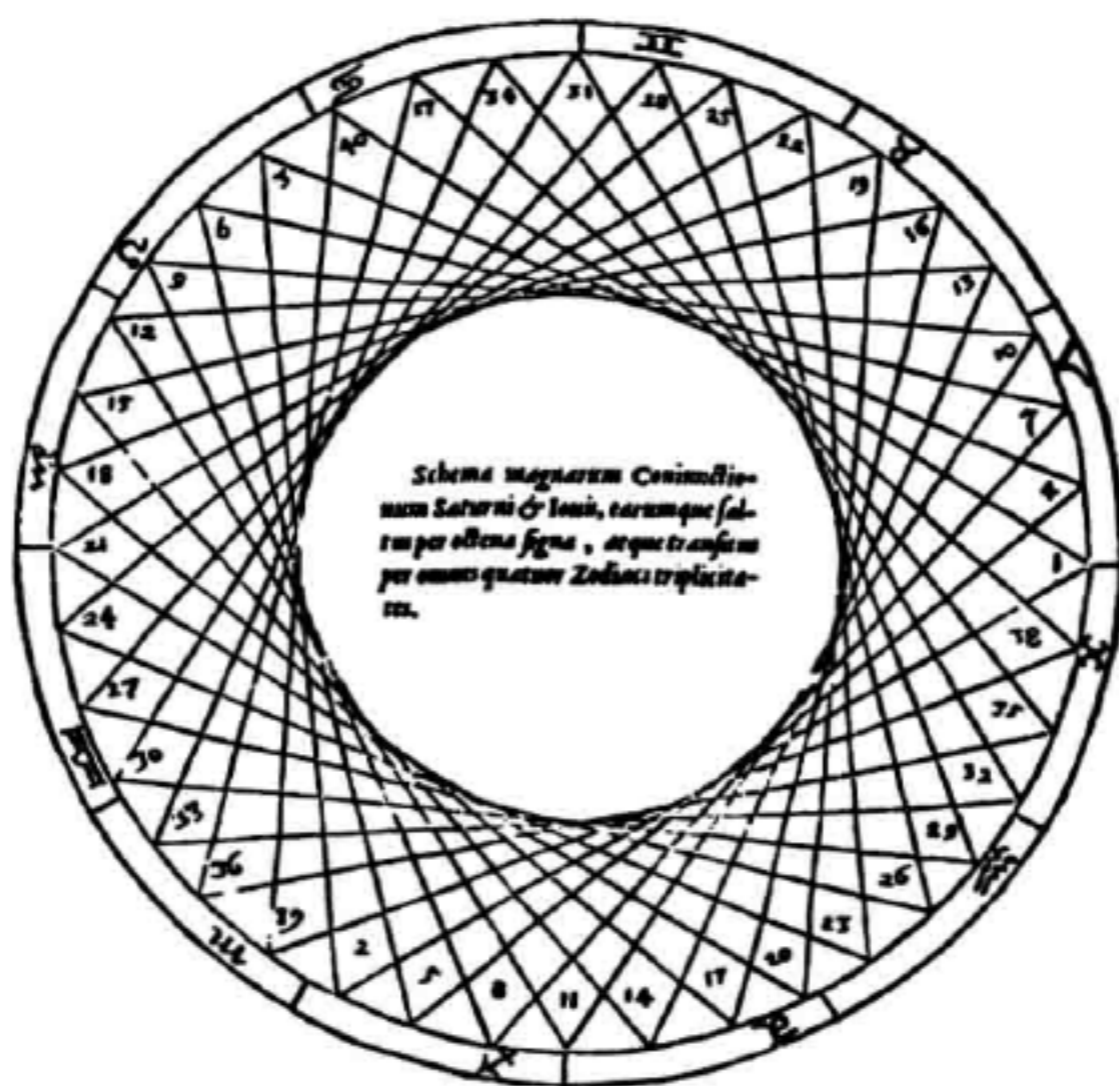
^③ 下文“圈”“天球”甚至“环”混用，参见开普勒 1621 年修订本上的一个说明，见上引书 p. 73, n. 9。

AD LECTOREM.

9

est circumscripti radij dimidium. Proportio inter utrumque circulum videbatur ad oculum penè suis illi, quæ est inter Saturnum & Iovem: & triangulum prima erat figuratum, sicut Saturnus & Iupiter primi Planetæ. Tentavi statim quadrangulo distantiam secundam Martis & Iouis, quinqueangulo tertiam, sexangulo quartam. Cum quæ etiam oculi reclamarent in secunda distantia, quæ est inter Iovem & Martem quadratum triangulo & quinqueangulo adiunxi. Inhnicum est singula perfectum.

Et finis huius irriti conatus fuit idem, qui postremi & felicitis initium. Nempe cogitavi, hac via, siquidem ordinem inter figuras velim servare, nunquam me perueniturum usque ad Solem, neque causam habiturum, cui potius sint sex, quàm viginti vel centum orbis mobiles. Et tamen placebant figuræ, utpote quantitates, & res cælis prior. (8) Quantitas enim initio cum corpore creata; cæli altero die. Quod si cogitabam, pro Quantitate & proportione sex Cælorum, quos statuit Copernicus. Quinque tantùm figuræ inter infinitas reliquas reperiri possent, quæ præ cæteris peculiaris quasdam proprietates haberent: ex voto res esset. Atqui rursus instabam. Quid figuræ planæ inter solidos orbis? Solida potius corpora adæantur. Ecce, Lector, inuentum hoc & materiam totius huius opusculi. Nam si quis leuiter Geometriæ peritus totidem verbis moneatur, illi statim in promptu sunt Quinque regularia corpora cum proportione orbium circumscriptorum ad inscriptos: illi statim ob oculos veniunt, scholion illud Euclidicum ad propositionem 18 lib. 11. Quo



B demon-

启发开普勒作出“正多面体”模型的图，取自《宇宙的秘密》1621年版第9页。开普勒写道：“我想是上天的帮助使得我幸运地得到了我无论付出多少艰苦的努力都不能够得到的东西。我更认为这是因为我不断地祷告，如果哥白尼是对的，那么事情就应该这样发展。结果，在1595年7月9/19日，当我正要向我的学生说明[行星]每隔八个星座的交会，并且怎样一步一步地从一个三角形过渡到另一个三角形时，我在同一个圆中作了很多内接三角形，或近乎三角形[的图]，表明一个三角形的终点就是另一个的起点。这些三角形的边相互交叉，勾勒出了一个小圆。三角形的内切圆的半径恰是其外接圆半径的一半。这两个圆的比例看上去正像是土星和水星的比例，而三角形是[平面几何的]第一个图形，恰似土星和木星是最外边的行星。”

行星到太阳的距离这一思路由此打开，不久就有了惊人的发现。

开普勒知道，欧几里得早就指出，^①一共有五种，而且只有五种正多面体，即正四面体，立方体，正八面体，正十二面体，以及正二十面体，而六个行星又恰恰形成了五个间隔。受正三角形恰恰镶嵌在土木天球大圈之间启发，开普勒立即领悟到，他应该留意的，很可能是正多面体而不是正多边形。五个正多面体镶嵌在六个行星的天球之间，不多不少，界定了各个天球的位置大小；当然这时他所谓的天球，已不再是第谷以前的实体球，而更像是一种几何学的构造了。想到正多面体，开普勒后来说，就好像听见了上天的纶音神谕。^②他立即着手做具体的计算，结果竟然和哥白尼的数据相合！开普勒不禁泪下。他一定想起，差不多正恰在一百年前，在黑夜沉沉的大西洋上看见梦想中的大陆上摇曳的火光时，哥伦布也曾潜然泪下。“由此而得到的喜悦我永远也无法用言语表达，”开普勒后来说，^③

我不再为浪费的时间懊恼，我不再对辛苦的劳作感到厌烦，我不再逃避单调乏味计算；我日日夜夜沉醉在计算之中，我知道，我想象出来的结果是和哥白尼所描述的圈相合呢，还是我的快乐马上会被风吹散。如果我的想法是对的，我向全能的上帝起誓，我要在第一时间公开印行这个神奇的例证，彰显上帝的智慧……

他的确这样做了。当然梅斯特林是和他分享这一结果的第一个人，或者说，开普勒想到的、可以讨论这一结果的第一个人。1595年8月12日，在得到“正多边形”的启发以后仅仅三个星期，开普勒第

^① Euclid, 《几何原本》, Bk 13, Proposition 18。这是欧氏原理的几乎最后一个主题。第13卷命题13到17论球内接正多面体的作法，命题18证明唯一性，即有五个，而且只有五个正多面体。

^② Caspar, *op. cit.*, p. 63.

^③ 见前引 *Mysterium cosmographicum*, 1621, p. 10, Duncan tr., *op. cit.*, p. 69.

一次向梅斯特林透露了他关于“先验地”导出行星到太阳的距离的努力，^①但没有提到正多面体之类。9月24日，他简要地报导了正多面体模型，甚至还提到了行星运行周期和它们太阳的距离的关系。10月3日，似乎大功告成，开普勒写信给他敬爱的老师，^②

你知道我已经多么接近真理。你可以想象，一如这种事发生在任何人身上时那样，我泪流满面。上帝指明，这一先验方法的运用改善了对天体运动的研究，我们可以对它寄予所有的希望……我渴望尽快发表，敬爱的老师，不是为了我自己的利益……我竭尽全力争取发表，是为了上帝的荣耀，上帝期待着我们通过自然之书认识他。越是有其他人参加到这一努力之中，我越是愉快；我不妒嫉任何人。……我曾经想当个神学家。在很长的一段时间里，我心中很是为之穆结；但是现在，看看吧，通过我的努力，上帝是如何展示了他的荣耀。

值得特别留意的，是开普勒认为的，他的理论的先验特征。这是相对于哥白尼的、尤其是第谷的工作而言的：此二子所为，是从经验数据出发对天象的描述、以及在描述的基础上所作的预测；而开普勒所努力追求的，是对天体运动的解释，远远先于经验而仅仅后于上帝而已。正是这种对上帝的亦步亦趋的追寻，使我们能够洞悉上帝在创造时的计划，从而领略他的大能，进而展示他的荣耀。天文学由此被赋予特殊的意义。整个1595年冬天，开普勒心无旁骛，把他的发现撰写成文。他把它叫做《宇宙的秘密》，而他则是发现这个秘密的一个人。1596年5月，全书完成，开普勒把它献给了他家乡的冯·赫

^① *Gesammelte Werke, op. cit.*, v. 13, p. 27, “第一次”云云见 Eric Aiton, “Johannes Kepler and the *Mysterium cosmographicum*,” *Sudhoffs Archiv*, 61 (1977) 173, 后作为前言收入开普勒原著。这儿的日期用的是新历即格里高历，在17世纪初，和旧历即儒略历差10天。

^② Baumgardt, *op. cit.*, p. 31.

博斯坦公爵——^①

大人，谨呈上我七个月前许诺撰写的著作。根据学者们的考量，本书行文优美引人入胜，远远超过了先前的历书。本书篇幅不大，撰写也并不太困难，但确实是处理了一个最神奇的问题……我现在为人类第一次揭开这个秘密。

这个二十五岁的年轻人认为，他正在“为人类”揭开宇宙间最大的秘密，但是——

并不是每一个人或所有的人都会对我的主题感兴趣，其理由只有一个，那就是对于没有思想的人说来，本书没有价值。尽管我们谈论的自然之书在圣经里被如此高调地颂扬，……有人会问，对于饥肠辘辘的人来说，关于自然的知识，天文学的知识又有什么用呢？

说得好极了。开普勒在这儿提出的，是一个关乎日心说、甚至关乎科学发展的根本的问题：科学，或者说纯知识，对于人类福祉有什么贡献呢？对于我们这些在科学革命已经完成，科学和技术已经完美结合，科学的巨大威力已经展现无遗以后受教育的人，常常会觉得无法理解这样的问题。科学之于人类的意义是如此明白，以至于任何解释、任何争辩都是多余的。但是，在四百年前，问题的答案并非如此明白，而且远非如此。宇宙的构造之于社稷稼穡有什么关系呢？天文学研究的意义何在呢？开普勒承认，日心说的研究不能马上给我们带来实利，但是，他争辩说，这是上帝的期望，这是灵魂得以滋润的必须，

^① Baumgardt, p. 32 seq. 下三段引文见同书 pp. 34—35. Von Herberstein 失考，但 Caspar 确实说他当时确在 Styria，见氏著 p. 56；但按本文作者使用的 1621 年《秘密》原著的 1981 年影印本，献词是给 Sigismund Frederick 的：“Original Dedication, the illustrious, eminent, most noble and energetic lord Sigismund Frederick, …” 见上引 *Mysterium cosmographicum*, pp. 53—61，与 Baumgardt 所收文本不同。志此存疑。

这是人之所以为人的根本：

……我们赞赏画家的工作，因为它们悦目；我们赞赏音乐家的工作，因为它们悦耳，其实并没有其他的用途……那么，如果有人觉得眼睛和耳朵需要高尚的愉悦而不让灵魂得到，那是多么愚蠢笨拙啊！……很多生物尽管没有可以理喻的灵魂，却常能让它们自己比我们还要不愁吃穿度用。但是，我们的造物主希望我们，能突破我们的眼睛所能看见的事物的表象、进而求得其所存在的第一位的原因，尽管这种原因可能并不能马上给我们带来实在的利益。其他生物以及我们人的肉体是靠吃喝来维持生命，但是，人的灵魂与人体的其他部分非常不同：灵魂靠一种叫做知识的东西存活、丰富和成长。对此没有渴望的人实际上不是活人而是行尸走肉。

“灵魂靠一种叫做知识的东西滋养”，人应当有迥异于动物的更高的追求，如果仅仅满足于饱食暖衣逸居，于禽兽亦不远。开普勒说，天文学的著作所在乎的是颖睿之士而不是贩夫走卒、是帝王而不是羊倌。但是献上书稿以后，男爵似乎并没有什么特别的表示——在对天文学的理解上，尽管他是帝王，却和贩夫走卒没有什么差别；真正欣赏开普勒的天才的，还是他的老师，图宾根的梅斯特林。在收到开普勒的书稿以后不到一个月，尽管他认为开普勒的书有些论点尚有商榷的余地，行文和表述也应该再作推敲，梅斯特林仍向当时图宾根大学的马帖埃斯·哈芬瑞富尔教授证实了这本书的价值，因为“至今还没有人想到过”，可以“先验地”说明“天球的数目、次序、尺度和运动”。^①

文章写得不错，出版可是另外一回事。开普勒最后同意先花33个金币买200本买自己写的、尚未印出来的书，略同于我们今日的“出版

^① 这是梅斯特林1596年6月写给Matthias Hafenreffer的信，后者时任大学的prorector，略同于我们今日的学术委员会的主席，Baumgardt, *op. cit.*, p.37。

补贴”，出版商才勉强同意开始排印这份大约仅仅 50 页的书稿，他们显然比开普勒更清楚地认识到，对宇宙图景的理解并不能为他们带来实际的利益。1597 年 3 月，书印出来了，是为《宇宙的秘密》^①。为了表示对恩师的感激，开普勒立即送了 50 本给梅斯特林。^②

这毕竟是他的第一本书，而且，开普勒认为，是最终揭开宇宙秘密的最重要的一本书。这个二十六岁的中学老师，期望学术界理解他的想法，期望得到肯定。但是，哈芬瑞富尔的回信，极度诚恳也极度平和，大概多少让他有些失望：^③

我想像亲兄弟一样给你一个忠告，既不是支持也不是反对你的意见，因为很多体面良善的人会觉得受到了冒犯。他们的这种想法也并非偏颇，而你的整部著作也可能因此受到不利的影 响，或者背上挑起不和的骂名。……现实决不会立即证实每一个大学问家的假说的每一个细节；我也不想讨论我从圣经中得到的无可辩驳的理由。我的意思是，不是学问上的辩论，而是像亲兄弟一样的忠告而已。

所谓“挑起不和”绝不是危言耸听。约翰内斯·普瑞多瑞乌斯教授，明白地表示了反对意见。普氏在维腾堡大学受教育，继而又在该校任教，与雷蒂库斯和我们上文提到的瓦伦廷奥多颇多往还，他的意见当然是“一派入”的意见。而略微往南，离维腾堡不太远的佳纳大学的乔治·林纳乌斯教授，则惊喜地发现柏拉图再现。稍后，远在意大利帕多瓦的伽利略也收到了开普勒托人带往意大利的书，并立即给开普

^① 即 *Prodromus dissertationum cosmographicarum, continens mysterium cosmographicum, de admirabili proportione orbium coelestium, ...*, Tubingen: excudebat Georgius Gruppenbachius, 1596, 有电子版, *Prodromus dissertationum cosmographicarum continens mysterium*, 因为开普勒在 1621 年又对这一版作了修订, 增补了很多注释, 所以除了特别的版本研究和收藏之外, 常用的是本文正文中使用的修订版, 通称 *Mysterium cosmographicum*, 有电子版, 颇利利用。

^② Caspar, *op. cit.*, p. 66.

^③ *Ibid.*, p. 68.

勒写了一封很客气的信，说因为带书人马上要回德国，他没有时间细看开普勒的大作，只看了前言，但已为自己得到了“这么一个志同道合的探索真理的同伴”而感到庆幸：^①

因为可悲的是，现在只有这么少的几个人在寻求真理而不是运用错误的方法来研究哲学。但这不是哀叹我们这个悲惨的时代的地方，而是要和你一起为证明真理的如此优美的想法一起欢呼雀跃。

他没有说什么是他心目中的“真理”。我们稍后会看到，伽利略并没有被开普勒说服，也始终没有同意开氏关于宇宙结构的神秘解释。当然，这是后话。

一半是因为他当时的雇主热心的撺掇，一半是对宣扬自己所揭开的秘密的热烈渴望，开普勒没有仔细掂量，就托人给当时在布拉格的宫廷数学家尼古拉斯·乌尔瑟斯送上了一封信，除了介绍他自己如何是其“学生”之外，开普勒还详细介绍了他发现的多面体的秘密。既然是一个无名小辈干谒权贵，溢美之词就毫不吝啬地用到了最高级。开普勒说这位宫廷数学家的声名他早就烂熟于心，“你的光辉的荣耀使得你成为我们这个时代所有宫廷数学家中的第一人，就像太阳之于黯淡的茫茫众星”，“请多保重，为了天上的星星也为了我们的科学事业，啊，德意志的骄傲”。^②

语涉谄谀。可怜的开普勒！以他的卑微仰望“太阳”，渴望分享一缕光辉，这不奇怪；乌尔瑟斯没有回信^③——以一个宫廷数学家俯视

^① 这是伽利略 1597 年 8 月 4 日写给开普勒的信，原文见 Baumgardt, *op. cit.*, pp. 38—39。

^② 这是开普勒 1595 年 11 月 15 日写给 Ursus 的信，*Gesammelte Werke*, v. 13, p. 48, 有 Rosen 的英译，见 *Three Imperial Mathematicians: Kepler Trapped between Tycho Brahe and Ursus*, New York: Abaris, 1986, pp. 83—86. 下引开普勒在 1597 年 12 月 13 日给第谷的信，见 Koestler, *op. cit.*, p. 154。

^③ 事实上，到 1597 年春天，开普勒的《宇宙的秘密》在法兰克福书展上陈列出来、开普勒在同行中也小有声名以后，Ursus 确实给开普勒写过一封信，称后者是他的“极为尊敬的朋友，”见 1597 年 5 月 29 日的信，同见上引 Rosen 的书。

在尘埃中苦苦挣扎的业余天文学家，这也不奇怪；奇怪的是，开普勒怎么会不知道，^①这个乌尔瑟斯是第谷的宿仇，这时他们两个正为“日心地不动”体系的发明权吵得不可开交。乌尔瑟斯出身微贱，靠自己的努力，在数学上颇有心得。1584年随他的雇主，第谷的姻亲到第谷的观象台尤瑞尼堡做客。据第谷后来说，正是利用了这个机会，乌尔瑟斯偷看到了他记录“日心地不动”构想的草稿，并且作了满满四页的笔记，结果被第谷的助理当场抓住。据说当时乌尔瑟斯痛哭流涕，厉声嚎叫，而第谷倒很是表现了一些绅士风度，说整场吵闹只不过是一个“不好笑的笑话”，一笑了之。^②不料两年以后，乌尔瑟斯成了海斯地方伯爵^③威廉四世的宫廷数学家，并展示一种“日心地不动”的宇宙模型，声称是他在前一年冬天完成的。威廉和第谷素有通信往来，而第谷此时正在撰写他的著作，很快得知此事，因此大怒，指责乌尔瑟斯实际上是半通不通的剽窃者。开普勒的颂扬信来得正好，乌尔瑟斯正好用此来证明他实在是真正受人爱戴受人敬仰的大师。未经开普勒同意，乌尔瑟斯随即将此信全文刊出。更糟糕的是，倒霉的开普勒在给第谷的信中又称后者“不仅是我们时代的、而且是古往今来所有的数学家中的王子，”在大腕夹缝中苦苦求生的窘态可见一斑。可是，说实话，事已至此，又有谁能救救我们这位在社交上如此愚拙的数学天才呢？

^① 开普勒确实不知道，因为在给5月29日的回信中，开普勒送上了两册《宇宙的秘密》，——一册给 Ursus，这是他在信中要求的，一册请 Ursus 转给第谷。这才真正是个“不好笑的笑话”，开普勒后来差一点因此毁了他的学术生命。开普勒后来又专门写了一大篇文章，对此作辩解，讨论见 N. Jardine, *The Birth of History and Philosophy of Science: Kepler's A defence of Tycho against Ursus with Essays on its Provenance and Significance*, Cambridge: Cambridge University Press, 1984。并见 Philip Catton 的书评，在 *Philosophy of Science*, 53(1986) 453—455。

^② 这个故事多部第谷传都有提及，而 Kitty Ferguson, *op. cit.*, pp. 147—149 有较详细的介绍，上引 Edward Rosen, *Three Imperial Mathematicians*, 是细致的专门讨论，他的结论是 Ursus 确实涉嫌剽窃。

^③ 德意志当时分裂为诸多小国，统治某一处的世俗首领称 landgrave，通译“伯爵”，似与欧陆通行的公侯伯子男稍有不同，当是主管一方事物的大员。本书主题既非考察当时当地的官制，遂权作此译，以免枝蔓。

第二节 1596:《宇宙的秘密》想要回答 哥白尼为什么是对的

事实上,开普勒考察宇宙结构的独特视角,他在《宇宙的秘密》中所表现出来的数学才能,一开始就倍受称赞,——正如梅斯特林所说,“至今还没有人想到过。”但是,对开普勒说来,他的主题,哥白尼的日心说,可不是“至今还没有人想到过”;而他之于哥白尼的贡献,是“哥白尼通过数学论证了这一点,而我则是从物理上,或更甚一步,是从哲学上论证了这一点”。^①“在这一方面,只要哥白尼说的自洽、合理,任何宗教方面的考量都不能阻止我听从他的教导。”^②这是开普勒工作的总纲,虽说其革命性在当时并没有被立即认识到。在开篇第一章,开普勒就宣称,哥白尼是对的,是真实的,而证明这一点,正是他要做的事:^③

……首先,旧有的[案指托勒密的]假说完全不能说明[太阳系构造的]一系列突出的特点,例如这些假说不能为逆行的数目、范围和时间给出理由,也不能说明为什么逆行事实上和太阳的位置与平运动准确地相合。……其次,对于那些现象给出可靠理由的、于观测相合的假说,哥白尼并没有否定任何东西,不仅接受而且细致地阐述了它们……我会毫不迟疑地肯定,哥白尼从观测中根据经验和几何学的原理推导出的每一点,从先验的角度说,连亚里士多德都会满意——如果他现在活着的话。

① *Mysterium cosmographicum*, 1621, *op. cit.*, p.63.

② *Ibid.*, p.75.

③ *Ibid.*, pp.75—76. 下面的引文是开普勒在1621年本书再版时加的注。

为了强调他对于哥白尼的认识不同于当时的大部分人，开普勒后来又加注说，“我想说，既然哥白尼已经展示出了这种壮丽的秩序，在这种联系原因和结果的关系中，逆行的原因必然只可能是这样一种事实[案指地球和行星运动的合成]，正如哥白尼所说，他的假说不仅仅是一种构想。”

在开普勒看来，对日心说最深刻的和最有力的支持来自于一种类比，一种比古代哲学家所领悟的、比任何道理都要伟大得多的类比：^①

三位一体的上帝的影像出现在球形的表面，那就是天父，居中；圣子在[这个球形的]外围周边的面上，而圣灵在这一个点和外围周边之间的部分。

这就是说，太阳、群星和它们之间的部分，恰恰提示了父、子和圣灵的三位一体。开普勒一定为他对基督教的这个最重要、最令人困惑的观念提出的最新诠释备感鼓舞，毕竟，这是人第一次形象地看见上帝，——不是用眼睛，不是视觉，而是心灵的领悟，而这一领悟来自上帝通过自然之书的启示；这本书就在我们面前，就好像上帝的无所不在。开普勒当时的心情，不是我们容易领会的；但我们不会不注意到，在冠领全书的“前言”的第一段，在不到半页的篇幅里，他十二次提到上帝。从这个意义上，开普勒说，他的学说是先验的；换言之，他所做的，不是从现象中归纳出什么，而是把从上帝的启示中得到的纯粹的理念贯彻到现象中去。

开普勒进一步解释他所谓的对哥白尼日心说的“先验的”证明，——注意，这是“证明”，而不是“说明”。他说他首先要剔除那些为数众多的“杂的”多面体，而仅仅掇取那些“每一个面都由相等的

^① *Mysterium cosmographicum*, 1621, *op. cit.*, p. 93. 在这儿，开普勒心中的“古代哲学家”是 Nicholas of Cusa，他把上帝比作曲线，人比作直线，人要想理解上帝，一如用直线去丈量曲线一样。

边、相等的角构成的”^①几何体。欧几里得证明，这种被称为“正”的多面体一共只有五种；开普勒还给出了证明的出处：“在《原理》第13卷，命题18后的评述之中。”有了这一套几何学的准备，开普勒提出了他对宇宙结构的最重要的解释。——注意：这是解释，即原因，而不是描述，更不是假定：

……以有六个天球绕静止的太阳运动这一说法为基础来讨论宇宙的排布，无疑就得到了一种对天文学的真实的解释。哥白尼就作了六个这样的天球，而且每两个天球的比例又使得这五个多面体非常合适地嵌入它们之间，这对我们下文的论述至关重要。

“至关重要”！开普勒把“哥白尼……”这一句特别加了着重号。按托勒密，金木水火土加太阳月亮一共七个天体围绕地球，而且前五个和太阳月亮显然很难算作一类；按第谷，金木水火土一共五个天体围绕太阳，但他们都不能回答“为什么”是七个或是五个，——“为什么”既不是四个，也不是八个。按哥白尼，一共是六个，而且，只可能有六个，这就破解了、揭开了宇宙的秘密；而且，这一发现，不是跟在观测到的现象之后亦步亦趋地归纳出来的，而是通过神的启示，先验地领悟出来的：

……哥白尼通过观测、由事物的结果、依赖经验事实、靠运气而不是靠胸有成竹的猜想，相信宇宙有这样的一种排布，就像一个盲人依靠拐杖行走；我发现，所有这些，可以通过先验的推理、从事物的原因、从上帝创造天地时的想法十分正确地建立起来。还有什么可能比这样的说法，这样的想法更加令人印象深刻，更加令人信服呢？

^① *Mysterium cosmographicum*, 1621, *op. cit.*, p.97. 下一段引文同此。

下一步，开普勒要做的就是细致地把五种正多面体和六个轨道天球一一配合。从天文学上说，间距比例最大的两个天球是火星和木星，^①“火星到太阳的距离还不到木星的三分之一”。从数学上说，数值上内接和外切球体的半径之差最大的是正四面体或者说是锥体，开普勒发现正好把它嵌入火星和木星之间；其次是木星和土星之间的空间，正六面体或者说是立方体正好派上用场，“于是土星围绕立方体，而立方体则围绕木星。”

但是，开普勒并没有把地球完全等同于其他的行星。他特别解释说，三个外行星和两个内行星的安排，从“上帝对人类的爱”中可以找到很多的原因，^②因为地球天球内的两颗行星和太阳恰恰是三个天体，而包裹地球的也恰恰是火星、土星和木星三个。从第四章到第八章，开普勒逐一讨论了这些天球和正多面体。而从第九章到第十四章，则是令现代读者昏昏欲睡的关于占星术和数字学的长篇讨论。但开普勒恰恰认为，这是对他的理论的先验的说明：^③

追寻细节是没完没了的，但占星家对这些课题的沉思也不见得完全没有成果。我们来看看天文学家的算术和他们的神奇数字，6，12，还有60。除了四分之一和六分之一，即15和10，在这五个多面体中，可以找到所有可以被60整除的数字。……

开普勒为什么要讨论这些呢？他是想强调他的理论的先验特征。我们为什么要重提这些显然已经被现代科学所忘却了的毫无趣味的主题呢？我们是想强调科学的本质是一种努力，一种以探索为主要特征的努力。事实上，想用理性归纳行星轨道半径的数值的努力并非起于开普勒，也非终于开普勒。开氏的正多面体理论以后百八十年，对轨道

① *Mysterium cosmographicum*, 1621, *op. cit.*, p.99.

② *Ibid.*, ch.4, p.107.

③ *Ibid.*, ch.10, p.119.

半径的研究又以提丢斯波德定则^①的形式再度为专业和非专业研究者所注目。这一定则，和开氏的多面体一样，和经验数据有相当惊人的符合，而其理论基础也同样阙如。正是因为科学的这种探索本质，我们切不可简单地用“数字游戏”之类的轻薄和浅薄来看待今天听上去荒诞离谱的尝试。因为正是这种探索的精神，包括它辉煌的成就，也包括它所有的光怪陆离的想法，它所有的令人沮丧的失败，展示了人类理性力图理解自然的艰苦努力，以及这种理解力的尊严和力量。^②

这种先验的结论当然不是漫无边际的狂想曲，开普勒现在要证明它们合于现实。他从我前面引述过的欧几里得的第13卷命题13，14，15以及命题13的引理开始，并运用了第1卷的命题47和第15卷的最后一个定理，算出了他所想象的内切球和外接球的大小。^③

开普勒说，第十四章开始是“本书的主要目标，即五个多面体镶嵌在天球之间的天文学证明”。他首先要说明的，是在天球之间有足够的空间容纳他所设想的正多面体：^④

让我们来讨论我们的主要目标。如所周知，行星的路径是偏心的，于是在物理学家中普遍接受的想法是这些天球是有厚度的，这一

^① Titius-Bode 定则是18世纪到19世纪初天文学家发现的一种规律，即行星轨道半长轴 $a = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$ ，其中从水星起 n 依次取为 $-\infty, 0, 1, 2, \dots$ ；直到土星为止，该经验公式和观测数据之差均在10%以内，但后来发现的天王、海王、冥王诸星则不合此例。其理论根据至今仍晦晦然。参见南京大学天文学系，《天文学教程》，上海：上海科学技术出版社，1961，上卷220—222页。对其可能的解释见 Michael Ovenden, “Bode’s Law, truth or consequences?” *Vistas Astronomy*, 18(1971) 473—495，作者认为，这也是对开普勒的天球的音乐中的和谐的解释(p. 495)，但未闻后续讨论。

^② 汤川秀树曾特别提到“东洋式的思维方式”，“看重现实，埋头在日常实践中发掘人生的意义，这本身并没有错，问题在于是否永远停滞在这浅近的实用主义阶段？”他认为，“在这样一种思维方式的支配下，科学很难有萌芽和生长的空间”。见《汤川秀树集》，井上靖编，东京弥生书房1983年版；戴燕中译，《对中国的乡愁》，复旦大学出版社2012年版，第169—170页。这儿当然不是讨论这一大题目的地方，谨志于此，以俟有志于此者。

^③ *Mysterium cosmographicum*, ch. 13, p. 149. 开普勒用的欧氏的书是 Jacques Lefevred’Etaples 的1514年版的巴塞尔1537年重印本，编号系统和现今流行的英译本略同。欧几里得有兰纪正、朱恩宽中译，译林出版社2011年版，所引定理在第594—598页。

^④ *Ibid.*, ch. 15, p. 155, 下一段在 p. 157.

厚度其实是为了表现行星运动的变化所必需。哥白尼至此为止也同意我们的哲学家们的说法，但现在出现了一种相当不同的意见。物理学家相信，从月球天球的内表面一直到第十重天球，在所有天球里没有一无所有的空间，就是说天球连着天球：上层天球的内壁和下层天球的外壁是完全连在一起的。举个例子说，如果有人问火星天的位置从物理上说在什么地方，他们会回答说，那就是木星天球的内壁。……就好像撰写关于新印度这些题目的人很难和自己没有去实地考察过的人争论一样，天文学家也不能拒绝物理学家的这种对于连接在一起的天球的苍白无力的描述，除非观测验证和假说的讨论能把他送到这些天球之间去看看。

“去看看”是不可能的。我们要再强调，日心抑或地心的争论，从人类认识的发展看，是一个重要的转折点，其关键就在于，现在我们谈论的对象不再是我们的感官所能直接把握的了。我们没有办法“去看看”，认识不再是对感官提供的感性资料的整理和解释，而表现为一种“理性-感觉”的高度综合的过程。开普勒接下来用推理和观测数据说明，天球其实不是连接在一起的。他特别选用了地球和金星作例子，因为这两个是相邻的、靠得最近的天球。假定地球离“宇宙的中心”是60个单位，而金星相应的距离为43½，中间整整差了16½个单位。对这两个距离最近的行星来说，即使地球在近日点^①向金星靠近了2½个单位，而金星在远日点向地球靠近了2½个单位，它们之间仍然有大约12个单位的空隙：

由此可见，根据哥白尼的说法，没有天球会碰到另一个天球，而各个系统之间留有很大的空隙，其中当然充满了一种天界气，但和相

^① 开普勒的原文是“perigee”，这可能是他为了避免将“到宇宙的中心”和“到太阳的距离”混为一谈，这儿按文意作了简化，以免枝蔓。

邻的系统没有关系。

既然有空间容纳他想象中的多面体，开普勒把他在上一章中用欧几里得几何学算出来的数据和哥白尼所用的通行的观测数据作了比较，结果有如下表：^①

							见哥白尼 第5卷
如果最低 点是	土星	极大值取 1 000	木星	577	而哥白尼 的数据是	635	第9章
	木星		火星	333		333	14
	火星		地球	795		757	19
	地球		金星	795		794	21 和 22
	金星		水星	577(707)		723	27

当中两栏的数字，即“先验地”算出的数值和观测所提供的经验值的符合程度令人吃惊：符合得最好的是火星，一丝不差；最差的是木星，相对误差也还在 10% 之谱。开普勒当然可以骄傲地告诉他的读者：

现在你知道，这是多么的一目了然。如果这个想法违背自然，就是说，如果上帝他自己在创世时没有留心这样的比例，这些数字相互之间该会相差多多少少啊。多面体的比例和[天球之间的]空隙如此之接近，这当然不可能是偶然的，因为很多原因，特别是这些空隙的次序正是我上面依据极佳的理由所描述的……

值得特别注意的是，开普勒现在要庆祝的成功，不是他的理论符合观测数据，而是观测数据符合他的理论。先验的理论一定是对的，上面数据上所反映出的误差一定是观测上的问题，开普勒发现，哥白尼的

^① *Mysterium cosmographicum*, p.157.

做法还有修正的必要：^①

在这儿，我必须提醒你一件事，你要小心记住了：哥白尼的目的不是宇宙学，而是天文学。这就是说，他对于天球的比例是不是有错并不很在意，而只是留心从观测构造数值，这些数值最大程度地适用于导出行星的运动和计算它们的位置。……而我要做的是构造一个新的宇宙；……首先，哥白尼的数值必须要重新修正，特别是要调整到适合我们现在的做法。他虽说毫无疑问地把宇宙的中心置于太阳，但为了简化计算，同时也为了避免因为过大地背离托勒密而引起他的孜孜向学的读者的不快，他在计算所有行星[到太阳]的最大和最小距离以及它们在黄道上的位置时，并没有用太阳，而是用了地球轨道的中心作为宇宙的中心，而这一个[数学]点和太阳并不相合，其间差距决定于地球的偏心率在各个时刻的最大值。

开普勒向梅斯特林提出了这一问题，梅氏即着手帮他以瑞因霍德星表为基础完成了计算。开普勒后来很感激地说，[梅斯特林]“在我忙于很多其他事务的时候，帮我解脱了这一艰苦繁重的劳作”。

开普勒反复强调的，是他的理论和哥白尼的不同：哥氏留心的是如何计算行星的位置，开普勒称之为“天文学”，而他的，则是物理学甚至神学的考量，他称之为“宇宙学”。哥氏留心的是行星“怎么样”运动，而他要回答的是行星“为什么”那样运动。自从第谷的彗星打破了水晶球的观念，行星运动的机制问题，或者说其物理图景的问题，就隐隐然出现了。第谷的确说过诸如充满宇宙的“流体”之类，但他也确实没有仔细考虑，确实没有认识到这会是个很难很关键的问题。当开普勒提出多面体理论时，他强调了行星间应该有足够大的“空隙”以容纳他想象中的几何体。那么行星运动的物理机制是什么呢？这些孤悬空中

^① *Mysterium cosmographicum*, ch. 15, pp. 159—161.

的行星又怎么能保持不断的依照一定规则的运动呢？要知道，在当时人看来，要维持一个运动，必须要有一个不断作用的力才行。先前的亚氏理论，恰是用“月上”不同于“月下”的假定绕开了这一困难，而现在，既然要说地球只不过是诸星中的一个，就不能再赋予“天上”的东西有什么特异于“地上的”，于是解释运动的问题也就摆到了每个研究者的面前。

开普勒注意到，越是远离太阳，行星的移动速率就越慢。我们还记得，哥白尼也曾注意到，越是远离太阳，行星的运行周期越长。但是他赞美了这种安排以后，并没有提出一种可以为人接受的解释。开普勒从亚里士多德出发，^①首先断定“没有什么比运动和距离成比例更合理的事了”，^②他说：^③

如果我们想要更接近真理，如果我们希望在这些比值中发现任何规律，我们必须在这两个结论之中选取一个：或是行星中的驱动[行星运动的]魂灵距太阳越远就越弱，或是只有一个魂灵在所有天球的中心，即在太阳当中；这个魂灵驱动各个行星，越是靠近它的，驱动力越强。对于相距较远的，因为距离和驱动力的减弱，我们或者说，它渐渐地消散了。

“魂灵”，这有些邪乎，在1596年，这还只是很邪乎而已，到了1621年，开普勒本人也将抛弃这个词了。他的拉丁文原文是 *anima motrix*，无论如何，明白地提示了一种非物质的对象。^④在以后的二十五年里，他还要在此反反复复，最后落到了“力”的概念上；^⑤他不知

① 开普勒原注：亚里士多德，《论天》第二卷，第10章。

② *Mysterium cosmographicum*, 1621, *op. cit.*, p.197.

③ *Ibid.*, p.199. 下一段同此。

④ *Anima*，词源可追溯到希腊字“风”，“空气”，后来引申为“呼吸”，再引申为“一切呼吸的东西”，再是“生命体”。

⑤ 在1621年的再版注里，开普勒提到，在《哥白尼天文学提要》第四卷，在《新天文学》里，他都用了“力”的概念，而在这儿诉诸“魂灵”的说法，实际上来自上文提及的 Scaliger。

道，物理学家还要为此纠结困惑几百年，当然，这是后话。就现在而言，他虽然还不能清楚地表述他的思想，但他的确注意到了这个“魂灵”的行为和光很有些相似：

因此，正如光的本源在太阳里，[行星的]圈的中心也是在太阳，作为中心，生命，运动和宇宙的魂灵都在于这一个太阳，所以恒星合当静止，行星合当得到次级的推动，而太阳则有原始的驱动力。……由此，太阳当然更有理由领受这样的头衔：宇宙的中心，国王，众星的皇帝，可见的上帝，等等。

在开普勒看来，这就完成了对日心学说的论证，证明了“为什么”“日心”比“地心”好，而这一证明，确乎是先验的，先于现象而在现象中体现。《宇宙的秘密》的最后四分之一大概有点像开普勒自己说的一个“甜点”，^①这多少和开普勒突然转换了主题有关。既然完成了对宇宙结构的先验的讨论，剩下的就是运动的机制问题。“上帝当然不是随意地启动星辰的运动的，而是有一个单一的确定的起点，……”但是这个起点在哪儿，上帝是如何启动运动的，启动以后又如何维持，其答案则远非可以想象。开普勒在他的第一部大作的最后，真正做了一道“甜点”，可口诱人但当不得饭吃。但是，问题是提出来了，尽管当时没有人领会到这一点。

送出去的书显然没有像开普勒所期望的那样引起轰动。伽利略很客气地回了信，与其说是讨论，不如说是应酬；^②乌尔瑟斯干脆没有回信。倒是第谷，由于机缘巧合，给开普勒下半生的辉煌开启了一扇小门。

^① *Mysterium cosmographicum*, 1621, *op. cit.*, p. 221.

^② Galileo to Kepler, Aug 4, 1597, Baumgardt, *op. cit.*, p. 38.

第三节 1600:开普勒终于见到了第谷

1597年第谷五十岁。在16世纪，五十可不是一个令人鼓舞的年纪；多数人开始或者是悄悄地，或者是紧锣密鼓地考虑他们的身后事了。第谷有两件事情烦心：他的钱和他的观测资料。他是个贵族，有多处采邑，有佃农，等等。他也有儿子，也叫第谷，却不能顺顺当地接手他的家业。^①问题是孩子的母亲，那个为他生了八个儿女的女人，不是贵族，而且也不是他明媒正娶的妻子。现在第谷尝到十八年不上教堂、我行我素的苦头了。他在王宫中的朋友也帮不了太多的忙，因为他的势力早已是大不如先前了。

他的运气是在十年前走背的。1588年，和第谷交情甚笃、对天文学星相学甚是支持的老国王菲特烈二世去世，他的十一岁的儿子克里斯蒂安四世继位。开始的时候小皇帝似乎对天文学还有些兴趣，甚至在1592年还拜访了第谷的观象台。^②但是也就在这时前后，他好像对第谷渐渐地不太满意了。先是，第谷和他的佃农发生诉讼，迁延数年，最后由四位贵族组成的法庭拒绝了第谷关于驱逐该农户的要求；在维修有四百年历史的罗斯基勒主教座堂中，又有人指责他没有尽义务提供足够的款项。事后平心而论，第谷在这些事中确有不是。但一贯行事嚣张的第谷，反而觉得没有得到应有的支持，竟愤愤然有去意。^③他的学生格力乌斯·萨斯塞瑞蒂斯原来颇受青睐，第谷甚至考虑妻之以女，不料又因为嫁妆而闹翻。1595年1月，第谷二十年努力的精心杰作，四开本、长达310页、包含了1000颗星的参数精密准确的星表完成。他原

① Kitty Ferguson, *Tycho and Kepler*, *op. cit.*, pp.150—151.

② J.L.E. Dreyer, *Tycho Brahe: A Picture of Scientific Life and Work in the Sixteenth Century*, New York: Adam and Charles Black, 1890, p.214.

③ 最初的消息是他在1591年春天的一封信里说“青天处处，勇者四海为家”，见J.L.E. Dreyer, *op. cit.*, p.215 seq.

以为会给他发个大奖章或在岛上立个纪念碑什么的，于是写信给若干个有影响的大臣，备述老国王如何重视他的工作，并要求把星表呈上国王御览，不料仅仅得到“简短的、例行公事似的”回答，而且还拒绝了他维修观象台仪器的拨款申请。“很难说哪一个缘由使得国王和政府改变了对第谷的看法和做法”，^①但是他本人肯定是把事情弄糟的主要责任人。情形可能不见得真到了令人无法忍受的地步，但是第谷是个贵族，他哪里能受这种腌臢气。不到五年，第谷竟然已经决心离开文岛和他一手创建的、当时世界上最先进的观象台。这实在是令人吃惊的，因为对于天文学家第谷而言，观象台就如同他的生命一样。他听说神圣罗马帝国的皇帝鲁道夫二世笃信星象并且支持重建观象台，于是考虑移居布拉格。

鲁道夫 1576 年加冕时，第谷就交接了皇帝的私人医生达多斯·海奇西乌斯，我们还记得，正是此公把哥白尼的《提要》传给了第谷。^②虽然不是一个能干的政治家，鲁道夫皇帝对炼金术之类的隐秘科学却是颇有兴趣，在布拉格城堡的后院里，他的“黄金巷”至今还是旅游者的必造之所，著名的江湖术士如爱德华·凯利和江·迪正享受着特别的宠幸。和第谷移居布拉格约略同时，哥白尼学说的支持者，伽桑第的朋友托马斯·堪珀奈拉，正准备和皇帝讨论“星辰如何影响科学和皇族”。^③第谷把他特别重新装订的新书在王公贵族之中散发，^④不久，1599 年 3 月，他得到了皇帝的邀请。尽管已是很不得意，第谷丝毫没有打算稍稍降低他的贵族气派：他慢慢地安排，一家人慢慢地走，到夏天过了大半才到达布拉格。像他期望的那样，皇帝待他确实很是不错；但是和当年在丹麦时学生助手工匠仆人前呼后拥的气象，自己是不

① J. L. E. Dreyer, *op. cit.*, p. 232.

② 见前第二章第二节。

③ Lynn Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science*, v. 6, New York: Columbia University Press, 1941, pp. 172—173. Campanella 支持哥白尼的学说，1622 年撰文支持伽利略。

④ 就是 Tycho Brahe, *Astronomiae instrurate mechanica*, 见第三章第二节引。

可同日而语了；而且第谷也知道，要把他宝贵的观测资料理论化，要真正建立“日心地不动”的第谷模型，并非一般的数学家可以做到。他想到了开普勒。

开普勒和第谷的交往可以追溯到 1597 年，当时开普勒把新出版的《宇宙的秘密》寄给第谷，^①第谷在回信中提及了他自己的观测数据，开普勒后来说起第谷的信^②

在我心里燃起了压倒一切的想看见这些资料的愿望。第谷真是改变我的命运的一大因素，邀请我去见他。可是路途遥远，把我吓住了。[但是]他后来竟迁居来到了波希米亚[布拉格]，我只能再次[把这些变故]归于天命的安排。

他们后来又断断续续地通过信，但是，开普勒仍对举家迁徙下不了决心。然而，第谷的这一次邀请显得很认真，虽然仍然不脱他颐指气使的贵族气派：^③

毫无疑问，你已被告知，我已蒙皇帝陛下宠召并得到最友善的接待。我希望你也到这儿来，不是因为命运的乖舛，而是出于你自己的意志和进行共同工作的愿望……你如果能很快就来的话，我们可以考虑使得你和你的家人得到更好的照料。

第谷在信的末尾郑重地签下他的名字，“1599 年 12 月 9 日，非常同情你的第谷，亲笔”。开普勒没有收到这封信，因为这封信寄到格拉茨时，他已经在前往布拉格的路上——不是出于他自己的意志，而

① 1597 年 12 月 13 日给第谷的信，*Gesammelte werke*, v.13, p.154.

② *New Astronomy*, pp. 183—184, 这本书原文有电子版，有现代英译，*New astronomy*, trans. William H. Donahue, Cambridge: Cambridge University Press, 1992, 颇利利用。

③ *Gesammelte Werke*, v.14, p.89, A. Koestler, *op. cit.*, pp.299—300.

是因为命运的乖舛。

先是，1596年12月，斐迪南继任奥地利大公。他是一个热忱的天主教信徒，继位不久即往意大利觐见教皇，更受到了狂热的鼓舞，发誓要扫除新教的势力。1598年，大学里的新教徒集会，要求按他们的理解举行宗教仪式，设立医院，改革不公平的税法，遭到当局的严厉拒绝。9月13日，大公下令关闭所有的新教学校，解雇新教教职员。9月23日，他命令新教的教职员在八天内离境，否则有杀身之祸。9月28日，限期再缩短为一天：“所有的新教教职员，必须在天黑之前离开，违者或是杀头，或是断手。”^①

因为一个或几个至今还不清楚的原因，^②没几天以后，开普勒得到了一个特殊的赦免：他被允许回格拉茨了。可能是因为他作为宫廷数学家的工作，可能是因为他有些有势力的朋友，而开普勒自己则认为“大公喜欢我的发现”，^③但在我们看来，好像不像是那么回事儿。但不管怎么说，并不是开普勒表现了哪怕是一点点改信天主教的可能。——对开普勒说来，放弃信仰是不可想象的。他写道：^④

我是基督徒。路德的原则我受之父母。我自己又不断地探究它的基础，天天钻研。我坚信——我从来不知道口是心非。

就在他写下“我坚信”后半年，他的小女儿去世。这个悲痛的父亲，怀抱死去的女儿，竟然拒绝了天主教的葬礼。^⑤谁不知道丧女之痛，又有谁知道丧女之痛，然而即便在这种时候，开普勒仍旧有足够的

① Caspar, *op. cit.*, pp. 78—79.

② Caspar 作了长篇的讨论，见上引书，pp. 79—85，但没有给出确切的原因。

③ *Gesammelte Werke*, v. 13, p. 249，这是开普勒当年12月8日给梅斯特林的信；A. Koestler, p. 279，引。Baumgardt, *op. cit.*，也作了如上推测，见 p. 54。

④ 1598年12月16日写给 Herwart 的信，*Gesammelte Werke*, v. 13, p. 264；A. Koestler, *op. cit.*, p. 280。

⑤ James R. Voelkel, *Johannes Kepler and the New Astronomy*, New York: Oxford University Press, 1999, p. 44.

力量说——“我坚信”。

但是现实是严峻的：在格拉茨，他好像住不下去了。1599年下半年，开普勒很努力地向梅斯特林探询，托人找门路回图宾根教书的可能，但是梅氏的回信是非常令人失望的：“你应当向一个比我更明智、政治上更有经验的人求助。因为对这些事，我跟一个孩子一样无知。”^①

从本质上说，开普勒是一个数学家，长于理论，以及构造种种离奇的或不那么离奇的模型。据我们所知，^②他唯一一次想到的，既非数字也非魂灵的东西，是把他的正多面体模型用银子打造出来，一层套一层，在中间形成五个相互独立的空间；再给每一个这样的空间接上细细的管子，安上龙头。这样，开普勒说，可以盛放五种不同的果汁，由客人随意取用。——好像还真有人试过，当然没有做成，cosmic变成了comic，宇宙论变成了笑话。若论直观地描绘这一宇宙结构，现在倒是在凡是提到开普勒的地方几乎都可以看到这张图。可是，在1599年的年底，一个什么实际能力都没有的人，一个数学家，又有什么用呢？

现在开普勒真是走投无路了。他想到了第谷。1600年旧历元旦，他离开老家，在风雪中赶往布拉格。这时候，第谷已经搬到了班纳特克，这是皇上赐给第谷的一个三面环水的城堡，始建于1259年，紧靠着一条小河，离布拉格大约一天的路程。据说第谷听到开普勒到来时“大喜过望”，立即派他的儿子，也叫第谷，以及一个助手，前往迎接。2月4日，开普勒终于见到了第谷。

这是一次奇特的会见。第谷，尽管当时已经有些落魄，但仍旧是皇帝的座上宾，有皇上赐予的城堡，有三千元金币的年俸。在当时的

^① Caspar, p.99. 这封信实际日期是1600年1月25日，是开普勒和梅斯特林关于找工作的一系列通信的最后一封，从时间上说不是最后把开普勒推向第谷的直接原因，但确实是开氏当时走投无路的情形的生动的写照，所以各家常引这封信，除上述Caspar外，也见Koestler, p.282。

^② 上引James R. Voelkel, p.34。

布拉格，这可是没有几个人可以梦想得到的一大笔钱。^①开普勒则是个饥寒交迫，哀告无门平民。虽然第谷答应的薪水，100个金币，对开普勒说来不啻是救命钱，但是，他可不是为钱而来的。^②开普勒知道，只有第谷的观测资料能验证他的多面体理论，才能解开上帝预设的宇宙的秘密；而第谷也知道，只有开普勒的数学能力，才能把他一辈子积累的，无比准确的观测数据，整理成理论，完成“日心地不动”的第谷模型。

这两个人的见面标志了科学发展的重要一步。当从事具体实际观测的人认识到他们的数据必须理论化否则就是毫无意义的纷乱杂陈，当理论家认识到他们的模型必须通过实践的检验并且与实测数值相合否则就是毫无意义的异想天开，^③当他们自觉地认识到对方是完善自己的一个必要的、不可或缺的环节时，科学认识的这两个方面就走到了一起，进而合为一体，成为以后探询自然的贯穿始终的模式。但是，在1600年2月班纳特克城堡的大厅里，历史并没有明白地写在他们的脸上。

当这两个人面对面注视对方时，第谷对开普勒的人品满怀狐疑：他不就是那个追捧乌尔瑟斯的小伙子吗？第谷当然知道，乌尔瑟斯不是他的对手，但是乌尔瑟斯加上开普勒，那就很难说了。在开普勒方面，第谷城堡里的气氛一定也让他感觉很不自在：从丹麦运来的仪器正在乱哄哄地安装，来访的贵族朋友和第谷的持续几个小时的热闹宴饮，追随在第谷周围的助手们对于这个不速之客的警惕和妒忌的目光，对于习惯于沉静专注、沉浸在和上帝的对话中的数学家开普勒来说，都是不

^① J. L. E. Dreyer, *op. cit.*, p. 279.

^② 在1600年7月12日给 Hans Georg Herwart von Hohenburg 的信里，开普勒说去第谷那儿的“最重要的原因之一是渴望从他那儿获取[行星轨道]偏心率的更正确的数据，以检查《宇宙的秘密》和刚才提到的关于‘和谐’的说法。” *Gesammelte Werke*, v. 14, p. 128, Baumgardt, p. 61, A. Koestler, p. 304, 均有引述。虽然开普勒没有提到他当时窘迫的处境，但为了资料去第谷那儿倒也不见得完全是维护自尊心的借口。下面一段引文同此。

^③ 开普勒在信中说“先验的推理绝不能和实验的证据冲突；不仅如此，它们还必须和证据一致。”

可忍受的。开普勒到达班纳特克城堡时，克里斯蒂·朗格伯格，^①就是后来通常被尊称为朗格蒙塔纳的，第谷的学生，正在做火星轨道的研究。他在数学上遭遇到了很大的困难，好像难以再有突破，第谷于是把这个问题转给了开普勒，而后者又很不世故地打赌说他能在八天之内解决问题^②——事实上，我们稍后会看见，他花了八年而不是八天。这就让他更加成为城堡中不受欢迎的一员。更糟糕的是，第谷似乎也不打算把资料全都给他看。开普勒后来抱怨说，“第谷并不给我机会分享他的实测数据，除了在用餐闲聊的时候，一会儿几句关于远地点的事儿，一会儿又扯到另外一颗行星的节点的事儿。”^③

4月5日，这种不快发展到了极点；开普勒和第谷大吵一场。^④开普勒给第谷开列了一大堆条件——如果要他在这个城堡里干下去的话。首先要有一套独立的房子，每个季度要有五十个金币的薪水，比第谷先前答应的多了一倍；这和我们现在到大学应聘的教授开列的条件差不多。但是再往下说，就有些离谱了：在薪水之外，第谷还要供应他们全家所需的柴火，鱼、肉、啤酒、面包和红酒。至于工作，开普勒要求有绝对的自由来选择他喜欢的题目和他的工作时间，白天可以睡觉，可以拒绝不相干的任务。当时的气氛大概相当火爆，两天以后第谷在给朋友的信里说开普勒闹得“像是一只疯狗”。^⑤结果第谷拒绝了开普勒，开普勒愤愤然拂袖而去：他第二天就离开了这个城堡去了布拉格。

可是开普勒很快就明白了他早就该明白的事，那就是，他必须先吃饭，然后才能研究火星。除了回到第谷那儿，他别无选择。大概在仅

^① Christen Sorensen Longberg, 常引作 Longomontanus, *DSB* 作 Christian Severin, 在 v. 12, p. 332。Longomontanus 是第谷、开普勒、伽利略同时代人，但在学术上堪称保守，拒绝椭圆轨道，拒绝日心学说，对望远镜不屑一顾，并且完全忽视了对数的应用。

^② Caspar, p. 126.

^③ 上引开普勒 1600 年 7 月 12 日写给 Herwart 的信。

^④ 这场冲突的细节见于上引 Koestler, pp. 305—308, 作者注明资料来源是前引 Caspar, p. 119, 英译本在 105—106 页谈到这场争吵的。大概在争吵以后的一两天，开普勒还写了一封信，备述争吵的经过和分歧，但是这封关于这次争吵的最重要的信已佚，Caspar 是根据第谷 4 月 8 日写给 Jessenius 的一封信复述争吵的内容的。

^⑤ 上引给 Jessenius 的信，在 *Gesammelte Werke*, v. 14, p. 112.

仅几天以后，开普勒又给第谷写了一封几乎是声泪俱下的信认错，^①信的开头是这样写的：

这一只在前两天像一阵邪气一样造成伤害的、罪恶的手，真不知道怎样才能重新提起，弥补大错。

整篇用对比的形式诉说了第谷对他如何如何好，而他自己是如何如何不识好歹，乃至忘恩负义地攻击第谷。在列举了种种劣行以后，开普勒写道：

我收回我所写的和所说的，反对你个人的，有损你声名荣誉的，有损你在科学上的地位的、所有的东西……而且出自内心地、并非出于强迫地声明，所有这些都是无效的、虚假的、毫无根据的。

信是这样结尾的：

我真诚地承诺，从此以后无论我在何处，我将不仅管好自己，不做蠢事，不说蠢话，而且永远不以任何形式……冒犯你……在任何的工作中听命于你……以实际行动表明我对你的态度已经改了，并且永远地改了，不像我过去的三个星期里那样的在想法上和做法上轻率鲁莽。我祈求上帝帮助我恪守我的诺言。

他回到了第谷那儿，开始了关于火星的工作。他是不是就此决心就在第谷麾下安顿下来，还不好说。4月底或5月初，他又提出想回家一次看望家人料理家务，这倒也是人之常情。而第谷的一个远亲，罗

^① 在 *Gesammelte Werke*, v.14, pp.114—116, 编号 162。我们只知道这封信写于1600年4月，据后来的事推测，大概是争吵以后的“几天”之内。大部分已由 Koestler 译成了英文，见前引氏著 pp.306—307。

森科冉兹，后来《丹麦王子复仇记》中的一个人物，正好也要途经维也纳去匈牙利，开普勒就搭他的便车回到了老家。和家人团聚的快乐没有维持多久，因为在格拉茨，天主教和路德派已经是形同水火。天主教长期以来一直在格拉茨占优势，1564年后，卡尔公爵和夫人玛利亚，引进耶稣会，建天主教大学，到他们的儿子斐迪南继位，更是变本加厉。1600年7月，当局要求所有格拉茨的公民公开表明信仰。^①31日早上6点，大公亲临现场，在这个延续了三天的伟大甄别中，一共有61人宣称他们自己是新教徒，而且也不打算改宗，开普勒是第15个这样说的。他于是必须在“六个星期另三天”的时间里离开格拉茨。为了信仰他可以背井离乡，为了信仰他可以放弃他的房产田园，而所有这些都可以通过他的事业得到补偿，因为事业本身就是为了信仰而存在的。他后来在给梅斯特林的信中谈到他当时的心情，近乎悲壮：^②

所有这些都相当艰难。其实我本来就不相信，在举行圣餐礼时为了我们的信仰和耶稣的荣耀而受损害和受污辱，放弃家园朋友，会是一件好受的事。但是如果这是真正的为信仰献身，如果损伤越大欢愉越多，那么，为信仰而死应当也是一件容易的事了……

当然，开普勒现在也还不打算马上去死。事到如今，除了走以外，还有什么事是可以想象的呢？要是开普勒知道，这个后来成为神圣罗马帝国皇帝的斐迪南二世，不久还要再发动一场迁延三十年的战争，造成一半以上的日耳曼人死亡，他大概会以一种比较平静的心情接受这些命令了。在去布拉格的路上，开普勒饱受疾病的困扰，据他自己的报道，这是一种“间歇性的发热”，病痛一直持续，还要再和他纠缠九个月。10月19日，开普勒回到了布拉格，神情沮丧，筋疲力尽。

^① Caspar, pp. 111—112.

^② 1600年9月16日给梅斯特林的信，前引 Baumgardt, p. 57.

稍事安顿，他再给梅斯特林写信，^①祈求帮助。梅氏或是觉得实在无能为力，或是真的厌烦了，他没有回信。尽管开普勒还不断地给他写信，在以后四年里，梅斯特林始终没有回信。他最亲爱的老师也抛弃了他。他只有靠第谷了。一般人总觉得开普勒是个苦命的人，但对他了解最多的，他的传记的权威作者麦克斯·卡斯巴尔并不这么认为，^②他说开普勒的不幸其实是他的幸运，对研究的阻碍实际上帮助他取得了最丰硕的成果，对他的压迫使得他最终享受到了完全的自由。的确，命运就在这最困苦的时刻神奇地转向了。

在第谷方面，情形也发生了变化：为第谷所信任，为他服务多年的学生兼助手朗格蒙塔纳移居丹麦，第谷希望延揽的其他天文学家，也因为种种原因没有到布拉格来。第谷现在只好指望开普勒了。第谷和开普勒的合作，从科学发展上看，实在是划时代的大事，在历史上，却是这两个人的不幸的命运把他们最终逼到一起来了。1601年春天，开普勒终于坐下来专心处理第谷给他的火星的资料了。他一肚子不高兴，写信给梅斯特林，恳求他回信，恳求他叫别人给他写信，因为他“需要安慰”：^③

……我仍旧苦于间歇性发热，还有可怕的咳嗽，我怕我是得了致命的结核病了。我的妻子也病了，四个月来，我花掉了100多个金币……现在所剩无几。……至于观测资料，第谷仍旧非常吝啬，只允许我逐日使用。

他确实也说了第谷几句好话，他说如果事先保证恪守秘密，他可以看到“任何资料”；但是他想要的，不是“逐日使用”这些零零碎碎的数据，而是要所有的观测记录，从而可以检验他的多面体模型。其实

① 12月16日的信，前引 Baumgardt, p. 62。

② Caspar, p. 116.

③ 1601年2月8日的信，前引 Baumgardt, pp. 63—64。

他真的不知道，他生命中最辉煌的日子马上就要开始了。

1601年10月13日，第谷受一个贵族朋友之邀，到他在布拉格城堡的家里做客。按当时的时尚，豪饮宴会持续了好几个小时。在几乎没有任何征兆的情况下，第谷不支倒地。等到仆人卫士七手八脚地把他抬到家里时，他已经几乎不能动弹了。通常的说法是他喝了太多的啤酒，^①但晚近也有种种离奇的猜测。^②10月24日，按开普勒的记录，“……他用尽了最后一点气力，平静地走了。至此，他系统的天象观测中断了，三十八年的记录到此戛然中止”。^③

可能真是命运机缘的巧合，第谷去世时，他的主要助手和学生都不在布拉格。在最后的时刻，第谷把他的观测资料托付给了开普勒，并要求他以此为基础，完成构造“日心地不动”的第谷模型，他深信，这些资料足以完成这一伟大事业。据说第谷在弥留之际最后要求开普勒说，“不要让我一生的努力虚投，”开普勒答应了，并以此为条件得到了所有的观测记录。要而言之，这一猝不及防的变故给开普勒带来了一个巨大的机会。后来第谷的女婿和助手，田纳吉尔，曾对此提起诉讼，闹了一场。简单地说，此君自认为是第谷的当然继承人，一直拖到三年以后，仍旧拒绝把他所掌握的资料交给开普勒。气愤之余，开普勒称之为“像一只饿狗，自己不吃草，又不让任何人靠近”。^④当然，这是后话。

第谷去世两天以后，皇帝敕令送达：^⑤开普勒继承第谷宫廷数学家的职位，保有第谷的观测资料，负责管理第谷留下的仪器，并享用一份年俸，

^① Caspar(p.121)说是“膀胱疾病”，James Voelkel, *Johannes Kepler and the New Astronomy*, *op. cit.*, p.57, 说是喝得太多而又拘泥于礼仪，不便起身如厕，致使不支，Joseph P. MeEvoy, “The Death of Tycho and the Scientific Revolution,” *Crossroads of European Science*, *op. cit.*, p.220, 沿用这一说法。

^② 参看，例如，*The New York Times*, Nov.19, 2010, 以及 Nov.29, 2011, 谓第谷与老皇后有染，遂死于丹麦王室策划的谋杀，开普勒甚至也牵涉其中，但新闻意味太重，不乏哗众取宠之嫌，史家多不采信。

^③ 这段文字是第谷观测记录本的最后一段，但当然不可能是第谷自己写的。按字迹，专家认定是出于开普勒的手笔。原文和考证见 Edward Rosen, *Three Imperial Mathematicians*, *op. cit.*, pp.313—314。

^④ 见开普勒1604年2月7日给 David Fabricius 的信，在前引 Baumgardt, p.96. 又 Joseph P. MeEvoy 上引文，并见 James Voelkel, *op. cit.*, pp.59—60。

^⑤ Caspar, pp.122—123.

500个金币。——比第谷是少多了，但是对开普勒说来，这可是从来没有过的好运，他可以安心地、按照他自己的意愿、研究宇宙的秘密了。

这是开普勒大展宏图的几年。从对天文现象的观测出发，他还深入研究了光的传播和光的本质，著书立说，是为《屈光学》。^①在论光的本质的导论中，开普勒导出了光的强度随距光源的距离变化。假定光是从作为光源的一个点发出，然后以球形向外传播，开普勒得出结论说光强度应该随球的面积变化而变化，或者说，光强度应当和距光源的距离成平方反比的关系。这一结论对后来理解引力的作用方式有直接的联系，当然，这是后话。

这时他正在做的，还是第谷交给他的火星。事情远没有他想象的那么容易，他几乎完全被这个问题所吸引。^②可是还有别的事情给他忙上添忙。1604年10月11日天刚亮，有人来报告，^③说是在蛇夫座发现了一颗新星。开普勒将信将疑，接下来几天天气都不好，直到17日，开普勒才看见了他有生以来见到过的最壮丽的景象：三颗外行星，土星、木星和火星，齐聚蛇夫座，而这颗新星恰恰出现在它们当中，像木星那么亮，像宝石那样闪烁，色成五彩。这自然引起了极大的关注，随之而来的是无穷多的讨论，其中和我们的主题关系最密切的，是大卫法布里西乌斯的加入。

大卫法布里西乌斯^④是第谷的忠实追随者，他和开普勒的结识起于1602年年初，时当第谷去世不久。在和开普勒争夺第谷的遗产的争吵中占了下风的田纳吉尔请法布里西乌斯出面调停，希望开普勒能取“合

^① *Dioptrics*, 1611, 现代重印本 *Dioptrics*, Cambridge: W. Heffer, 1962, 文前有 Michael Hoskin 的导读。开普勒关于光的本质、视觉和光的传播的理论在光学史上独占一席。以本书主题的限制，自然不能枝蔓。对这一主题的讨论，见，例如，A. I. Sabra, *Theories of light, from Descartes to Newton*, Cambridge: Cambridge University Press, 1981; 以及 D. C. Lindberg, *Theories of vision from al-Kindi to Kepler*, Chicago: University of Chicago Press, 1976。

^② Caspar, p. 126, 说他“疯狂地投入”关于火星轨道的数学计算。

^③ *Ibid.*, p. 154.

^④ David Fabricius 见 *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, ed. Thomas Hockey, New York: Springer, 2007。

作态度”。调停没有成功，倒是引出了一段关于新星和占星术的重要讨论。^①早在他们结识之初，开普勒明白陈述了他的天文学研究的取向：^②

请给予我关于占星术的文字严肃的注意。……总体上说，我不完全拒绝它[案指占星术]。如果你在这一领域取得一些成果，你会得到比我所有的更大的荣耀，因为对于人来说，占星术有着多得多的、直接得多的用处。……但是记住，从你跨过人类睿智推理能力的界限的那一刻起，你越是沿着你的信念推进，我对你的信任就越是动摇。……星星由某种力量推动运行，这种力量与星球的几何条件相应，产生运动，计量时间。如果你要我直截了当地说，我只能告诉你，这是理性或性灵的一种力量……

至于1604年新星，法布里西乌斯根据神学原则认为，应该不是“新”的，因为上帝的创造是一次完成的，在此之后应该没有新的东西出现。所以，他在给开普勒的信中写道：^③“所以我认为，这些新星的星体最初创造出来的时候是蔽光的、黑暗的，不发出光线的，所以我们总是不能看见它们，只是在上帝愿意的时候，它们才发光。”开普勒断然拒绝了这种说法，他说首先上帝是在创造的第一天就造了光，如果说后来上帝又让这些黑暗的星体发光，那么就和《圣经》的基本教导相冲突。开普勒认为，新星就是新的星，它以前不存在，现在出现了，自有其“物理的原因”。开普勒援引了第谷关于1572年新星的研究，甚至普列尼提及的“彗星”。他重申了第谷的说法，新星不是亚里士多

^① 本书的关注点在日心学说，对 Fabricius-开普勒的讨论也只限于此。比较全面的考量见 Miguel A. Granada, “Johannes Kepler and David Fabricius,” 在 *Change and continuity in early modern cosmology*, Patrick J. Boner, ed., Dordrecht, Netherlands: Archimedes, 2011, pp. 67—92。

^② 1602年12月2日的信，前引 Baumgardt, pp. 71—72。

^③ *Gesammelte Werke*, v. 15, pp. 82—95, 编号 319。

德说的月下界中的嘘气。他注意到，不少新星出现在离银河不远的天区，所以猜想新星可能是由以太类物质凝聚而成的，他称之为 *aura ethereal*，“以太气”。他后来写了一本讨论 1604 年新星的书，《论新星》，^①第 24 章的标题是“论新星的原因”。这是很短的一章，因为开普勒明白地说，“对于一个不确定的问题，我将不作长篇的讨论”，但是他确实提到了“自然的東西”，“我们可以再把地面上的例子用到天上”。他大概很是觉得无法达意，甚至用了维吉尔的诗来帮忙，但是越说越难懂，其大概意思或者可以模糊地翻译如下：^②

所以，其他所有星体都被赋予完全相同的东西，和地球所有的一样，因为地球本身就是这些星体中的一员。……但因为这些东西聚集在一起，最后并不在星体里熊熊燃烧，而是浸没在一种液体一样的地方，不管你可以往星体里放多少自然的東西，还是有必要再加上一样的东西，这种东西各处弥漫，渗透到以太类物质的各处……

所谓“以太类物质”，实在是一个过于“现代化”的翻译。论者注意到，^③开普勒接着用了若干个词来谈论他认为可能是构成新星的東西。在这里，他说这是“自然的東西”，后来更具体地说是“构造自然的東西”，“精心的构造”，或是“构造的東西”。^④我们又一次看到科学草创时用语的困难：概念还必须深化，从而才能变得清晰，而在这儿，这种“自然的東西”还只是一种模糊的影子。这种东西，开普勒说，可能弥漫整个宇宙，“有点像全无边际的延展”，“在整个的以太类物质中，有行星运行其间的東西，也有恒星静止不动的地方”。他进一步描述说：^⑤

① *Joannis Keppleri De stella nova in pede Serpentarii*, 1606, 在 *Gesammelte Werke*, v.1, 引文在 p.267.

② *Ibid.*, p.268.

③ A. Granada, *op. cit.*, p.76.

④ 相应的字是 *facultas naturalis architectonica*, *operosissimum architectum*, *facultas architectatrix*, 在上引《全集》268—269 页。

⑤ *Ibid.*, p.269.

因此,这种以太类物质的一个性质是透明的,而不是流体的东西就不可能是透明的。……因为天空是一种流体样的东西,必然也是透明的。由此天空就具备一种能力,而广宇宜乎由此保有其形态。……我们由此应该给这种性灵种种形态……

当天文学家在1604年注视蛇夫座超新星时,宇宙的物理结构肯定是他们关心的一个重点。“水晶球”的说法最早盖出自旧约的《以西结书》,①说的是完全没有星星的、星空之外的“第九重天”,只是在很后期才转用到行星运动的轨道,而且有趣的是,恰恰是不相信“水晶球”模型的人以此来形容这个模型的。16世纪中后期,尽管天文学在几何图景的方向上大有斩获,天球的物理性质,不可入性,实体性的天球,或者说是天球的物理实在性,仍旧是很多人考虑的一个大问题。在那时,天体在虚空中的、不依傍任何东西的运动,仍在大部分人的想象之外。据说第谷观测到彗星穿越层层天球而不稍受阻碍时,大感困惑。开普勒的基本看法亦由此而来:与其说是第谷的观测提示了空无一物的空间,不如说是提示了一种可入的、类似流体的东西,或者用他的话说,应当是一种“纯粹的气”或“以太气”,无处不在,充满了宇宙。联系到现在当头闪耀的新星,开普勒认为,最合理的解释应当是,新星其实是这种“气”的聚集。

开普勒当然也承认,这件事儿是够离奇的。但是他所强调的,是新星出现的“自然的”原因。法布里西乌斯所说的,上帝在他想让人看见新星时新星就出现了。如果是这样的话,那么天文学研究,那么我们所追寻的因果关系,就没有存在的基础了:一切出于上帝的意愿,而他的意愿即使不是完全随心所欲的,至少也是我们所不能理解的从而就是不能预测的,那么,对于天象的研究就失去了意义。开普勒的看

① 《以西结书》1:22,活物的头以上、有穹苍的形象、看着像可畏的水晶、铺张在活物的头以上。译文从合和本。

法是，新星的出现有其自己的原因，这个原因是“自然的”，或者说是上帝早就预设、并深藏在他的创造之中的，而我们的任务则是要把这种奥秘即上帝隐藏的智慧阐发出来，从而展示上帝的大能。

的确，开普勒关于 1604 年新星的论述是晦涩的。用他自己的话说，“名称上非常隐秘，本身则非常明显”。其实这句话本身是什么意思就够难懂的了。但是，他确实明确了他追寻的方向，那就是他在《宇宙的秘密》最后模糊地提出的“物理的原因”。他要说明的，是天体“为什么”这样运动，而不仅仅是“怎样”运动，是宇宙结构“为什么”是这样的，而不仅仅是“怎样”的。这一研究的结果是五年以后出版的、一本叫做《新天文学》的书，正是这本书，奠定了开普勒在科学史上的不朽地位。

第四节 1609：《新天文学》：天体运动的物理原因支持日心学说

奠定开普勒在天文学上的不朽地位的这一本大书，长达 600 页，^①70 章，全名叫作《根据因果关系、或根据尊贵的第谷对火星运动的观测而导出的天界物理学所作的新的天文学》，简称《新天文学》。^②甚至开普勒自己也认为这是一本很难读的书。在书的一开头，他承认：^③

① 这是指拉丁文版，下引英译本第 665 页。

② *Johannes Kepler New Astronomy*, trans. William H. Donahue, Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 这一著作的标准拉丁文本见 *Johannes Kepler Gesammelte Werke*, Munich, 1937—, v.3. 最早的现代语言译本是 Max Caspar 的德译本, *Neue Astronomie*, Munich-Berlin, 1929, 上面引用的英译本最先由 Owen Gingerich 和 Ann Wegner Brinkley 开始, 但后来转由 Donahue 完成。以下讨论, 除特别注明外, 均采用这一英译本。书名中“天界物理学”原文是 celestial physics, 为避免和现代意义上的“天体物理学”混淆, 权作此译。

③ *Ibid.*, p.45.

写一本数学书，特别是天文学的书，现在是困难极了。因为如果不是按照论题、构造、演示、结论这样严格的顺序，^①就不是一本数学书；但是这样写又会使阅读变得非常令人困倦，特别是用拉丁语写……作为一个数学家，我在读我自己的书时，都觉得智力几乎耗尽……

他的论述必须是高度数学化的，而另一方面，一如我们行将反复强调的，他的推理又是从物理分析出发的，这就使得他不得不时时中断环环相扣的数学逻辑，转而诉诸“物理的想象”：^②

我还会……像我们在物理中通常所做的那样，把可能的和必然的[推理]混在一起，从这种混合物中得出一种说得通的结论。因为我在本书中要把天界物理学和天文学混在一起，大家就不必对书里相当数量的猜测感到吃惊。

的确，要理解甚至仅仅跟上开普勒的想法，比读懂他的数学推导还要难。如果说数学对于外行说来非常艰深，但对于托勒密以下的天文学家们无论如何还是可以理解可以追寻的，其中种种的技术手段，他们毕竟已经用了一千年了；而对物理原因的“猜测”，甚至单单是诉诸物理原因的做法，则真正直如天马行空，无怪乎开普勒要开宗明义地提出这样的警告了。但是，这种对物理原因的猜测，正是探索的动力，正是指示走出困境的路标。在完全没有线索可寻的时候，开普勒凭着“猜想”，找到了下一步的方向。他的“猜想”在五十年后就会被证明是错的，几乎全错了，但是正是这些猜想，指明了下一步的方向。当科学的发展进入这样的关键的节

^① 开普勒这儿依据的是欧几里得的命题构造，这一构造由 Proclus 归纳成这样的要求。Proclus Lycaeus, 412—485, 希腊数学家。

^② *New Astronomy*, p. 47.

点时，正常的逻辑线索中断了。“猜想”就是创造。当时的人很难跟上他的想法，后来的研究者也无法对他的想法作连续的逐点的追踪。在科学发展的关键点上发生的事，至今仍旧是人类理性创造的最精深微妙的秘密。

开普勒并不期望每个人都能读懂他的书。对于那些“傻到无法理解天文学的学问，无法接受哥白尼而又不影响信仰的人”，开普勒说，“该干什么就干什么去吧”，虽然这些人仍旧有事可做：^①

他们应该举头仰望他目力所及的天空，投入整个身心，感激和赞美他们的创造者上帝。他们可以肯定，他们对上帝的崇拜决不少于天文学家，但上帝给了天文学家更能洞察幽微的心灵，他们能够而且渴望用他们的发现来赞颂上帝。

为了最清楚地说明开普勒这一工作的主要特点，本书采取一个相对躲懒的办法，先对这本大书的这个很长的题目作一个细致的说明。首先，这是从对火星运动的观测出发的一个研究，或者如开普勒当时所称，是一个“关于火星的一个评注”；^②其次，他所追寻的是一种“因果联系”，这和以往直至哥白尼时代的描述性解释很不一样；第三，这种“因果解释”是“物理的”，我们很快就会看到，他说的“物理的”，从本质上说，就是引进了“力”。一句话，开普勒所做的，是全新的天文学。《新天文学》的译者对此有最透彻的考察：^③

^① *New Astronomy*, pp. 67—68.

^② 开普勒在提及这本书时，常常用这个书名，见，例如，他在1610年4月19日给伽利略的信，在 *Kepler's Conversation with Galileo's Sidereal Messenger*, trans. Edward Rosen, New York: Johnson Reprint, 1965, p. 9.

^③ Donahue, “*New Astronomy* 译者前言”，上引书，p. 1.

当开普勒大胆地选用“新天文学”一词时，天文学就不再像是一种主要是建立在几何学之上的演绎的科学了，这种演绎旨在建立一个理想体系，尽可能与天体的现象密合。取而代之的是一种探索，在这一探索中，人类利用他所能调动的一切手段去发现上帝的形象，这一形象预先深藏在他的创造之中。错误不再等同于失败，而被看作是导向真理的指示。整个活动的规则不再是预先设定的，而是要在行动中被渐次发现出来。

第谷对于这种“物理解释”持很强的保留态度。在他去世以后，开普勒在很大程度上脱离了第谷的限制，在研究方向上有了更大的自由，他首先把注意力集中到了行星运行的物理原因。开普勒之迥然不同于托勒密，第谷，甚至哥白尼的，正是他的这一物理取向：^①

我深入考察了天界物理学以及天体运动的自然的原因。这一考察最终构建了非常清晰的论说，表明只有哥白尼关于宇宙的见解是正确的——当然也要稍作改动，而另外两种意见[即托勒密的和第谷的]是错的……

这就清楚地表明，在开普勒看来，哥白尼的日心图景，不应该是理论的出发点，而应该是一个“因果解释”的结论，而这个“因果解释”是先验的。我们还记得，早在《宇宙的秘密》中，开普勒就明白地表示，他所追求的，是“为什么”而不是“怎么”。这件事对于日心学说的最终胜利有特别的意义，因为在描述天文现象上，托勒密、第谷和哥白尼体系在数学上是等价的，即可以通过数学变换，从一者转换为另一者。^②这种数学上的等价性表明这些模型可以并存，因而不能用来判定

^① *New Astronomy*, p. 48.

^② *Ibid.*, ch. 6, p. 155f, “托勒密、哥白尼和第谷的假说的等价……”

哥白尼是“对的”，或者托勒密、第谷是“错的”。换言之，在这一层面上，哥白尼的日心学说并不具有排他的优势。明白了这一点，我们就很容易理解为什么奥西安德的说法在当时也不能说是很错，为什么维腾堡解释会在哥白尼以后五十年里风靡一时。开普勒认为，只有从物理上说明“为什么”有日心图景的原因，哥白尼学说的排他性才能确立。他认为，哥白尼提出了图景，但是，“他自己都不知道自己有多富有”，^①因此未能追寻日心学说的原因。

但是什么是“因”呢？开普勒回答说，是驱动行星运动的力。但是这个“力”是什么呢？在《新天文学》中，他以“公设”的方式向读者作了介绍，他称之为“重力的真实的理论”：^②

每一实在的物质，就其“实在”而言，本来就是做成这样子的：如果处于类似的物体的影响圈之外，就留在它原来的位置上不动。

重力是一种同类物体相互之间合为一体的或吸引的实在的倾向；由此，地球对于石块的吸引比石块趋奔地球大得多，磁力则是这类事情的另外一个例子。

重物不是被作为世界的中心的向心扯拽而趋奔中心的，而是被作为一个同类的球形物体，即地球的中心扯拽而趋奔中心的。由此，不论地球处于何处，或者它是不是带有生灵的能力，重物总是向地球趋奔。

.....

如果地球和月亮不是由一种魂灵的力或与之等效的东西滞留在它们的轨道上，那么地球就会向月球方向上升两者之间间隔的五十四分之一，而月球则向地球方向下降大约[其余的五十四分之]五十三，在那儿，它们合在一起——假定它们的密度相同的话。

① *New Astronomy*, p. 232.

② *Ibid.*, p. 55.

如果地球不再吸引其表面的水，海洋里的水就会升腾起来，飞到月球上去。

我必须为我的拙劣的译文向读者致歉，但也要说明，这几乎是一段最早的关于力的、或者说有点儿像“科学”的文字，是开普勒物理思想的最初表述，而我想所做的，是尽可能地保持和传达这一概念在草创时的模糊和青涩。——正是这种模糊和青涩，表现了概念形成的艰难，正是这种艰难，表现了开普勒的令人赞美的物理直觉和洞察力。

首先是物质，开普勒叫它作“实在的物质”，好像还有什么“不实在的物质”，而“实在”一词，在开普勒后来也常常和“物体”混用。^①如果孤立地看第一段，很容易相信开普勒已经有了最朴素的惯性定律的想法了。问题在于“吸引”，——在开普勒那儿，这不是个问题，但我们以后很快会看见，这种带有强烈神秘色彩的概念，正是行将在欧洲学界领一代风骚的机械论哲学想要彻底扫荡的。但是现在对于开普勒，“魂灵”、“吸引”之类的词并没有使他感觉不安，在他看来，宇宙及其规律本来就是一个至上的智慧体的创造。这对于科学最早的成长有特别的意义。另一方面，开普勒的图景仍然是模糊的。与《新天文学》撰写约略同时，开普勒在给大卫法布里西乌斯的信里又一次阐述了他关于“引力”的想法：^②

如果你能把一块石头放置在地球旁边，并且两者均无任何别的运动，那么，不仅是这块石头会急急趋奔地球，而且地球也会趋奔这块石头。这两者将按和它们各自重量成反比的方式分割它们之间的空间。

^① 参见 *Epitome of Copernican Astronomy*, Bk. 1, pt. 4. 参见 Donahue 的考证，上引书，p. 55, n. 8。

^② 1605年10月11日致 David Fabricius 的信，*Gesammelte Werke*, xv, ltr 358, p. 241。

这些可能就是开普勒对“引力”的最早论述。值得注意的是，开普勒谈论的是地球和石块，或者地球和月亮。“呼朋引类，同气相求”，这对于开普勒，是可以理解的，亚里士多德当年也是这么说的。开普勒自然地认定这种引力只存在于同质的物体之间，而不言而喻地排除了关于不同质的物体的考虑。他显然还没有物质和物质相互吸引的一般概念，我们知道，“万有引力”的概念要到五六十年后才进入天文学家的考量之中。然而，这种基于“同气相求”的信念，很大程度上，或者说在很深的层次上，和最古老的交感巫术的基本信念相合，所以对于当时的大部分人说来，颇是畅晓直捷，容易接受，从而回避了引力本质的问题。其次，开普勒认定引力的大小应当和两物体各自的重量有关。这也是自明的；其实，即使在今天，在中学的物理课上，质量和重量的清楚区分，仍旧是老师们要向学生反复解释的一个话题。显然，在力的本质上，在什么是“重量”，什么是“质量”，在重量引起的运动上，开普勒还有很长的路要走。再次，当开普勒用这种力解释行星运动时，他还必须回答力是“怎么”作用在行星上，他就必须要对作用的机制作完整的描述，即这力是如何把行星保持在完美和谐的运动中的。而这一点，在1605年前后，开普勒显然还没有认识到这是一个很难的问题。换言之，在假定了原因之后，开普勒必须说明，这“因”如何导致“果”的呢？开普勒认为这力必须完成两个方面的任务：^①

行星于是必须在纯净的以太中依靠它所有的力沿完美的圆形路径运动……运动者由此显然有两件事要做：一是它必须有一种能力，强大到足以移动这一星体，二是它必须有足够的知识，从而在纯以太的环境中找到圆周……这是一种心智的能力。

约束引导行星运动的本轮均轮当然已经不再是可以考虑的东西，坚

^① *New Astronomy*, *op. cit.*, p. 126. 下一段引文在 p. 125.

实的天球更是在第谷对 1572 年新星的讨论以后不再被当作真实的存在，这在当时好像已经渐渐成了天文学界多数人接受的见解。但是，当开普勒跟着第谷，打破了固体天球，他就给自己提出了行星运动的机制问题，而这个问题原来是靠天球的假设回答的。现在，我们才理解，天球的假设绝不是某一个人的忽发奇想，或是一个时代的蒙昧无知，恰恰相反，这是当时对天体运行的可以想象的、理性所能达到的最佳图景。“失去了你才知道可贵”，就像我们常听见的歌词说的那样。取消了天球，多出了很多问题；首当其冲的，是行星靠什么推动，它们如何孤悬于空中。在开普勒的想象中，行星是在一种类似流体的“纯净的以太中”运动，那自然要有一个力在时时推动——留意，在开普勒时代普遍的看法是，如果没有一个力时时作用，物体会慢慢停下来，就像我们每天看见的那样，一旦停止搅动汤汁，汤里的牛肉和土豆块就会慢慢停下来。开普勒现在必须回答，这种“能力”，这种推动行星运动的能力和确定这种运动方向的能力，是从哪里来的。对这种来源的考虑，开普勒说，就像是在考察一个人一样。这个类比高妙到我们难以想象，由此我们不难记起，开普勒是一个距我们四百多年的古人：

这种心智和灵魂的组合确实和天文学家细致的考虑颇为一致，尽管哲学家的论述主要是形而上学的。这和一个人的情形完全一样：运动能力不同于意志，意志根据感官的指示利用运动的能力。……与此相类似，把亚里士多德的运动轨道作为思考的对象，有两件事就摆在我们面前：1)运动的力，由其活动和恒常的力量，足以对整个圆轨道作用，由此确定运行一周的时间，2)它的作用方向。前者可以更正确地归于动物的能力，而后者则有赖于它的智力或记忆本性。

在现代科学的术语系统里，这确乎离奇。我们首先觉得奇怪的是，开普勒明白地引进了生命体的概念。后来有的科学史家分析指

出，开普勒在这儿谈论的，“只不过是一种比喻，用以表示一种统帅天体相互运动的原理的非物质性。简而言之，对这一概念，他还没有掌握一个专用术语”。^①这是一种说法。在我们看来，这里真正有深意的是，开普勒是在谈论“力”，一种他用来发挥因果解释的东西。在《新天文学》的写作期间，开普勒不断地谈论“力”，贯穿全书，也频频出现在和朋友的通信中。^②这时，开普勒用得最多的两个词是 *virtus* 和 *vis*。细致的分析表明，在《新天文学》中，他通常用 *virtus*，或能力，来指“从太阳发出的那种抽象的运动力，而 *vis*，或力，来指对于行星的推或拉的力，虽说在文本中也不乏相反的例子”。^③要开普勒说清楚什么是力，自是苛求。重要的是，他把这个概念引入了讨论，作为一种“运动的物理原因”，^④而且坚持这个物理原因是对天象运动的最好的解释。

开普勒对于行星运动做因果讨论时，特别注意一个当时为大家所熟知的事实：离太阳越远，行星的运动速度越慢，这有时叫作行星运动的“不均匀性”：^⑤

首先，显而易见的是，三颗上行星，土星、木星和火星，在接近太阳时调整了他们的运动。因为当太阳接近它们时，它们顺行而且移动得比平常快，而当太阳走到和这些行星相反的星座时，它们就像螃蟹一样在它们刚刚走过的路上逆行，在这两段之间，它们停着不

① Max Jammer, *The Concept of Force*, Cambridge: Harvard University Press, 1957, p.82.

② 例如，同年 11 月 30 日致 Johann George Brengger 的信，*Gesammelte Werke*, xvi, p.84.

③ Donahue, “前言”，前引书，第 25 页。

④ *New Astronomy*, p.48.

⑤ 参看第二章第三节 Reticus 的论述。开普勒的说法在 *New Astronomy*, p.118. 注意，开普勒用的是日心图景。他说离太阳越近，运动越快，可以是行星间的比较，如火星运动比木星快，也可以是同一颗行星在近日点和远日点运动的比较，但这两个例子常指向同一结论，即离太阳越近，太阳的作用力就越强。开普勒在上引文中的描述，“当太阳走到和这些行星相反的星座时”云云，听起来像是地心图景，但他显然是从观测角度说的。

动。……

所以，尽管托勒密、哥白尼和第谷体系是“在几何上是绝对的、完完全全的等价的”，^①但是如果留意“行星的运动在远离太阳时事实上是变慢了，而在移向太阳时确实是加快了”，开普勒认为，这就是太阳驱动行星运行的实际观测证据，这就证明了太阳是整个太阳系运动的源泉。“于是，这就为我们用观测的方法证明我关于运动原因的先验的考虑打开了大门。”^②日心学说对于其他各种模型的排他性优势由此确立：因为只有日心学说能够解释这一现象，而动力的源泉也只可能是太阳，因为“无法想象，力怎么可能聚集在一个什么都没有的点，而不是……在太阳，世界的中心。力由此根据行星的行止，推动行星运动，各有缓疾。”^③他在撰写《新天文学》的同时的一封信里，更清楚地阐述了他对于日心学说的物理解释的考量：^④

如果[如第谷模型所描述的那样，行星绕太阳运动而]太阳绕地球运动，那么太阳的运动必须是，根据必然之理，同它所携行星一致，时快时慢，全无确定的章法，因为根本就无章可循。真正是匪夷所思。更有甚者，比无足轻重的地球品第高出多多少少的太阳，竟然要像其他五颗行星被其驱动那样，不得地被地球以同样的方式驱动，这更完全是荒谬绝伦。由此可见，地球以及其他五颗行星由太阳驱动，而只有月亮被地球驱动，是一种合理得多的说法。

至此，太阳处在宇宙的中心的说法，表现为一种物理分析的结论，而不是如同在哥白尼那儿作为数学的或美学的假设，出现在宇宙模型

① *New Astronomy*, p.157.

② *Ibid.*, p.167.

③ *Ibid.*, p.160.

④ 1605年3月28日给 Johann Georg Herwart von Hohenburg 的信, Baumgardt, p.74.

中了。

开普勒常说这一结论是“先验的”，即他首先是从对上帝创世的教义中领悟出来的，但是他在观测资料中也确实看到了他所期待的事实。他后来解释道：^①

的确，我刚才通过一个颇为冗长的推理，后验地证明了这回事[日心说]；如果我说，我也曾先验地证明过同一件事，世上生命的源泉，如同光，构造了[宇宙的]整个机构，为所有的东西生长提供了热的源泉，那么我也一定能得到同样的接受。

他后来在给伽利略的信里对日心图景的“先验的”理由有进一步清晰的描述：^②

世界的中心是太阳，宇宙的心脏，热的源流，生命和宇宙运动的发源地。人似乎应当无怨言地让出这皇上的宝座。诸天是为诸天的主所设的，太阳理所当然地占据主位，^③而地球则是为了人[创造的]。上帝当然没有形体，当然不需要驻蹕的地方；统帅世界的力更多地显示在太阳当中，而不是在别的星球。正因为人的位置有别于此，人认识到了自己的窘困贫乏和上帝的富有和堂皇。他必须知道他不是灿烂世界的本源，他要依赖这儿说的真的本源。再进一步……人之为人本来就是为了沉思领悟而创造出来的，因此妆点配备了眼睛，于是他就不应该静静地停留在中心。恰恰相反，他必须年复一年地在一艘船上巡游，这艘船就是我们的地球，由此来进行他的观测。如同任何的考察者在勘测不能直接接触及的对象物体时，为了

① Baumgardt, p. 379.

② *Kepler's Conversation with Galileo's Sidereal Messenger*, *op. cit.*, p. 45.

③ 语出自 *Malachi*, 4:2, 尽管 Rosen 注释说，那儿说的不是开普勒的而是希伯来的上帝，见 n. 397，但恰如他的同仁通常所批评的，这一考证过于学究气。

在他们所在之处得到一种用以作三角计算的精确的基线,就必须不断地移动位置一样。

原来日心结构是上帝为人的领悟而作的有意的精心设计。对开普勒说来,这是对宇宙秘密的最深刻的揭示,对日心学说的最强有力的论证;对现代读者说来,则直如海外奇谈。至此,开普勒先是“先验的”证明了太阳应该在宇宙的中心,然后又说明“经验的”即观测的证据也指向同一个结论。我们可以想象,伽利略绝对不会同意,更不要说喜欢这种论述方式了,当然,这是后话。开普勒现在所要做的,是进一步证明,太阳是不动的,是地球绕太阳运行而不是相反,而这和第谷临死时要求他做的正相反对。^①他从八个方面证明了第谷模型是不可接受的。^②

第一,如果如第谷所说,五颗行星绕日,而太阳绕地运行,那么当这两种运动叠加,行星的运动轨迹就会是螺旋状的,而哥白尼整个地消除了这种外加的运动;其次,如果没有轨道的话,智性和运动的灵所处的情形会很糟糕,他们必须同时管很多很多的事来引导行星的两个相互纠缠的运动[案:指绕地的和绕日的两个运动];^③再次,五颗行星运动的源泉是太阳,如果地球也是运动的,其源泉也是太阳,其原因相类似是显然的;第四,太阳作为运动的源泉宜乎是静止的;第五,由上面的论证,我们可以看到,太阳,以及他所携带的沉重的五颗行星,以地球为运动源泉,这是荒谬的;第六,地球的运行周期是365天,恰好介于

^① 平心而论,开普勒一直恪守诺言,努力地维护第谷。在《新天文学》前半部,开普勒总是平行并列地讨论托勒密、第谷和哥白尼的模型,常常强调它们在数学上是等价的。在我们行将看见的关于第谷模型的讨论前,开普勒还特意加上了一段说明:“我的整个理论是在他的工作的基础上建立起来的,所有的资料也是从他那儿得到的,对于他,最公平地说,我致以最诚挚的感谢和[对他的工作的]确认。”见 *New Astronomy*, p.51。

^② *Ibid.*, pp.51—54.

^③ 这种说法在现代人看来几乎是无法理解,但很大程度上反映了开普勒对“轨道”认识的实质。他可能还是倾向于实体的轨道,或者某种物质构成的轨道,这种物质全然不同于地面上的东西,既不是固体又不是非固体。见 Nicholas Jardine, “The Significance of the Copernican Orbs,” *Journal for the History of Astronomy*, 13(1982) 168—194。同时参见译者原注。

火星的 687 天和金星的 225 天之间；第七，从太阳的庄严和光明看，它也宜乎处在世界的中心；第八，同样从形而上学的角度考虑，地球也宜乎作圆周运动。

开普勒在这儿着力说明的，仍旧是宇宙运动的物理机制，或者他所津津乐道的运动的“驱动力”，在开普勒时代，学者们一致认为，持续不断的驱动对于维持持续不断的运动是必需的。至此，开普勒完成了他的论述：太阳“应该”在中心而地球“应该”绕太阳运动；注意，“应该”的意思是先验的，太阳、地球以及其他星体必须服从遵循的。尽管在我们看来，他的论述有些离奇，也不太有说服力，可是，在开普勒看来，日心图景已是不容置疑地建立起来了。

开普勒至此的努力，是在确认哥白尼的日心图景。在五百年后的今天，我们常常会为此感到困惑，为什么他必须花如此大的气力去做这件事。重要的是，我们必须注意，在开普勒的时代，哥白尼图景远远不是不言而喻的，甚至一直到了牛顿撰写《原理》的时候，他还必须很费心思把日心图景作为他研究的前提提出来。不同的是，牛顿把这一图景作为经验的“现象”引入他的体系，而开普勒则利用先验的分析把日心概念确立为他的整个研究的基石，当然，这是后话。

既然如此，一个顺理成章的做法是，用真太阳代替至此天文学家一直沿用的平太阳。所谓平太阳，在哥白尼体系中就是地球轨道的圆心，这是一个数学点，这是直至哥白尼为止的几何天文学所生造的，没有物理对应物的点。开普勒说，在第 6 章里，“我从物理上论述了这种做法是不正确的，所有的偏心率必须从太阳实体的中心起估算”。^①

他现在要做的，是为日心学说进一步提供“后验的”或者说是“经验的”证据。他要证明，从日心图景出发，他可以对行星运动做出最精密的估算。首先是火星轨道，这是第谷要求他做的，而且他也已经在这个问题上努力了很长的时间了。有时候我们会觉得开普勒关于

^① *New Astronomy*, p.82.

“力”和“物理原因”的讨论和他对于火星轨道的高度技术性的计算是两个关联很小的方向，甚至认为后者比前者更“科学”，其实，重要的是，对开普勒来说，前者为后者提供了先验的图景，而后者为前者提供了经验的支持，这是一件事的两个不可分割的方面。“《新天文学》中数学的和观测的分析，以及对[火星轨道]参数的推导，其实是开普勒在做鲁道夫星表时早晚要做的事，而这正是第谷生前分配给他的工作”。^①

至于开普勒当年正巧从火星开始他的工作，在很多人看来，真是幸运；是天文学的幸运，也是开普勒的幸运。从纯技术的角度看，在当时已知的行星中，火星的偏心率最大，高达0.5%，也就是说，它的轨道和当时普遍接受的圆轨道差别最明显。如果不是火星，开普勒很可能会错过椭圆定律，当然，这是后话。从开普勒个人角度看，我们要记得，火星可不是他自己根据技术的考量选用的。要不是第谷处处提防他，不给他别的行星的资料，要不是朗格蒙塔纳实在做不下去了，要不是第谷的女婿田纳吉尔最终放弃了鲁道夫星表的工作，^②开普勒是不会投入火星的研究的。他后来满怀感激之情把这一系列巧合说成是天意，他回忆说：^③

这真是天意，就在这个世界自身之中表现出来，上天为我们凡人对天文的研究感到喜悦……尽管如此，这又是一种命运，各种各样的人由命运的无形作用的驱动，从事各种各样的行当，并由此确信，正如他们是创造的一个部分，他们在一定程度上也加入到天命之中。

我们其实很难体验到开普勒当时的心情。但是，在历史上，个人的一冲之兴导致的没有理由的活动，即使有也很少，而且在这种本来就

① N. Swerdlow 教授与本书作者的私人通信，2012年11月24日。

② K. Ferguson, *op. cit.*, ch.20, esp. pp.291—294.

③ *New Astronomy*, ch.7, pp.183—185. 下一段引文同此。

很少的事例中，几乎没有能够延绵持续，构成有历史意义的事件。当开普勒写下“在一定程度上也加入到了天命之中”时，他想到的是，作为上帝选中的工具，他要揭开宇宙的秘密，展示上帝的荣耀，同时也走向上帝。这是一种使命感，支持他在无论什么样的环境和条件下，坚持追求。带着这样的信念，他回到了尘世，谈到了第谷：

我是在1600年年初来他这儿见他的，希望能得到正确的行星偏心率。但是到达以后的第一个星期我就发现，像托勒密和哥白尼一样，他用的是太阳的平运动，而事实上视运动和我的书更相切合。我恳求[第谷]大师让我按我的做法利用这些资料。在当时，他的助手朗格蒙塔纳正在做火星理论……忙着昏旦观测，或者火星在狮子座冲日的观测。……我再一次想到，这是天意的安排，我正巧在朗格蒙塔纳致力于火星研究时到达；而火星的运动是我们得以窥探天文学秘密的唯一可能的渠道，不然的话，这秘密将永远晦晦不彰。

第五节 1609：《新天文学》：和天使的角力^①

开普勒的研究对象是火星，揭开这些秘密的努力从第16章开始。他给自己设立的任务是：^②

模仿古人的做法，先搁置物理原因，假定行星的运行轨迹是一个

① 戴克斯特霍伊斯语，前引《世界图景的机械化》，张卜天译，第332页。

② *New Astronomy*, p.85. 在真正着手计算之前，开普勒还必须处理若干个预备性的问题，如确定火星轨道面和黄道面的交角，火星纬度的变化，等等，Dreyer对此有简要和清晰的说明，见J.L.E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, New York: Dover, 1953, pp.380—382, 初版是*History of the Planetary System from Thales to Kepler*, Cambridge: Cambridge University Press, 1906, 本书自然无力讨论这些细节，以免枝蔓。

圆,而在这个圆里,有一个点,在相同的时间里,行星围绕这个点,扫过相同的角度;在这个点和太阳的中心之间,则是行星轨道的中心,其[距这两点的]距离未知。根据这些假设,利用在黄道位置的四个昏旦观测及其时间上的间隔,通过非常精心的方法,求得这些中心点在黄道上的位置,它们距太阳中心的距离,以及这两个离心率相互的和对于轨道半径的比值。

这在当时当是一个典型的天文学问题,或者叫做由已知的观测位置确定轨道的问题。但是这儿说的“确定轨道的问题”和我们现在的理解,确定若干“轨道参数”有些不同。当时开普勒关心的,是一条假想的通过三个点的线的走向,这三个点是太阳、轨道中心和上述后来称为“偏心匀速点”的几何点,^①这是为了满足亚里士多德要求的一个设计,“在相同的时间里,行星围绕这个点扫过相同角度”。开普勒还要算出这三点之间的距离和火星轨道半径之比。开普勒的假定,“行星的轨道是一个圆”,以及“有一个”偏心匀速点,这和托勒密、哥白尼以及第谷的做法一样,所以开普勒说他是在“模仿古人的做法”。他解释道:^②

因为如果行星沿折线运动,其运动[的速度]将有一个从快到慢明显的变化……解决这个问题最简单的办法有两个:一是偏心圆,一是同心圆加上一个本轮。

这正是托勒密的做法。但是这个圆轨道,或者更严格地说行星运行的中心在哪里呢?开普勒说,

^① equant, 我以前根据这个字的字面意义译作“等位点”,显然没有把开普勒在这儿说的有可能不是“等位”的假设包括进去。用“偏心匀速点”,意思更准确。参见第一章第四节。

^② *New Astronomy*, p. 250. 下一段同此。

托勒密……经过一连串的推理，发现了一个做法，做出了一个重要的发现，即承载本轮中心的偏心圆的中心，恰恰处于观测中心即地球，和匀速的中心即用以说明第一种不均匀性的偏心[轮]的中心，这两者连线的中点。

托勒密以下所有的天文学家都沿用了这一假定，而且哥白尼也未加证明地接受“中点”云云。在处理土星和木星时，哥白尼即假定轨道的中心是“两者连线的中点”，即“平分”太阳到偏心匀速点的距离；对火星，还有金星和水星，哥氏处理稍有不同，但未加细致的说明，所以开普勒说他“盲目地尊崇这一做法”。^①第谷的助手朗格蒙塔纳在他关于火星和水星的工作中，曾考虑过不平分的情形，用过8比5的比例，但在他后来的关于土星木星和金星的工作中，他实际上仍旧采用了平分的假设。^②开普勒认为，托勒密的“平分”假设应该不是不证自明的。所以他在上文中假定，“行星轨道的中心……[距这两点的]距离未知”，换言之，开普勒认为，行星轨道的中心不一定恰恰平分太阳中心和“行星运动的等角速度参照点”的连线。这有点拗口；是开普勒有意要避免使用“偏心匀速点”即 equant 这个词呢，还是他另有深意，我们不得而知，但是他的确提出了异议，称托勒密是“盲目的猜想，而真实的情形恰恰相反”。^③这就从技术上说增加了一个未知量，使得求解更加困难。开普勒说，

……托勒密用了三个昏旦观测和关于偏心率的先入为主的想法来寻求远地点的位置，……为了削减这个问题上的困难，求得可以用于多个案例的解答，我按需要加上第四个昏旦观测。因此，在具备了

① *New Astronomy*, p. 251.

② Longomontanus, *Astronomiadanica*, 1622. 这是 Noel Swerdlow 教授告诉我的，2012年12月1日的通信。

③ *New Astronomy*, p. 252, 下一段同。

这些知识以后,我在 1600 年来到了第谷这儿,并高兴地发现,他也不认为^①对这一比值[指太阳到轨道中心的距离和轨道中心到偏心匀速点的距离之比]可以作如此假设……

这样,开普勒选定了四个,而不是像托勒密和几乎所有以前的天文学家那样用三个,观测点来计算火星轨道。

开普勒用的,是从宝贵的第谷观测记录中选出来的 1587 年, 1591 年, 1593 年和 1595 年的火星在冲点的位置。1600 年 2 月开普勒到达的时候,火星也正好处在“冲”的位置上。所谓“冲”,就是火星和太阳的经度正好相差 180° ,或者说火星,地球和太阳三者正好处在一直线上,地球在当中,火星和太阳分处两边。这时候在地球上对火星位置的观测和假想中的从太阳上所作的观测相同,对于“日心”模型特别有用。第谷一共有 10 个这样的观测,时间跨度从 1580 年到 1600 年,长达 20 年,而其精度高达 $2'$,这就是开普勒当年视为至宝的东西。现在,他选出了其中四个,并由此出发计算火星轨道的其他参数:即刚刚提到的各个“中心”的位置,以及它们相互之间距离的比值,等等——尽管在轨道形状上开普勒承袭托勒密,仍旧认定行星是沿着圆轨道运行的。

显然,已知条件太少,不足以用严格的分析从数学上推导出一种普适的理论。开普勒的办法是“试”,也就是说,他假设了一组关于上述种种“中心”的方位角,距离,等等,以此为基础计算轨道,再根据计算结果对于观测数据的误差,修正他最初的假设,如此往复,慢慢接近真实的情形。^②照他自己的说法:^③

^① 如上所述,这一工作实际上是 Longomontanus 做的,但开普勒按当时的习惯把它归到了第谷的名下。

^② 本书自然无力重复开普勒工作的技术细节,但有不少网站对此做了有趣清楚的说明,并附有动画,一目了然,读者可以自己在网上动手“凑”出答案来,愉快地享受当年开普勒的痛苦。参见,例如, <http://science.larouchepac.com/kepler/newastronomy/part2/16/index.html>。

^③ *New Astronomy*, p.253.

这儿的解法不是几何学的……而是利用一种双重的迭代方法逐步推进。……

要注意的是，他所说的并不等同于我们现在的迭代法或逐次逼近法，而比我们现在，尤其是工程上用来求合理数值解的做法难多了。在开普勒的时候，问题的解法并没有一定的指向，使得数值解“越来越”接近真实的结果，他只是不断地作各种假设，调整拱极线的方位，慢慢地凑出结果。所谓拱极线，就是我们上文提到过的通过太阳、行星的轨道中心和偏心匀速点的一条假象的直线，它与天球的交点就称为是它的方位。在没有任何计算工具的1600年代，甚至连对数都没有的时候，这种“尝试-改进”的工作可不是好玩的事。现代读者常常觉得开普勒非常难于理解。的确，他的工作真是无章可循；正如最近一个第谷开普勒研究者很有见地地说的，“开普勒不是在做科学，他是在造科学”：^①的确，科学在他那时候还没有最终成形，所有的“科学人”必须摸索着前进。正是这样，他的执著，他的物理直觉，他的种种离奇的猜想，才弥足珍贵。至于他的数学才能，则远远出于我们可能的想象：我们无法想象，他怎么能在无数的杂乱无章的数字中看出线索，理出端倪；现在我们可以看见的，只是一迭他在求解这一问题时使用过的草稿纸，超过900页，而开普勒自己的叙述是：^②

如果这一磨人的方法使得你厌烦，你其实更应该对我表示同情，因为我花了大量的时间，至少已经试算了七十次，而你也不再会觉得奇怪，自我开始着手研究火星至今，已经过了整整五年……

不管怎么样，开普勒算出了火星轨道的主要参数，其轨道中心落在

① K. Ferguson, *op. cit.*, p.300.

② *New Astronomy*, p.256.

太阳和偏心匀速点之间，距太阳 11 332，^①距偏心匀速点 7 232，从太阳到轨道中心的距离大约是连线全长的 0.61。^②接下来，在第 18 章，开普勒用火星的黄经位置来核对他的通过精心计算得到的 0.61。所谓黄经，是指在黄道坐标系中的经向位置坐标。他利用第谷留下的六个，以及他自己在 1602 年和 1604 年做的两个观测，检验了他的理论，发现计算值和观测值符合结果几近完美，平均误差只有 50 弧秒，最大的也只有 2 分 12 秒。^③

在下一章，第 19 章里，开普勒进一步用黄纬位置再对他的假说做检验。他发现上述假说“在冲点附近对于纬向的运动说来并不令人满意”。^④利用这一方法，他计算了火星的轨道中心和太阳的距离，得 8 000 到 9 943 之间，更接近太阳和偏心匀速点连线的中点。^⑤这就奇怪了：因为在第 18 章，利用火星在近日点或远日点附近的经度位置明明证实了先前的假说。不仅如此，在下一章，以及再下一章，第 20 章，开普勒用“冲点以外的其他点的经向运动”来检验他的假说，竟然发现“很是不合”，也就是说，他千辛万苦做出来的理论是错的！他于是把这个假说称为“替代性假说”，因为这一工作至少给出了拱极线的方位，以后他还要多次利用这一方法提供的结果。他仔细检查了他自己的算法，似乎找不出有什么错，那么，如果有错，错就该错在“替代性假说”的前提上。前提是两条假设：^⑥

由此看来，我们的假设中必有一些是错的。但是我们假设的不过是：行星运行的轨道是正圆，还有在拱极线上有一个特定的点，这一点和火星在相同的时间里扫过相同的角度的那个中心点有确定的

① 数字是相对圆轨道的半径，假定为 100 000。

② *New Astronomy*, p. 269.

③ *Ibid.*, ch. 18.

④ *Ibid.*, p. 86.

⑤ *Ibid.*, pp. 281—283.

⑥ *Ibid.*, pp. 283—284.

距离。因此，或者是这两个假设之一有错，或者是两个都有错，因为我们所用的观测不谬。

简言之，先前的圆周运动和偏心匀速点两个假定中，至少是有一个不真，甚至两个都不真，但是这都是托勒密以下天文学家从来没有质疑过的最基本的假设。事实上，导致“不平分”结果的复杂的计算，在拱极线的指向上，给出了在经向的和观测符合得很好的结果，可是在纬向上与观测不合。如果开普勒由此改动不平分假说重回平分的做法，原先从这一假说中得出的12个在黄经上与观测的小于2'的符合就会扩大为8'，这显然也不是开普勒想要看见的。开普勒对他当时的处境有清晰的认识：^①

……这就表明，在纬度方面的误差来自轨道偏心位置的不平分。但是如果[假定]偏心率是平分的，这一假说在经度方面就出现误差。这就迫使我放弃了古人的做法而更勤勉地研究这些问题。

从本质上说，替代性假说改动了轨道中心的位置，使得整个轨道向远日点方向平行地移动了一小段，结果是火星到太阳的距离的计算值在远日点附近太大，在近日点附近太小。虽说以当时的，大概是在10'上下的观测精度来考虑，或者可以争辩说这结果仍旧落在可以理解的误差范围之内，但是，开普勒的想法不同：^②

既然神明出于仁慈赐予我们第谷布拉赫这样一位认真细致的观测者，而在他的观测结果揭示出托勒密的计算有8'的误差，那么我们理应怀着感恩的心情去接受和享用上帝的这一恩赐。让我们费些力

^① *New Astronomy*, p. 86.

^② *Ibid.*, p. 286. 用张卜天译文，见《世界图景的机械化》，湖南科技出版社2010年版，第334页。

气,根据那些证明了所作假设是错误的证据,去探寻天体运动的真实的形式。……如果我认为可以置这 $8'$ 经度不顾,我早就会在讨论平分偏心率时对我在第16章的假设做足够的修正。所以仅仅这八分,就已经为天文学的彻底变革指明了道路,它已经成为本书大部分内容的基本材料。

整个天文学的彻底变革开始了,这就是为什么开普勒把他的书命名为《新天文学》。在科学的草创时期,对于自然的探究呈现出一种全无章法的情形;并不是说这种探索可以是任意的,而是说在探索中没有成例可循,而且探索者也确实不知道该往哪儿走。所有的可能都必须考虑,所有的方法都必须试一试,而与观测结果的比对,作为他们唯一可用来判定理论正确与否的指标,却只在他们做出结果以后才会告诉他们是不是走错了路,而不会在研究开始之前就透露应该往哪儿去。这就像在荒野丛林中的迷路的人,没有路标为他们指明该走的道路,只有碰到了悬崖峭壁,他们才知道此路不通。所以他们必须依靠自己的经验和直觉,选择可以依赖的证据,帮助他们确定前进的方向。现在开普勒面对的选择,是确定什么是可以依靠的指示,而这一点,正是对研究者关于自然的直觉的考量。

对于开普勒说来,正如他在本书标题中声明的,他追求的是“因果关系”。在他看来,托勒密、哥白尼,以及第谷“……就天文学或天文现象来说,三者实际上相同,仅差毫发,因此他们产生的结果也相同”。^①而他从根本上不同于以前各个研究者的地方,是他追求的目标是运动的“物理”原因而不仅仅是对运动的描述。令人称奇的是,这种对原因的追寻,竟然仍旧是从一个错误的假设出发的。在结束他关于“模仿古人”的最初探索以后,开普勒问道:“为什么,到什么程

^① *New Astronomy*, p.48.

度，一个错误的假说可以产生真理？”他自己接着回答说：^①

然而确有这样的情形，在观测精度允许的范围之内……错误的假说可以刺激产生真理。

当开普勒表示“错误的假说可以刺激产生真理”时，他心里想的，一定是他的“替代性假说”。但是当他真正继续推进他的“天界物理学”的时候，奇妙的是，他竟然真是从错误的假设开始的，——圆轨道和匀角速度，只不过他并没有把它们当作错误而已。

开普勒从推导地球运行轨道开始他的新一轮攻击，因为不管怎样，所有的观测最终都是在地球上作出的。^②他首先要证明的是，仅仅利用偏心圆和相对于中心的匀速运动不能充分地说明现象。这一论断否定了以往的天文学家的看法，包括有第谷的精密的观测资料支持的理论。他的做法是，比较地球在不同的时刻距地球轨道中心的距离，而他选定的参照点是火星。

火星每 686 个地球日 23 小时 31 分绕太阳一周，换言之，每隔大约 687 天回到相同的空间位置上。开普勒选定了四个这样的时刻来观测地球，^③他用的是 1590 年 3 月 4 日 7 点 10 分，1592 年 1 月 23 日 10 点 15 分，还有两个 1593 年和 1595 年的时刻。这时火星的纬度非常低，可以排除纬度的影响。通过和“替代性假说”相比说来不太麻烦的运算，开普勒得出，对于这四个时刻，地球距其轨道中心的距离从 66 774 到 67 794 不等，或者说，“[对地球轨道而言]必须引进某种包含偏心匀速点的偏心圆”。^④至此，开普勒的注意力，他想象中的“新天文学”所带来的革新，还都集中在太阳、轨道的几何中心和偏心匀速点的相对

① *New Astronomy*, p. 294.

② Caspar, p. 130. 开普勒说地球轨道的理论是“深入理解天文学的关键”。

③ *New Astronomy*, p. 218; 同见 Dreyer, p. 383.

④ *Ibid.*, p. 87.

位置上，至于轨道的形状，他还是不假思索地跟随他所有的前辈，认为是圆形。

在以前的理论中，甚至在哥白尼的论说中，地球还时常是个特例，^①而现在，地球就更像是一颗和别的行星一样的星球了。这就进一步从物理上，或者用开普勒喜欢的词汇，从形而上学上，推进了日心学说，这当然有特别重要的意义。和通常的做法一样，开普勒又从不同的方向用不同的方法对此反复论证，凡六章之多。第29章和第30章，再次以这一新的图景计算了地球和太阳的距离。直到第32章，开普勒有充分的信心总结说：^②

首先是一个归纳论据：所有行星，没有例外，都有一个[带有]偏心匀速点的圆[轨道]，其匀速运动的点的偏心率是平分的。

“所有行星，没有例外”，地球终于从上帝为人类选定的乐园下降到了它自己的轨道上，从太阳往外数是第三个，从当时了解的太阳系的边缘往里数是第四个，它是一颗和其他行星一样的行星，如此而已。

至此，开普勒说，已经明确建立起来的，“更加坚实的天文学所证明的”，是两件事：行星的圆轨道和偏心匀速点及其平分的偏心率，而这两件事是他以前，“八年前《宇宙的秘密》出版时”尚不敢确定的。从偏心匀速点的定义出发，开普勒推出，在这一图景中：^③

……更加清晰的是，行星通过远地点或远日点附近偏心弧段时所用的时间，按矢径的比例，较之其通过近地点或近日点相同[长度]的弧段时所需要的时间稍长。

① 哥白尼常把地球轨道叫做“大圈”，参看第二章第三节。

② *New Astronomy*, p. 89.

③ 参见 *New Astronomy*, ch. 32, p. 375. 参见本书263页的示意图。笔者根据原书358页上的定义，直接用“远地点”“近地点”之类的词取代了原书中的字母，以便阅读。上引“八年前”云云同此。

这有些拗口。他在另外一处还有一个叙述，他说：^①

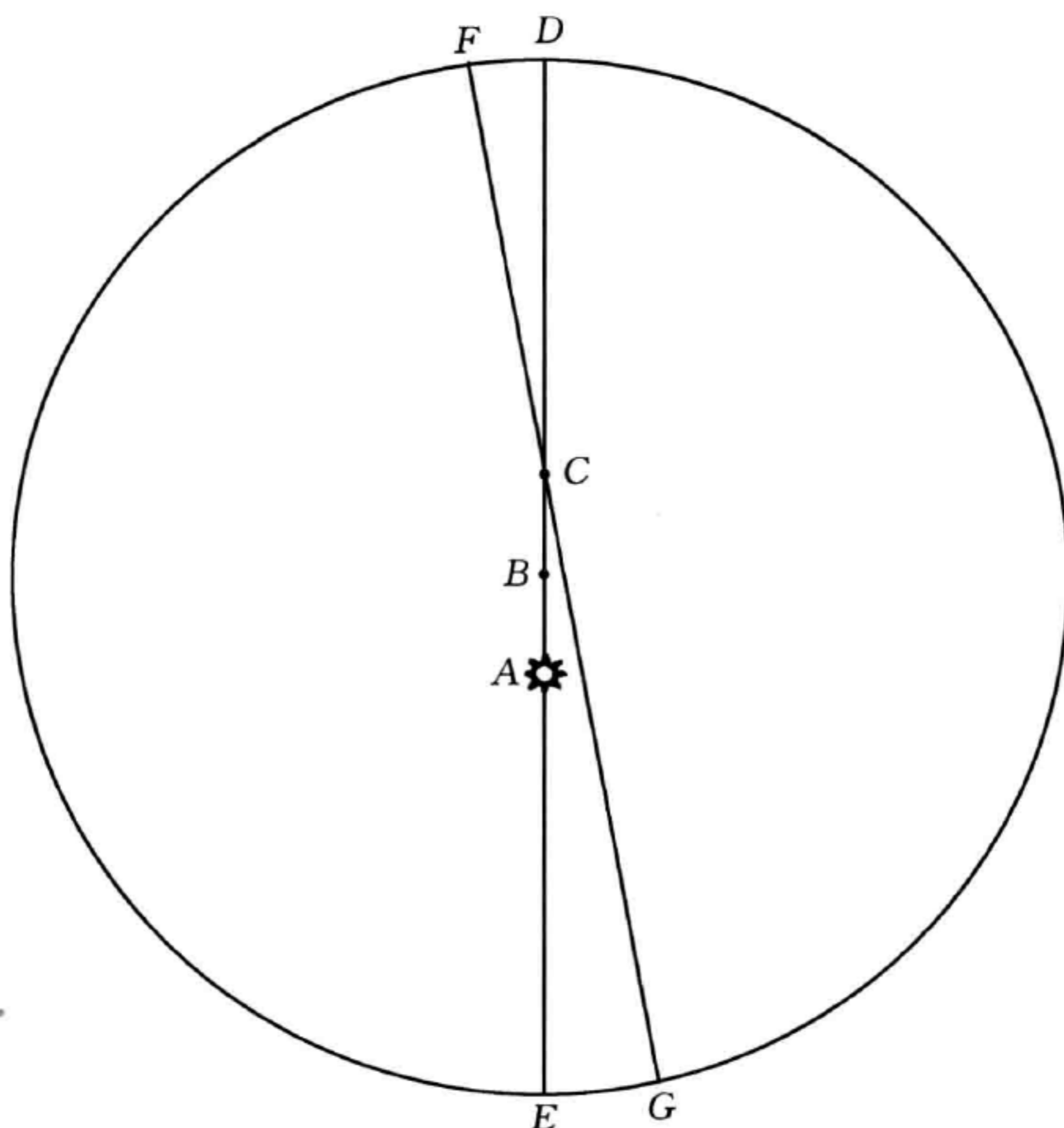
行星通过偏心轨道上相等的弧段所需的时间和行星到偏心轨道中心的距离成比例。

拗口的原因是开普勒喜欢选用时间作为他描述的变量，他称之为 *moras*，字面意义是“所耽误的时间”，而在这儿，指的是行星在指定弧段上“所需的时间”。论者以为，^②选用时间作为主要变量描述行星运动，使得以后很多论说臃肿滞拙。我们认为，这大概是对了一半：如果从当时的天文观测条件看，测量时间在技术上可能比测量行星运动所经过的角距离要便捷准确很多，所以开普勒的做法，很可能是操作性的。但在本书下文中，我们也常利用“弧段”作变量，以求顺畅。

下一步是决定性的：开普勒把参照点从偏心匀速点换成了太阳。从数学上说，这一步并不难。根据偏心匀速点的定义和偏心率的“平分”两点，开普勒得到，行星在相同的时间段中通过的弧段长与这颗行星到太阳的距离成反比，参见附图。这一推理是纯几何学的，做法也很简单，唯一值得注意的是，在推理过程中，因为假定角 FCD “很小”，开普勒采用了 $CD = CF$ ， $CE = CG$ 的近似。在没有无穷小概念的17世纪初，开普勒的做法无疑是开创性的。但是，在天文学上，真正的革命则是用太阳代替了偏心匀速点。“替代性假说”的失败表明，轨道中心应该是从太阳到偏心匀速点的连线的中点，但这仅仅是一种数学上的做法。如果开普勒做到这儿就停了下来，他不过是做了很多以往天文学家做过的，大同小异的数学模型罢了。但是，开普勒不同于以往所有人的做法在于，他说明了为什么必须这样做，即为什么这样的做法是唯一正确的，必须被排他性地接受。在开普勒看来，这只能从

① 开普勒在“提要”中的叙述，在 p. 89。

② Donahue 对第 32 章提要的注释，同上注。



开普勒用来推导“距离定律”所用的图。在图中，太阳居 A 点， B 是行星运行圆轨道的几何中心，关于这一中心和太阳 A 对称的是“偏心匀速点” C ，行星在圆轨道上相对于 C 作匀速运动。取“非常小非常小”的一个弧段 FD ，因为其“非常小”，开普勒遂假定 $CD = CF$ ，同理得 $CE = CG$ 。在三角形 CDF 和三角形 CEG 中， $DF/GE = CD/CE$ 。但从 C 点的定义，有 $AE = CD$ ， $AD = CE$ ，所以 $DF/GE = AE/AD$ ，换言之，行星运行的弧段和它到太阳的距离成反比。这简单的几何学证明在开普勒看来有深刻的物理意义，即行星受太阳驱动，而驱动力随距离衰减。对开普勒来说，这是日心图景的本质所在。本图取自《新天文学》译者做的第 32 章的补充说明，图约略相同，见 William H. Donahue, *Kepler's Astronomia Nova*, Santa Fe: Green Lion, 2008, p.53。

“物理的”或者叫做“形而上学的”层面上找答案。这就使得他有这样的信心，把没有精确数学证明的“假设”当作“普遍适用的命题”、推理的一个不言而喻的部分，并以此为基础推进他的理论。他的信心来自于“物理分析”，他警告说：^①

物理学家们！竖起你们的耳朵来！因为从这儿开始，我们就要大举入侵你们的领地了。

第33章，对日心说的确立最重要的一章，“移动行星的力的源泉蕴藏在太阳当中”，分六个方面论证日心学说。^②

开普勒从“几个被广为接受的和纯粹的物理公理”出发，首先证明“行星到偏心赖以计算的中心的距离”是行星通过相等的弧段所需时间的“实际原因”。他还是从观测出发。一个众所周知的事实是，行星在远日点移动较慢而在近日点较快。正是这一现象迫使托勒密及以后的天文学家采用了偏心圆和偏心匀速点之类的技术，从而挽救了亚里士多德对天体运行的“匀速和正圆”两个基本要求。但是值得注意的是，开普勒现在要找的，是“实际原因”而不是凑合观测现象的几何学技术。开普勒心目中的宇宙图景，是行星“在以太气中”沿偏心圆的移动，“简而言之，行星离世界的中心越远，就越不那么强烈地被驱使，迫使它绕这个中心运动……”^③开普勒和他同时代的人一样，认为必须有一个不断作用的力，行星才能维持不断的运动。不然的话，行星就会停下来，一如我们日常看见的，如果没有一个人或者一头牛的拖拽，一辆车就会慢慢停下来一样。

至于他所说的“物理公理”，在他看来，就是对任何人说来，都是易于想象和易于接受的，即不证自明的东西。开普勒把这一原理提高

① *New Astronomy*, p. 89.

② 摘要见 *New Astronomy*, pp. 89—90。除去另外加注页次的，引文均据此。

③ *Ibid.*, p. 376. 下一段引文同此。

到了“哲学”：

这是自然哲学的一个最常见和最普遍应用的公理，即同时以同样方式发生的、服从于相类似的考察的事，或者是其中之一是另一事的原因，或者两者有一个共同的原因。……因此，或者是[驱动]变弱是星体远离世界的中心的原因，或者奔离[世界的中心]是[驱动]变弱的原因，或者两者有共同的原因。但是任何人都不能想象出第三个同时发生的事来充当这两者的原因……因为这两者本身已足以[说明问题]。

我们可以想象，六十年后牛顿读到这段话时，一定会发出会心的微笑。当然，这是后话。其次，开普勒注意到，所有的行星都有这种运行速度的变化，那么，原因应该在我们所谈论的“距离”的共同的端点，即“行星系的中心”：

……就这种[越远越慢的]关系本身说来，不讨论端点，那就没有什么有影响的原因，由此可以推论，运动强度的变化的原因一定在这个或那个端点中。……必然的推论是，运动能力的源泉是在那个我们所说的世界的中心之中。

下一步，第三步，开普勒写道：^①

那么什么东西在这个“世界的中心”呢？是不是像哥白尼做计算时假定的那样，像第谷多多少少也相信的那样，那儿是什么都没有呢？或者归根到底，如同我说的，或者如同哥白尼在推理时所做的，是太阳本身占据了这一中心呢？

^① *New Astronomy*, p.378.

开普勒特意在页边上注明，“太阳是行星系的中心”。这是《新天文学》的378页。他接着写道：“从这一原则，我提出一个可能的说法，即太阳在这一点上，即在世界的中心点上，而不是在什么别的、没有物事的地方。”

越是远离太阳，行星运动越慢，是人所共知的现象，^①而这一现象所提示的，对开普勒说来，是非常明显的、但竟然至此尚未被人注意到的一个结论，即太阳显然是这种推动力的来源，因而这一推动力随距离递减。“推动行星的力常驻于太阳之中”，这就是本章的标题。“因此，[注意到]太阳作为这个体系的中心最合适，从我们至此为止的证明看，动力的源泉，宜乎在太阳之中，因为它现在占据了世界中心的地位。”^②开普勒在这儿所确立的，是日心说的排他性的正确地位，而这一确立又是建立在“物理分析”之上的：^③

物理学家想必会说，地动说支持这些由别处的推演得到的物理理论，在第谷体系中如此，在哥白尼体系中亦然。事实上，恰相反对的是，地动日不动[的观点]正是建立在这些理论之上的。

开普勒接着说：^④

根据我们已有的讨论，显而易见的是下列两个说法只有一个为真：或者是动力源于太阳，推动所有的行星，同样推动地球；或者是太阳和与之通过推动力联系在一起的行星，再通过一种源于地球的力，和地球连接在一起……我本人同意哥白尼，认为地球是一颗行星。

① Rheticus 的《初论》中讨论过这一现象，见前第二章第三节。

② *New Astronomy*, p.379.

③ *Ibid.*, p.90.

④ *Ibid.*, p.379. 下一段在 p.380.

换言之，从物理、即从力的来源上看，第谷体系显然比哥白尼的繁琐笨拙，因此是不可接受的。

但是，开普勒似乎必须说明他所说的“力”或者有时候是“力的源泉”是什么。在接下来的讨论里，开普勒最先想到的，是一种“像光一样的东西”：

让我们进一步考察蕴驻在太阳中的这种动力，让我们说明[这种力]和光的非常接近的关系……这力在发散出去时比较弱，而比较聚集时则比较强。……《天文光学》第一章^①指出这正是真实的光的情形，丝毫不差。所以，在所有的方面，在它的每一个表现中，这个从太阳来的推动力和光相合……我把这个问题留给大家，看看光是不是可能，就像它所表现出来的那样，构成这样一种工具或载体，而[太阳中的]力则加以利用。

他显然不是说光“就是”这一蕴驻在太阳里的“力”，只不过这力“借助”光起作用，而其作用方式也很像光而已。开普勒的想法比神秘的宇宙还要神秘，他接着说：^②

这力从其源头传出，在传播中没有丧失任何东西，没有东西在出发的源头和移动的物体之间散落开来。这种喷射，和光的行为方式一样，是非物质的，不像气味，伴有物质的变稀变少，也不像从一个火热的炉子里发出的热，或者像别的任何类似的东西，充斥[源和运动体]之间的空间。剩下的可能性是，就如同光，照亮整个地球，是一种非物质的“像”……

^① 指氏著 *Astronomiae pars optica*，他说的这一段是该书的第一章命题 9，书名从陈方正，见氏著 548 页。

^② *New Astronomy*, pp. 381—382.

“像”的原文是 species，如何把开普勒的原意表达出来，颇费斟酌。英译者^①对此作了深入的考察，认为最原始的意义是“表现出来的看得见的映像，”并援引其希腊语词源说是“形象”或“形式”的意思。《宇宙的秘密》中，这个字被译作“弥漫”。细看开普勒的意思，是指太阳本体的一种性质，一种能力，而不是一种自在自为的实体。

做科学史的人常常有一种愿望，想把他们所处理的历史过程“讲清楚”，因为科学作为我们对于自然的最精密的理解和描述，它的优美正是在其水晶般清澈的陈述中流淌出来的。但是，科学史和科学的差别是，前者更注重历史过程的追寻。走向逻辑上严密自洽的，表述上清晰准确的最后结果的过程则常常充满陈述上的矛盾、用语上的含混，因此概念最初出现时，甚至最重要的概念在最初出现时，常晦涩模糊。而这种闪烁模糊的影子，在科学发展的关键点，在科学家创造力发挥到极致的时候，常常表现为科学生长的最富活力的创造。新概念常常不能用合适的语词表现出来，但是它们必须被表达出来；科学思想发展的最精深微妙的部分常常不能被逐点地追寻，但是科学史的任务恰恰是追寻这种发展，并且尽可能地按原来的模样表现出来。

我们可以清楚地看见开普勒在他的“天文学的第一本现代著作”^②中谈论力的时候所遭遇的困难。的确，不仅是开普勒，我们还要看见，二十年以后伽利略、八十年后牛顿，仍然会在这个概念上纠缠，直到四百年后的今天。当然，这是后话。在开普勒写《新天文学》的时候，他猜想，^③

……这种非物质的、蕴驻在太阳体内的火的像，承载裹挟行星

① 见 Donahue 为他的译文写的说明，*New Astronomy*, p. 23f. 他的繁征博引恕不一一列出，以免枝蔓。

② Caspar 语，见氏著 139 页。

③ *New Astronomy*, p. 382. 下一引文同此。

体,是藏于太阳自身的非物质的像,具有不可估量的力量,是宇宙中每一运动的原始成分。……恰如光,在源和可移动的物事之间,它是发展变化的东西,而不是单纯的存在。

最后一句他是说,不是 being 而是 becoming。够玄的。开普勒进一步指出,和光一样,这力的像在作用时,有时是瞬时的,如光照亮物体,有时候则要作用一段时间,如光使颜色褪去,使冷的东西变热,因为是光改变了物质。“和光的作用一模一样,这种移动物体的力,从太阳到无论什么有合适的、可移动的物体的地方,从不显示任何的[时间]间隔,因为这力传到那儿,并不从可移动的物体那儿得到任何东西……”

在确定了“动力的像”以后,开普勒还要对它的“更深的本质”进一步的说明。他认为,^①

因为这可能可以显示隐藏在太阳本体内有一种神性,可以和我们的灵魂相比,由此流出驱动行星的像,就像从某人的灵魂中抛出一块鹅卵石,运动的像就深藏在他所掷出的鹅卵石里,即使是抛掷者的手已经离开了鹅卵石。

从这个意义上说,开普勒说他所谈的“像”更类似于磁力,他写道,“太阳是一块大磁体”。他注意到,太阳所驱动的行星都作圆周运动,于是“承载行星的力也是依这一路径传输的,”因为别的方式“既不会发生也无法想象”。这种驱动行星的力是一种大涡旋。我们可以想象,四十年后笛卡儿读到这段话时,一定会发出会心的微笑。当然,这是后话。从这种作涡旋方式运动的力再下一步,开普勒说:“我有很好的理由得出一个结论……太阳也有自转。”

^① *New Astronomy*, p.385.

如果说开普勒的推理方式让我们感到莫名其妙，他关于太阳也有自转的结论可是非常天才的猜想。在他写下这一“结论”时，伽利略还没有观测到太阳的自转，开普勒的“结论”纯粹是一个猜想。一年以后，当伽利略宣布了他的黑子观测以及由此得出的太阳自转的推论时，^①开普勒有理由感到，他的理论被“证实”了。那么太阳到底是怎么回事儿呢？开普勒说，根据进一步的类比，太阳像是一块磁铁。他分五个方面论证了他的说法。

首先，磁石吸铁也是和距离有关的，离磁石越近，作用力越大，驱动行星的力正是有完全相同的作用方式。如果把一小铁片置于磁铁的两极之间，磁铁不会吸引它，只不过把它移动到和磁铁平行的方向。所以太阳吸引行星的力，是一种引导的力，指向相同的方向。再次，因为太阳不停地自转，它发出了力就推动行星绕行，就像转动磁铁推动铁片绕行一样。开普勒引用了“英国人吉尔伯特”，^②说明地球是块大磁铁，而太阳和地球又有很多相似之处，所以上面的说法就更令人信服了。我们注意到，当开普勒谈论吉尔伯特时，后者的书才刚刚出版七八年。但就这七八年的研究，就使得开普勒有信心宣称，“太阳是块磁体，并且自转”，^③这可够令人吃惊的。

开普勒的推理至此可以简化如下：为了计算火星的轨道，他选用了四个第谷的观测，并得出了轨道的中心不在太阳到偏心匀速点的当中。这一结论有一些很好的观测支持，但是用另一些观测复验时发生了大约8'的误差。他重新回到“托勒密假设”即行星运行是沿圆轨道，而且轨道的中心平分太阳和偏心匀速点的连线，这就得出了所谓的距离定律，即行星运行的速度和它到太阳的距离成反比。他把这一结果推广到了轨道上任何一点上，理由是他对于行星运行的“天界物理学”的，或者

^① 伽利略《两大世界体系》，前引周熙良译本，32页及以下。

^② William Gilbert, *De magnetibus*, London, 1660, Eng. tr. P. Fleury Mottelay, New York: Wiley 1893, rpr. Dover, 1958. 开普勒在 p. 390 提到他。

^③ *New Astronomy*, ch. 34, 开普勒问道：“太阳是个什么样的物体？”论述见 pp. 390—391。

是形而上学的分析。他进而讨论了推动行星在“以太气”中的运动，找到了推动这一运动的力，他说这是从太阳来的一种“像”。最后他说明这种推动力很像是磁力。

开普勒的出发点，圆轨道，偏心匀速点，他推广的距离定律，他假定的为维持行星运动所必须的力，行星得以悬在空中的以太气，以及他对这个“力”的本质的种种揣想，全是错的。我们只能以惊讶和赞赏的心情来读开普勒，来品味他最初提出的问题：错误的假定怎么能导向正确的结果呢？我们看到，时时纠正开普勒的，是他的物理直觉，这正是他不同于托勒密、哥白尼也不同于第谷的地方，而这种物理直觉始终为观测所引导制约。开普勒的突出点是，在数学推演中，物理意义始终是指引前进方向的标志。另一方面，支持他不断探求的，是他对于规律的信念：他坚信宇宙是有规律的，而且这个规律是可以为人所认识的。如果我们要谈论科学中的创造性思维，非开普勒莫属。的确，开普勒的种种猜想都是错的，但他所有的错误，都指向正确的方向。后世从他的工作中所看见的，不是错误，而是从错误走向正确的努力。他的工作，启发了下一代甚至几代的研究：他采信不疑的行星运动的“涡旋”和“以太气”图景之于笛卡儿的机械论，他引进的“力”的概念之于半个世纪以后的力学，他反复采用的不完全归纳方法之于牛顿的“推理法则”，他在数学上把小角度的夹边看作等长的做法之于微积分，他以理性统帅观测事实的理念之于康德的认识论，都是显例。而最富先驱意义的，是他力图把物理研究和数学结合起来的做法，其实际结果是后来使他永垂不朽的“行星运动三定律”。虽然我们行将看到，这些定律并不是严格的数学推导的结果，或者是对经验现象的数学分析，——这和伽利略的工作有明显的不同，但是这种努力，就像上面我们提到的种种概念种种尝试一样，具有强烈的启发意义，在这个意义上，开普勒说对了：新天文学确实是在他的手里诞生了。

第六节 新天文学：行星运动的规律

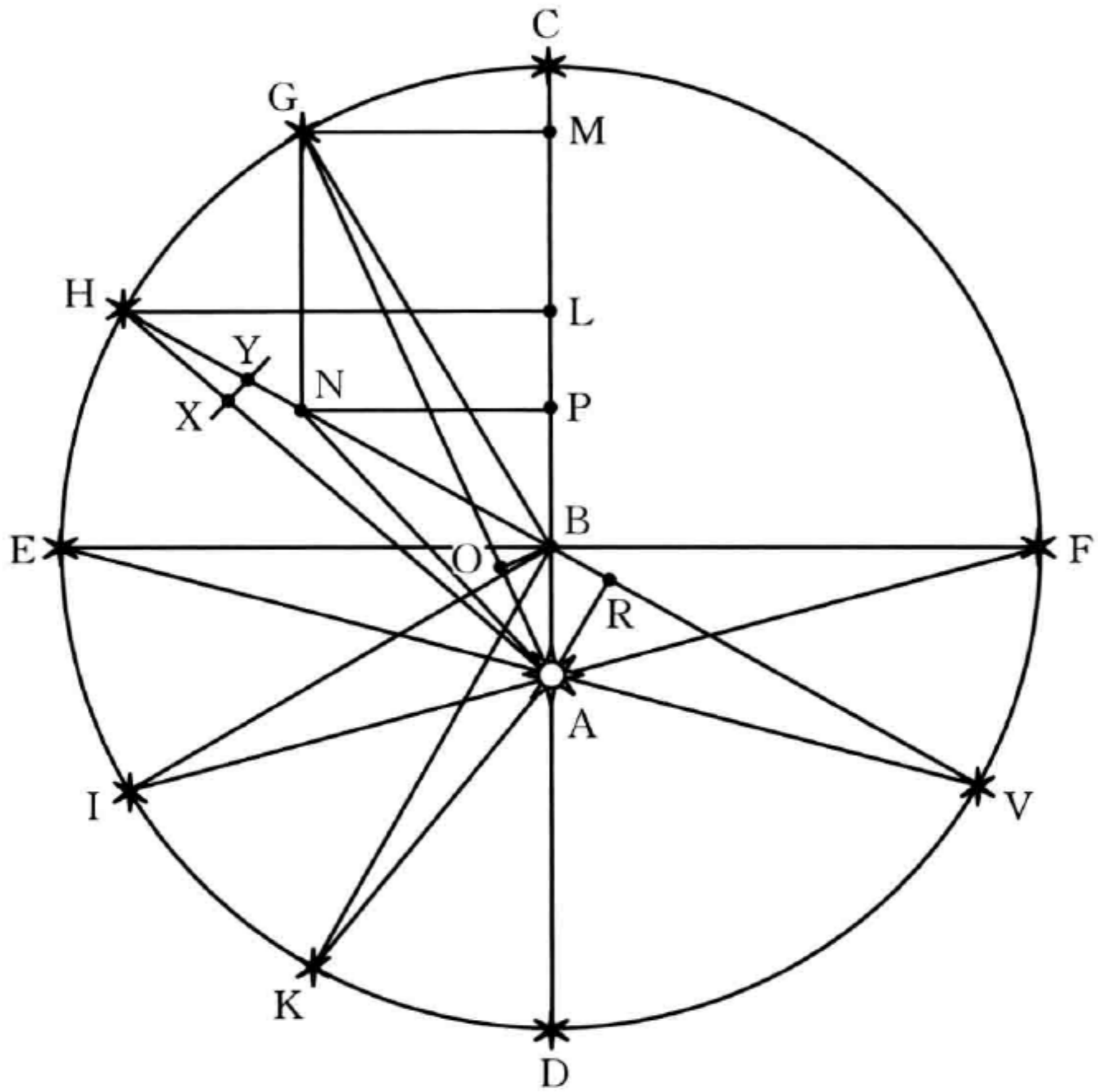
我们耳熟能详的开普勒行星定律是新天文学的一个副产品。开普勒首先把在第32章里得到的距离定律扩充到没有偏心匀速点的一般情形中去，在他看来，偏心匀速点只不过是托勒密的一个不合适的几何学表述，而托勒密没有抓住的要害，恰是他的以物理解释为基础的“驱动力”概念。在综合考察整个画面时，开氏认为托勒密和他以后的天文学家谈论的，是“现象”；而他，则要从物理学，即行星运行的“原因”层面上，对此重新解释。对他理解最深的传记作家特别强调说，“太阳是动力蕴驻的地方。这就是从现在起，在他的探究中、并最后引导他发现他的定律的新的伟大的指导思想……”^①在这儿，开普勒再一次表现了他对“物理解释”的追求，而这种追求，直接指向这一信念。事实上，我们还记得，距离定律的提出，在几何上依赖偏心匀速点的“等角速度”定义，而把偏心匀速点换成太阳，同样依赖于太阳和该点关于轨道中心的对称——开普勒是通过“替代性假说”的失败认识到“平分”的。他仍旧从圆轨道开始，尽管他说采用圆轨道是一个“错误”，但是他又说，在考虑和正圆相差不大的轨道时，差别应该是“感觉不到的”。^②他的出发点是：

因此，行星在偏心圆上通过相等弧段的时间和它们各自[距太阳]的距离成比例，又因为在整个半圆上各个不同的点具有各自不同的距离，想要发现如何求得各个距离之和绝非易事，而这正是我给我自己定下的任务。

^① Caspar, p. 129.

^② *New Astronomy*, ch. 40, p. 417, 下引文 pp. 417—418。

第四章 开普勒在追寻行星运动的物理原因中发现了行星运动的规律



选自《新天文学》，第40章，前引译本419页。

开普勒在这儿遭遇到的，他也模糊地认识到的，是处理一个连续变量的问题。行星到太阳的距离，从远日点起，从大到小连续地变化，到近日点，再重新开始一个新的周期。在17世纪初年，不仅微积分，甚至函数的概念尚未出现，但是开普勒对一一对应的概念显然已经有了相当的认识。在数学史上，他下面的做法常被称作是函数概念的最初的最朦胧的表述。^①开普勒在数学上的直觉，如同他在物理学上的直觉一样，常令人吃惊，常指向正确的方向。他的想法是，既然偏心圆上的每一段有一个对应的、数值确定的距离，那么就可以把这些距离逐个算出来：

我因此开始把整个偏心圆划分为360个部分，就好像这些就是最小的组成部分那样，并假定在这一个小部分中，距离不再变化。然后我用29章的办法，求出在每个部分开头的地方的距离，然后把它们都加起来。……结果，当我[的划分]使得距离之和与时间之和成比例时，任何给定的距离也和它[对应]的时间成比例。

开普勒说，计算是“机械的和枯燥的”，这可以想象；这一做法意义深远，这不容易想象。上文的“结果”，实际上是完成了对“任何给定距离”的分析。没有微分概念，没有无穷小概念，但是开普勒显然依旧模糊地认识到，他可以做到“很小很小”，以至于可以放心地认为这在数学上是成立了。下一步，开普勒说他模仿阿基米德求圆周率的办法，^②“把圆分割为无限个三角形”。很容易证明，整个半圆的面积和半圆[弧长]之比等于扇形和它所对的弧长之比，即半圆CED和弧CED之比等于扇形CBG和弧CG之比，见附图，这种几何学的证明当然不可能有错。但是在开普勒天文学中，太阳并不在圆心即轨道的中

^① 克莱因：《古今数学思想》，张理京等译，上海科学技术出版社1979年版，第一册，第十二章，第5节，第281—285页，简要地介绍了开普勒在数学方面的工作。

^② 阿基米德的做法在Measurement of a circle中，定理1，参见T. L. Heath英译*The Works of Archimedes with the Method of Archimedes*, Cambridge, 1912, pp.91—93。

心处，而在离此不远的一个“偏心点”上，开普勒写道：^①

进一步，就像从 B 点[圆心点]到圆周上的无穷多的部分所引的直线都包含在半圆 CDE 的面积之中，从 B 点到 CH 弧上的无穷多的部分所引的直线也都包含在[扇形]CBH 的面积之中，所以，从 A 点[太阳所在的偏心点]到圆周上的或弧上的、相同的、无穷多的部分的直线也是一样。

怎么会是“也是一样”？两者相差一个面积，这个面积是偏近点角，即所论弧段对圆心所张的角的函数。而且，阿基米德在这儿也用不上，因为阿氏计算面积时用的是圆心，他用来计算的高即圆的半径并不变化。但是，如果留意这儿的面积差是一个以偏心率 e 为底、以这弧所张的角的正弦为高的三角形，那么其面积最大值也不过是 $1/2e$ ，而 e 本身的数值又非常小，所以这个差值之于与之相关的扇形的面积而言，的确很小，结果也就应该如开普勒所说，“也是一样”。正如戴克斯特霍伊斯所调侃的那样，这儿用的是“一种典型的开普勒式的推理，虽然在数学上站不住脚，”^②但仍然可以推进；而我们再一次看见的，不是“数学上站不住脚”，而是开普勒的物理直觉。于是他得到，可以用扇形的面积作为计算时间的指标，相同的面积对应相同的时间；或者说，从太阳到行星的矢径在相同的时间里扫过相同的面积。这一结论后来被称为行星运动的第二定律。

下面，《新天文学》转入一个新的题目，是为第四编。略做准备以后，开普勒转向了火星的轨道形状。他告诉我们，至此采用的圆轨道的假设其实是不对的，“行星穿越以太气的途径不是圆”，而是一种

^① *New Astronomy*, ch. 40, p. 419.

^② 前引戴克斯特霍伊斯：《世界图景的机械化》，第 343 页。戴氏同时用现代读者习惯的叙述对开普勒的做法作了清楚的介绍，留意戴氏为表示清楚起见，图中的 e 都放大了。

卵形的线路：①

首先……正圆必然是说[行星到太阳]有一定的距离，这一圆的半径由前面 42 章算出。但是前面第 41 章中再次提到的观测数据要求不同的数值，即在圆周的侧面要小一点。卵形的形状正合这样的距离，所以，轨道是卵形的。

开普勒用的是相当麻烦的方法，特别是他常用的“凑”的方法。他选用了火星在金牛座 $14^{\circ}21'7''$ 的位置，远日点在狮子座 $28^{\circ}41'40''$ ，用他在前几章里发展起来的计算方法算出与之相应的半径是 148 539；另外两个观测位置的黄经是室女座 $8^{\circ}19'4''$ 和天秤座 $5^{\circ}24'21''$ ，与之相应的半径的计算值是 166 605 和 163 883。和第谷的观测值对比，误差分别是 789，783 和 350。这个误差不能算大。但是，这是第谷的观测值，这是开普勒的理论值，它们都不可能错，它们都不应该有错——在观测数据即经验事实和开普勒早就认定的宇宙和谐的假定即先验的原则夹击之下，开普勒不断地调整他的方向。正如他很早就坚信不疑的，“先验的推想决不能和经验的事实相冲突”，②这就给出了开普勒下一步探讨的基点：③

任何人如果想把这一差值归于观测时的一个小疏忽，那他显然没有感到也没有注意到本书的论证从开头起一直到现在所表现出的力量，而且还毫无脸面地想把我也拖进滥改第谷的观测数据的最卑劣的错误中去。

第谷的观测是不可怀疑的，不可改动的，不可讨论的；如果有不

① *New Astronomy*, ch.44, 引文见提要, p.95.

② 1600 年 7 月 12 日给 Hans Georg Herwart 的信, *Gesammelte Werke*, v.14, p.128. 这封信非常有名, Koestler, p.304, Caspar, p.127, Baumgardt, p.61 均有引用。

③ *New Astronomy*, ch.44, p.452.

合，那么必定是什么地方出了错。重新检查了计算，开普勒发现，误差大的金牛座观测，距远日点 $104^{\circ}20'33''$ ，其次是天秤座， $36^{\circ}42'41''$ ，其次是室女座， $9^{\circ}37'24''$ 。也就是说，在“圆轨道”的“侧面”，即远离近日点和远日点的方向上，实际的距离较之计算值要小：^①

你可以看出，行星在两边向圆轨道里面移动了。……显然，行星的轨道不是一个圆，而是在两边渐渐向里[收缩]然后到近日点又重新回到了圆的半径。一般人习惯上把这种路径叫做“卵形”。

这就是结论。怎么会的呢？要知道，走到这一步，就放弃了圆轨道，而圆轨道是亚里士多德和托勒密所定下的，直至到开普勒他自己为止的所有的天文学家从来没有质疑过的。在当时和稍后的天文学家看来，放弃圆形轨道所带来的问题，远远多于引进这一做法所能解决的问题。无怪乎早于开普勒像哥白尼、第谷这样的人、晚于开普勒像伽利略这样的人都明白拒绝了开普勒。^②但是，引导开普勒向前走的，是“非常可靠的观测”，^③更是他的理性，正如他自己说的，“我以我自己的智慧判断每一件事。”^④既然观测和计算都指向卵形轨道，那么开普勒要找出的，不是一个事后的物理解释，而是一个先于现象的物理原因。天体运行所表现的非圆周轨道，至此一直是用圆形的本轮均轮的叠加描述的，而现在，既然放弃了本轮-均轮的运动模式，开普勒要的是，一个物理的原因。这是他想了很久的、深深为之吸引但不敢相信的东西，现在摆在他的面前了：^⑤

① *New Astronomy*, p. 453.

② 1612年7月21日一个叫 Frederico Cesi 的人在给伽利略的信中谈到开普勒的椭圆定律，伽利略未予回应，信在 Galileo, *Opere*, v. 11, pp. 365—367。参见 Erwin Panofsky, *Galileo as a Critic of the Arts*, The Hague: Nijhoff, 1954, pp. 24—25。这本书引起了相当的讨论，均在 *Isis* 第 47 卷，1956。同见 Caspar, p. 125。

③ *New Astronomy*, p. 547.

④ *Ibid.*, p. 95.

⑤ *Ibid.*, p. 455.

我在第 39 章很努力地研究过这个题目。……在那一章里，我把偏心圆[运动]的原因归于行星体中的某种动力。于是这种偏离偏心轨道的原因也应该归于同一个行星体。但是，那时，正像大家说的，我应了“快工出不了好活儿”的说法，在 39 章，我很努力地研究为什么我做不出一一种说明行星运行是造成正圆轨道的象样的理由……现在，看到观测表明行星的轨道确实不是正圆，我立即为这个有强大说服力的理由所折服……

他认为，太阳发出驱动力，随时间和距离变化，而行星本身也对运动的方位，即距太阳的距离时时作出调整。这种二元的星际之间力的相互作用的图景，是开普勒长年沉思的结果。早在《宇宙的秘密》中，他就提出太阳和行星对它们的运动都有贡献的猜想：^①

假定整个宇宙有一种精神充斥，连同它所及的所有的星星和彗星，连同它们到太阳的距离和它们的力量。其次，假定在各个行星里有一种特别的精神，由这一精神的推动，星星在轨道上提升，甚至在没有天球的时候，也会发生相同的结果。

这一段很难理解，也很难翻译，一方面因为开氏的想法离我们太远了，另一方面是，“精神”这种隐秘科学意味很强的词，很快就消失在稍后的科学用语中。开普勒自己也注意到了这一点，在 1621 年的再版注里，他写道：^②

倘若用“力”这个词取代“精神”，我们就得到了“火星评注”中天

^① *Mysterium cosmographicum*, *op. cit.*, p.219.

^② *Ibid.*, 译文参照了张卜天译《世界图景的机械化》，前引 337 页，为和本书保持前文一致，个别字有改动。另外，*anima* 一词依英译 *spirit* 改用“精神”，未必一定更好，但我想避免因使用“灵魂”一词而坐实一个精神实体的存在。又，如前所注，“火星评注”实指《新天文学》。

界物理学所赖以建立的原理。

从这种物理的或力的考虑出发，开普勒假定：^①

行星因其内在的力的作用摹写出一个完美的本轮，在相等的的时间里穿越相等的部分。但是同是这颗行星，又被一个从太阳来的外力拖行，在相等的的时间里扫过不等的弧段，像我们上面看到的那样。因此就出现了这样的情形：由这两个原因[的共同作用]使得轨道或者叫路径变成了卵形。

一个是“内在的力”，一个是“从太阳来的外力”，它们的联合作用确定了轨道的形状。如果我们从牛顿六十年后的工作“倒过来”看开普勒，这直是提示了行星运动中表现为离心力的惯性力和表现为向心力的、“从太阳来的”引力的平衡，而这一平衡构造了轨道的形状。当然，这是后话。为了描述这种卵形轨道，开普勒引进了类似托勒密的小本轮，很容易看到，适当地选用小本轮的半径，叠加在正圆轨道上的小本轮可以画出“两侧”凹陷的卵形，取得和观测数据一致的结果。粗看起来，这是又回到了托勒密的本轮-均轮模型，但值得注意的是，现在开普勒所做的，不是为了凑合现象而发明出来的数学模型，而是通过对力的作用的分析得出的、物理的运动机制。开普勒在作这一分析的时候，曾经谈到他对假说的看法：^②

你以为我先是想象一些赏心悦目的假说，再以完善它们自娱自乐，只是在后来才用观测资料来检查这些假说。你是大错特错了。其实，在根据观测建立一个假说并给它以合适的基础以后，我常感到

① *New Astronomy*, pp.95—96.

② 1603年7月4日给 David Fabricius 的信，在前引 Baumgardt, pp.72—73。

非常想知道两者之间是不是有某种自然的令人愉快的联系，而从来不在事先作任何判断。

开普勒听上去很有信心。但是现在下一步的问题是，要具体算出卵形轨道上的行星在各个时刻以及每一个时刻距太阳的距离，这可是个难题。他试了不少计算方法，即使以开普勒的数学才能，好像也没有什么突破，^①于是他改用数学上比较可控的椭圆。椭圆和卵形轨道非常接近，开普勒叫它作“辅助椭圆”，并着手计算火星在这样的轨道上和太阳的距离。

在研究行星运动时，正如开普勒自己所明白宣称的，^②他总是同时注意距离和星的视角，相关的计算也常建立在两个方向上，而不论在计算中遭遇多大的困难，他所坚信的，是面积定律。对于开普勒说来，这是有物理意义的结论，因此必然是有效的。他现在要做的，是利用面积定律验证辅助椭圆。计算显示，较之圆形轨道，在圆周的八分点附近，辅助椭圆正好出现了完全相反的偏差：对于圆轨道来说是大了 $8'21''$ 的位置，在辅助椭圆是小了 $8'$ ，在数值上几乎相等而符号相反。换言之，辅助椭圆比圆轨道又嫌“太窄”了一些。正如开普勒后来总结说，两个尝试“一个因为[和观测值比较]有余而被证明为错，一个因为不足而失败”，^③开普勒后来对当时的情形作了如下清晰的说明：^④

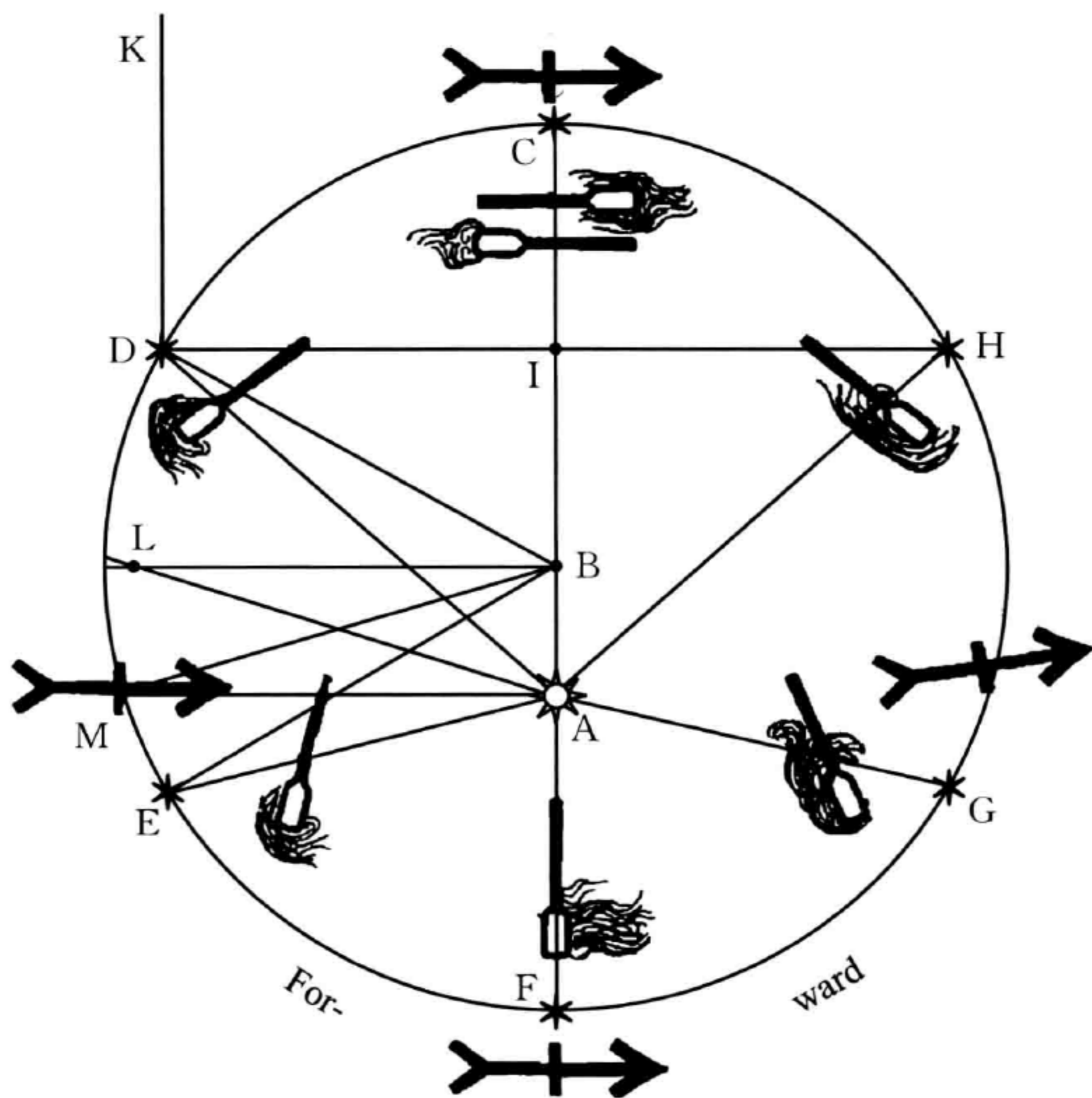
我的思路大略表现在第 49, 50 和 56 章中。43 章的圆轨道错在过度，而 45 章的椭圆轨道错在不足。而前者超出的部分和后者不足的部分相等。但是，在圆和椭圆之间居中的图形应该是另一个椭圆。

① 他一一列举了这些尝试，见 46 章。

② 1604 年 12 月 14 日给梅斯特林的信，前引 *Gesammelte Werke*, v.15, p.72. 这封信为论者留意，见 Curtis Wilson, *Isis*, 59(1968) 21. “视角”云云原文是 *eccentric equation*，大概是对于处于偏心地位的地球所作的星像方位的修正的统称。姑作此译，以俟识者。

③ *New Astronomy*, p.76.

④ *Ibid.*, p.575.



选自《新天文学》第 57 章，前引译本 549 页。开普勒在这儿谈论的是“一条圆形的河 CDB, FGH, 其中有一个水手”，用完全均匀的力，把他的桨拨来拨去。“在 C 点，他让桨的方向和到太阳的连线成直角”，而在若干拐弯处又把桨放在不同的方向上。到了 F 点，又让桨的方向指向太阳。这样，在 DE 的水流就把船推向 A，而在 C 点就几乎没有推力，因为桨简直没有什么倾斜。在 F 点的情形几乎一样，因为这时水流直接冲击船桨。这种推理在今天看来有些匪夷所思，但是确实帮助了开普勒形象地考察了行星运动的机制。

因此，椭圆是行星的路径，而从半圆形上割除的新月形的宽度应是原来的一半，即 429。

这种利用距离的重新考察，其过程几近神奇：他注意到，火星对于圆轨道的中心和太阳张的角，即“视差”，^①其极大值是 $5^{\circ}18'$ ，对应的正割值是 1.004 29。这就是上文中“即 429”的来历。他按这个比例在正圆和辅助椭圆之间选用了另一个椭圆，并以此再用面积定律作了检验，发现符合很好，系统误差几乎接近于零。^②

正如我们一直力图强调的，引导开普勒思考的，首先是他对于行星运动的物理的考量。接下来，第 57 章，长达 25 页，开普勒反反复复，力图描绘行星运动的图景，说明行星运动的物理原因很可能就是磁力，使得这一章成为全书最长的段落之一。^③开普勒先举了一个“船夫”和“河流”的例子^④来说明这种从太阳外来的和行星自己的力的相互作用，这是他心爱的比喻，最先见于第 38 章。他设想了一条逆时针方向流动的环形的河流，太阳在偏离环形中心的某一点。在河上各点，船夫用不同的方式摆弄船桨。在相当于远日点的地方，船夫把桨平放，结果河水把船推向环形河流中心的力很小，而在另外一些“河流下行”的地方，船夫把桨置于一个位置，使得向中心的推力大得多。换言之，船在河流的不同地方，可以受不同的力。但是，这个例子的缺陷是显而易见的；开普勒马上补充说，“河水的例子是物质的力，河水通过它的重量和实在的冲力作用[在船上]，而太阳的力是非物质的，”而

① “optical equation”，即行星对于地球和圆轨道中心所张的圆周角。从张译戴克斯特霍伊斯的《世界图景的机械化》的用词，见是书 347 页，但请注意这全不同于通常所说的 parallax。

② 前引戴著对此有一个“简化的”（348 页）、用现代数学符号表述的介绍，见张译本，346—350 页；一个更接近开普勒原来论证路线的复述见 Curtis Wilson, *Isis*, 59 (1968) 4—25；另外王国强的专著《新天文学的诞生》，中国科学技术出版社 2011 年版，对轨道形状以及相关定律技术细节有非常细致的讨论，此处遂不再赘述，以免续貂之讥。

③ 这是指 Donahue 英译本，全书约略 690 页；Heidelberg: G. Voegelinus, 1609 版是 14 页，全书 337 页。

④ *New Astronomy*, p. 549f.

吉尔伯特在四五年前刚刚讨论过的磁力似乎恰恰提示了“非物质”的特点，他于是转而谈磁力。注意，上面河水船夫云云当然是一种类比，但这儿的磁力不再是——这正是开普勒所要说明的，这是实实在在的物理图景：^①

河流和桨有相同的性质。河流是太阳中的磁力的非物质的像。试想船桨也从“磁”中借用一些什么[来说明问题]如何？对于地球来说，(按哥白尼的说法就是一颗行星)，这是不成问题的，吉尔伯特已经证明了这一点。

开普勒注意到，地球有两极，这两极分别为太阳所吸引或排斥，这就造成了地轴的倾斜，进而四季。所以，“我们就可以把保持地磁轴处于平行位置、不使它时时指向太阳的力从一种灵性的工作转而诉诸一种自然的作用，尽管我们稍早前还把一切都归于灵性”。^②但是问题马上出现了，如果是自然的话，那么其作用怎么会不断改变呢，怎么会在某些点作用力大些，在另外一些点作用力小一些呢？开普勒从当时所了解的磁力的作用方式，认为这儿显然牵涉到两个力的作用，而这一点，似乎是很容易理解的：

一片铁皮或一支航海用的指南针指向[地球的]一极，而如果用小片铁皮从侧面接近它，指南针通常会偏离地极而偏向铁片，好像有某种偏爱……

这就说明了“两个力”的作用。他认为这是“顺理成章的”。进一步的“最优美的几何学证明，磁力有我们在行星中感觉到的运动”，

① *New Astronomy*, pp. 550f.

② *Ibid.*, pp. 553f. 下一段引文同此。

尽管开普勒对于“细节”的机制仍存疑虑。在下两章，尤其是59章中，开普勒最后总结了他的成果：“火星的轨道是一个完美的椭圆，此一椭圆的面积是椭圆圆周上的点的距离之和。”^①椭圆轨道后来被称作开普勒第一定律，尽管从历史上说，第二定律早于第一定律，但是在逻辑上，自然是椭圆轨道在先，然后才可以谈行星运动的规律。通观全书，对这两个定律，开普勒都没有作完整的无歧义的表述，而对于我们这些受现代科学教育的人来说，这种表述似乎必不可少。但是，开普勒不是在写教科书，他是在探索宇宙的秘密；这种探索的目标不是行星的运动规律，而是隐藏在其身后的物理原因，这一解释直接提示了上帝的大智和大能。第60章，开普勒把理论结果用于实际的观测之中，“一种求视角的方法确立了”。

这是怎样的艰苦奋斗啊！开普勒的充满个性的写作风格、现存的草稿和大量通信使得科学史家有可能细致地追寻他的创作过程。^②《新天文学》的第一部分可能在见到第谷之前就已写完，或者至少是大致写完了。面积定律完成于1602年，卵形轨道到辅助椭圆耗费了整个1604年；是年年底，在极度的忧郁中，开普勒认为他不可能写完整部著作了，想把他已经完成的手稿送交图宾根大学收藏，以俟晓者。但他最后终于走出了这种情绪上的低谷，重新开始工作。1605年早些时候，他完成了椭圆轨道。1605年夏天，新天文学诞生了。^③

开普勒现在回到了人世间，他想出版他的书。他现在必须和王公贵族如鲁道夫二世和他的官僚机器，还有第谷的亲属如田纳吉尔之辈打交道。这不见得比和火星打交道容易。第谷的这位助手兼女婿在政治

^① *New Astronomy*, p. 577, 这是本章的标题中的一句，下文见同书 p. 105。“视角”，*equation*，约略是指和上文“视差”相关的一个角，其精确定义对于这儿的叙述关系不大，因此从略，以免枝蔓。

^② Caspar 说，p. 124，“现存的史料提供了所有我们所需要的东西。”对于《新天文学》而言确实如此，但对后来的《世界的和谐》，恐怕不尽然。

^③ 时间表从 Caspar, p. 139. 但开普勒在1607年10月4日给 Johann Georg Brengger 的信里确实说过他“刚刚完成对火星运动的研究……”并请 Brengger 原谅他没有及时复信，见 Baumgardt, *op. cit.*, p. 75. 那么《新天文学》的完成至早应该不会早于1607年夏天，但这当然也可能是开普勒为社交的原因所作的一个托辞，志此备考。

上很聪明，在宫廷里颇是游走自如；在金钱上很精明，决心把第谷的仪器和资料卖给鲁道夫皇帝，索价两万，恰是第谷最初付给开普勒的年薪的100倍；而给开普勒开出的出版条件是，开普勒的书必须晚于他负责整理的第谷星表的出版。^①但是，这位仁兄什么都高明就是天文学不高明，星表进展缓慢。拖到1609年，他终于和开普勒达成妥协，^②《新天文学》出版，比新天文学的诞生晚了四年。

不过这些年开普勒也没有闲着，事实上，开普勒一直表现出同时进行多项事务，甚至是多项研究的奇特的才能。在对火星的研究进行得最紧张的1603—1604年，他还作了不少光学实验，发展了关于视觉的理论。^③1607年5月29日，他在屋顶的隙缝所造成的太阳圆面的影像中看见两个“小块”，当时的观测条件不太好，太阳很快被云遮住，开普勒在后来的著作中提到这一经验，并解释说这些影像看上去好像是水星掠过太阳圆面，而没有意识到他自己可能是第一个观察到太阳黑子的人。^④

开普勒发现的行星运动的定律奠定了以后天文学的发展，成为我们最终理解天体运动的出发点和基石。这一辉煌往往使我们过多地注意开普勒工作在技术层面的意义。对于开普勒来说，他面对的始终是整个宇宙，他所孜孜不舍的，是宇宙的秘密。只有在这个层面上，我们才能对他的工作做准确的解说，才能深刻地理解他对于天体运动的物理原因的追寻。他没有找到这个原因，但是他确实指出了正确的方向。正是这一点，使得开普勒成为人类理解宇宙秘密的伟大进程中的一个转折点，也足以使他和哥白尼、牛顿比肩而立而不稍逊色。开普勒1610

① Caspar, pp. 139—142.

② 细节见，例如，Ferguson, *op. cit.*, pp. 292—293.

③ 参见，例如，David C. Lindberg, *Theories of vision from al-Kindi to Kepler*, Chicago: University of Chicago Press, 1976。开普勒在光学和视觉理论方面的工作在科学史上有其独立的地位。本书为主题所限，自然只能割爱了。

④ 开普勒的报告是 *Phaenomenon singular*, 1609，但好像没有独立成书。伽利略发表了关于太阳黑子的报告后，梅斯特林指出开普勒看见的可能就是太阳黑子，后者也在1617年的《星表》中提及。参见，例如，O. Gingerich 所撰 *DSB* 本传，下同。

年的一篇文章^①使我们更多地了解了你对占星术的看法，——或者更准确地说，对我们了解你对探索宇宙秘密的看法有特别重要的意义。他认为，占星术可以是一种“巫师玩的猴戏”，但是，也不能因为其中确实包含了迷信，“就把孩子和洗澡水一起倒掉”。“没有人应该由此就不相信[占星术]。有用的和圣洁的东西也可能来自占星师的愚蠢和渎神，肮脏的稀泥里也有蜗牛、牡蛎，都是营养的美食……不倦啄食的母鸡在恶臭扑鼻的粪土堆里也能找到好吃的玉米粒；如果她不停地搜寻，甚至还有珍珠和金豆子。”在现实生活中，为了“好吃的玉米粒”，他也确实做一些“廉价的预言”，而且始终认为卖星占“总比乞食稍微体面一点点……”^②

在对行星运动规律研究的紧张时刻，开普勒写道：^③“请认真看待我给你写的关于占星术的东西。如果我没有记错的话，我已经表明，从系统的反思和个别的范例来看，我完全没有拒绝它。”开普勒马上补充说，当然，这是指在理性的范围内这么说的，换言之，不能滥用，而“通常的占星常常落入一种可悲的境地，常常任意东西地用来讨好争论的某一方”^④。这是他担心的。在他看来，有两个层次的占星术，一是世俗的，非理性的，一是深刻的，洞察宇宙奥秘的。在研究的方向上，这和对于行星运动的轨道和规律的研究没有本质的差别。因为“没有一件可见的天象，一直存在的或是刚刚发生的，能够以一种隐秘地方式逃脱地球和自然的感知……”^⑤

这是他的信念。这个信念建立在一种对自然界中存在着规律、而

① *Tertius interveniens*，这本书有现代重印本，*Tertius interveniens: Warnung an etliche Gegner der Astrologie das Kind nicht mit dem Bade auszuschütten*, Frankfurt am Main: Deutsch, 2004, 颇利使用。下引文英译出自前引 Koestler, pp. 242—245, 不另出注。

② 见 1618 年年初给 Johann von Wackhenfels 的信，当时开普勒谈到他所做的 1618 年星占预言，见前引 Baumgardt, p. 130。

③ 1602 年 12 月 2 日给 David Fabricius 的信，见前引 Baumgardt, p. 71。

④ 1611 年复活节给鲁道夫二世皇帝的一个内臣的信，同上引 Baumgardt, p. 99。“任意东西”原文是 *cothurnus*，原意是旧时希腊一种左右脚通用的高底靴子，盖指“无一定之规”者。这是张巍教授告诉我的。

⑤ 这是开普勒谈论 1604 年新星时的评论，见前引 *De stella nova*，第 28 章。

这种规律是可以认识的基本假设之上。正是这一假设，策励开普勒对天象作最艰苦的研究。在火星研究刚刚完成的时候，开普勒写道，“并不是火星推动我写下什么，而是我们心中的上帝。他推动我们，我们鼓舞向前”。^①这是一种渴望，一种理解宇宙秘密的渴望，这种渴望在开普勒身上表现得尤为热烈：^②

没有什么比这个愿望更急切——我想发现、我渴望知道，我能够在我内心找到上帝吗？通过观测宇宙天象，上帝对我说来已经是触手可及。……我深信，在我身上并没有发生什么特别的事。我相信每个人都有和我类似的经验，不是仅仅一次，而是很多很多次。只不过别人不把它当回事儿，而我则不然。他们比我更容易、更快地把这些经验抛在脑后，或者他们有更强的自制力，面对他们的不幸……

这是他在被迫离开布拉格、搬到林茨，在迭遭丧妻丧子的不幸以后写下的，他所能呼唤的，所能期望的，只有上帝，他内心的，如同他在深邃寥渺的苍穹所看见的。我们很难理解开普勒，但是我们能够理解，只有他这样的人，一个完全沉浸在对上帝即宇宙的秘密的追求之中的人，才有可能在其中寻得和谐。

1619年，谈论这种和谐的书，《世界的和谐》，出版了。全书五卷，前两卷讨论数学中的和谐，后三卷把非物质的概念应用到他所醉心的研究中去。开普勒构造这本新书的思路，是说明宇宙构造的基础是一种三个层次的和谐关系。首先是数学的“纯粹的和谐”，他称为“几何的”，其次是音乐的，这是纯粹和谐对我们感官的作用，好像是一种回声，好像是一种共鸣。最后是天文的，或者说是蕴藏在天象之

① 前引 1607 年 10 月 4 日给 Bremgger 的信。

② 1613 年 10 月 23 日给 Peter Heinrich von Sgtrahlendorf 男爵的信，前引 Baumgardt, pp. 114—115。

中的。^①这种和谐最终引导向“世界，灵魂，上帝”。但是要理解这种和谐可不是件容易的事。为了以后论述的需要，开普勒帮助读者梳理一下，对天文学基础作了一个简要介绍。而对于我们的主题即日心学说而言特别重要的“第三定律”，几乎是在毫无先兆的情形下突然出现在“预备知识第八”之中——据开普勒说，这一定律出现在他的脑海里，也是同样地毫无先兆，确切地说，突破发生在1618年的5月15日夜间：^②

……起先我还当自己是在做梦，以为基本前提中就已经假设了结论，然而，这条原理是千真万确的，即任何两颗行星的周期之比恰好等于其自身轨道平均距离的 $3/2$ 次方之比，^③尽管椭圆轨道两直径的算术平均值较其长径稍小。

这是第五卷的第三章，“研究天体和谐所必需的天文学原理之概要”。开普勒说：“借助第谷布拉赫的观测，通过在黑暗中的长期摸索，我弄清楚了天球之间的真实距离，并最终发现了轨道之间的真实比例关系。”

如果说《宇宙的秘密》中谈论的正多面体的假设和观测资料的巧合令我们至今感到吃惊的话，第三定律所提示的数据在更高的、远小于1%的符合程度上表明，开普勒真的是接近了宇宙秘密的核心。要知道，在1618年，并没有人知道第三定律的物理基础，所以这种符合除了用“神奇”来形容之外，他找不出其他可能的说明，确乎神奇。——就像我们现在仍旧想象不出开普勒是怎么从杂乱无章的观测数据中归纳出这一规律的一样。我们只能假定，在日复一日、年复一年的关于数

^① Caspar, p.272.

^② 《世界的和谐》，张卜天译，北京大学出版社2011年版，第21页。下一段引文同。

^③ “其自身轨道平均距离”是开普勒的原始说法，用现代术语的比较严格的说法是“半主轴”。

字的沉思遐想之中，他突然发现了一个或者几个偶合，一条或者几条线索，像他常常说的那样，“眼前突然一片光明”。在以后的推理中，开普勒确实利用了这一结论，“从规定的和谐比例得到了平均周日运动之比，即每两颗行星的度数和分数之比”。^①我们行将看见，第三定律的意义其实远远不止于使得计算某些比例成为可能。当然，这是后话。对于开普勒来说，真正值得骄傲的，他希望读者真正注意的，并不是他称之为“几何”层面上的东西，这是他一贯的、明确的信念。他在给他的挚友、也在研究火星的天文学家大卫法布里西乌斯的信中写道：^②

对于你关于火星理论的结论，我真不知道说什么才好。你以毕达哥拉斯的姿态向我推荐这套理论，并希望我赞赏它。……你说几何学给你生了个女儿，我看到了她，她确实美丽。但是她会变成一个很坏的女人，她会引诱人们离开那些由物理原理所抚育的女孩子。你的理论会吸引演说家和哲学家，提供一条与物理学为敌的路，一条助长无知的路……他们会由此摆脱我的[关于宇宙的]物理解说的限制，从而得到构造他们自己的上帝的自由。……的确，我尽最大的努力来完成我们的科学，但决不奢谈错误的原理，或者哗众取宠。如果只是为了取悦大众，那我们何必再谈什么天文学呢，何必几何学呢，何必科学呢？科学本身远非是大众可以理解的，因此也不会得到什么赞同。

开普勒知道，他必然是孤独的，但这没什么，“为了真理，上帝可以等待六千年”。他确信他是对的，他必须完成这本书的写作。对他而言，这是一种使命。这是一本梦幻之书，承载着自《宇宙的秘密》以来二十多年的所有努力。在这二十年里，他经历了种种苦难，从格

^① 《世界的和谐》，第106—107页。

^② 1608年11月10日给David Fabricius的信，前引Baumgardt, p. 81。

拉茨被扫地出门，和第谷以及第谷们的争斗，经济的拮据，宗教方面的压迫，战乱，家人的病痛和去世，研究工作所带来的希望和失望，现在他又被迫再一次离开他所深爱的布拉格，移居林茨。开普勒所追寻的和谐，只能是在梦幻之中。可能只有一个人能理解他的和谐，这个人可以和他比肩而立。和莫扎特一样，开普勒所追寻的和谐，只能存在于天国的音乐之中。但是他觉得他找到了这种和谐，“天国的和谐所展示的神奇景象，无可名状的狂喜，攫取了我整个身心，进入了令人陶醉的遐想……”^①

^① Caspar, p.267.

第五章

伽利略给出了支持日心学说的 最直观的论据因此受到了最直接的打击

开普勒的《新天文学》并没有像他所期望的那样给天文学开辟一个新天地。对于一般公众而言，这本书太难，没有良好的天文学训练，没有长时间的努力，要读懂这本书是不可能的，即便在今天，这仍旧是一个问题。^①这一点开普勒不在乎，他本来就不是为他们写的；他说“一个真正懂行的人的最尖锐的批评比大众的无思想的欢呼和捧场要有意义得多。”^②对于大部分专业天文学家，椭圆轨道是很难接受的概念；至于“物理解释”，更是闻所未闻的做法，对他们说来，开普勒太新，新到不可理解。对于这一方面的批评的几乎唯一的例外，是伽利略。对于他来说，开普勒太抽象，太神秘，过多地谈论数字学，^③过多地诉诸上帝，过多地谈论我们感官所及以外的东西。

^① G. Holton 注意到，直至 1950 年代中期，开普勒的主要著作还没有英译本，而他的第一部学术传记即我们屡屡引用的 Caspar 直至 1948 年才出版（Holton 引的是 1950 年本），而其英译要等到 1959 年才由 C. Hellman 译出，参见前引文献。参见，G. Holton, “Johannes Kepler’s Universe: Its Physics and Metaphysics,” *American Journal of Physics*, 24 (1956) 340—351。

^② 见 1597 年 10 月 13 日给伽利略的信，Baumgardt, p. 40。

^③ 事实上，伽利略后来在《两大世界体系的对话》一开头，就尖锐地批判了辛普利邱引述的亚里士多德《天论》第二节第三节里关于“三”是一个特别的数字的“漂亮的论证”，萨尔维阿蒂明白表示“我觉得没有必要承认‘三’是一个完善的数，也不认为‘三’能赋予事物以完善性”。他尖刻地反问，为什么人不是“三”条腿呢？周熙良译本，北京大学出版社 2006 年版，第 4 页。

尤其是“力”或是“精神”或是“魂灵”，对他而言，这些概念本来都在扫荡之列。在伽利略看来，开普勒的论述方式太旧，旧到不可接受。

1596年《宇宙的秘密》出版之初，开普勒曾托人带了两本到意大利。因为一种奇怪的因缘，其中一本送到了伽利略手上。伽利略礼貌性地写了一封回信，并确实称开普勒为“一同探索真理的同袍”，并感叹“能用正确的方法追求真理的人现在是少之又少。”^①开普勒在此之前似乎并不知道伽利略，^②但不管怎么说，他以他特有的天真马上被感动了，几乎立即给伽利略写了一封真诚的长信，信里，这个二十五岁的年轻人写道，热情而乐观：^③

鼓起劲儿来，伽利略，站到公众前面来。我想我没有弄错，在欧洲杰出的数学家之中，只有少数几个会不同我们站在一起。真理的力量就这么大。……请一定告诉我你所发现的支持哥白尼学说的论据，至少是私下里，如果你不希望公之于众的话。

也许是比开普勒整整大了七岁因此对世事较为洞达，也许是意大利的宗教环境比开普勒当时所感觉到的严厉得多，也许是个性的倨傲孤洁，伽利略没有按开普勒说的“站到公众前面来”。甚至当开普勒把他精心构造的《新天文学》送到伽利略那儿时，后者也没有特别的表示。事实上，他还要再等十二年，才会站到公众前面，给出最无可辩驳的又是最引起争议的“支持哥白尼学说的论据”，这是他看见的，而且是人人都是可以看见的东西。

① 伽利略 1597 年 8 月 4 日给开普勒的信，Baumgardt, pp.38—39。

② 开普勒 1597 年 9 月给梅斯特林的信，他报告收到伽利略的信时说：“一个叫做伽利略·伽利利的数学家——他自己具名如此，”但又说伽利略“多年来是被归为哥白尼异说一类的……”好像他早就知道伽利略的工作一样，见 Baumgardt, *ibid.*, pp.39—40。

③ *Ibid.*, pp.41—42.

第一节 1610:《星际信使》送来了全新的消息

和一年前出版的几乎无人问津的《新天文学》恰成对比,1610年3月,一本题为《星际信使》^①的意大利文小册子引起了相当的注意,从王公贵族到学者教士,一时议论纷纷。小册子的作者是伽利略,当时他还没有享有现在这样的大名,但却也因为性格执拗,文采绚烂很是为人所知,至于他关于诸如钟摆和落体的实验,^②不管他有没有真的做过,在学术圈里也很为人称道。按当时的习惯,这本小册子在封面上对书的内容作了颇是充分的介绍,足以让读者对即将要发生的奇迹有所

^① *Sidereus nuncius*, 1610年3月出版,英译通作 *Starry messenger*, 相当于中文的《星际信使》。先是,开普勒将 *nuncius* 释作“信使”,见 Franz Hammer ed., *Gesammelte Werke*, iv, p.442, 后来伽利略研究者如 Stillman Drake 等均依此意,见,例如,氏著 *Discoveries and Opinions of Galileo*, New York: Doubleday, 1957。1950年,Edward Rosen 提出,拉丁语词“*nuncius*”应译作 *message* 即“讯息”,说在 *Isis*, 41(1950) 287—290, 并见 *J. Hist. of Ideas*, 18(1957) 440—443。查 *nuncius* 原来确有“讯息”和“信使”两意,Rosen 认为“讯息”可以包括观测等意义,而“信使”则不能,故“讯息”胜。而且后来 Drake 确实留意到,当时就有人指责伽利略,说他自诩是上帝的“使者”,而伽氏也确曾以 *nuncius* 有两意作解,说是“讯息”,见 Drake, *op. cit.*, p.19, 但尽管注意到伽利略写在书眉页边上的这一小注,Drake 的译本仍作“信使”,这可能是因为在近百年来对于科学革命的研究中,很多大家都用了“信使”而未加深究,约定俗成,竟为定例。所以后来金格里奇不无揶揄地说,Rosen “是一位苛刻的学者,翻译精雕细琢……”说在上引《无人读过的书》,76页。刘胜利译 Koyre 的《伽利略研究》,北京大学出版社2008年版,第191页,不知是否是采纳了 Rosen 的意见,作“讯息”。近年的研究两译均用,但大多数作者仍按旧习作“信使”,如 *Cambridge Companion to Galileo*, Cambridge: Cambridge University Press, 1998, pp.19, 22, 186, 213, 215, 218, 等等,盖晚近的研究者常更重视概念在历史发展上的转换,不再规规然泥于一词一字的翻译云。这儿的译文从陈方正,第552页,以便和大部分研究著作一致。

^② 伽利略后来在他的《两门新科学》一书中描写过落体实验,见 S. Drake 译, *Two New Science*, Madison: The University of Wisconsin Press, 1974, p.68。后世研究者如前引克莱因,《古今数学思想》,第二册,第35—36页,颇有认为当时的实验条件殊不能支持这一操作,而伽利略只是用一个他所特别擅长的“思想实验”来说明他的观点,未必真的做过。但书中叙述这一实验时伽氏也确有“在做这一实验时”的说明,见 Pineri 手稿, S. Drake 译本 p.68 引,似说明伽利略确实做过这一实验。进一步的讨论见 A. Koyre, “A Documentary History of the Problem of Free Fall from Kepler to Newton,” *Transactions of the American Philosophical Society*, N.S., 45(1955) 329—395, 特别是第一小节。

准备：①

星际使者，揭示伟大非凡的、引人注目的奇观；任何人，特别是哲学家和天文学家，都可以由此作深入的考量；佛罗伦萨士绅，比萨大学的数学教授伽利略·伽利利，在他最近发明的天镜的帮助下，观察了月球表面，无数的恒星，星云，特别是以不同距离和周期围绕木星旋转的四颗行星，以前从未为人知晓，本书作者发现并决定将它们命名为麦迪奇星，威尼斯，1610。

伽利略②出生于比萨的一个布商家庭，父亲来自佛罗伦萨，经商之外，也颇留意数学和音乐。虽说尚称小康，但在社会上绝对没有什么势力，所以援引权贵，当也在想象之中。案比萨原为和热那亚比肩的贸易港，又有阿诺河与佛罗伦萨相连。1284年被宿敌热那亚打败，以后为佛罗伦萨控制，又因为河口逐年淤塞，到伽利略时代，已距海岸十公里之遥，商业渐渐不振，到1569年最终沦为麦迪奇大公国之一部。③从严格意义上说，麦迪奇是当地的最高长官，而从1605年起，伽利略又担任麦迪奇家族的继承人考斯莫麦迪奇二世的私人教师，把书献给他

① 这本书的译本繁多，英译比较常见的有 *Galileo's Sidereus nuncius, or, A Sidereal Message*, William R. Shea 从拉丁文译本译出, Sagamore Beach: Science History Publications, 2009; 同样是基于拉丁译本的 Albert van Helden 本, *Sidereus nuncius, or, The Sidereal Messenger*, Chicago: University of Chicago Press, 1989; Stillman Drake 从意大利原文译出的 *Telescopes, Tides, and Tactics: a Galilean Dialogue about the Starry Messenger and Systems of the World*, Chicago: University of Chicago Press, 1983, 是一个别出心裁的编译本, 但正文仍照录原文, 没有改动。1610年版原书已有电子版。1964年假伽利略出生四百年纪念, Lehigh University 图书馆曾展出本书第一版(展品目录 *An Exhibition of Books and Manuscripts by and related to Galileo Galilei*, p.11, #4), 称之为“绝对是本次展出中最珍贵的单件展品”。但自从电子版出现, 这一小册子就只有收藏的价值了。

② 伽氏的生平和工作一直是非常热门的话题, 有无穷多的著作文章, 势难一一列举。Stillman Drake, *Galileo at work*, Chicago: University of Chicago Press, 1978, 最常见, N. Swerdlow 说这是所有写伽利略的书中最好的一部, 说在 *Cambridge Companion to Galileo*, Cambridge: Cambridge University Press, 1998, p.268。这本书有电子版, 颇利利用。另外, 同一作者为 DSB 所作的小传, 在 v.5, pp.237—249, 是一个简明的引论。

③ James Brodrick, *Galileo, the Man, his Work, his Misfortunes*, New York: Harper & Row, 1964, p.14.

也颇合当时的习俗。

不管怎么样，这是一本介绍作者的观察和发现的书。翻开正文，这些“以前从未为人知晓”的东西，果然是让人吃惊。月亮是诸天除了太阳以外最引人注目的天体，自然首先受到关注，而伽利略所描写的月亮确实全然不同于常人的想象，也不合于先贤的教导：^①

月亮看来不是如同打磨过似的光滑平整，其表面粗糙起伏，各处均是如此，同地球的表面一样，有的是巨大的凸起，深壑和豁裂。

月亮的表面竟然“同地球的表面一样”，伽利略几乎立即就认识到这一发现在哲学上的重要意义。他说两个月来的观察要求所有渴望“真哲学”的人特别留意他所看见的东西。他接着说，^②

我以更大的清晰程度在月亮表面区分出较为明亮的和较为阴暗的两大部分；明亮的部分似乎向整个月面的四面八方延伸，而阴暗的部分则类似于云，使月球失色，使它看起来斑斑点点。……对这些斑点的反复观察使得我确信，月亮表面不是光滑的，匀称的，也不是像很多哲学家相信的那样，^③如同别的天体一样，是一种精准的球形，而是不平整的，粗糙的，到处都是空穴和隆起，并非和地球的表面很不一样。

伽利略进一步报告说：^④

在新月以后的第四或第五天，当月亮看上去像是一个明亮的犄角时，划分明亮部分和黑暗部分的界限不是一种规则的椭圆形[的曲线]，不像在理想的球面上[投影]延展的样子……在月相接近上弦月

① *Discoveries and Opinions*, *op. cit.*, p. 28.

② *Ibid.*, p. 31.

③ 参见亚里士多德，89b10—20。

④ *Discoveries and Opinions*, pp. 32—33.

时，在靠近月亮下角的邻近区域，有一个大的黑暗的弯形向明亮区域延伸。我对它观测了很久并且注意到它非常暗，然后，在大约两个小时以后，在其中心部分稍下，一个明亮的尖峰开始出现。

说实在的，我们很难想象伽利略当时看见了什么，但是注意到上弦月的边缘不是光滑的、类似椭圆的曲线，并由此进一步证明月面是凹凸不平的，则确实把我们对遥远的月亮的认识大大推进了一步。对自然的观察在伽利略这儿发生了革命性的改变：我们对于外部世界的认识不再是感官提供的直接影像，而理性对感官提供的信息所作的分析则是更加突出地成了认识的一个不可或缺的部分。尽管他的想象有些神奇，但伽利略所依据的，却是一种很合理的类比：^①

我从未怀疑过，如果从远处看沐浴在阳光下的我们的星球，陆地区域应该会显得比较明亮而海洋则比较昏暗。月亮上的大斑点看上去也是不如明亮的地方那样高敞……

月亮原来不是“很多哲学家”相信的那样是个如同水晶一般的、光滑完美的球。这是“信使”带来的第一个消息，而伽利略是通过“天镜”，就是后来称作“望远镜”的玩意儿^②得到这个消息的。对此，伽利略信心满满，他说借助望远镜，他能把到月亮的距离缩减30倍，于是月面放大了九百倍。^③但是，现代月貌学家指出，^④伽利略所“看见”的月面影像，《星际信使》所载的五张月面图中，“没有一处他所

^① *Op. cit.*, pp.34—35.

^② “望远镜”一词最初出现在1611年，见Edward Rosen的考证，*The Naming of the Telescope*, New York: H. Schuman, 1947.

^③ *Discoveries and Opinions*, p.28, 尽管在这一计算中伽利略错把“半径”写成了“直径”。奇怪的是，伽利略在当日写的一封信里也将“半径”写成“直径”，而史家一般认为他说“直径”就是“半径”的意思而不加深究，见S. Drake, “Galileo’s first telescopic observations,” *Journal for the History of Astronomy*, 7(1976) 167, n.3.

^④ Zdenek Kopal and Robert W. Carder, *Mapping of the Moon*, Dordrecht: D. Reidel, 1974, p.4.

记录的地形特征……可以确定地按照任何已知的月面地标指认出来”。虽然这些专家也宽容地说，“或者是当时他利用望远镜得到的这么多的发现，让他欣喜若狂，一时影响了技能的发挥，或者让他失去了理性的批判能力。”以现代科学所提供的事实来衡量，伽利略几乎什么都没有看见，更不要说是细节了。尽管伽利略的工作对于亚里士多德关于天体完美的看法确实又是一次冲击，然而从第谷以来，亚氏的天体观念已是屡屡受到质疑，非议亚氏也不见得如此耸动视听。

在17世纪初，望远镜虽说还是新奇，却也绝非是一般人闻所未闻的东西。宫廷的耳目，教会的眼线，学者的通信中心，都报告说有这么一种新发明，而街头巷尾，也能看见有人神秘兮兮地兜售这种玩意儿。在伽利略教书的帕多瓦，一个教士报告说，“在我们城里，这种装在管子里的镜片也出现了……在一个外国人的手里……”^①另一份来自威尼斯的报告则说“有人来到城里想要把目力镜或者叫管子或者叫什么名堂的秘密卖给政府，这玩意儿能使得25到30里外的东西看起来像是近在咫尺。但也有人说这种秘密在别处已为常人所知，而且卖得很便宜，不少人说他们见过或藏有这种东西……”在《星际信使》的封面上伽利略确实说望远镜是他发明的，但这似乎多少是广告，不能太当真，因为在正文开始不久，^②伽利略很明确地说他是在“十个月以前”听说“某一个佛兰德人”发明了这种装置，而他后来只是“根据折射的理论”改进了这一发明。^③从严格的历史学意义上，望远镜的发明并不

^① 1609年8月1日帕多瓦的Lorenzo Pignoria给罗马的Paolo Gualdo的信，转引自Francesco Scandone, *Galileo and the Telescope*, Lecture on November 2, 1965, delivered to the Rochester N. Y. Section of the American Optical Society, Published by *Officine Galileo*, p.10。下文是同年8月22日麦迪奇家族在威尼斯的联络官Giovanni Bartoli写给他在佛罗伦萨的上司Belisario Vinta的报告，同见于Scandone的演讲。

^② *Discoveries and Opinions*, pp.28—29.

^③ 参见Edward Rosen的讨论：“Did Galileo claim he invented the telescope?” *Proc. Am. Phil. Soc.*, 98(1954) 304—312。有些作者可能因为伽利略确实在《星际信使》封面上说他“发明”了望远镜，所以对此有些讨论，见Harold C. Urey为George Gamow, *The Moon*, London: Abelard Schuman, 1953, 写的前言，在该书p.9。更细致的讨论见Ludovico Geymonat, “Galileo’s first telescope at Padua and Venice,” *Isis*, 50(1959) 245ff.

能归功于伽利略。^①

与伽利略约略同时而稍早，英格兰人托马斯哈瑞特^②也用望远镜观看了月亮。此公大约在1577年前后毕业于牛津大学，生涯中最引人注目的是他对北美殖民地，尤其是土著语言的考察，据说马铃薯也是他从北美带到英国的。他对天文学的兴趣，多少有些业余，最初是从1607年的彗星观察开始的。随之而来的和开普勒的通信使得他决心利用他的光学理论来研究天文。在一个很能干的助手的帮助下，他自己建造了一架大约十倍的望远镜，后来进步到大约二十倍。史料清楚地表明，早在1609年7月26日^③他就用望远镜观看了月亮，^④先于伽利略至少四个月。次年读到《星际信使》之后，从7月27日到11月4日，又绘制了十七张月面图。^⑤他说他看见的月亮[的边缘]，“就像荷兰人的航海手册里画的海岸线，”而在满月的时候，月亮看起来就像是“我的厨师上个星期给我做的果酱饼，一边一条浅色的东西，那边又是深色的，看上去整个儿是一塌糊涂”。^⑥没有证据显示，哈瑞特的工作是一个更大的事先考虑周密的研究计划的一部分，或是事后影响深远的一系列发展的一个环节。一个对新奇事物抱有强烈兴趣的富有探究精神的人在听说了望远镜这么一个新鲜玩意儿后拿着它到处“看看”，也是情

① 现在科学史通行的说法是荷兰镜片工匠 Hans Lippershey 首先做出望远镜的原型装置。Albert Van Helden, Sven Dupré 和 Rob Van Gent 利用在海格现存的档案把发明的时间定在1608年2月，见 *The Origins of the Telescope*, Amsterdam University Press, 2011, pp. 12—13; 并参见 Govert Schilling and Lars Lindberg Christensen, *Eyes on the Skies: 400 Years of Telescopic Discovery*, Weinheim: Wiley-VCH, 2009, p. 12.

② John W. Shirley, *Thomas Harriot*, Oxford: Clarendon Press, 1983, 讨论望远镜的部分在 pp. 397f.

③ Petworth 档案 HMC 241/ix, fo. 26, July 26, Wednesday, 1609, Shirley, *op. cit.*, p. 397. 这儿的日期是旧历，相当于格里高历的8月5日。在第二年的2月6日(新历)给他的朋友 William Lower 的信里他也提到了这一工作。

④ John Shirley, “Thomas Harriot’s Lunar Observations,” *Studia Copernica*, 16 (1978) 283—308.

⑤ 这些图最先由 E. Strout 据 Egremont 公爵所藏的手稿复制，在 *J. Brit. Astron. Assoc.* 75 (1965) 100, 后来 Terrie Bloom 又复制了一遍，见 “Borrowed Perceptions: Harriot’s Maps of the Moon,” *Journal for the History of Astronomy*, 9 (1978) 117—122.

⑥ 前引 Shirley 的书, p. 399.

理之中的事。大概是受了意图谋害英格兰詹姆斯一世的“火药阴谋”^①的株连，他的工作当时没有发表，而且直到将近两百年后的1788年一直鲜为人知。^②如此说来，从时间先后看，伽利略并不是“第一个”把望远镜瞄准月球的人。而且，伽利略最初对月亮的观察，似乎也在很大程度上带有“看看”的成分，^③并不见得一开始就是有目的的、有明确哲学或天文学指向的研究，他最初关于月球景象的文字甚至没有包含观察时间和方位记录可证。至于他的结论，他所试探计算出来的月亮上山峰的高度和通过类比指认为“海”的暗斑，也为后来科学的发展所拒绝。

但是，科学史所留意的，不仅仅是科学活动的成果，而更加是人类认识的进程。从这个角度考察，伽利略的工作即显示出其自有更加深远的意义。望远镜作为一种探测仪器或者说一种人的感官和自然的中介，极大地扩展了人类的视野；而对所谓的麦迪奇星的观测和研究，则真正开启了日心学说研究的新的一章。

1610年1月7日或稍后，^④伽利略开始使用一架新的，约20倍的望远镜。他用它来观察木星。和对于月亮、恒星、银河的观察相比，伽利略说“这可以认为是所有这些[观察]当中最重要的事”，即——^⑤

① 1605年，一群天主教徒阴谋在11月5日以火药炸毁国会来谋杀詹姆士一世。10月26日，阴谋败露，遂成大案。后来这一天成为新教的节日，号称 Bonfire Night。

② 甚至到了1788年，他的工作也仅见于一份德文的报告，F. X. von Zach, 1788, *Berlton liner Astron. Jahrbuch*, 英语世界要到又50年后才有人留意到他，S. P. Rigaud, 1833, 附在 *Bradley's Miscellaneous Works*, Oxford, pp. 19—20。

③ 伽利略1609年8月24日写给 Doge of Venice 的信表明，他最先注意到的，至少是同时注意到的，是望远镜的军事和经济价值：“一种有用的和重要的发明[案指望远镜]产生了非凡的后果……能够把可见物移到眼前，清晰地放大，一件九里外的东西看上去就像是只有一里之遥，这是一种无论是在海上还是在陆地上都不可估量的特性，比如我们可以在海上比以前远得多的地方发现敌人的舰船，比他们看见我们早两三个小时就看见他们……在开阔地面我们可以获得优势，看见和辨认出[敌人的]每一个运动和准备……”当然这是他企图把望远镜介绍给宫廷，但在时间上确实比他将望远镜用于观察月球早了四个月。

④ E. A. Whitaker, “Galileo's lunar observations and the dating of the composition of *Sidereus Nuncius*,” *Journal for the History of Astronomy*, 9(1978) 155—169, 据考证，以1610年1月7日为界，以前伽利略用的都是八倍的望远镜，以后用的是二十倍的，说在 p. 167。

⑤ *Discoveries and Opinions*, pp. 50—51, 下一段同。

发现了从创世以来直至现今我们这个时代从未见过的四颗行星，^①以及我发现和研究它们的情形，它们的排列布置，对它们的运动和变化的观测。

匪夷所思。一颗千百年来观天者时时注目的行星，一颗当时天文学家认为已经了如指掌的行星，竟然还有四颗更小的“行星”环绕。伽利略一定预料到这一发现将会被强烈质疑，他邀请“所有的天文学家”参加研究，测定其运行的周期，但同时警告说，在这种研究中使用的望远镜“必须是非常精密的”。然后他细致地描写了他所见到的宇宙奇观：

今年，1610年，1月7日，入夜以后一时，^②我用望远镜观看天体时，木星出现在我的视野里。因为我用的是我自己的品质极佳的仪器，我察觉到，在这颗行星的旁边，有三颗小星星——以前的仪器[的性能]不足以让我看见它们，真的很小，但很明亮。……两颗在[木星的]东边，一颗在西边，最东边的那颗和西边的那颗看起来比别的大。我没有注意它们和木星的距离，因为在开始的时候我以为它们是恒星……^③

这也难怪。从望远镜看夜空，简直是布满了星星，而且新出现的，都是“小而亮”，所以伽利略自然会有这一判断。第二天，^④

① 伽利略原文用的是“行星”，尽管以后天文学家都称之为“卫星”，参见下文的讨论。

② “入夜后”据 S. Drake, “Galileo and satellite prediction,” *Journal for the History of Astronomy*, 10(1979) 94, n. 8, 是指在佛罗伦萨经度位置上“日落后”。

③ 最早的，也许也是最详尽的报告见于他 1610 年 1 月 7 日的一封信，原件藏梵蒂冈，S. Drake, *Journal for the History of Astronomy*, 7(1976) 153—168 刊布了信的全文，谈论木星卫星的一段在 p. 157，伽利略当时认为这是“三颗恒星，因为太小而[在以前]完全不可见”。

④ *Discoveries and opinions*, pp. 52—53, 下文连续引用他的观测报告，不另出注。

1月8日,我又重新回到这一探究。——究竟是什么引导我这么做的,我可说不上来。我发现,[这些小星的]排布和以前很不一样。三颗小星现在都到了木星的西边,靠在一起,相互之间的间隔相等……这时,我还没有把注意力转向[小]星星聚在一起[的问题],我开始考虑木星怎么会在这三颗星星的东边,而就在前一天它还在[其中]两颗的西边。我开始疑心木星此时是不是在向东走……

这时,木星正处于逆行状态,即应该向西移动,但是它却跑到小星星的东边去了,这就引起了伽利略的巨大兴趣。他的第一个猜想是天文学家的计算有误,木星不在逆行,而是在向东运动,所以小星星看上去是跑到木星的西边去了。这是很合理的推想,他当然急切地想知道结果。第二天,1月9日,阴天,伽利略徒叹无奈。至此,想利用望远镜“看看”天上有些什么,清楚地转变为一个对预期的观察,其意义在科学认识的发展上,较之多看见一颗或是两颗星星,自不可同日而语。再一天,1月10日,伽利略看见,木星看起来移动到了一个更西边的位置:

只有两颗,都在东边,而第三颗,我想,一定是藏在木星后面了。……我知道没有其他的办法可以把这种变化归结为木星的运动……

他先前假想,天文学家算错了,木星已不再逆行而是在向东移动。显然,观察表明,不是这种情形。但是这可不是可以想象的,因为木星不可能在一天的时间里从东到西,从西到东地来回摆动,伽利略说,

我的困惑变成了讶异。我确定[我所看见的]视运动不是来自木星而是来自我正在观测的星星,我决心更加小心地更加注意地深入这一研究。……我现在确定,不存在任何问题,在天上有三颗星星在绕木星游走,正如金星和水星环绕太阳。这一点通过以后类似的观

察变得明明白白，就像展现在大白天的太阳底下一样。

在观察到木星卫星的第一时刻，伽利略就联想到了日心学说，并由此推出，金星水星绕日运行是可以想象的。当由困惑而来的惊讶稍稍平息后，伽利略的观察变得更加精致；在以后的连续不断的观察中，他仔细地记录了观察的时刻，方位，以及持续的时间：

2月26日，入夜后一时正中，只有两颗星星。一颗在东，距木星10'，一颗在西，6'。……到了[入夜后]第五个小时，可见第三颗星，除了已经留意的两颗之外，在木星西边近旁发现了第三颗，它起初隐没于木星背后，而现在大约[距木星]1'。东边的那一颗显得比以前离得更远，大约离木星11'。……2月28日[入夜后]一小时，只看见两颗星，一颗在东，距木星9'，一颗在西，间距2'……

到3月初，伽利略得出了完整的结论：^①

这就是关于我近日首先发现的四颗^②麦迪奇星的观察。虽说这些数据尚不足从数量上算出它们的[运行]周期，^③但至少已能为有些值得留意的事实提出合理的证据。首先，因为它们[案指木卫]有时在木星之前有时在木星之后，而距木星的距离完全相同，只在木星的東西两边非常有限的距离中，不论在木星逆行还是顺行的过程中，都以恒定的方式伴随其左右，没有人能怀疑它们在绕木星运行，同时又完成[木星的]以十二年为周期的绕宇宙中心的运动。……我们还观察到，那些绕

① *Discoveries and opinions*, pp. 56—58.

② 在1月13日的观察中，伽利略又发现了木星的第四颗卫星。

③ 在后来的工作中，伽利略对麦迪奇星的运动作了更细致的研究，“到1613年3月，伽利略已获得精确到几分的周期[数值]”，见，例如，N. Swerdlow的综述，“Galileo's discoveries with the telescope and their evidence for the Copernican theory,” *The Cambridge Companion to Galileo*, Cambridge: Cambridge University Press, 1998, pp. 253—258.

木星划出较小的圆周的行星[案指木卫]绕行较快,最靠近木星的那些星星通常出现在[木星的]东边,而在前一天还在[木星的]西边,反之亦然,而根据精密的观测,有轨道半径最大的行星,要半个月才回归一次。

这两个月对木星的研究,从最初的“看看”,到有目的的观察,到定量的观测,表现为科学认识的典型发展。这些小星星显然以非常快的速度运动,它们有时被木星遮挡,有时遮挡木星,而且它们距木星的距离常限制在一个有限值,由此任何人都可以看到,它们是围绕木星运动的。伽利略总结说:

我们由此得到了一种美妙而且雄辩的证据来平息一种疑虑。一些人一方面以平静的心情接受哥白尼体系所说的行星绕日运行,一方面又很是因为月亮同时绕地球又绕太阳作周年运动感到困惑。有些人认为这样一种结构看起来应该是完全不可能的。但是现在,我们不仅有一颗行星环绕另一颗、同时又一起环绕太阳运行,我们可以亲眼看见,有四颗星星绕木星运行,就像月亮绕地球运行一样,同时又以十二年为周期,划出巨大的绕日运行的轨道。

美妙而且雄辩。原来,地球,连同作为卫星的月球,一同作绕日运动,并不是不可想象的。事实上,“我们可以亲眼看见”。这一点的一个最直接的意义是,木卫系统排除了一个“一些人”的疑虑,为日心学说提供了又一个强有力的证据。不仅如此,接下来的一个顺理成章的推论是,原来地球不是唯一的、被特别选中的、拥有卫星的星球;别的行星和地球,或者更准确地说,地球和别的行星没有什么两样。当这一图景最终出现的时候,木卫系统和行星绕日的类比把读者几乎是自然而然地导向了日心学说:①

① *Discoveries and opinions*, p. 24.

以各种不同的样式围绕最高贵的木星运动，就好像是木星的孩子，它们[案指木星的卫星]以惊人的速度完成轨道上的运行，同时又以一这和谐的方式每十二年绕宇宙的中心运行，这个中心就是太阳。

这是伽利略第一次公开地表述日心图景。我们不知道是因为对于木星及其卫星的观测使他最终接受了日心说，还是这些观测给了他如此的信心，使得他终于公开说出了藏在心中多年的信念。不论如何，木卫系统就像是一个缩微版的太阳系，把日心图景呈现在“任何一个观测者”眼前。

伽利略不是望远镜的发明者，但是他是第一个有意识地把它用作科学探索的人；他不是第一个用望远镜观看月球的人，但是他是第一个有系统有计划地研究月球表面的人；特别是，他观察到的木星卫星，不仅仅是为天文学又提供了一个，或几个新鲜的事实，而是为日心学说提供了证据，而这些证据产生于观察和分析的结合。

1610年3月《星际使者》出版，共印500册，旋售罄。^①伽利略声名大噪。^②下一个研究的目标是太阳，据伽利略自己说，这是从当年12月开始的持续的长达十八个月的观测。^③次年10月1日，在给友人的信中，他第一次提及他看见太阳表面的“黑子”，^④稍后，10月21日，耶稣会教士克里斯多夫·夏纳也报道了这一发现，引发了关于发现的优先权的争论，而由此而来的恩怨又和后来伽利略和教会的冲突纠缠，当然，这是后话。

伽利略一开始就清楚地认识到，^⑤太阳黑子是真实存在的，“且不论它们到底是什么，反正不是一种表象，或者眼睛或者望远镜的镜片

① *Discoveries and opinions*, p. 59.

② 前引 Noel M. Swerdlow, *The Cambridge Companion to Galileo*, p. 246: “在《星际使者》出版后的一年里，伽利略是欧洲最风光的自然哲学家。”

③ 见伽利略 1612 年 5 月 4 日给 Mark Welser 的信, *Discoveries and opinions*, p. 91.

④ 这是伽利略给罗马的画家 Lodovico Cigoli 的信, *Opere*, xi, p. 214.

⑤ 上引伽利略 5 月 4 日的信, pp. 90—91.

[造成的]虚幻的影像”。至于这些黑斑的本质，他不同意当时署名“阿派勒斯”^①的推断，说是这些黑影是掠过太阳表面的小星星，而谨慎地认为不能骤然断定：^②

接下来我们要考虑的，是阿派勒斯关于这些斑点本质和物质的论断，大意是说这些黑点既非云彩又非彗星，而是绕太阳的星星。我对你坦白说，阁下，我不能完全有把握地肯定任何关于它们本质的结论。这些斑点可能是上千种那些我们所不知或不能想象的东西当中的一种，而通常观察到的现象，它们的形状，它们对光线的阻隔，以及它们的运动，可能部分地，或者整个儿在我们所有的知识范围之外。因此，我觉得对于任何哲学家说来，承认他不知道，且无法知道太阳黑点大概是什么物质，绝对不会因此而损声名。

值得注意的是，把太阳上的斑点说成是“绕太阳的星星”正是伽利略关于木星卫星系统推论的一个翻版，但现在却被伽利略断然拒绝。伽利略要求的，不是时髦的猜测，而是实证的分析。这种分析应该是建立在现象之上，深入到现象之中，最后达到现象之外。至于这种分析能够走多远，在于分析者的能力，但同时也受制于当时的条件、认识的手段和可供利用的感性资料。这是伽利略的方法，他以此作出他对太阳上的斑点的假说：

……如果用以我们已知的和熟悉的资料为基础作类比，从表观影像可以推测出一些东西，而我的看法和阿派勒斯正恰相反。对我

^① “阿派勒斯”即 Apelles，其实就是 Christopher Scheiner。他这时刚刚从 Ingolstadt 神学院拿到学位，对于太阳黑子的观察显然和他的教职不相和谐，他因此以 Apelles 发表自己的观察成果，并委托德国商人 Mark Welser 出面与伽利略通信讨论。其人以及相关的著作通信见 Franz Daxecker, *The Physicist and Astronomer Christopher Scheiner: Biography, Letters, Works*, Tyrol: University of Innsbruck, 2004。

^② *Discoveries and Opinions*, p.98. 下一段同。

说来，没有一种星星的本质属性可以合适地用于这些斑点，而另一方面，我发现它们没有一点不像我们所谈论的云彩。

伽利略并没有断言这些斑点就是云彩，他接下来一项一项地比较了这些斑点和云彩的相似或不相似之处，列举了他的想法的依据。科学的方法就是理性的方法，就是分析和实证的方法。和这种方法相反对的，是没有事实依据的瞎猜，是不加分析的盲从。从科学史上看，伽利略令人赞美之处，令人吃惊之处，不仅仅在于，甚至主要并不在于，发明或改进了一件两件科学仪器，发现一个两个新鲜的事实，而在于他对科学方法的阐述和运用。这就使得后来在科学长成以后受教育的人，在阅读伽利略时，“本能地感到畅快”。而他的令人吃惊之处还在于他不仅发展利用了这套方法和哲学，而且有意识地向非科学人群宣讲传播这种精神。他特别留心用意大利语写作，为的是让一般人能够读到这些他认为至关重要的真理：^①

我用口语[案指意大利语]写作，是因为我一定要每个人都能阅读它们，因为相同的原因，我的前一本书[案指《星际信使》]也是用意大利语写的。……因为他们[案指“远离学问”的人]看不懂对他们说来像天书一样的东西，他们转而相信，在这些大书里，确实有关于逻辑和哲学的新鲜伟大的东西，但是所有这些却远非他们的智力所可以企及。现在，我要他们看到，就像自然给予哲学家们的一样，自然也给了他们观察大自然工作的眼睛，也给了他们可以洞察和理解自然的大脑。

伽利略要所有有能力阅读的人都阅读自然，要所有能思考的人都能

^① 这是伽利略写给他在帕多瓦的朋友 Paolo Gualdo 的信，见 *Opere*, xi, p.326, 英译见 *Discoveries and Opinions*, p.84。

科学地思考。他要把天文学的，哲学的，神学的，那些本来应该是学者书斋里的题目，变成人人关心的热门。这就不可避免地导致了冲突。这种冲突首先表现在日心学说和地心学说的对立，继而发展成科学思维和宗教教条的对立，这常常被简化为科学和宗教的对立，而在本质上始终贯穿的，则是人类理性和迷信的对立，理性的孜孜不倦的探索和迷信的顽冥不化的愚昧之间的对立。科学革命的这一本质特征，将要在以后的二三十年里慢慢显露出来，渐渐清晰，直到理性的至高无上的地位最终确立；而由于种种机缘，伽利略竟成了这场冲突的中心。

第二节 当一个旧的世界面对一个新的宇宙

伽利略又发现了新的“行星”的消息让开普勒大吃一惊。我们还记得，对于开氏说来，有六颗、而且只有六颗行星这一基本事实，是他整个理论的基础和出发点；它的真实性，它内在的优美，它和上帝的和谐，咸系于此。同样令我们大吃一惊的，是开普勒很快就构想出了一个能容纳伽利略的发现同时又不与他的体系相抵牾的图景：^①

[一听说伽利略发现了新的行星]，我就开始琢磨如何使得我的“宇宙秘密”不至于因为行星数目的增加而遭到破坏……我对这一发现反复地思考，有了下面的想法，并立即告诉了瓦克先生。地球，作为众多行星中的一员，按哥白尼的说法，由它自己的月亮环绕，这是我们的情形。同样，伽利略很可能是看见了另外四颗非常小的月亮，在很小的轨道上围绕土木火金这四颗小星运行，而水星，作为绕太阳[运行]的最后一颗行星，深深地浸没在太阳的光线之中，伽利略于是不能够辨认出[在水星旁边的]任何类似的东

^① *Conversation*, 见下页, p. 10.

西……像布鲁诺说的那样，其实有无穷多个世界，或者叫做地球，和我们的相似，这是我的看法……

开普勒大约是在3月15日前后第一次从他的朋友瓦克那儿听说伽利略的发现的。^①这个瓦克是王室的顾问，所以大概消息比较灵通，布鲁诺在罗马被烧死，就是他告诉开普勒的；^②他对哲学和历史都很有些兴趣，和开普勒颇有往还，开普勒一年以后写完的《新年礼物：六角雪花》就是献给他的。4月8日，伽利略托人带来的《星际信使》送到，开普勒发现，所谓的“行星”正是他猜想的卫星，但不是土木火金四颗行星各得一颗，而全是围绕木星，形成了一个小小的哥白尼意义上的太阳系。对于坚信日心学说的开普勒，这就是对理论的最好的证明。他立即撰文阐发他的看法，为哥白尼张目。为了让定于19日返回佛罗伦萨的信使能及时把他的意见带给伽利略，开普勒只花了十天时间，一挥而就，写完《和伽利略最近派来的星际信使的对话》。^③在这本小册子的扉页，开普勒选用了雷蒂库斯在《初论》里用过的希腊哲学名言，^④“心无羁继始得真知”，据说是从柏拉图的教导中归纳出来的。

在讨论了望远镜的构造和制作之后，开普勒对于伽利略关于月面的解释表示赞同：^⑤“明亮的区域确实被沟壑割断，又有不规则的边缘，又有高耸的山峰……我认为你完全证明了你的看法，我认为暗斑是海，明亮的地方是陆地。”紧接着，开普勒以他典型的奇特的想象问道，伽利略所描写的环形山^⑥“是自然所造，还是出于某种经过训练的手？”

① *Conversation*, p. xiv, 并见 p. 9.

② 开普勒 1608 年 4 月 5 日给 Johann Georg Brengger 的信，前引 Baumgardt, p. 78.

③ *Conversation with the Sidereal messenger, recently sent to Mankind by Galileo Galilei*, trans. by Edward Rosen, New York, Johnson Reprint Corp., 1965. 初版 1610 年 5 月 3 日印出，冠有给 Tuscany 公爵驻布拉格大使 Giuliano de' Medici 的献词。Edward Rosen 为不到 50 页的原文做了 403 条注释，令人咋舌。

④ 开普勒称从 Alcinous 语，氏为 2 世纪希腊哲学家；据 Rosen 考证，似应为 Albinus，两人均主柏拉图主义。

⑤ *Conversation*, p. 26.

⑥ 伽利略的描写见《星际信使》，*Discoveries and opinion*, p. 36.

可以假定月球上有生物，完全有理由相信，月球的居住者表现了他们栖息地的特征，即比我们地球有着更大的高山深谷”。^①稍后，他的畅想进一步发展到木星，“我必须指出，不仅月球上有，而且木星上，还有现在刚刚发现的那些地方都有人居住，也不是不可能的”。所有这些，开普勒认为，全都指向日心学说，这就让他倍感振奋：^②

众人的欢呼归于哥白尼，这个有着非凡心智的人，是他仅仅通过肉眼的观测就得出了宇宙的图景。但他发现的只是纯粹的事实。在古人后面遥遥追随的是开普勒。从实际看见的哥白尼体系的图景，从事实到原因，他一直深入到柏拉图在好多世纪之前推演出来的解释。他指出哥白尼的世界体系表现了五种正多面体[所包含]的理性，认为古人超越今人并非愚蠢或是妒忌，这个问题的本质正是要求我们这么做。因为世界创造者的荣耀比尘世中的、不论多么颖慧的研究者，要更伟大；前者自己设计了[宇宙的]构造，而这些研究者，不论多勤奋地努力，都很难领悟到深藏在宇宙结构中的[创世]计划。当然，因为这些研究者能在感官感知之前依靠智慧抓住现象的原因，他们比一般人更接近造物主，而一般人只有在现象显现之后才能猜想推演其原因。

值得注意的是，在《星际信使》中，伽利略谈论的是现象，是他看见了“什么”，而开普勒，在接到伽利略的报告后，着意发挥的是原因，是“为什么”；他们看问题的角度、他们判断的标准、他们关注的焦点都不一样。而问题的这两个方面，在17世纪初，尚自是鲜有交集，两位伟大的天文学家在各说各的。伽利略会说，木星卫星的存在提示了日心说，而开普勒则断然声称，日心学说从一开始就是正确的；

① *Conversation*, p. 28. 下一段在 p. 39.

② *Ibid.*, p. 38.

因为只有接受了日心学说，才能理解木星卫星的存在：^①

这一结论只有对于那些接受哥白尼的宇宙体系的人，比如你伽利略，还有我，才更加显而易见。因为我们看到，月亮像是一颗行星那样，不可能为别的星球的精心安排，而只可能是为了地球，[月亮]绕着地球运行，自己又在运动……而木星沿着[周期为]12年的轨道运行，有四颗卫星^②前呼后拥，那么，哥白尼说^③在地球作周年运动的同时，一个月亮以相同的方式和它连在一起，伽利略，就像你清楚地指出的那样，又有什么荒谬呢？

其实，当他振振有辞地宣称木星的卫星证明了日心说时，开普勒并没有亲眼看见这四颗小星星中的任何一颗。他的望远镜不行，^④他的视力不行，他的观测技术也不行。

晚近的研究者注意到，^⑤在科学史的早期研究中，常简单地指责伽利略的批评者“顽冥不化”，而对于望远镜观测在技术上的困难，则未能予以充分的估计。^⑥事实上，情形要复杂得多。我们知道，伽利略的望远镜镜头大约是2.5英寸，他所采用的是凹镜目镜，成正立的虚像，放大倍数是物镜和目镜的焦距比。虽说后来的凸目镜造成的是倒像，但对于天文观察来说，这该不是个大问题。由于当时镜片材料的限制，色差也可能是一个问题。但更加可能发生的，是由于放大倍数的增加，视野急剧变小，对于无经验的观测者，在操作中找不到观测目标

① *Conversation*, pp. 41—42.

② 这儿“卫星”一词为开普勒首创，开普勒大概是从拉丁语 *satelles*(随扈)借来的，见，例如，*Online etymology dictionary*, <http://www.etymonline.com>。

③ *De rev.*, ii, 24.

④ 1610年8月19日，在观测“新天象”的高潮中，开普勒曾向伽利略提出，要一架好一点的望远镜，但伽氏拒绝说建造一架好的望远镜“非常麻烦”。事见 S. Drake, *Galileo at Work*, *op. cit.*, p. 162。

⑤ Mario Biagioli, *Galileo's Instruments of Credit, Telescopes, Images, Secrecy*, Chicago: the University of Chicago Press, 2006, pp. 77f.

⑥ Stillman Drake, 例如，说“反对新发现的论说愚蠢之至，现代[案指20世纪50年代]研究者很难把它们认真地当回事儿”，见 *Discoveries*, p. 73。

也应当是意想之中的事。

当时欧洲最有影响的天文学家克拉维乌斯神父，在观测中就遭遇到了相当的困难。伽利略 1610 年 9 月 17 日给他写信，相当诚恳地提供了帮助：^①

我听说你和你的耶稣会弟兄试图在木星左近寻找麦迪奇星，但未能成功地找到它们。我并不感到很惊奇。可能是你们的仪器还没有达到所需的精度，也可能是观测者没有把仪器固定好——这是最最必要的；因为如果把望远镜拿在手里，即使靠着墙或别的稳稳固定的东西，仅仅是[观测者的]心跳或呼吸，就会使他们无法观测，特别是对于那些以前没有做过此类观察的人，我是说，没有用过这种仪器的人。

这儿提到的困难其实并不新鲜。我们还记得，^②当年第谷的一大贡献就是固定了观测仪器而把人差降到了最低。约略同时，克拉维乌斯和伽利略的一个共同的朋友，斯坦蒂尼，多次证实，^③他看见了麦迪奇星。斯坦蒂尼并不是一个专业天文学家，^④但对数学颇有心得，早在 1608 年就和伽利略通信讨论过数学问题，后来移居罗马，担任教职，最后移居米兰。他制作的望远镜的品质被认为是“1610 年 10 月初意大利唯一可以和伽利略制作的相提并论的”。在给伽利略的信里，他说神父也向他提过相同的问题：

克拉维乌斯神父写信告诉我收到了你的信……我写信告诉他，

^① *Opere*, x, 431—432, S. Drake 英译, 在 *Journal for the History of Astronomy*, 44(1984) 198—208, doc.2。

^② 参见第三章第二节。

^③ 例如, 1610 年 9 月 25 日给伽利略的信, 又上引 10 月 9 日的信, *Opere*, x, 444。

^④ S. Drake, *Discoveries and Opinions*, p.208, n.5. 下一句引文同此, 在 p.199。

我常常在不同的位置上看见它们[案指麦迪奇星]，因此我一点儿也没有怀疑[它们的存在]……我想问他们那些神父中是不是有几个，我说是最有声望的那几个，有些顽固……

为了说服罗马的天文学大腕儿们，斯坦蒂尼建议伽利略送一套他的望远镜给克拉维乌斯，但伽利略不以为然。事实上，可能是采用了伽利略的建议，也可能是通过一段时间的摸索提高了他的观察技术，1610年年底，克拉维乌斯证实，他也看见了麦迪奇星。他写信告诉伽利略，他确认木星的卫星“是存在的”。对于伽利略来说，这可是一次重大胜利。克拉维乌斯当时正担任罗马学院的数学教授，号称“16世纪的欧几里得”，又是格里高历的主要制定人之一。十七岁加入教团，是耶稣会诸公唯其马首是瞻的大师级人物。伽利略对于他的肯定当然非常高兴，但未暇细论，因为克氏不久就病重去世，而伽利略的注意力又已经完全转到了对金星的观测上去了。

1610年12月11日，伽利略在给开普勒的信中附上了一个字谜，这是科学革命时代研究者常用的一种做法，以此既能保证他们发明的优先权、又能赢得比较充裕的时间作进一步的研究：^①

同时，我也寄上另外一个我新近特别观察到的秘密，这一秘密将带出一系列的关于天文学上的重大争论的结论，特别是它自身包含了对于毕达哥拉斯和哥白尼的有力的证据，我将在合适的时候解密并公开其他的细节。

两个多星期后，伽利略揭开了答案，字谜的谜底是“金星模仿了月

^① 伽利略1609年12月11日给Tuscan驻布拉格的大使的信，原文在*Opere*，x，483，除字谜外是意大利文，S. Drake英译，在上引*Journal for the History of Astronomy*，44(1984)，201。谜面是*Haec immature a me iam frustra leguntur, o. y.* 谜底是*Cynthiae figures aemulatur mater amorum*，或“金星(mother of love)模仿月亮的形状”。

亮”。在给他的学生卡斯泰利的信里，他对这一“包含……对哥白尼的有力的证据”^①的观测作了细致的描述：^②

大约在三个月之前，我开始用望远镜观察金星。金星看起来是圆形的，并且很小。然后它逐日变大，并一直保持圆形，直到最后，当移动到了离太阳很远的地方，金星从东边开始缺失，失去圆的形状，在几天之内，缩小变成了一个半圆。这一形状保持了很多天，但尺度不断地扩大，现在又变成了镰形；在傍晚，只要还能看见，金星的两个犄角就继续变细，直到完全看不见。到了早上再出现的时候，金星两角尖尖，背离太阳；[后来]继续长大，到达大距时变成半圆。以后若干天保持半圆不变，但尺度渐渐变小，然后在几天之内从半圆变成一个完整的圆形，并在以后好几个月里，不论是晨星还是昏星，看上去都是这种样子，都是圆形，尺度也很小。

“你当然完全知道由此而推出的显而易见的结论”，伽利略紧接着对他的学生说。稍后，伽利略以最清楚的语言，指出金星位相的发现，是对金星绕太阳运行的一个最直接的支持：^③

……金星和月亮完全一样地改变形状，如果阿派勒斯现在透过他的望远镜看看，他会看见金星呈完整的圆形并且非常小。他可以继续观察，他会看见当金星达到距太阳最远的地方时，[看上去]就像是半圆，然后又渐渐变成犄角状，随着渐渐接近太阳，渐渐变得更细。接近合日时，看上去就像是两三天月龄的月亮……

① 这句话引自上文，*Opere*，x，483。

② 这是伽利略1610年12月30日写给Castelli的信，*Opere*，x，502—504，Drake英译，在上引文pp.207—208。为读者阅读方便，其中有些字作了少许改动，如将原文中的“仪器”径写作“望远镜”。

③ 见伽利略1612年5月4日写给Mark Welsa的信，1613年以“关于太阳黑子及其现象的历史和展示”为题发表，见*Discoveries and Opinions*，pp.93—94，下一段在p.94。

这些现象不再给对于金星轨道[的走向]留下任何怀疑的余地。和毕达哥拉斯与哥白尼的理论相一致，说金星是围绕太阳运行，绝对是必然的结论。

哥白尼在提出日心说时，^①曾经考虑到，如果他的说法成立，那么金星应该表现出类似月亮的位相。但是他没有观测到这一现象，并为此很感困惑，于是不得不假定金星可能是自己发光的。现在，伽利略说，事实上，有了望远镜的帮助，我们解决了这个曾经使日心说创始人都感到困难的问题：

的确，哥白尼本人曾经被迫承认这种可能[案即金星自己发光]……因为不然的话他就不能解释金星在太阳下方时为什么不显出一个犄角的形状。事实是，在望远镜发明之前，在望远镜让我们看见金星自然是、实际上是像月亮一样不发光、而且像月亮一样有位相之前，我们什么都说不出来。

当然，金星位相的发现尚不能为日心说提供判决性的支持，并不能在第谷模型和哥白尼模型之间提供非此即彼的选择，但是，在日心说提出后的七八十年里，越来越多的证据似乎都指向这一个方向，这就给研究者提供了越来越强的信心。伽利略确信，日心学说是对的，这是他的望远镜给出的、毋庸置疑的结论。他相信他的观察，他相信理性，他因此有信心，在任何地方，对任何人，强有力地表达这一点，正像任何明白的真理都应该被强有力地表达出来一样。1613年12月14日，卡斯泰利从比萨写信告诉他，他和大公爵夫人克瑞斯蒂娜谈到了日心说，而后者表示了相当的兴趣和疑虑：^②

^① *De rev.*, i, 10.

^② *Opere*, xi, 605—606, 英译在 *Discoveries*, pp. 151—152.

星期三早上我在宫廷大厅里进餐的时候，大公爵问了我一些关于大学的事。……然后他又问我有没有望远镜，我说我有，接着就说起我在前一天晚上对麦迪奇星的观察。大公爵夫人克瑞斯蒂娜想要知道这些星的位置，谈话又转到这些星星是真实的物事还是望远镜产生的幻象。……[吃完饭]我正要离开大公爵的豪宅，大公爵夫人的听差叫住我，说她叫我回去。……[在克瑞斯蒂娜的住所]，公爵夫人问了我一些关于我自己的问题后，开始争辩说《圣经》和我所说的正相反对。……我开始以信心和尊严与那些神学家周旋，你如果听见我的说法一定会很开心。……我颇是赢得了大公爵[的理解]，只是大公爵夫人仍旧对我的说法表示反对，但我觉得从她的语气看，她也只不过是听听我是怎么回答她的而已。

克瑞斯蒂娜是大公爵考斯莫麦迪奇的母亲，这时她丈夫费迪南德已去世四年，但大家仍习惯地称她作“大公爵夫人”。尽管没有人要求他作出答辩或论说，伽利略在收到了卡斯泰利的信仅仅一个星期以后，12月21日，就发出一封非常长的信，系统地阐述了他对《圣经》和新天文学的看法。^①

1515年12月，伽利略再度到罗马声辩，细致地阐述了他对宗教和科学的关系的看法。伽利略首先明白表述了他对日心学说的服膺——并不是盲目地相信，而是深思熟虑地信服：^②

……至于宇宙这一部分的排布安置，我认为太阳静止不动，稳居天体运行的轨道中心，而地球绕其轴线自转，同时又绕太阳运

^① 1613年12月21日给Castelli的信，原文见*Galileo Affair*, Maurice A. Finocchiaro trans. and ed., Berkeley: University of California Press, 1989, pp.49—54。

^② 1615年发表时题为“给Tuscany大公爵夫人的信，论在科学领域中运用圣经”，1897年复印本，*Galileo a Madama Cristina di Lorena*, S. Drake英译，收在前引文集*Discoveries and Opinions*中。下文径以1615年本为讨论对象，而不作细致的文本考证，以免枝蔓。下一段引文在p.177。

行。……我支持此一观点并不是仅仅[为了]和托勒密或亚里士多德唱反调，而是做出了很多反证，特别是有一些反证，与之相关的物理结果或不能用除此以外的任何方法加以解释。

的确，日心图景既不是一种归纳的结果，又不是一种演绎的结论；而与之相关的观测，从对象上来说并不是日心体系本身，从手段上说也不是感官所感知的、可以把握的感觉而是望远镜所提供的间接的信息，这就构成了证明日心学说在方法论上的困难。当时哥白尼的支持者所面临的这一方法论上的困难，从本质上说迥异于以前自然学者所遭遇过的。对这一问题的深入了解，构成了科学革命的一个重要方面，当然，这是后话。伽利略的惊人之处在于，他明白地提出，他所拥有的证明，是一些反证，而如果承认自然是理性的和自洽的，那么这些反证可以看作是排他性地指向日心假说。这种方法论上的复杂结构，当然远非他同时代人所能理解，而他现在所能做的，是转而谈论日心说与《圣经》的表观冲突，这正是大公爵夫人，连同当时很多受过教育的人所担心或用以反驳日心学说的。伽利略首先指出：^①

为谴责地动日不动的观点而发展出来的一个理由是，在《圣经》的很多地方可以读到太阳运动而地球静止不动[的说法]。因为《圣经》是不会错的，于是产生出一个必然的推论，即任何坚持太阳本来是不动的而地球是运动的观点都是错误和异端。对此一说辞，我想首先最虔诚地表示，并明晰地宣称，《圣经》的言词决不可能有任何的谬误——如果我们真正理解它的意思的话。但我相信没有人会否认，《圣经》常常是非常深奥的，而且可能以很不同于字面意义的方式来谈论事情。如果仅仅拘泥于严格的语法上的意义来研读诠释《圣经》，就可能陷入谬误。……这样，我想，一个合理的结论是，《圣经》

^① *Discoveries and Opinions*, pp. 181—182.

在谈论任何物理方面的结论时采用的原则是避免在常人的心中引起混乱,使得他们不肯走向更深奥的秘密。

伽利略的逻辑是,《圣经》是不会错的,但是我们的理解可能会有错。这就在科学研究和《圣经》教义之间安置了一个广阔的回旋缓冲的空间。——我们很难说伽利略的做法是一种计谋,意在规避与教会的冲突;从事后的发展看,没有理由认为他不是虔诚的天主教教徒,没有理由认为他是有意在和教会周旋,他的话是真诚的。作为一个教徒,以最卑恭的心情体会上帝的大能,而不是自以为是地把自己的解释加在《圣经》之上,应该是虔敬的表示。在批评了什么是不应该做的,伽利略提出了他认为正确地解读《圣经》、从而消除日心学说和《圣经》的表观矛盾的途径:^①

有了这样的考虑,我想,在讨论物理问题时,我们应该不是从经文的权威出发,而是从感官的感觉和必要的推理出发,因为《圣经》和自然界中的现象同样是从神的言语中来的,前者由圣灵陈述,而后者则是上帝命令的明白表达。为了做到让每个人都能看懂,《圣经》不得不在字面上看上去同绝对真理不一样。但是另一方面,自然界则是不可穷尽的并且不会朽坏变形,自然从来不会稍稍改变[上帝]所加的法则,也不会在乎其精深微妙的原因和方式能不能被人所理解。……《圣经》并非字斟句酌地严守种种条件,如同那些制约物理效应的[法则]那样,而自然的活动中所揭示的上帝,较之《圣经》的神谕毫不逊色。

我们还记得基督教关于“两本书”的教义,^②传承有自,这倒是可

① *Discoveries and Opinions*, pp. 182—183.

② 参见第一章第二节。

以接受的。伽利略所发挥的，正是由此而来的——或者说是由此出发的：他在比较这两个来源；不仅如此，他还力图说明，“自然之书”较之《圣经》更加可靠，更加精确，因而更加值得信赖。虽说前者是“毫不逊色”，但是，从这一简单的比较中，任何人都可以看出，“自然之书”更胜于《圣经》：它不会朽坏，不会因为要让人理解而稍稍变形。这有些离谱，听起来有些离经叛道，但他紧接着引述了德尔图良的话证明他的看法完全合于基督教正统：^①

我们可以确定，我们首先通过自然认识上帝，然后，更加特定地，通过经文；自然是他的工作，经文是他所揭示的道。

然后伽利略大段地引述了经典著作家和经文，证明对于《圣经》的不拘于一字一句的字面意义的解读方法并非他的新发明，更不是异端。^②圣奥古斯丁，他们当代的、极负盛名的枢机巴若尼斯，《圣经》本身的传教书，都有类似的说法。稍后^③他还举出具体的例子，《约伯记》中的一段经文，“神将北极铺在空中、将大地悬在虚空”。^④伽利略说托马斯·阿奎那就注意到，《圣经》所说的“空中”和“虚空”，实际上不是“空”的，而是充满了空气。他说托马斯的原话是：

苍穹的上半在我们看来是空的，而不是一处充满空气的空间，常人看来是[什么都没有的]虚空，《圣经》通常也随着常人这么说。

至此，伽利略的逻辑是，《圣经》是不会错的，自然也是不会错的，但是现在两者不相协洽，唯一的可能就是我们把《圣经》理解错

① *Adversus Marcionem*, ii, 18.

② *Discoveries and Opinions*, pp. 184—191.

③ *Ibid.*, p. 201.

④ 中译用合和本，约伯记 26：7。

了，换言之，《圣经》不是我们理解的这个意思。他又花了很长的篇幅，细致地讨论了约书亚书中常被人引用的支持地心说的经文：“约书亚就祷告耶和华、在以色列人眼前说、日头啊、你要停在基遍，月亮啊、你要止在亚雅仑谷。于是日头停留、月亮止住、直等国民向敌人报仇。这事岂不是写在雅煞珥书上么。日头在天当中停住、不急速下落、约有一日之久。”^①伽利略说，因为约书亚是在向以色列人讲话，而“因为他的话是说给那些很可能是完全不懂天上的运动的人听的”，^②所以他必须用他们听得懂的说法。听上去言之成理，但是，当经文和自然现象不相洽合的时候，为什么我们有信心说一定是我们对经文的理解出了错，而不是我们对自然的观察出了错呢？稍后，伽利略更清楚地回答了这一问题：^③

如果哲学家、天文学家和数学家通过感官的经验，精密的观测，以及必要的演示证明，地球的运动和太阳的静止在物理上是真实的，它就决不可能和信仰或圣经相抵牾。在这里，如果《圣经》的某些段落听上去与此矛盾，我们就不得不认为这是因为我们心智的弱点，使得我们在这一特殊的情形中，无法抓住《圣经》的真意。这是一个普遍的原则，完全正确，因为一个真理不会和另一个真理相抵牾。

他很清楚地指出，自然向我们提供的信息，通过“感官的经验，精密的观测，以及必要的演示”反映到我们的认识之中，因此不可能有任何的变形。他的信心如此坚强，在畅论古代著作家对宇宙的看法之后，他回到“甚至在我们的时代”，称还有很多人会固守没有什么道理

① 约书亚书，10：12—13。

② *Discoveries and Opinion*, p.211.

③ “Galileo on Copernican Opinion,” 这原是一份手稿，无作者，无撰写日期，但据 A. Faravo, *Opere*, v, 277, 这确是伽利略所作，时间约在 1615 年或 1616 年 1 月或 2 月。英译在 Maurice A. Finocchiaro, pp.80—81。

的看法；对于这些人，他不屑一顾，因此也——^①

不值得努力去改变他们的看法。他们无力理解相反方面的论据，因为这些论据所依据的观测太过精密，所依据的论据太过微妙，这些论据所赖以建立的基础太过抽象，要求特强的想象力，而这是他们所不具备的。由此，即使诸天的稳定不动和地球的运动对于聪明晓事的人来说是再清楚不过了，对于太多太多的粗人，我们仍旧必须假设完全相反的情形。在一千个可能被问到这样的问题的常人中，除了会回答说因为看起来是太阳在走而地球是不动的，所以他相信这是真的之外，可能没有一个能够作答。

伽利略太小看他的对手了，他们很快就会给他造成大麻烦。 克兰默尼尼，帕多瓦大学的哲学教授，当时有影响的数一数二的亚里士多德研究者，^②坚持亚氏的说法，甚至不肯使用望远镜，据说是“看了就头痛”，^③而只是通过“哲学”就断定月亮表面“不可能”有伽利略所说的山峰和深谷。对于“月上”的事，他好像愚钝到了极点，但是对于尘世，对于教会可能会采取的行动，他却比伽利略有更清醒的认识。作为伽利略的朋友，他认真地劝说伽氏留在宗教裁判所势力较弱的威尼斯以逃避可能的迫害。但是这可不是伽利略。他不仅回到了佛罗伦萨，而且对于他的反对者，时时批评，而且用语尖刻，毫不留情。^④

1615年12月，多米尼格会的修士卡西尼在讲道时正面批评了伽利略和日心说，次年他向罗马宗教裁判所控告伽利略，3月20日作了正式

^① *Discoveries and Opinion*, p. 200.

^② 据说后来伽利略撰写《两大世界体系》时，他就是亚氏的代言人 Simplicio 的原型。

^③ Paolo Gualdo 给 Galileo 的信，*Opere*, ii, 564。也可能是心理上的反感，也可能是常见的生理上的反应，如很多人初戴眼镜时所感到的不适。但他后来的说法表明他确实对新发现持愚蠢的排斥态度。

^④ 比萨大学的哲学教授 Giulio Libri，笃信亚氏，不肯使用望远镜，但对伽利略的发现颇多批评，1610年底去世。伽利略在得知他的死讯时，写信给朋友说，“在地球上他不肯看一眼麦迪奇星，或许在去天堂的路上，他会顺便去看看？”*Opere*, xi, 14。

陈述。^①他指出，地动日不动的说法是违背《圣经》的，不仅和约书亚书，而且和箴言第 18 章，和以赛亚书第 38 章，咸相“冲突”。他说，他警告了他的听众，“没有人可以用有悖于各位教父所一致同意的方式解释《圣经》，因为这是教皇列奥十世时的拉特兰会议和特伦特会议所明令禁止的”。这就提示了当时争论的两个相互关联但绝非同一的层面：一是关于《圣经》经文应该作何解释，一是谁有解释《圣经》的权威。如果说只有圣主教们可以解释《圣经》，伽利略在给大公爵夫人的信中提出的种种说辞即被彻底推翻——并不在于他说得对不对，而在于他根本没有资格说。如果伽利略要坚持说《圣经》可以像他说的那样理解，他所挑战的，不仅仅是《圣经》的经文，甚至主要不是《圣经》的经文，而是圣主教和教会甚至教皇的独享的权力。

大概半年以后，又有两个人因为这个指控被传讯。^②但是细看讯问记录，似乎还是相当的泛泛而谈，主要要确定的，好像是伽利略是不是真的说过渎神或亵渎《圣经》的话，甚至给后世研究者一种“半心半意”和“例行公事”的印象。^③“1616 年 2 月 24 日星期三”，调查由十一位教廷人士联署，^④结论行文相当明白直接。关于所谓“太阳是世界的中心并且静止不动”的说法：

全体认为这在哲学上是愚蠢的和荒谬的，因为这一说法多处明显地和《圣经》的通常解释和圣教父和神学家的理解相抵牾，表现为异端；

留意这儿说的是“《圣经》的通常解释和圣教父和神学家的理

^① 和伽利略案件相关的几乎所有的文件都已译成英语并结集出版，颇利应用。下面的证词和相关的询问记录见于 Maurice A. Finocchiaro, pp. 136—141。

^② 即 Ferdinando Ximenes 神父和 Giannozzo Attavanti 神父。他们的证词在上引书 pp. 141—144 和 pp. 144—146。

^③ S. Drake 语，在 *Discoveries*, p. 217。

^④ Sergio Pagano, *I Documenti del Processo di Galileo Galilei*, Vatican City: Pontifical Academy of Sciences, 1984, p. 99, 英译在 Maurice A. Finocchiaro, *op. cit.*, pp. 146—147。

解”，这就说明我们上文关于这场争论焦点的“两个层次”的分析不是向壁虚构。至于“地球不是世界的中心，也不是不动的，而是整个儿地运动，并有周日运动”的说法：

哲学上的评判同上，至于神学信仰方面，至少是错误的。

两天以后，2月26日，^①枢机贝拉明根据教皇的命令，把伽利略叫到他住处，警告他说日心说是“错误的，他应该放弃这一学说”，然后一个次级的教廷官员对伽利略重申，要他放弃日心说，“从此不再坚持，讲授，或以任何方式，不论是口头的或书面的，为之辩护，不然的话，”教廷就要“启动不利于他的一系列程序”。伽利略同意并承诺按教廷的指示做。3月3日，贝拉明报告说事情已经处理完毕。3月5日，教廷宣布哥白尼的书“有错，必须在改正以后方可发行。”

伽利略是在1615年12月到达罗马的，至此，他在罗马耽搁了小半年。1616年5月，他拿到了一份贝拉明签署的文件，证明他没有被惩戒，更没有被起诉，离开罗马回到佛罗伦萨。后世研究者猜想，^②可能是几个主要的证人的证词尚不足以定罪，可能是他的[给大公爵夫人的]信并没有发表，可能是对于《圣经》他确实没有正面的或公开的诋毁，伽利略的书信没有被列入禁毁书目之中，而他本人也没有受到更严厉的惩罚。事情可能没有伽利略希望的那么好，他本来希望日心说不被禁止，甚至说服一些当权的大人物；但是也没有那么坏，不管怎么说，日心说只是被指为“错误的”，好像没有人一定说是“异端”。

1618年秋天，彗星三现，其中最后一颗特别明亮。学术界的讨论很快分为两派。一边以罗马学院数学教授格拉西^③为主，一边是伽利

^① 梵蒂冈档案，见 Maurice A. Finocchiaro, *op. cit.*, pp. 147—148.

^② Ronald Numbers ed., *Galileo Goes to Jail, and other myths about science and religion*, Cambridge: Harvard University Press, 2009, pp. 69—70.

^③ 其人生平事业见 *Biographical Encyclopedia of Astronomers*, Virginia Trimble, Thomas Villiam et al. ed., New York: Springer, c.2007, p. 436.

略。现在看来，关于彗星，两边都是借题发挥，争论的核心仍是哥白尼，^①尽管听上去他们是在讨论哥白尼从来没有讨论过的彗星一样。一如既往，伽利略对于他的对手毫不留情：^②

我好像在萨西[格拉西派在论战中用的假名]那儿看见一种信念，就是做哲学的关键是用有些名人的意见来支持自己的观点，好像如果我们的才智不是靠着别人的推理就完全没了生命力。他大概认为哲学是一种人创作出来的小说书，像是伊利亚特或是奥兰多，^③其最不重要的就是故事写的是不是真实的事。萨西先生，要紧的事儿可不是这么干的。哲学是写在这本大书里的，我说的是宇宙，在我们面前完全打开着，但是，除非我们首先学会理解它的语言，学会解释撰写它所用的符号，我们就不能读懂它。它是用数学的语言写的，它的符号是三角形，圆形，以及其他的几何图形，没有这些，人就不可能理解其中任何的字句，没有这些，人就是在黑暗的迷宫里游荡。

伽利略在这时写的文章，《试金者》，和以往一样，大受欢迎。对我们的主题特别有意思的是，很可能是这一成功，使得伽利略想重提旧事，对日心学说再作进一步的发挥。

第三节 1632：《关于两大世界体系的对话》 有力地支持了地动说

《试金者》的主要部分大概写于1622年夏天和秋天，10月手稿完

① 这一论战的所有四份相关文件均有英译，见 S. Drake ed., *The Controversy on the Comets of 1618*, Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1960。

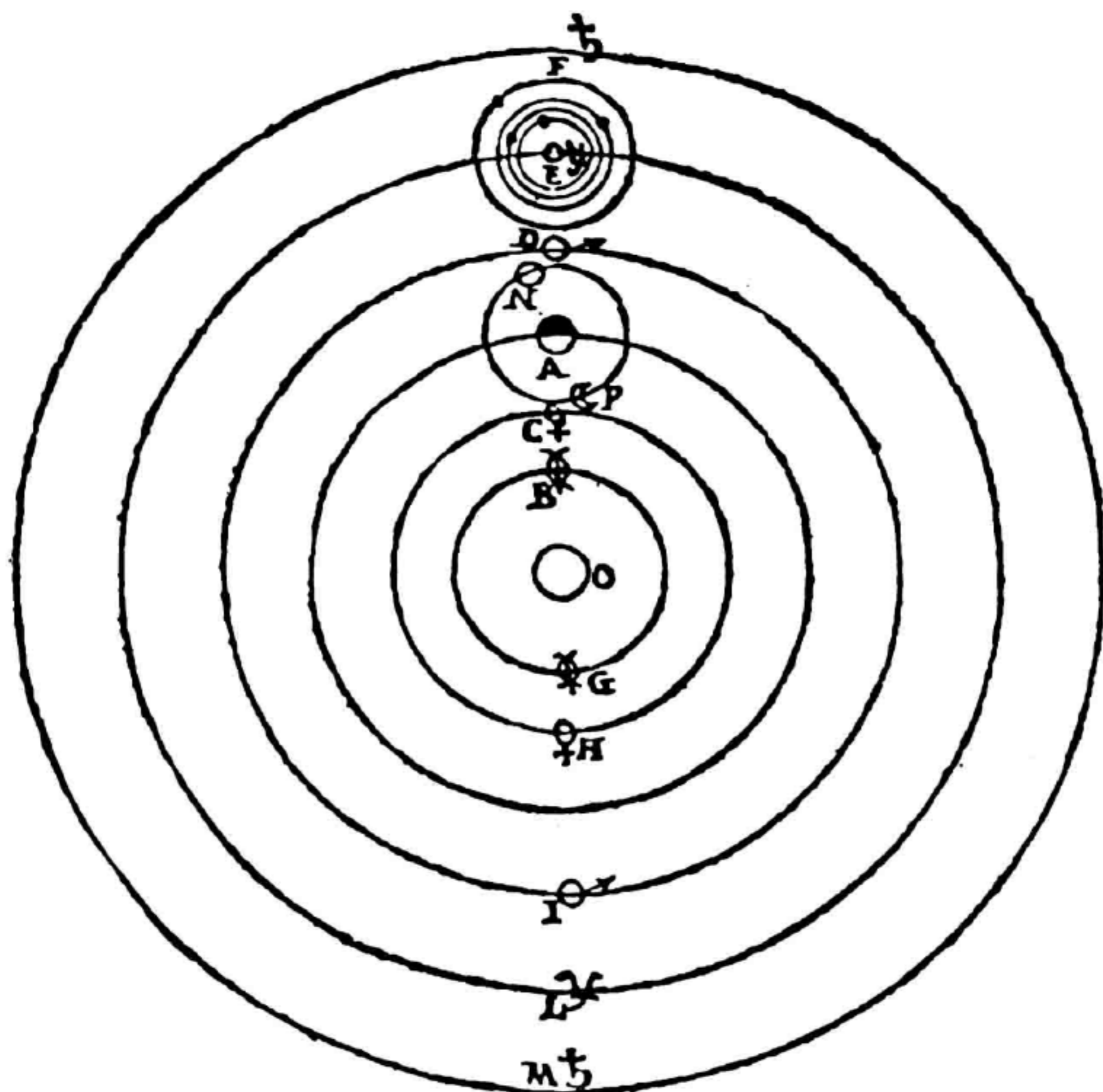
② *Opere*, vi, 232; 英译在上引 *Discoveries*, p.183。

③ *Orlando Furioso*, 意大利史诗，其完整的形式出现于1532年前后。

成，但出版似乎很是有些延迟。1623年8月6日，巴尔班瑞尼继格里高力十五世当选为教皇，是为乌尔班八世。巴尔班瑞尼素有爱学术之名，与猗猗学院多位学者友善，和伽利略交往更多，曾一同研究过浮力之类，伽利略于是很自然地把这本小书献给了新任教皇。就在这一年夏天，伽利略为教皇的侄儿在比萨大学取得博士学位帮过忙。巴尔班瑞尼为此给伽利略写信表示了感谢：“你对我和我的家人的常年的好意使我感激不尽，我期望有机会能报答你。我向你保证，你会看到我多么愿意为你的好意和我该向你表示的感谢尽力。”^①想一想，这是上帝在这个尘世中的代表说的话，那该有多么令人鼓舞。1624年4月到6月的六个星期，伽利略再访罗马，教皇亲切地见了他六次。这可不是一般人可以期望的宠幸。伽利略一定认为，大概是重提日心学说的时候了。在朋友的鼓励下，他花了四年时间，断断续续地写出了对于日心学说，特别是对“地动”的讨论，是为《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》。^②1630年5月，伽利略到罗马申请出版许可。他在那儿颇是有一些有权势的朋友，塔斯卡尼的大公爵，佛罗伦萨的大使，等等。出版物的主检察官和伽利略也是好友，同来自佛罗伦萨，看完对圣母和教会的虔诚的前言以后，不耐烦再看让人望而生畏的数学和天

① 巴尔班瑞尼1623年6月24日给伽利略的信，见 *Opere*, xiii, 119。

② *Dialogo di Galileo Galilei Linceo matematico sopraordinario dello studio di Pisa. E filosofo, e matematico primario del serenissimo gr. duca di Toscan*, 1632. 原著意大利文，拉丁译本由德国人 Matthias Bernegger 在1635年完成，是为 *Systema cosmicum*，当时大部分欧洲学者均使用这一版本。Bernegger 是一个很全面的学者，对天文学也有兴趣，与开普勒有书信往还。1632年伽利略要求他把《两大世界体系》译成拉丁文，但为不致对伽利略产生不利的影响，在该书拉丁文版的前言诡称伽利略并不知情，盖当时教廷对伽利略的审判已经开始了。见 Favaro, “Amici e corrispondenti di Galileo galilee, 33; Mattia Bernegger,” *Atti del Reale Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti*, 75 (1915—1916), pt. 2, 29—53。英译在 Maurice A. Finocchiaro, *Retrying Galileo, 1613—1992*, Berkeley: University of California Press, 2005, p. 72。本书有1953年 Stillman Drake 英译、Albert Einstein 序本，*Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*, University of California Press, (1967年修订本，2001, 1991, 1981, 1967, 1962, 迭有重印)，有1997年 Maurice A. Finocchiaro 节译本；有1974年“外国自然科学哲学著作编译组”中译本，上海人民出版社1974年版；有周熙良中译本，《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》，北京大学出版社2006年版。为读者查阅方便，下文中译页次均依后一译本。



伽利略所作的哥白尼的宇宙图景，其中太阳居中，向外依次是水星 B，金星 C，和地球 A。图上清楚地标示了作为地球卫星的月亮，注意绕地运行的月亮被标作满月 N 和朔 P，尽管朔并没有画成完全无光的，反而有些像是残月。从地球向外，是火星 D 和木星 E，而特别引人注意的是他所观察到的木星的四颗卫星也清晰可见，最外围是土星。唯太阳旁边的小圈令人费解，似乎没有理由把它解释为太阳黑子。图取自 Galileo Galilei, *Dialogue on the Great World Systems*, trans. T. Salusbury, Chicago: Chicago University Press, 1944, The Third Day, p. 107, 这是 Salviati 在讲解哥白尼体系时引导 Simplicius 画的。

文学的内容，就把书稿交给了助手。伽利略于是很顺利地通过了审查。^①

全书用对话体，因为“对话题材不受数学定律的严格约束的限制，有时候还可以插进一些与主题论据同样有趣的闲话”。^②伽利略显然对自己的任务有清晰的认识：他不仅要证明日心学说，而且要说明它，即让一般的受过教育的人了解和认识这一学说。这不容易。他也知道这不容易。因为传统、积习、常识和权威都站在他的反面。而且，在他看来，他的大部分反对者都非常顽固：^③

这些人已经蠢到连自己的短处都察觉不到了，就是把世界上所有的证明都放在他们面前，你能指望他们的头脑改变一丝一毫么？

可是他必须要让世人知道，因为这是真理，是他所珍爱的真理，他能够忍受一切，唯独不能忍受无知和愚蠢。多少世纪以来，世人已被常识、被权威蒙蔽了，所以不是单单证明就能改变他们的愚昧；他的任务是强有力地、畅晓通达地阐述这一学说，让人人都能看到是哥白尼而不是托勒密正确地描绘了宇宙的图景，而论说的关键先在“日心”而现在更在“地动”。盖随第谷的工作和金星位相的观测相继为学者们知晓，“日心”悄悄地变得不那么不可想象，而讨论和关注的焦点也渐渐移向“地动”这一侧面。

他把论述分在“三天”当中完成，^④——所谓“三天”，约略是文章的三大部分，因为是对话体，所以把内容划为“天”，以求其情景相

① James Brodrick S. J., *Galileo, the man, his work, his misfortunes*, New York: Harper, 1964, p.124.

② 《两大世界体系》，正文前第2页。

③ 同上书，第230页。

④ 原书共“四天”，第四天主要论潮汐。伽氏的看法未必精当，且篇幅也与前三天绝不相埒。这是先前开普勒的一个主题，见氏著《新天文学》引言及别处若干论述；又是以后牛顿的一个主题，见《原理》第3篇，命题24、36、37，论世界体系，第38—54节，题目既大，且与本书主题关联似也稍弱，遂从略，请以他日再作探究，以免枝蔓。

似也。第一天论亚里士多德，从亚氏的天地划分开始，逐步证明亚氏的学说并非是全然不错的，中心在批判对亚氏的莫名的崇拜。第二天从正反两个方面论“地动”：陈述地动的证据，反驳对地动的诘难。第三天的讨论集中在“日心”，或者我们现在说的地球绕日的周年运动，主要的论据是他利用望远镜做的天文观测。这三天环环相扣，步步紧逼，形成了强大的说服力，而贯穿始终的，是对人类理性的诉求：只要你愿意睁开眼睛看，只要你肯动脑筋思考，你就能信服。正是这一诉求，使得现代读者“本能地感到畅快”^①，使得这本书成为了“知识宝库”。^②

讨论从亚里士多德对于运动的分类开始。我们还记得，^③亚氏把运动分为三类，向上的，向下的和圆周的。对这三种运动的定义，其实涉及很多问题。首当其冲是什么叫向上，什么叫向下，这就要求确定一个中心点，或者用我们今天的话说，一个参照点。我们还记得，哥白尼在《提要》里，曾就这个“中心”是怎么回事作了反复的论述。其次，为什么有的物体向上运动，有的向下，这就要求对“物性”作一一定义，于是联系到亚氏的“轻”和“重”的概念。最后，圆周运动和直线运动的关系，或圆周运动之所以可能，也要求有一个说明。

伽利略认为，只有圆周运动是自然的，或者说，如果要假定宇宙是井然有序的，“如果世界上所有的完整的东西在本质上都是运动的，它们的运动就不可能是直线的，而只能是圆周运动，而且理由十分明显”。^④伽利略接下来的论证和亚氏其实也并非判然相悖。他认为，“大自然使物体先沿着直线运动，使其达到一定速度，”然后才沿圆周运动。他举例说，“上帝当初创造行星，比如说木星吧，就决定使它具有怎样的速度，而且从此以后一直保持着这个均速。……上帝开始

① 丹皮尔：《科学史》，李衍译，张今校，商务印书馆1979年版，第195页。

② 爱因斯坦为《两大世界体系》所写的前言，见许良英等译《选集》，商务印书馆1977年版，第1卷，第579页。

③ 参看第一章第一节，说在268b16—24。

④ 《两大世界体系》，前引第10—12页。下一段引文同。

使木星走的是一条直线的和加速的运动，后来在木星达到这种速度后，就把直线运动改为圆周运动，这样改变以后，它的速度当然就均匀了。”

上帝是怎样决定“这种速度”的呢？伽利略回答说：“行星运动的轨道与速度的大小，和它们从同一地点落下的距离，在比例上是一致的。”但是为了考察这个问题，需要：^①

……从最熟练的天文学家那里弄清楚各行星运转轨道的大小，以及它们的运转时间，从这些资料，我们就推论出例如木星比土星快多少……再进一步，我们还可以根据木星和土星的速度比例，根据它们之间的距离，并根据天然运动加速的天然比例，来确定它们原来该是处在什么地点，离它们现在运转的中心多高多远。……对于地球、金星和水星，我们同样可以这样做，而它们的轨道与运动速度，和计算出来的结果非常接近，这件事简直可以说是神奇。

伽利略接着归纳了圆周运动，并称这种运动“不打乱宇宙某些部分的秩序”，因为“在圆周运动中，圆周上的每一点都既是起点，又是终点”，“圆周运动能永远保持下去”，他最后得到结论说，“只有静止和圆周运动适用于维持宇宙秩序”。

为了解释行星运动速度和轨道半径，伽利略诉诸太阳系形成的初始条件。他认为行星的速度可以从类似落体的加速度来理解——在宇宙形成之初，行星由下落而达到某一速度，然后转为圆周运动，直至永远，而“某一速度”的选取和操作，则在上帝。这种模糊的运动学-初始条件的解释，在他看来，至少比开普勒谈论的那一套好：因为椭圆轨道要求时时的修正和维持，而开氏显然未能对这种一直在起作用的因素做充分的、合于因果要求的说明。开普勒谈论的“力”，是纯粹的非

^① 《两大世界体系》，第17—18页。下文在第19页。

理性的臆想；说它“非理性”，是说这“力”不可测量、不可验证，换言之，这样的观念远在伽利略所确立的“实证科学”的樊篱之外，自然无法理论。但是另一方面，如果不用“力”的概念，则无法说明椭圆轨道的运行机制。我们记得，当亚氏最初提出圆轨道时，他所要解决的，正是行星运行的原因。他找不出任何可以对这种永恒的运动负责的东西，他理所当然地诉诸圆运动，一种在他看来，也是在以后一千五百年当中所有人看来，不需要原因，不需要加以解释的运动。同样是出于这种考虑，伽利略始终没有接受开普勒的椭圆轨道，伽利略拒绝的，是臆想的原因；他要求的，是实证的原因，尽管在从直线运动转向圆周运动时，还需要上帝插手拨弄一下。这是理解伽利略的关键。

从这一思路出发，当伽利略转而讨论直线运动时，他直截了当地批评了亚里士多德，他说亚氏在逻辑上是循环的。伽利略说，按亚氏，火脱离地球以后，冉冉上升，“确实是升向比地球圆周更大的圆周”：^①

……但是他不能证实这就是宇宙的圆周，或者和宇宙圆周成同心圆……要证明这一点，他必须假定地球的中心，亦即我们看见轻物体上升时离开的中心和宇宙的中心是一致的；这就等于说地球的位置在宇宙的中心。这一点正是我们所要问的，而且是亚里士多德想要证明的。你说这不是明显的错误吗？

反诘是有力的：你的假定里包含了你要求证的东西，这不是“明显的错误”吗？紧接着，伽利略还让沙格列陀再加上了一个类似的论据，进一步得出，说“重物体趋向地球的中心，而不是趋向宇宙的中心”，比较合理。

下一个目标是亚氏关于“天体不朽”的论断，与此直接相连的，是

^① 《两大世界体系》，第22页。

天地的截然划分：天上是完美无瑕的，定常永恒的；地下是不断腐败的，不断变化的。伽利略从亚里士多德的研究方法出发，指出亚氏关于天体不朽的论断“首先是通过感觉、实验和观察”做出的，这是一般人都能够认可的方法。但是，伽利略同样利用人人可以感觉，可以观察的现象，做出了有力的反诘：^①

卓越的天文学家们曾经在月球轨道外面观察到许多彗星生长和陨灭，另外还有两个在1572年和1604年发现的新星，这些毫无疑问都是在月球轨道之外的。另外，靠望远镜曾经窥见在太阳的表面上有一些又浓又黑的物质产生和消失，很像地球上的云……如果亚里士多德当初看见了这些，你想他会怎样说、怎样做呢，辛普利邱？

亚里士多德相信的是现象。现在所有这些，昭然在天，为什么你看不见呢，辛普利邱？伽利略接下来细致地描述了太阳黑子的情形——这是因为不同于新星彗星，黑子在当时对知识界还是个新鲜事儿，需要作一些介绍。但是这确实是人人可见的东西，而亚里士多德不是说过，“凡是感觉经验所昭示的，都应当放在任何论证之上”，^②伽利略于是满怀信心地说，“如果亚里士多德现在还活着的话，我敢说他会一定会改变自己的看法。这一点我们从他自己的论述方式上，也会很容易地推论出来……”

接下来伽利略又花了很长的篇幅讨论了月亮，对此我们在讨论《星际信使》时已经有了了解。他指出，因为有了望远镜，“我们已经使天体离我们比离亚里士多德近三四十倍，因此能够辨认出天体上许多事情，这些都是亚里士多德所没有看见的”。所以，他满怀信心地指出，“我们要比亚里士多德更有把握”谈论太阳和天体。

^① 《两大世界体系》，第33页。

^② 同上书，第36页。下一段在第33页上。

这是第一天。细看伽利略的论述，贯穿始终的是一种理性的批判精神：他没有不加分析地否定亚里士多德，恰相反对，他要批驳的，是“亚里士多德的信徒”和“逍遥学派的哲学家”，这些人食古不化，把亚里士多德的论断作为亘古不变的僵死的教条。“学好亚里士多德哲学的条件，是必须懂得他的方法。”^①伽利略多次重复了这样的假定，“如果亚里士多德还活着的话……”他想要谈论的，是活的亚里士多德，而不是作为崇拜对象的、类似于神龟的亚里士多德。“亚里士多德的信徒们，由于过分地想抬高他的声誉，反而损害了他的声誉。”这就是伽利略。从他的论述中透出的，是一种分析和实证的精神，正是这种精神，带着我们走出了中世纪。

既然天和地没有这样的原则差别，既然地球没有在本质上不同于其他行星的地方，为什么不能假定地球也是在运动的呢？在第二天从此开始，伽利略分三个层次，阐述了地动说，这一在当时最富争议的学说。首先他说明，依靠感觉我们无法判断地球运动与否，其次说明从理性分析出发，地动学说比地静学说有巨大的优势，最后对于关于地动说的最常见的诘难做出了正面回答。论述的逻辑是严密的。最后的结论是，我们不仅可以假定地动，而且应该相信地动。

从亚里士多德以下，对地动说的诘难相当程度上是建立在人的感觉以及由感觉而来的常识之上的，而常识是很顽强的东西。这是伽利略必须打破的第一个障碍：^②

我们开始这样来考虑问题，就是任何可以归之于地球本身的运动，只要我们始终看着地球上的事物，必然是我们察觉不到的，就好像是不存在一样。因为作为地球上的居民，我们也同样在动着。

① 《两大世界体系》，第76页。下一段在第78页。

② 同上书，第81页。

这是后来被称作伽利略运动相对性原理的基本论断，这是常识所能理解的，尽管不是很多人所能立即感受到的。“周日运动看来是除地球以外整个宇宙的最普遍的运动”，这是通常人们感觉到的事，但却不是真实的情形。为什么呢？伽利略一连气提出了七条证明。第一条纯粹是哲理性的：“自然界能通过少数东西起作用时，就不会通过许多东西来起作用”。他是说，我们所看见的诸天的周日旋转，可以归为地球的周日运动，也可以归为诸天的周日运动，而且按刚刚的讨论，我们在本质上无法辨认哪一个是“真实的”。但是，常识告诉我们，转动一个渺小的地球，显然要比推动整个宇宙省事得多，^①

那么，自然界只要使一个球体环绕自己的中心作适当的运动就可以达到目的了，谁会相信自然界会费那么大的事使无限巨大的天体以不可想象的速度运动呢？

对于现代读者而言，这一论证易于想象但是并没有多大的说服力，但对于伽利略的同时代人，对他的读者说来，这一论证不易想象但确有很大的说服力。的确，自然怎么会这么蠢呢？这可是不问自明的。这一条后来被称作“简单性原理”的原则，^②在17世纪，甚至在以后很久，都是科学赖以建造的基石之一。五十年后，我们还要看到，牛顿同样把他的理论建立在这块基石之上，当然，这是后话。

第二和第三条证明，是关于行星运动的。地动更好地说明了行星的逆行和行星运动周期从里向外有规律的排布。这是哥白尼用过的，后来又被开普勒重复过的两条证据。“在那些天体中间，我们确实看见有一种秩序存在……轨道越大，旋转一周的时间就越长。”伽利略在

^① 《两大世界体系》，第83页。

^② 这是一个很大的题目；历史既久，一直到现今仍受“认知科学”的关注。以本文的主题和作者的学识，自然无法作细致讨论。下文只是按最朴素常见的形式接受这一原理，以免枝蔓。

很大程度上重复了他的这两位伟大的先驱者，“如果我们假定地球是自转的，星体运行的周期就变得井然了”。第四和第五条证明建立在对恒星运动的分析之上。伽利略认为，如果一定要假定恒星在运动，那么其运动速度会有巨大的差异，而且会有时快，有时慢，这不合常理。

为什么“秩序井然”能够作为地动假说的一个论据呢？为什么我们观测到的现象必须“符合常理”呢？这是因为宇宙应该有井然的秩序，这是一种人人都认为是理所当然的要求。值得特别注意的是，这是一个纯然先验的假定，它的基础在自然科学探讨的领域之外。所有这些证明，都包含有一个未经明示的前提，即自然是有规律的，而这种规律是合于理性的，因而也是理性所能理解的。伽利略的论证常有这样的结构：如果否定地动，那么就会破坏宇宙的秩序，而这个秩序是先验地存在的。因而任何经验的东西，必须在这个基础上接受严格的考察，以这一信念为准，合则留，不合则去，因为根本不可能有有悖于理性的现象存在。这样，伽利略就从根本上把亚里士多德的论述原则倒了个个儿：按亚氏，现象是至高无上的，所有的推理，必须凑合现象，以这一信念为准，合则留，不合则去，因为根本不可能有有悖于现象的理性存在。

最后，伽利略从物理的观念考察了地动说，是为第六条和第七条证明。既然坚实的天球已被“任何一个明白事理的人”确定为“无法理解的”，那么，这么多恒星，^①

它们相互之间的位置一点不变，然而却要以快慢极端悬殊的运动和谐一致地被带着周转，这岂不是更不成话了吗？……如果恒星天是流质的，而每一恒星都可以在其中自由遨游和周转，那有什么规律可以操纵它们的运动，使其在地球上望去就像是一个天球一样呢？

^① 《两大世界体系》，第85页。

确实，如果是这样的话，“那有什么规律”可言呢？但是，规律，不是我们大家一开始就同意，是一定存在的吗？而且，地球也包裹在这种流体之中，那么它怎么能独自置身事外，保持不动呢？所有这些，伽利略都诉诸他的读者的“理性”，而他所要打破的，是人的“感觉”。

按亚里士多德，感觉向我们提供的，关于地不动的证据，除了人人看见的太阳东升西落之外，还有当时人人耳熟能详的三个论据，一是重物从高处落下，二是射向高空的发射物，这两件物事都落到原地，三是东西向发射的炮弹和南北向发射的在射程上并无明显区别。在当时人看来，这些实验“简直是无法反驳的”，^①所以伽利略花了很长的篇幅讨论这些在我们看来很容易反驳的证据，其核心仍旧是后世所称的“伽利略运动相对性原理”，正如他已经多次阐述的，在地球上没有一种实验可以判定地球的运动状态。比如让“石子从船的桅杆上落下来，不论船是运动着还是静止着，都落在同一地点”，^②“那么这样的降落实验，对你要决定船是不动的还是运动的，又有什么作用呢？”

那么为什么很多人会相信，这种实际上什么也证明不了的实验可以用来证明地球是静止的呢？伽利略进一步揭示了辛普利邱接受荒谬误判的原因：

……这些权威们没有做过实验就得出了结论；你自己就是很好的例子，因为你没有做过实验就肯定了，并且对权威的教条深信不疑。

那么，辛普利邱反问，那么你做过实验没有呢？“甚至一次也没有做过么？而你为什么这样信口开河地声称这是肯定无疑的呢？”伽

^① 《两大世界体系》，第89—90页。

^② 同上书，第102—103页。下一段引文同。

利略的回答令人吃惊：他的确也没有做过实验。但是——

不靠实验我也敢保证结果将和我告诉你的一样，因为它一定会是这样；……

伽利略也没有做过这个实验！但是他“敢保证”！正是在这一点上，伽利略率先接触到了近代科学精神的核心：他不是不加区分地反对亚里士多德，他是反对非理性地崇拜亚里士多德；他不是为了想看看“会有什么事发生”来做个试验试试，他是有了一个结果而来做个实验、看看这个结果是不是合于预期，而这个预期事先由理性的分析导出。只有当理性引导着对自然的探索，这种探索才能和对于自然的猎奇式的、无目的的、零星采录区分开来，才能成为真正意义上的科学。^①当然，这是后话。

至此，伽利略完成了他关于地球自转的论证：先是支持自转的论证，其论说方式在今天的读者看来应当有些奇怪；接下来反复讨论反对自转的一系列证据，说明这些证据并不能必然地得出“没有自转”的结论，换言之，对于判定“地静”还是“地动”，它们是无效的。之所以要这么细致地讨论反面证据，是因为伽利略确信，“真理就是具备这样的力量，你越是想要攻击它，你的攻击就越加充实了和证明了它”。^②完成了这些讨论以后，伽利略对之所以会发生这种误判的原因作了分析，正是这一分析，标志了近代科学认识论的一个最基本的改变。伽利略强调，在对自然的探索中，理性占主导的、主动的地位，而感觉不再是研究的出发点。这和亚里士多德的看法正恰反对，构成了对科学研究的真正的革命。在伽利略看来，亚氏意义上的不带目的的

^① 关于伽利略思想实验的研究，最初由 Koyre 提出讨论，见氏著《伽利略研究》，刘胜利译，北京大学出版社 2008 年版，第 258 页及以后。以后讨论延续至晚近，James Robert Brown 和 John D. Norton 各执一端，相互驳难。这是科学史的一个经典论题，但本书主题既然是日心学说，自然不宜旁骛，以免枝蔓。

^② 《两大世界体系》，第 141 页。

“看”，对于看见的东西兼收并蓄地接受，把感觉当作是我们了解外部世界的唯一可靠的源泉，并不能深入自然的本质，人的认识必须跨越这一障碍。

这不容易。谁能怀疑自己的感觉呢？谁能相信他自己的眼睛正在欺骗他自己呢？在讨论一开始，辛普利邱就多次声明，“感觉经验应当比人类理性可靠”，“亚里士多德认为感觉胜过理性”，^①伽利略针锋相对地提出，“我们要学会更慎重些，不要对感官传给我们的第一个印象过分相信，因为我们很容易上感官的当”。或者用一种简化的方式说，“依照哥白尼的方法，一个人必须否定自己的感觉”。^②

在细致地回答了逍遥学派的反驳之后，伽利略用当时非常流行的一个例子，说明感觉并不总是提供可靠的判断的。这是一个“表明所有用来反对地球运动的那些实验全然无效的一个实验”，即在封闭的船舱中，无论用什么方法，都不能判断船是出于静止状态还是在移动：^③

……只要运动是匀速的，也不忽左忽右地摆动。你将发现，所有上述现象丝毫没有变化，你也无法从其中任何一个现象来确定，船是在运动还是停着不动。

“只要运动是匀速的”，即无加速度的，这就是后来被称为伽利略惯性系的物理系统。在这个系统内部，无法通过实验判定其运动状态。乘客是“凭借别的感觉，例如视觉，再加上推理，来察觉船的运动。……如果你要靠这种经验来证实地球在运动，我可以告诉你去瞭望一下那些恒星……”^④于是，讨论进入“第三天”，讨论中心转向“日心”。

① 《两大世界体系》，第20页，他在第29页又重复了一次，最后一句在第36页。

② 同上书，第177页，前一句在第178页。

③ 同上书，第130页。

④ 同上书，第178页。

和前两天的论述结构一样，伽利略从破除对亚氏的迷信开始。他用的例子是1572年仙后座新星。伽利略注意到，有十二位天文学家，包括第谷，观测了这颗新星，得出结论说这颗新星属于恒星天层。经过长达20页的分析，伽利略说，“毫无疑问可以推断出，[新星]或者是完全没有视差，或者是视差很小，以致粗率的计算就证明新星离地球的距离巨大。”^①这是五十年前的事了，在17世纪30年代伽利略谈论“两大世界体系”时应该不是新闻了，他作如此细致的讨论，意在说明反对日心学说的人所坚持的，是完全非理性的，没有理由的；而“当一个人找不到任何有用的理由来为他的错误辩护时，就提出一些轻率的借口……”而在排除了这些“借口”以后，伽利略从行星的运动分析正面阐述了哥白尼的日心学说，“你得根据理性的引导来排布和安置宇宙的各个部分。……”你会认识到，^②“从许多观察推论出，行星环绕的中心是太阳而不是地球”。^③

首先是行星离地球的距离，有时近，有时远，而且“这里的差别非常之大。”对外行星说来，这是指冲和合时的距离；对内行星说来，日心的主要证据是它们所表现出来的大距，“原因是它们从来没有离开太阳很远。”其次是金星形状的改变，接下来是对除地球之外的五大行星逐一分析，“所以”，伽利略总结说，如果放弃处在宇宙中心的静止的地球而代之以日心说，整个图景“会是多么简单，对许多天体的重要现象都提供了解释”。^④

证据清楚易见，论述明白畅达。既然如此，为什么还有人仍旧相信地心说呢？对于反对者，伽利略说，“的确，他们头脑越是简单，就越不容易使他们相信自己不行”。对于那些坚持日心学说的人，伽利略赞扬的，不仅仅是他们赞同这一学说，更重要的是：

① 《两大世界体系》，第218—219页。

② 同上书，第227页。

③ 同上书，第226页及以下。

④ 同上书，第230页。下一段在第230—231页。

对于他们的卓越才智我只有钦佩到五体投地；他们完全是靠理智的力量对他们自己感官的破坏，从而相信理性所昭示给他们的真理，而不去相信感觉经验看上去显然相反的那些事情。……当我想到亚里斯塔克和哥白尼能够使理性完全征服感觉，不管感觉表现为怎样，依旧把理性放在他们信仰的第一位，我真是感觉到无限的惊异。

稍后他又再强调了一遍：^①

……如我以前说过的，我们可以看出他[哥白尼]以理性为向导，继续坚持那种好像为感觉经验所否定掉的见解。

在这一页的页边上，伽利略再强调一遍：

哥白尼信赖理性，而不信赖感觉经验。

从这张“根据理性的引导”做出的宇宙图景，伽利略重新把太阳系描述了一遍，引进地球运动，解释了五大行星运动的巨大差异，说明了三颗外行星的不规则运动，特别是他们的逆行。如果行星确实以不同的速度围绕太阳做圆周运动，而且越靠近太阳的行星运动得越快，那么，从地球上看来，被观测的行星的视运动就应该是它自身的运动和地球的运动的叠加；如果后者较快，前者看上去就好像是在倒退一样，这是很容易想象，很容易理解的。伽利略还画了图，逐点地向他的读者描述了这种速度叠加造成的效果。这对于他同时代的人来说，一定具有巨大的说服力，而对于我们生活在四百年以后、日心说已不是个问题，实在是一种常识了。

^① 《两大世界体系》，第 239 页。

他接着说，“天文学家的主要任务是给天文现象提供理由”。他注意到的“天文现象”是地轴有固定不变的空间指向，这是他和开普勒都注意到的，而哥白尼未能完美解释的地球上的四季变化的原因。和开普勒一样，伽利略转而利用磁力来讨论这一非常令人困惑的现象，尽管他不同意，也没有引证开普勒。但是——^①

一旦你像我一样产生了好奇心，并且体会到自然界有无穷事物对人类理智说来还是未知的，你就会从奴役状态下解放出来，你的理性就会稍稍摆脱束缚，你的[拒绝新事物的]顽强就会变得温和。这样一来，你有一天就会不再只听古人的话，而抹杀感觉经验的证据。

和开普勒不一样，伽利略没有建立一个完整的、以磁力为基础的理论来说明地球的自转，地轴的倾斜。容易理解，开普勒的船夫和河流之类既不能验证又不能推理的论说，对于伽利略而言是太浪漫了，但是他并没有由此拒绝对自然本质的探索。根据理性，伽利略肯定了哥白尼；根据理性，他拒绝了开普勒；同样根据理性，伽利略确认自然在他的面前无尽地展开，因此“把宇宙间一切我们不懂得是否为我们创造的事物都称作多余的，是非常冒失的举动，”^②而“天上可能有许多我们看不到的东西”。

16世纪初莎士比亚从汉姆莱脱的嘴里说出，^③“天地之间有许多事情，是你们的哲学里所没有梦想到的呢”。《丹麦王子复仇记》的上演和伽利略《两大世界体系》的出版当无联系，但似也不能简单地归为巧合。事隔三十二年，一前一后，所展示的恰是那个时代正在悄悄出现的一种开放的心态：正是伽利略的这本书，要把人们“从奴役状态下

① 《两大世界体系》，第280页。

② 同上书，第258页；下一句在第259页。

③ 《汉姆莱脱》，I，5，朱生豪译，《全集》，人民文学出版社1978年版，第9卷，第33页。

解放出来”，“要人们不带偏见，并且孜孜不倦地对物理事实和天文事实求得更深入、更一致的理解”，^①这就不可避免地导向了与传统，与权威，与“僵化的思想体系”的冲突；对伽利略说来，这一冲突很快就变成了一场真正的悲剧。

第四节 1633：教廷判定太阳不按《圣经》 教导的方式运动是不对的

其实，讨厌伽利略的，岂止是几个被他批亢嘲讽过的人呢。他对月球表面和太阳黑子的观测，为亚里士多德派学者所不容；他发现的木卫系统和金星位相，有力地支持了日心学说，使得坚持地心说的人，遭到了沉重的打击；他关于科学和宗教的议论，明显地提示了一种对教义的迥异于传统的诠释方式，挑战教廷的权威，让耶稣会的人感到不可容忍。他们一直在警惕地注视着伽利略，1615年给大公爵夫人的信就是离经叛道，1618年的彗星引出的《试金者》，让他们看到了更加危险的议论。在谈到我们的感官和意识时，伽利略说味道、颜色、气味等等其实是我们人的感觉，如果没有人，就没有这些东西。^②有人揭发说，^③这就否定了圣餐的变体说：如果酒和面包不是耶稣的血肉，而只是我们的感觉，那么圣餐就只有象征性的意义。这在当时可是个大题目，所谓的反改革运动正在高潮，教廷对一切可能导向路德的观点都特别敏感，而圣餐恰是新教谈论的一个主要议题；我们还记得，路德、加尔文，还有维腾堡的菲利普马兰克顿，都对此有细致的讨论。如果这一指责成立，那伽利略的麻烦可就大了。但是让后世史家小感不解的

① 爱因斯坦语，见前引《文集》，第581页。

② Assayer, Eng. trans. by S. Drake, *Discoveries and Opinion*, p.274.

③ 这就是所谓的“G3档案”：在梵蒂冈档案中有一份标有“G3”字样的文件，指责伽利略否定圣餐中的神迹。尽管G3没有提到日心学说，但当时有传闻说伽利略是因为宣传“地动”而招致麻烦。这一公案与我们的主题关系不大，兹从略，以免枝蔓。

是，一直到1632年《两大世界体系》出版，教廷好像都没有十分认真地对待这一揭发或责难。

对《两大世界体系》的调查大概开始于1632年9月，但起因却晦晦然。根据最近发现的资料，^①有些研究者猜想，这大概仍旧和《试金者》有关，因为揭发伽利略言论不合于变体说的说帖和1632年控告伽利略的文件似出于同一人之手。据推测，这个人就是耶稣会的英考弗。英某^②生于匈牙利，但大部分时间都生活在意大利，二十岁多一点加入教团，后来在大学任教，讲授数学，哲学和神学，颇有著作。他和教廷的联系始于据说是圣母玛利亚写于公元62年的一封信，信的内容涉及罗马天主教的主要教义，但学者常无法辨别其真伪。1629年，英考弗著书力主其真，^③因此被教廷传唤。结果颇为神奇，——他不仅没有受到惩戒，反而和书籍审查的最高长官交结，成了密友，稍后更成了教廷审查书籍的顾问。大约在1631—1632年，教廷成立了一个专门委员会讨论伽利略的《两大世界体系》，令研究者至今困惑的是，英考弗于天文学或数学或哲学才不及中人，竟以待罪之身，获邀参加了这一工作。不久，这一调查就有了结论：^④

^① 这就是所谓的EE291档案，1999年被注意到，细致的报道以及英译全文发表于2005年。Mariano Artigas, Rafael Martínez and William Shea, “New Light in the Galileo Affair”, *Religious Values and the Rise of Science in Europe*, John Brooke and Ekmeleddin Ihsanoglu, eds., Istanbul: Research Centre for Islamic History, Art and Culture, 2005, pp.145—166.

^② D. Dümmerth, “Les combats et la tragédie du Père Melchior Inchofer S. J. à Rome (1641—1648),” *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis, Sectio Historica*, 17 (1976), pp.81—112.大概是关于Inchofer的最详细的研究了，虽然刊登在一份匈牙利杂志上，但正文是法文，所以还可以利用。英语资料见Richard J. Blackwell, *Behind the scenes at Galileo's trial: including the first English translation of Melchior Inchofers Tractatus syllepticus*, Notre Dame: University of Notre Dame Press, 2006, pp.31—33。英氏的生年各个资料来源小有差，或作1584，或1585。

^③ 即 *Decrees of our Holy Father, Pope Innocent XI containing the suppression of an office of the Immaculate Conception of the most Holy Virgin and of a mul*，有1678年英译，该译本有EEBO Editions, ProQuest 2011年影印本，颇利利用。

^④ *Opere*, xix, 325, 英译在Maurice A. Finocchiaro, pp.218—219; 同见于J. Blackwell, *op. cit.*, pp.36—37。这是一个资料汇编，所有原始文件，或是意大利语，或是拉丁语，都已译成了英语。本书以下常采用此一译文，不另出注。

我们认为，伽利略断言地球运动和太阳静止，因此背离了“假说”[的前提]，从而可能违反了[1616年的]禁令；他可能错误地把确实存在的潮汐和海水的流动归结于不存在的太阳的静止和地球的运动，以上是主要的；另外他可能通过矢口不提宗教裁判所在1616年对他颁发的禁令而企图蒙骗过关，这一禁令要求他完全放弃上述关于太阳是世界的中心、地球运动[的观念]，要求他不再信仰，讲授，或以任何方式，口头的或书面的，为之辩解；一旦违反，该裁判所将启动针对他的[调查]程式。他当时接受了这一禁令并承诺遵守。

所以，伽利略的问题有两个方面：一是他的《两大世界体系》显然包括了“错误的”内容，二是他没有遵守1616年颁发的禁令，他显然违背了承诺。如果说以假说形式谈谈日心说尚在教廷的容忍范围之内，藐视和违背教廷的禁令则是教廷无论如何不能接受的。已经被路德大大削弱了的教廷的权威，再经不起这样的折腾了。伽利略似乎也意识到，科学内容是一回事，人事和政治是另一回事。他后来在给一个好友的信中提到，某个在罗马学院任数学教授的“耶稣会的人”曾经和他的一个“亲密的朋友”说：^①

如果伽利略懂得和本学院的神父们保持友好的关系，他可能根本不会倒霉，他可能可以想写什么就写什么，甚至地球的运动。

听说了这一消息，伽利略认为：

所以你看，并不是这样或那样的观点导致了过去的和现在的针对我的战争，而是我这个人，就是不为耶稣会士所喜欢和接受。

^① 伽利略1634年7月25日给Elia Diodati的信，原文在*Opere*，xvi，116—117，英译在J. Blackwell，p. 29。

在我们看来，观点的或教义的和个人的或政治的原因都在起作用。要细致地、非此即彼地区分这两者，在技术上几乎是不可能的，从历史学的研究看，更加是幼稚的。历史事件的发生和发展，常为非常复杂的原因所驱动，而历史研究的目的，不是粗糙地简化历史，不是以道学家的原则作道德评判，而是通过细致的研究提供尽可能清晰和无偏颇的画面。不管怎么样，教廷决定把伽利略传唤到罗马，立案审查。

然而在1633年1月初，伽利略最初接到罗马的敕令时，他还没有想得这么多，仍觉得问题可能出在1615年给大公爵夫人的或是1613年给他的学生卡斯泰利的信。在给一个朋友的信中他写道：^①

很多年前，在反哥白尼的[言论]甚嚣尘上之初，我写过一篇很长的文章，指出，要是出于神父的权威，用《圣经》来处理关于自然现象的企图，是一个多么严重的谬误；而禁止让《圣经》卷入这一类的辩论，是一种多么可取的做法。

他认为这种把科学讨论和《圣经》分开的做法可以同时保证对《圣经》和对自然的正确的理解。但是他确实也听说了，“耶稣会的神父们已经设法使一些非常重要的人物相信，我的书是坏透了，并且比路德的或者是加尔文的文章对教廷更加有害”。

伽利略当时是佛罗伦萨大公爵的宫廷哲学家和首席数学家，书又是献给大公爵的，这让大公爵有些尴尬。佛罗伦萨当局先是希望把案子移送当地法庭，后来又希望通过书面问答的方式进行，均遭教廷拒绝。最后甚至三位医生联名证明伽利略身患重病，不适于长途跋涉去罗马，也未能改变教廷的饬令。伽利略让教廷恼火的很重要的一点就是他的桀骜不羁，他对于教廷1616年禁令的藐视，如果听之任之，那教廷的

^① 1633年1月15日给 Elia Doidati 的信，原文在 *Opere*, xv, 25—26，英译在 Maurice A. Finocchiaro ed., *Retrying Galileo, 1613—1992*, Berkeley: University of California Press, 2005, p.72。参见关于上引同一著者1989年编纂的另一本书的注。

权威何在。1633年1月20日，拖延到最后，直到教廷威胁说要派人来拘押他，伽利略不得已，束装就道，三个星期后，在风雪中到达罗马。

第一次聆讯是在4月12日，马库拉诺神父主持讯问，此公素有严苛之名。他首先向伽利略出示了已经刊行的《两大世界体系》，要伽利略确认他就是作者。然后，并未问及书的内容，而是直接要求伽利略说明1616年的罗马之行。伽利略说，他来到罗马和若干主教和枢机讨论了哥白尼的书，并得知日心学说“如果看作是真实的话，则与《圣经》相悖，因而只能被当作是一种假设，而这正是哥白尼的做法”。^①伽利略举出了贝拉明枢机作为他的证人：

大人[指贝拉明]知道我是把它[日心学说]作为假设的，就像哥白尼那样，这儿你可以看到该枢机大人的信……我有一份抄件在此，其中有这样的话：“……伽利略先生正小心地研究这一问题，限于假设的说法，并没有当真。”该枢机大人的信是1615年4月12日签署的，而且，他还对我说，如果不这么考虑问题，即[把日心学说]作为真实的，这一学说则既不能接受，也不值得为之辩护。

伽利略还出示了贝拉明1616年5月26日出具的证明，并说贝拉明只是口头上对他说了禁令，而且只是针对“相信或辩解”，“可能还有‘讲授’”，但是没有“以任何方式”之类的话；虽然伽利略后来又说“也可能有”。

1633年4月17日，由三人分别撰写的、对《两大世界体系》的审查报告完成。专案组成员、教皇的御用神学家、教廷的顾问奥瑞奇的报告简单到了极点，^②一共十行字，不外是说伽利略确实是讲授了日心

^① 当时讯问的记录稿，梵蒂冈档案，英译在 Maurice A. Finocchiaro, pp. 258ff, 下文同此。

^② 梵蒂冈档案，英译在 Maurice A. Finocchiaro, p. 262。

地动说，而英考弗则是洋洋洒洒的论证：^①

支持太阳是停住的，静止的或不动的，以及关于太阳是宇宙的中心，行星和地球环绕太阳运动的理由在[伽利略的书的]各章论述中随处可见，对于地球自转的论点亦复如是。这两个观点，即地球运动和太阳静止并且为[宇宙的]中心，在哥白尼体系中是紧密相连的。因此，伽利略以一种清晰的、绝对的、非假说性的方式为地球运动提出的种种论据自然地证明了或断言了太阳是静止不动的并且占据中心位置。

在这一论断之后，英考弗花了整整一页详细地列举了他所说的伽利略的“随处可见”的错误。接下来，在报告的第三部分中，他写道：

我认为，伽利略不仅讲授、支持毕达哥拉斯和哥白尼的观点，而且，从他讲解的方式、推理，以及表达，我们可以看出，他极可能是坚定地赞同这一观点，并且实实在在地相信了这一说法。

英考弗可不是随口胡说，事实上，他为“讲授”列举了五个例子，为“支持”列举了另外五个例子，而从下一页开始，他一口气从《两大世界体系》里摘出了27段，逐条说明伽利略在谈论“两大体系”时，实际上是采取了绝对[支持日心说]的或至少是[对日心、地心]“相提并论”的态度：

第3条：在110页，^②他[案指伽利略]利用“自然如果能够用比较简单的办法做事，就不会有意费很多事”的物理原理来证明地球的

^① *op. cit.*, pp.263ff. 下引 Inchofer 不另出注。

^② 相当于1967年英译本第116—117页，前引中译本第83页；下文“317页”即第320页，前引中译本第225页。

运动……

这儿涉及一个对于简单性原理运用的理论问题。按英考弗的逻辑，的确，所有人都同意，作为思维的原则，我们应该尽可能地排除不必要的假设或论说，使我们的解释尽可能地简单清晰。但是，这并不等于说自然本身就是这样。上帝可以按最简单的方式创造宇宙，也可以按任何一种他喜欢的方式创造。如果断言上帝一定是按最简单的方式工作的，那就限制了上帝的无所不能无所不为的可能性。奥卡姆的威廉早就指出了这一点。英考弗现在的锋芒所指，是伽利略用我们的思维逻辑和原则偷换了自然的真实情形即上帝的创造，用人的思维代替了上帝的智慧。文艺复兴以来学者一直力图强调的，科学的最基本的假定是，自然界是有规律的，而这个规律是为人所可以认识的。这个假定的基础是自然和人的理性的同一性，而英氏现在所质疑的，则正是这一点。如果宇宙是上帝随意的和随机的创造，那么自然界当无所谓规律可言，进而也没有什么所谓人类对自然的认识可言，而以前这两个前提是由一个理性的上帝保证的。在这儿，我们可以清楚地看见，对上帝的理性的先验假设实际上是用理性对上帝所作的一种规范和制约。英考弗看得很准，无怪乎首当其冲，要受到他的批判了。紧接着，英氏转向下一个权威，亚里士多德：

第9条：在317页，他说亚里士多德把地球放在[宇宙的]中心，但是如果他接受非常清楚的实验[所显示的]……他会部分地修正这种宇宙结构和排布安置，并会承认是受骗了，等等。

现代研究者认为，^①“在那时候，英考弗对《两大世界体系》的批判是最细致的和最严厉的”。即便如此，英考弗意犹未尽，稍后，他

^① Richard J. Blackwell, *op. cit.*, p. ix.

还把他的论点发挥为一本书，^①痛批地动说。

专案组的另一个成员是伽利略当年在帕多瓦大学的同僚，哲学教授帕斯夸利高，后来到罗马大学教神学。此公自诩为“乌尔班教皇陛下的代理人，神圣的神学教授”，^②在给教廷的报告中，他一上来就指出伽利略的问题是没有遵守教廷 1616 年给他的警告：^③

我的看法是他违反了[1616 年的警告中]“讲授和支持”这些字，由此，“世界体系”表明他有坚持他的看法的极大的嫌疑……

他接下来分五个部分来说明他所谓的“嫌疑”，在第三部分中，他也提到了英考弗说过的“自然能用简单的方法”云云。他的结论是：^④

结论是，他[伽利略]违反了禁止他“以任何方式讲授”[日心学说]的禁令……他以很多人觉得有说服力的方式解说这一原理，甚至那些在数学学科方面颇有知识的人也是如此……

这真是奇怪的逻辑；伽利略的说法“有说服力”，所以要特别加以否认。细看上面两个报告，可以发现，对伽利略的指控实际上包含两个紧密相连但并非同一的层面。一个层面是，或者表面上是，日心说的内容违背了《圣经》的教导，因而必须加以禁止；另一个层面是，伽利略违反了 1616 年的禁令，仍旧讲授日心说。显然，后一指控更让教廷恼火：因为这不仅是对教廷禁令的藐视，而且——如果伽利略可以被

^① 即 *Tractatus syllepticus*，这本书有现代英译本，*Melchior Inchofer's Tractatus syllepticus*, trans. Richard J. Blackwell, 收在氏著 *Behind the Scenes at Galileo's Trial*, Notre Dame: University of Notre Dame Press, 2006。

^② Zaccaria Pasqualigo, 此时恰在中年，两卷本著作 *Disputationes metaphysicæquibus*, Romæ: Ex Typographia Andreae Phæi, 刚刚完成，意气酣然。1641 年又有 *Decisiones morales* 论“道德”。

^③ 梵蒂冈档案，同上 Maurice A. Finocchiaro, pp. 272ff。

^④ *Op. cit.*, p. 274.

允许用他自己的方式解读《圣经》的话，那么，路德改革中的这一大诉求就必须被合理地甚至合法地接受。事关教廷的权威，罗马教廷没有退让的余地。但是，教廷的非宇宙论考量是建立在宇宙论考量之上的。晚近有些研究注意到，^①当时的矛盾不应当被概念化地简化为科学和宗教的矛盾，而必须诉诸更深层次的，即如何解读圣经而不仅仅是如何解读宇宙的矛盾。同时我们还注意到，两者之间其实又有着不可分割的联系：如果日心说是对的，那么伽利略的解读方法也就是正确的，反之亦然。

在第一次讯问中辩控双方的注意力，除了《两大世界体系》一书的基本事实之外，集中在1616年的“禁令”上。伽利略说他并没有支持日心学说，他只是把这一说法当作一种假设。这一辩解相当的无力，因为明眼人当然看得出他没有明说的真实立场。但是反过来要证明他确实是在宣传哥白尼，倒也不是三言两语就可以做到。伽利略说，他1616年到罗马来，是因为有教廷中的大员想要了解哥白尼的学说：^②

[到罗马来]和上述枢机大人的讨论是因为他们想要了解哥白尼的学说，而哥白尼的书对于不少专业数学家和天文学家的人说来非常难于理解。他们特别想要了解哥白尼关于天球的假说的论证，他如何把太阳置于行星轨道的中心，他然后如何把水星置于绕日的轨道，绕水星则是金星的轨道，然后是月球绕地球，再次是火星木星和土星；至于运动，他使太阳静止在中心而地球自身旋转并绕太阳旋转，即自身的周日运动和绕日的周年运动。

这是伽利略解释的日心图景，接下来几乎所有的问题，都集中在

^① 例如，Ernan McMullin, “Galileo on Science and Scripture,” p. 273: “这些审查者力图保卫的本质不是某一种宇宙论。在他们看来，他们在维护圣经以其字面意义表述的真理的权威。”载 *Cambridge Companion to Galileo*, Cambridge: Cambridge University Press, 1998。同时参见 Maurice A. Finocchiaro, pp. 5—10。

^② Maurice A. Finocchiaro, p. 258. 下一段在 p. 259, 这一次的庭审记录不再出注。

1616年伽利略的罗马之行以及教廷当时对日心学说的说法之上。伽利略回顾说：

1616年2月，贝拉明枢机大人对我说，因为如果把哥白尼的见解作绝对的理解，即与《圣经》相冲突，则既不能坚持也不能为之辩护，但是这一见解可以作为假定来理解和使用。

按伽利略，这只是一个口头警告，说是“地动”的说法只能当作一个假说来谈，并没有禁止“以任何方式”谈论这一主题，他还出示了当年枢机大人证明他既未被定罪又未被惩戒的信，说明他没有有意违反教廷的指示。法庭的书记员记下：

他随即出示了一张纸，单面书写，十二行，开头的一句是“本人，枢机罗伯特贝拉明……”结尾的一句是“于此日，1616年5月26日”，并有签名……这一物证被当庭接受，并以字母B标记。

在当日法庭记录在案的二十个问题中，只有一个是关于日心说的内容的，控辩双方问答的焦点很明显地在于“禁令”。伽利略证据颇为充分地说明并无此事，这就有些让教廷感到意外。几来几去，最后大概两边都有些希望达成类似于今日的“庭外和解”。4月30日是第二次庭审，形势好像也确实有些松动，伽利略被允许作一次申辩，言语颇是卑恭，他承认，^①在上一次讯问以后，他重读了他自己的书，发现不经意之间，有言语上的错误，从而给了读者一种支持地动说的印象。他解释说这是由于“虚荣的自大，纯粹的无知和疏忽大意”造成的。5月10日再审，伽利略重申了他当年从贝拉明枢机那儿得到了信，并再次复述了信的内容。裁判所方面似乎也没有什么异议，好像就可以结

^① Maurice A. Finocchiaro, pp. 278ff. 下面第三次讯问记录同此，不另出注。

案了。

据此，宗教裁判所向教皇提出了报告。这是一份很长的文件，^①说是1615年2月有人揭发伽利略，说他在给他的学生卡斯泰利的一封信里反驳神父在传教时对约书亚书的解释，提出“圣经里有很多说法按其字面意义来说是错的”，“在探讨自然的时候，哲学的论据在某种意义上应该高于圣经”。报告简单地描述了1616年2月25日教廷给伽利略的警告，然后转入对《世界体系》的指控。报告引述伽利略在4月30日的讯问中的证词，以此证明伽利略已经就范：^②

[伽利略说]……过去三年，我没有阅读这本书，没有检查[其中]是否有违背我的最纯正的意愿，因为疏忽而写下的一些文字，有可能表明我可能对神圣教会的敕令有违反或破坏之处。经过非常仔细的检查和长时间的讨论，我觉得，这[本书]简直不像是我写的。我心悦诚服地说，在我现在看来，书中多处的说法，使得不了解我的意图的读者有理由产生一种观念，认为我本来是想批驳的错误方面的论据……表达得有令人信服之处。特别是两个基于太阳黑子和潮汐的论据，因为表达有力，向读者表现了倾向性；而对于那些认为这些论点并非结论并想否认它们的读者，显得不合适，而在我内心也是真心实意地认为它们并非结论而且想否认它们，真正相信还不能下结论，还是可以再辩论的。

伽利略认错了，并乞求裁判所考虑他的七十高龄，精神上的压迫，旅途的劳顿，他的论敌的不实之词，将他从轻发落——他还能说什么呢？他是弱者，我们见得多了，从使徒时代的圣彼得^③到他恰早一

^① 梵蒂冈档案，英译在 Maurice A. Finocchiaro, pp. 281ff, 原件没有标注日期，但据其内容考证，撰写当在当年5月10日和6月16日之间。

^② *Op. cit.*, pp. 284—285. 这是伽利略在第二次讯问时说的，见同书第278页。

^③ 彼得因害怕被牵连，三次否认他和耶稣的关系，新约圣经中有多处记载，参见，例如，马太26：69—75；马可14：66—72；路加22：56—62。

代的米开朗琪罗^①，在强权面前违心地认错，又有什么错呢？6月21日，第四次讯问。伽利略声明，“我并不持有哥白尼的论点，我得到[教廷的]要求放弃[这一观点的]敕令以后就没有坚持[这个观点]。至于其他，我已经在你们手中，你们爱怎么办就怎么办吧”。

第二天，1633年6月22日，宣判。伽利略身着悔罪的白色衬衣，跪在主审的八位教士前面，后者联名签署了定罪的文件。罪名共六项，即信仰日心说，讲授日心说，和德国人通信讨论日心说，发表关于“太阳黑子”的信件支持日心说，妄自对《圣经》擅加解释而反抗权威的解释，并在一封给学生的信里散布哥白尼的观点。教廷重申：

所谓太阳是世界的中心并静止不动的说法在哲学上是荒谬的和
不实的，构成异端，并明显地与《圣经》相违悖；

地球既非世界的中心又非静止不动，而是运动着的，甚至是有周日运动的，是一种在哲学上同样荒谬和不实的，在神学上至少是信仰上的错误。

这就是结论，“荒谬和不实的”，用信仰来评判科学。伽利略的答词，据当时的记录，如下：^②

我，伽利略，先父佛罗伦萨的维森齐欧之子，七十岁，躬身接受审判，跪在各位最杰出的最尊贵的、抵抗基督教世界中所有异端的宗教裁判所枢机前，《圣经》在我眼前，我以手触摸，谨宣誓，我从来相信，现在相信，在上帝的帮助下，将来也要永远相信神圣大公教和使徒教会所信，所传，所教的一切。神圣裁判所曾严正颁发禁令，要我完全

^① 例如，他1506—1507年间和教皇尤利乌斯二世的冲突，1527—1530年和梅迪奇的冲突。参见，例如，Charles H. Morgan, *The Life of Michelangelo*, New York: Reynal, 1960, II, 6, 特别是pp.78—80, 以及III, 10, 他参加了佛罗伦萨的暴动，最后仍旧被迫放弃，见pp.149ff. 1564年米氏去世而伽利略生，由此约略可称为“一代”。

^② Maurice A. Finocchiaro ed., *op. cit.*, pp.292ff.

放弃妄诞的学说，即太阳静止不动，居世界的中心，而地球不是世界的中心而且运动，并且要我不信，不为之辩护，以任何方式，口头或书面，讲授这一妄诞的学说；然而，在此以后，而且在被告知这一理论与《圣经》冲突以后，我仍旧撰写了并且出版了一本书，讨论这一已经被谴责的信条，不加任何批判地援引非常有力的理由对这一信条加以支持，由此我被判有异端的极大嫌疑，即坚持和信仰太阳静止居于世界的中心而地球不是中心并且运动。……我摈弃，谴责，厌恶上述错误和异端，以及，广而言之，每一个和所有的各色各样的错误和异端，还有反对神圣教会的教派，我宣誓我以后再也不说或主张，不论是口头上或是书面上，可能导致对我产生任何类似怀疑的东西，……

伽利略被判无限期地羁押，作为悔过的要求，以后三年每星期背诵七首悔罪诗。这有点让他吃惊，他原来以为不会有如此之重的惩罚。伽利略儿子的连襟，塔斯坎驻罗马大使的秘书，布奥纳米奇，当时在场。^①据布氏报道，^②在宣判后，伽利略提了两个要求，“除此以外，悉听尊便”。一是不要强迫他承认他不是一个好的天主教徒，因为他本来就是，而且以后仍旧是；二是不要要求他说他以前欺骗过任何人，特别是说他以欺骗的手段获得他的书的出版许可，因为他确实合法地通过了教会的审查。他要求的，是人格的尊严。除此以外，他没有说别的。至于“地球仍在转动”云云，不见于布氏，而首见于一位意大利的散文作家，不过那也是一百二三十年以后的事了。^③

从表面上看，伽利略案的焦点在地心还是日心，在托勒密还是哥白

① S. Drake, *Galileo at Work*, p.442.

② Giorgio de Santillana, *The Crime of Galileo*, Chicago: the University of Chicago Press, 1955, p.311.

③ 首见于 Giuseppe Baretta, *The Italian Library*, London: A Millar, 1757, p.52. 这本书的副标题是“关于意大利最有价值的作家的生活和作品记录”。原文作 *eppur si muove*, 常译作“它仍在转动”。考证见 Ronald Numbers ed., *Galileo Goes to Jail, and other myths about science and religion*, Cambridge: Harvard University Press, 2009, pp.68ff.

尼。更深入一些，则可以看见神职人员和科学家的冲突。^①但是，问题的真正本质却是，而且以后一直是，信仰和理性的对决。这一本质使得伽利略案对于后世科学、宗教，以及哲学的发展产生了持久的和深刻的影响。伽利略所要求的，是一种理性的自由探索精神，这种探索不受任何非理性的约束和羁绊，常识也好，信仰也好，传统也好，习俗也好，一切必须接受理性的批判，合则留、不合则去。伽利略的初衷并非要打倒教会，^②但是，如果教会要以“僵化而贫乏的思想体系”^③代替活泼泼的探索，如果教会要用信仰压倒理性，那么这个教会就必须扫荡。

审判以后，伽利略在罗马被监禁了大约半年，倒也不见得如后世传说的那样“在宗教裁判所的地牢里辗转呻吟”。^④他大概多少可以会会朋友或阅读写作；但也不见得就像晚近有些作者力图描绘的那样“照常高朋满座”。^⑤他当然受到了教廷的约束，不能再谈论日心体系了。对于一个把毕生精力都献给发现、理解、论证世界体系的人，这无疑是最悲惨的惩罚了。1633年年底，经教皇——也是他以前的好朋友恩准，伽利略回到家乡，住进了他在郊外小丘上的那座两层的小楼，多少恢复了一个一般人的生活。还没有等到这个寒冷的冬天完全过去，次年三

① 晚近有些研究者对“伽利略案”的解读常更强调其非宗教原因，参见，例如，John Henry, “Religion and the Scientific Revolution,” *Cambridge Companion to Science and Religion*, Cambridge: Cambridge University Press, 2010, pp.39—40。

② Charles Hummel, *The Galileo Connection: Resolving Conflicts between Science and the Bible*, Downers: InterVarsity Press, 1986. 闻人杰等译，《自伽利略之后》，宁夏人民出版社2008年版，第93页，力图说明反对伽利略的是“正统大学教育的亚里士多德科学观”，未见得可以得到史料的充分支持。

③ 爱因斯坦语，见氏为《两大世界体系》英译本写的前言，在 S. Drake, p. vii, 中译在许良英等译《文集》第一卷，商务印书馆1977年版，第579页。

④ 伏尔泰语，见 Descartes and Newton, *Essays on Literature, Philosophy, Art, History*, in *The Works of Voltaire*, trans. William Fleming, ed. Tobis Smollett, et al., Paris: Du Mont, 1901, v.37, p.167。案伏氏生当反对神授君权高潮之中，毕生致力于鼓吹理性和科学，对旧势力深恶痛绝，讴歌民主不遗余力，笔下时有激愤语，当不当责以有乖信史。伏尔泰的个人遭遇和当时的创作氛围，莫罗阿《伏尔泰传》有生动描述，见《傅译传记五种》，北京十月文艺出版社2004年版，唯“伏尔泰”作“服尔德”。

⑤ 上引闻人杰等译，《自伽利略之后》，第93页，但页口标注的原文页次似完全不可解。

月，他最钟爱的女儿，他唯一可以交谈的人，倏然去世。^①谁不知道丧女之痛，谁知道丧女之痛！何况是在哀告无门的灾厄之后，何况是在垂暮之年！稍后双目渐渐失明。杂花生树的小园，山坡下远处，“闪闪作银色、波动如水浪似的橄榄林”，^②尘世的虚荣和愁苦，对他说来，又有什么意义呢？他的论敌或者会暗自窃喜，以为这是上帝对他宣传异端邪说的惩罚，但是，“上帝总是鞭打他所悦纳的儿子”，^③这在经上不是明明白白地写着的吗？

^① 伽利略没有结过婚，这是他在帕多瓦时与 Marina Gamba 的非婚生女。参见，例如，Dava Sobel, *Galileo's Daughter*, New York: Walker, 1999, 此书有谢延光中译，《伽利略的女儿》，上海译文出版社 2001 年版，第 25—27 页；她的去世见该书第 368—369 页。

^② 罗曼罗兰，“弥盖朗琪罗传”，前引傅雷译，第 169 页。

^③ 希伯来书，12：6，因为主所爱的他必管教，又鞭打凡所收纳的儿子。中译用和合本。

第六章

英雄时代：笛卡尔、巴斯卡、 惠更斯和胡克

罗马教廷对伽利略的审判真是一场可笑的悲剧，或者竟是一场可悲的笑剧也未可知。教廷由此背上了它自己手制的十字架，扮演反科学和反知识的丑角凡三百年；而他所要阻止的日心学说，却由此沸沸扬扬地传了开来。我们或者说，在伽利略以后，日心图景在欧陆的主要学术中心差不多成了学者们耳熟能详的知识；在这以后，^①这图景的真伪竟没有再遭遇严重的质疑。教廷的煌煌圣谕，最多也就被当作一种宝贵的废物，束之高阁，既没有人想到要把它扫除，也没有人想到要把它拿出来供奉；尘封蠹蛀，俨然成了一件庄严的笑料。

然而，从很短的时间段看，教廷还真镇住了若干个人。伽利略当然不必说，不再谈日月星辰，转而专心研究水泵真空斜面落体；^②笛卡尔也因此少许迟疑，把他关于宇宙运动的论文收了起来，改口谈论物体和物体之间的碰撞。在他影响下的巴斯卡、惠更斯辈，也亦步亦

^① 参见柯瓦雷《伽利略研究》，前引刘胜利译本，第369页，“从此以后，所有的讨论都已不再是必要的了”。虽然柯氏说的是在笛卡尔著作之初，但时代上与对伽利略的审判相合，详见下文。

^② 前引《两门新科学》，水泵真空云云在“第一天”，详下文；斜面在“第三天，自然加速运动”，特别是定理2和定理4，分别见武译本第160—162页和第172—173页。

趋，发展了所谓的机械论哲学。这一方向上的努力，在最初二三十年间，好像全部转向了力学，非关日心学说；然而经过这一曲折和停顿，关于日心学说的讨论，竟好像是在重新积聚力量，准备在全新的方向上用全新的方法给旧的宇宙论最后的一击，把日心学说最终完全建立。

原来，到了17世纪40年代，日心说之于地心说的优势已渐次分明。经过伽利略和其他人的解说，日心学说原来最困难的即常识和权威的问题，已见软化消融，对于一般人说来，考虑日心也不似先前那样大逆不道。但是，要从严格的科学意义上确立这一学说，必须细致地阐明天体运动的机制，必须从物理上说明天体的运动并给出可以验证的证明。这一要求有两个层次：一是建立一种物理理论从而说明运动；二是建立一种哲学方法从而判明真伪，从方法论上说明，这种物理理论为真。这两方面与天文学，看似确实关系不大，但最终的成果，日心学说却赖以确立。历史的转折，常有看似不连贯的收放张弛，跌宕迂回。如果用一种简化的方式描述这一转折，我们或者说，在伽利略以前，问题的焦点常在图景，是太阳绕着地球转还是地球绕着太阳转；至于伽氏，问题的焦点转至太阳系中的天体，行星和彗星，是怎么运动的，换言之，是要说明日心体系运动的机制。这是物理学问题，但为日心学说的确立所必须。本章所处理的，笛卡尔的蜗旋理论，是不成功的力学的努力；巴斯卡的工作则成功地提示了方法论的进展；惠更斯辈对于运动，尤其是圆周运动的复杂高深的数学分析，既提供了对运动的定量的描述，又提供了进行这种描述的数学方法；最后，至于胡克，在对光和引力的类比中，明确地提出了引力作用的数学公式，模糊地发展了力的概念：所有这些，在看来相互并不密切关联的方向上，为下一步的突破做好了准备。到了17世纪80年代初，理解行星绕日运动的所有要素均已准备就绪；在皇家学会，人人都知道，距离最终说明天体的运动，彗星的轨迹，大海的潮汐，只有一步之遥了，尽管这仍将是巨大的一步。

对行星运动的物理原因的阐释，以及这种阐释的真理性的判定，标志着日心学说的最终确立。但这种从图景到机制，从天文学到物理学的转向，给本书写作带来了相当的困难。如果要把物理学、在这儿主要是力学的发展巨细无遗地描述一遍，^①势必枝蔓缪结，为本书主题和篇幅所不容。考虑再四，择其要者，稍作介绍，以完成对日心学说发展的叙述。这样的做法，自是简明：坏处是“简”，把历史丰富的内容简化为好像预先设定好了故事情节的肥皂剧；好处是“明”，希望藉此在有限的篇幅里大致勾勒出发展的过程，读者或可以一目了然。作者苦衷，晓者鉴之。

第一节 1629：笛卡尔利用充满宇宙的介质构造了一种以机械运动为基础的宇宙图景

在17世纪最初的三十年里，对日心学说的研究一直没有中断过。伽利略根据望远镜提供的诸多新知识，觉得日心学说可以采信，不然很多现象就很难解释。但是在这一图景中，诸天体是“怎么”运动的，或者说行星运行的机制，仍旧是个问题。伽利略的治学风格常侧重物理实证，反对冥思和假说，这使得他当之无愧地成为现代科学方法的先驱，但同时也阻止了他对于深藏于现象之中的原因的分析 and 追寻。和伽利略约略同时，笛卡尔也发展了一套关于太阳系构造的理论，力图建立天体运动的物理图景，这有点儿像开普勒利用磁力之类说明行星运动机制的做法；笛卡尔对于伽利略的工作，特别是《两大世界体系》，当

^① 细致地讨论这一主题的，参见，例如，Richard S. Westfall, *Force in Newton's Physics, the science of dynamics in the seventeenth century*, London: MacDonald, 1971, 或 Rene Dugas, *Mechanics in the seventeenth century, from the scholastic antecedents to classical thought*, trans. by Freda Jacquot, New York: Central Book, 1958。这两部著作，处理百余年的发展，堪称经典，但均系大块文章，一部正文579页，一部612页。本书作者以衰朽之年，自然无力更上层楼。

有耳闻，但似乎一直到 1632 年年底，他仍旧不太清楚伽利略论述的细节，^①而他的注意力转向太阳系的运行也出于一个颇为奇特的机缘。

笛卡尔 1628 年移居荷兰以后不久，有人在意大利罗马附近观察到了一种叫作“日上有日”的现象，即在太阳的近旁，出现一个类似于太阳的发光体，很像是两个太阳。人颇以为奇，一时众说纷纭。笛卡尔当时还是初出茅庐，竟然就有两个不同方面的人，^②写信请教，询问他的意见。笛卡尔，三十三岁，随即颇为自负地决定，以此为契机，“写一篇短文，[内容]涵盖对虹的颜色的解释，——对我说来，这要比其他所有的难一些，还有，一般说来，涵盖月下范围中的所有现象。”^③但五天以后，他又改变了计划，“决心解释自然界的所有现象，或所有的物理现象。”他后来追述说，这种解释必须从关于光的讨论着手：^④

……我写过一部论著，试图说明这些真理的主要部分，由于某种顾虑，没有把它发表……我的论述也无法包罗我的全部思想，所以我用较大的篇幅谈论我对光的理解，然后附带讲一讲太阳和恒星，因为光几乎全部是从那里发出来的，再讲一讲天宇，因为它是传导光的，再讲一讲行星、彗星和地球，因为它们是反射光的，再专门讲一讲地

^① 在 1632 年 11 月或 12 月给 Mersenne 神父的信里，他提到他希望了解伽利略关于潮汐的理论，见 *Oeuvres*, Charles Adam and Paul Tannery ed., Paris: L. Cerf, 1897—1813, i, 261—262, 英译见 *The Philosophical Writings of Descartes*, trans. John Cottingham, Robert Stoothoff, and Dugald Murdoch, Cambridge: Cambridge University Press, 1985, v. 3, pp. 39—40, 可见他还没有看到《两大世界体系》，其中“第四天”的主题就是潮汐。甚至到了 1633 年 11 月，他似乎仍旧在打听那儿可以得到《两大世界体系》原书，见给 Mersenne 神父的信，*Oeuvres*, i, 270, 英译见 Cottingham, *op. cit.*, v. 3, pp. 40—41。

^② 一个是 Henry Reneri, 见 Jean Galard, “the Birth of Scientific Publishing,” in *A Century of Science Publishing*, Amsterdam: IOS Press, 2001, p. 5. Henry Reneri, 1593—1639, 是 Utrecht 大学的物理学教授，“荷兰最早的笛卡尔信徒之一”，他大概是由此结识笛卡尔的，后来在 1631 年前后，还有机会亲炙笛卡尔。另一个是 Mersenne 神父，见下文。

^③ 1629 年 10 月 8 日给 Mersenne 神父的信，*Oeuvres*, i, 23; 英译见 Cottingham, *op. cit.*, v. 3, p. 6。

^④ Descartes, *Discourse on Method*, pt. v, *Oeuvres*, vi, 42; 英译见 Cottingham, *op. cit.*, v. 1, pp. 131—132; 中译用王太庆译本，《谈谈方法》，商务印书馆 2001 年版，第 34—35 页。

球上的各种物体，因为它们有的是有色的，有的是透明的，有的是发光的；最后讲一讲人，因为他是这些东西的观察者。……

这就使得他要做一个囊括宇宙的图景。他花了将近四年的时间，悉心撰述，写成一册小册子，但冠以一个不小的题目，是为《论世界》^①。1633年7月22日，他报告说：^②

虽说还要修改誊清，我的论著差不多完成了，因为已经没有什么新鲜的东西遗漏，或要再作追寻，我发现很难再做什么了……

文章洋洋洒洒从人的感觉谈起。开宗明义，是后来在哲学史上独占一席的“心物二分”，“论我们的感觉和造成感觉的物之间的差别”：^③

为了要在这儿研究光，我首先要你们清晰地认识到的，是我们对于光的感受和使我们产生这种感觉的物体，这两者是有差别的。尽管所有的人通常都信服一种观念，认为我们思想中的东西和产生这种想法的东西是完全相当的，而我却看不出有什么理由做这样的假设。相反，我注意到，很多经验使得我们怀疑这一点。

特别要留意的是，笛卡尔的出发点迥异于伽利略：虽然伽氏常说“要否定感觉”，他是说否定从感觉而来的、直接的、没有经过理性分

^① *Le monde, ou traite de la lumiere*, 写于1629—1633年，有M. S. Mahoney的法英对照本，*Le monde*, New York: Abaris, 1979，下文以此为主要依据，不另出注；另有John Cottingham, *op. cit.*, v.1, pp.81—98；以及Stephen Gaukroger的英译本*The World and Other Writings*, New York: Cambridge University Press, 1998，与法英对照本大同小异，但有电子版，颇利利用。《论世界》原著发表颇为周折，详见Mahoney的序言pp. xviii—xx。说它是“小册子”，是因为如果用现在的方法印出来，正文大约也就是三十页左右。

^② 给Mersenne神父的信，*Oeuvres*, i, 268。

^③ *Le monde, op. cit.*, p.1; Gaukroger本，p.1; Cottingham本，v.1, p.81。

析的印象；而笛卡尔这儿所说的，则是要努力脱离对象，寻求纯粹的“真知”。他后来的一段话可能有助于理解他的想法和做法：^①

……从以上所说的这些，做出这样的结论也许是不会错的：物理学、天文学、医学，以及研究各种复合事物的其他一切科学都是可疑的、靠不住的；而算学、几何学，以及类似这样性质的其他科学，由于它们所处理的都不过是一些非常简单、非常一般的东西，不大考虑这些东西是否存在于自然界中，因而却都含有某种确定无疑的东西。

“不大考虑这些东西是否存在于自然界中”，这当然是笛卡尔之不同于伽利略，也不同于开普勒的一个特色。他由此展开，臆想了三种“元素”。在第五章，“论元素的数量和性状”中，他对这些东西作了细致的描述：^②

我想，第一种可以叫做火元素，一种这个世界上最精细和穿透力最强的流体……我想象之中它们应该比任何其他物事更小、运动更快。更进一步说，为了不至于非要承认自然中存在真空，我不给这种第一种元素任何固定的大小和形状，但是我确信它们运动的冲力足以使得它们以各种各样的方式、通过同其他物体的碰撞而碎裂，每时每刻都在改变自己的形状，从而恰好进入它们要嵌进去的空间。

第二种可以叫做气元素，我想，和第三种元素相比，它们仍旧是非常精细的流体，但和第一种元素比，其各部分必须有某种大小形状，必须像沙粒或灰尘那样聚成一团。这样，它们就不能排列得很好，或者相互挤得很紧，从而在周围留下一些小空隙，让第一种元素

^① 英译在 Cottingham 本，*op. cit.*， v. 2， p. 14；庞景仁中译，《第一哲学沉思集》，商务印书馆 1986 年版，第 17—18 页。译文稍有改动。

^② *Le monde*， pp. 37—39；Gaukroger 译本，pp. 17—18。这一段 Cottingham 译本仅存目。笛卡尔后来又更仔细地描述了他心目中的“三种物质”，见 *Principles of Philosophy*， pt. 3， art. 52， 见，例如，Cottingham， *op. cit.*， v. 1， p. 258。

很容易地充填进去……

除了这两种之外，我想到了第三种，就是土元素。这种元素的组成部分较之第二种元素，比第二种元素较之第一种元素要大得多。

很容易注意到，笛卡尔的定义是建立在，而且仅仅是建立在空间延展尺度之上的，这一点，前人论述已经完备。第六章，谈“新世界，及其所以构成的物质”，笛卡尔进一步赋予他这些神奇的东西一些特性，完全在想象之中，不过他不得觉得有什么不安：^①

既然这种东西是在我们的自由想象之中的，如果你愿意的话，让我们赋予它一个特性，其中绝对没有任何东西是任何人所不能充分了解的。由此，让我们直接假定，这种东西的形状不像土，也不像火，也不像气，也不像任何特定的、比如木头，石头或金属的形状，也没有冷热干湿、轻重，也没有味道、气味，声响颜色，光或类似的东西，……让我们进一步假定这种物质可以被任意分割成我们想象的任何形状，而它的每一个部分都能够接受我们所能想象的任何运动，让我们再进一步假定，上帝真是把它分成很多这样的部分，有些大，有些小，有些是一种形状，有些是另一种，我们愿意怎么想就怎么想……

这有点离奇，但是，正是在这一基础上笛卡尔构造了他的宇宙模型。我们必须记得，笛卡尔是在谈论哲学；为了得到“纯粹的”推理，他不相信感觉。他的哲学是从观念开始的，而且，只要道理上能通洽，就是说明了世界，这和我们至此看见的天文学研究，一种从现象出发最后再回归现象的做法很不一样；他要的，是从他认为更为确定的、更为可靠的，数学可以清晰把握的原则或者假设出发，做出一种完全符合理性的图景，甚至是有悖于常识或现象也在所不惜，甚至是完全在我

^① *Le monde*, pp. 51—53; Gaukroger 译本, p. 22。

们的感觉之外也在所不惜。对于他所追求的因果解释，他后来有这样的说明：^①

关于我们感官所不能知觉的那些事物，我们只消解释它们如何能够存在就行，……不过我相信，我所指出的各种原因，其结果既然和自然中一切现象都确切符合，那么我虽然没有断定它们确实是由这些或那些原因产生的，我也就把自己应尽的职责做到了。……因为医学、机械学以及以物理学为基础的一切技艺，都只以那些可感的结果为目的，都只在于使一些可感的物体相互结合，使它们在一长串自然的原因中，产生出一些可感的结果来。既然如此，则我们只假设这样所想象的一串原因为真的，虽然其实是假的，也就足以济事了……

笛卡尔的意思是，假设一个原因，只要“道理上”说得过去，就是一种对于现象的可以接受的解释。重要的是，这一图景必须清晰明白，容易想象，符合常识，如此，便完成了解释现象的任务。笛卡尔把这一套认知理论用到对行星运动的说明，得到了惊人的结果。说他“惊人”既是因为其想象之清晰而又确乎纯然虚构，又因为他的图景在很大程度上被广泛接受而他本人竟以此不朽。先是，古人假定了后来被称为“水晶球”的东西，假想地说明了天体运动的机制。实体天球被否证，凸显了天文学家本来或者可以含糊其辞或者可以避而不谈的问

^① *The Principles of Philosophy*, pt. iv, par. 17, 这一段 Cottingham 没有选；另有 Blair Reynolds 译本，Lewiston: E. Mellen Press, 1988, pp. 105—106，其祖本是 Henri le Grade 1647 年在巴黎出版的 *Les principes de la philosophie, écrits en Latin par Rene Descartes*，用译者自己的话说 (p. viii)，这是一个译本的译本，但包含了笛卡尔在 1644 年拉丁版出版以后的若干修正；同见 *Principles of Philosophy*, trans. V. R. Miller and R. P. Miller, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1983, p. 188。关文运曾根据这本书的“人人丛书”版译成《哲学原理》，商务印书馆 1958 年重印；案关译所据应当是 John Veitch 英译，Tom Sorell 序本，*A discourse on method; Meditations on the first philosophy; Principles of philosophy*, 1927 年初版，London: Dent, Rutland: Tuttle, 1992 重印。中译者似乎没有留意这是一个节译本，“第二章”仅含 25 节，第三章仅含 3 节，殊嫌误导。本段中译在第 60 页。

题；天文学家现在必须正面回答的，是天体运动的机制问题，——根据他们原来居之不疑的实体天球的假设，这是一个早已解决了的问题。开普勒想到过磁力，但语焉不详，而且很难想象。问题在于，他所说的磁力是“怎么”作用的呢？开普勒的“力”是靠什么，或者具体地说是通过什么，作用到星体上的呢？为了回答这一问题，笛卡尔没有理会开普勒的磁力，但改固体的载体为一种极其玄妙的类似流体的东西，仍旧充当载体的角色。多少承继了第谷模模糊糊提到过的“流体”，假定空间充满了一种“元素”，日月星辰，悬浮其间。所有的作用，或者按他的说法，宇宙间唯一的作用，即机械的碰撞或挤压，就是通过这种介质完成的。但是这介质又是怎么回事呢？笛卡尔说，这是纯粹的想象的东西，现实中的情形，不在议中，——重要的是，现象得到了解释，而这种“元素”的真实性，是靠图景的“清晰”来保证的，是由其“本质”推出的图景来显示的。有了这样一个牢固的立足点，笛卡尔出发说明星体的运动。他认为，他的假设足以说明“一切物理现象”，而不需要诉诸神明：^①

注意，首先，“本质”这个字在我这儿不是用来指某个神明或什么别种的想象出来的力量。相反，我用这个词指物质本身，指我所谓的积聚了所有我所赋予它特性的东西，……这一简单的事实的必然后果是，这种物质各个部分可能有很多变化，而这些变化，在我看来，似乎不能适当地归于上帝的作为而只能归于自然。我把这些变化所遵循的规律叫做“自然定律”。……要更好地理解这一点，记住，在物质的特性之中，我们曾假定它各个部分自从它们被创造出来以后就一直有各种各样的运动，而且它们前后左右都挤在一起，其间没有任何空隙。

完成了对于物质对象的描述，笛卡尔说“我在这儿要提出两三条法

^① *Le monde*, p. 59; Gaukroger 译本, p. 25。

则，”这些法则是上帝为这个“新世界”所订立的，而一旦了解这几条法则，就足以懂得“所有别的”事了：^①

第一条是，物质的各个部分永远保持一种相同的状态，除非与别的[东西的]碰撞改变了这种状态。这就是说……如果它停留在一个地方，它永远不会离开这个地方，除非别的[东西]把它驱逐出去，而如果它一旦开始运动，它就要以相等的力永远继续下去直到别的[东西]止住它或让它慢下来。

尽管笛卡尔说“哲学家承认他们对运动的本质几乎一无所知，”但他自己的论述从本质上看，首先是建立在哲学分析的基础上的。从物理上或经验上说，他的说法似乎并不十分令人信服，他也注意到了这一点：^②

因此，我们可以下结论说，物体一旦被推动，就其本性来说，就永远运动。但是，因为我们在这儿是谈论地球，其情形是在其附近发生的运动会因为隐秘的原因有短时间的停顿，自古以来我们常常因此认为这些由于我们不知道的原因停下来运动是因为它们自身的原因停下来……

没有人能够完成对“永远”的把握，也没有人能知道所有事情的原因，但是笛卡尔从哲学上断定，必定有一种原因，可能是“隐秘的”，但是是存在的。这条法则是对因果关系的一个最直接，最基本的诉求；笛卡尔先验地断定，自然界中的变化是由因果关系规范的。^③换言之

^① *Le monde*, p.61; Gaukroger 译本同。下一段同此。

^② *Principles of Philosophy*, *op. cit.*, pt.2, art 37, 前引 Cottingham 本, v. 1, pp. 240—241。

^③ 康德后来对这一点做了最清晰的概括和发挥。他说，所谓的“惯性定律”，就是“物质的一切变化都有一个外部原因”，在他看来，这在“一般形而上学中引为基础”。见《康德著作全集》，第四卷，李秋零译，中国人民大学出版社 2005 年版，第 558—559 页。

之，运动的改变，从静止到运动，或者更广而言之，运动速度的改变，必须要有一个可以理解的原因对这一改变负责。如果一物体在没有原因的条件下变化自如，那么整个关于自然的研究就失去了最最必不可少的基础，即自然是有规律的，而这儿我们谈论的“规律”，自亚里士多德甚至以上起，所有人都同意，就是因果关系。人人都同意，变幻莫测的过程，不知所到的场景，光怪陆离，莫可追诘，除了提示怪力乱神之外，当然谈不上什么科学研究。当我们假定“事物的变化是有原因的”，而“变化”在这儿指的就是机械运动状态的变化，而“原因”就是机械的碰撞或挤压，那么，笛卡尔的“第一定律”就是一种不证自明的哲学陈述，笛卡尔就这样成了运动的研究方式转型的第一人。^①

笛卡尔理所当然地享有这一光荣，这在他的思想中由来已久。他在前一部著作中就以稍微不同的形式提出过这一对科学研究起基础作用的论断。在《论世界》中，他说^②因为哲学家们没有办法把运动解释清楚，他们只好援引了亚里士多德，“潜能的事物作为潜能者的实现即是运动”。^③笛卡尔没有把这句话译成法文，只是颇带嘲讽地说，“这些词对我说来是莫测高深，我只好把原文留在这儿，因为我没法在法文里说得更清楚。”在他看来，要把运动说清楚，就是要把运动的原因说清楚。

在回答了运动“为什么”会改变以后，笛卡尔进一步问这种改变是“怎么”实现的。这是他的第二定律：^④

当这些物体中的一个推动另一个的时候，它不可能给予[被推动

① 参见柯瓦雷：《伽利略研究》，刘胜利译，北京大学出版社2008年版，第180页；更加细致的分析见该书附录二(1)，尤其是第370页。

② *Le monde*, p.63.

③ Aristotle, *Physics*, iii, 1, 201a11; 张竹明中译，《物理学》，商务印书馆1997年版，第69页。原文是 *motus est actus entis in potentia, prout in potentia est*。笛卡尔没有把这一段译成法文，因为在法文中也不见得[能说得]“更清楚”。“法文”一词原文是 *françois*，盖为笛卡尔当时的写法，Mahoney 英译径作“English”。

④ *Le monde*, p. 65; Gaukroger 译本, p. 27; Cottingham, *op. cit.*, v. 1, pp. 94—95.

的]物体任何运动,除非它本身同时失去相同的[运动];它也不可能从别的物体那儿获取运动,除非它自己增加了等量的运动。

笛卡尔没有定义“运动”,但是这儿在他心里的显然是我们所谓的机械运动。他对于自己的“定律”具有超乎一切的信心,尽管整个图景并非建立在感性经验之上:①

就算是我们的感官在真实世界中所感受到的一切看起来都和这两条定律所包含的内容明显冲突,导向这些定律的推理对我说来仍旧强大到让我信服,我仍旧会相信,在那个我行将向你们描述的新世界中,我同样会作出这样的结论。因为对于真理赖以建立的基础说来,有什么会比上帝的坚实和不朽更加不可动摇呢?

笛卡尔一定深信这一点,一定认为这是他的理论的最终的和最高的支撑。十五年以后,他又在他的《哲学原理》中重申了这一点,并作了更明确的解释:②

……这样认识了运动的本质以后,考虑其原因就是必要的了。这有两条途径:先是考察总的和本初的原因,再是其特殊的原因,由于这种特殊的原因,物质的各个部分获得它们本来没有的运动。至于总的原因,在我看来除了上帝之外不可作他想,上帝最初创造了物质,连同运动和静止,现在又从整体上把运动和静止维持在他当时设置的[状况]。

为什么会有因果关系的呢? 因为上帝在最初创造时在宇宙万物中

① *Le monde*, p.69; Gaukroger 译本, p.28; Cottingham, *op. cit.*, v.1, p.96。

② *Principles of Philosophy*, pt.2, par.36, 前引 Cottingham 本, v.1, p.240; 同见 Blair Reynolds, pp.5—6; V. R. Miller and R. P. Miller, pp.57—58。

置入了这种关系。为什么会有运动呢？因为上帝在最初创造时注入了运动。这种把上帝作为最后因的解释，他后来说，是非常重要的：^①

我一向认为，上帝和灵魂这两个问题应该主要是用哲学的理由而不应该用神学的理由去论证。因为尽管对于像我们这样的一些信教的人来说，光凭信仰就足以使我们相信有一个上帝，相信人的灵魂不随肉体一起死亡，可是对于什么宗教都不信，甚至什么道德都不信的人，如果不首先用自然的理由来证明这两个东西，我们就肯定说服不了他们。

有了运动的本体即“元素”，有了它们运动最初开始和后来改变的原因，至此，笛卡尔完成了他“论世界”的准备。第八章，笛卡尔开始构造他的宇宙体系，他把它叫做“新世界”。在这个世界里，他首先强调的是，所有的东西其实都是在作圆周运动。尽管他从日常的观察中领悟到，如果没有约束，对一个物体来说，直线运动应该是最自然的，但这和他现在要说的圆周运动并不相抵牾，这是因为——^②

在新世界中完全没有虚空，物质的各个部分[因此]也不可能沿直线运动。这些部分大略相同，并且容易转向，它们就不得不聚集成一种圆周运动。……我们不要认为所有这些部分都一同绕着一个中心转动，它们绕着很多中心，我们可以认为它们相互是各自分立的。

运动有快有慢，它们绕行的圆周也有大有小，笛卡尔用“激励”一词来形容物体运动的这种不同的状态。他说，“我们可以由此下结论”，受激励比较小，尺寸比较小的，会“自然而然地”靠近中心

^① Cottingham, *op. cit.*, v.2, p.3; 即“致神圣的巴黎神学院院长和圣师们”，前引《第一哲学沉思集》，第1页。

^② *Le monde*, pp.79—81; 下一段引文在 p.81; Gaukroger 译本, pp.32—33。

运动，

因为所有这些[物体]都有一种继续沿着直线运动的倾向，那些最强的，就是说那些在受相等激励的[物体]当中最大的、或者那些大小相同的[物体]中受最大激励的，必然描绘出最大的圆形，就是说，那种最接近直线的圆形。

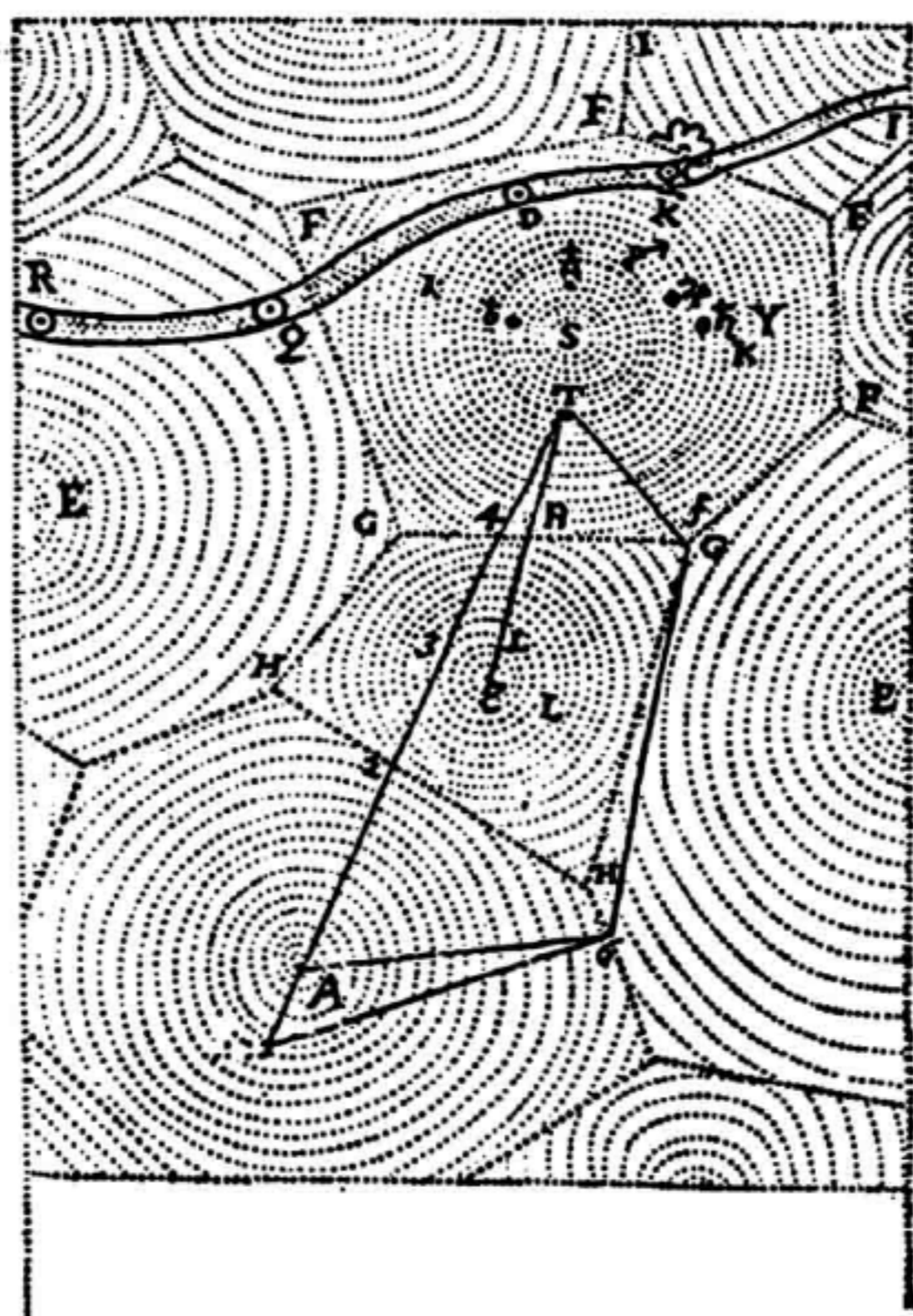
笛卡尔的宇宙图景现在渐渐显露出来：整个世界由三种微粒充满的，一种比一种更加精细。所有的微粒都处在运动当中，就像上帝最初把它们创造出来时那样。但是既然空间全被充满，没有它们移动的余地，这种运动就必须是以一种“一个挨着一个”的方式进行；就是说，每一个微粒只能与其他微粒同时运动，移入前一个微粒正在移开从而为它腾出的空间。这就使得从总体上说微粒的移动只能是沿着圆弧形运动，形成一个一个封闭的圈。笛卡尔后来把这些圈叫做“涡旋”，宇宙就是由无穷多个这种涡旋构成的。因为构成涡旋的微粒元素不同，我们有了太阳，也有了恒星，也有了行星：^①

……这就是我们应当看作光的一种作用，同样，在我向你们描述的新世界中，第一种元素构成很多圆球，我们把其中一个叫做太阳，[还有许多]其他的叫做群星，我们将要把第二种元素[构成的]、围绕它们绕行的东西叫做诸苍穹。

为说明“行星和彗星的、特别是彗星的起源和运行”，笛卡尔援引了前面提及的“第三种元素”。据他所说，^②这是有形的物体，或是通过碰撞，不是撞碎变小，而是慢慢聚集起来变大，或是本来就很大的，

^① *Le monde*, p. 87; Gaukroger 译本, p. 35.

^② *Ibid.*, pp. 93—95; Gaukroger 译本, pp. 37—38.



galement vite, mais peut-estre plus de trente. Et dere-
chef, celles qui sont vers F, ou vers G, que je suppose en
L II

笛卡尔认为宇宙为一种他称为“精细物质”或“天界物质”的微小粒子所充满。这种粒子可以任意分割，可以有任何形状，因此可以充填进空间的任何隙壑，可以作任何运动而不稍受滞阻。因为空间是充满的，所以任何一个粒子如果要通过运动变动位置的话，必须要有另一个粒子同时移动以便为前一粒子让出空间；粒子这样的“一个接一个”的移动必然形成封闭的圈，他称之为“涡旋”，如上图所示。笛卡尔进一步认为，日月星辰都被这种涡旋裹挟，随精细物质作圆周运动。上图中涡旋 K 代表太阳系，太阳 S 居中，其他行星以各自不同的距离围绕太阳运行。本图取自 *Oeuvres de Descartes*, Charles Adam and Paul Tannery ed., 1677, 这一版本依 *Le monde, ou traite de la lumiere*, 1664 年重印，图在 p.449。

不管它们本来的运动状态，“可以肯定的是，它们后来不得不以和承载它们的天界物质相同的激励程度运动”，就像水流中的枯叶不得不随波逐流一样：因为如果它们原来比天界物质移动得更快，它们必然在穿越这种物质时通过碰撞减慢；如果它们更慢，它们必然被裹挟推动，直到两者速度相同。

为了给读者最清晰的图像，笛卡尔继续用江河中水流作比喻，作了形象的描述：

就像我们常常看见的那样，船和各种各样漂浮在水面上的东西，从最大最重的到那些不那么笨重的，都随着它们所在的水流[运动]，如果没有东西阻碍它们的话。

但是大的东西往往比承载它们的水流“有更大的力去继续它们的运动”，所以在水流拐弯的地方，大的东西，比如说是吃水很深的船，就会要拐个大的弯，而小的物事则转比较小的弯。把这种图景用于行星，就很容易想象，^①

有各种各样的行星，有些离太阳远些，有些近些，这就是像土星，木星，火星，地球，金星和水星。那些最低的[案指轨道较小的]最轻的可以接近太阳的表面……

在解释了行星的排布以后，笛卡尔又解释了行星的运动。行星，作为第三种元素的集合体，夹杂在由第二种元素构成的涡旋中，为其所裹挟，沿圆周轨道以各种速度围绕太阳运动：^②

① *Le monde*, p. 113; Gaukroger 译本, p. 43。

② *Ibid.*, p. 117; Gaukroger 译本, p. 44。

由此你可以看到，在离太阳多么不同的距离上，各种各样的行星悬浮在太阳附近^①，而且并非简单地由外表看来最大的、而是自身最致密结实的，应该是[离太阳]最远。因此，我们必须注意到，就像我们亲身经验的那样，随着水流[移动]的船从来不会和承载它们的水[移动得]一样快，大船也不可能和小船一样快，同理，虽说行星也是随着天界物质运动，全无阻力，所有的激励也相同，这并不是说行星整个儿地和这种物质移动得一样快。它们运动的不同，一定是和它们尺度的大小和围绕它们的那部分天[涡旋]的大小两者之间的关系有关。

惠更斯晚年曾回忆说，笛卡尔“有一种天赋，能够将猜测和虚构变为真理。读他的《哲学原理》……，看到的仿佛都是真实的故事”。^②我们不得不承认，我们也有同感。从笛卡尔的角度来看，这种感觉来自于他精密定义的出发点和缜密的推理，在我们看来，则是因为他的图景得到日常经验的支持，很容易引起联想而且清晰可见，而理论在基础上的弱点，竟由此被掩盖了。

他的弱点是他最初假设的、被分为三类的“天界物质”，后来他也称之为“精细物质”。我们怎么知道，这种完全存在于臆想之中的东西真的是存在的呢？笛卡尔不认为这是个问题，因为从解释现象出发，根据推理，找出“原因”，本来就是人的精神活动的全部，换言之，只要言之成理，就能满足探究的心灵。至于其说究竟是不是“真的”，他认为，是没有办法最终判定的，因为“崇高的造物者亦有无数的方法供其使用，他随使用一种方法，就可以造成世界上一切现象，如

^① 原文是“悬浮在K圈中”。笛卡尔用图描写了他的宇宙图景，如本节所附，他称太阳周围的涡旋为K。此处以意译出，稍改原文，以免枝蔓。

^② Ch. Huygens, 1693年2月26日写给Perier Bayle的信，译文用张译《世界图景的机械化》，第447页。

我们所见的那样，不过人心却不可能知道，他究竟选用了哪一种方法。”^①

笛卡尔“本来打算”把《论世界》作为“新年礼物”送给他的好友的，但是，就在写完预备送出手稿时，1633年11月，他听说了伽利略的审判：^②

我听说这本书[案指《两大世界体系》]确实出版了但同时所有的印本都在罗马被焚毁了，而他[案指伽利略]也受到了某种惩罚。这让我吃了一惊，几乎决心烧掉我所有的文章，或者至少是绝不出以示人。我不能想象，一个意大利人，而且据我所知，颇受宠于教皇，除了因为想要无疑义地确立地球的运动，还有什么可以给他判罪的，何况我知道他的理论还给几个枢机检查过。……我坦白地告诉你，如果这[案指日心学说]是错的，我的哲学的所有基础亦然全错，因为我的哲学清晰地证明了日心说。我的论述环环相扣，不可能摘除一部分而让其余部分完璧独存。

《论世界》没有发表，和他的女儿一样，没有长大成人。^③过了将近十年，1644年，当一切渐趋平静以后，笛卡尔把《论世界》的前半段，特别是涡旋理论，^④改写成为《哲学原理》的第三章，而原文直到他身后，1664年，才得以刊行。^⑤

① 《哲学原理》，第四章，17，前引关文运译本，第60页。参见前第五章第四节英考弗对简单性原理的论述。

② 前引给Mersenne的信，*Oeuvres*, i, 270; Cottingham本在，*op. cit.*, v.3, pp.40—41。

③ 笛卡尔终身未娶，女儿Francine是他和女佣的非婚生子，1640年死于猩红热，时五岁。

④ 细致的研究见Eric Aiton, *The Vortex Theory of Planetary Motions*, London: Macdonald, 1972。这是他的一系列研究的压卷之作，不只限于笛卡尔。

⑤ 《论世界》的后半段，“论人”，于1662年译成拉丁文单独刊出，是为*Renatus Descartes de Homine*, Leyden: Franciscus Moyardus & Petrus Ieffen, 前半段于两年后刊出，仍用法文，是为*Le monde de Mr. DesCartes, ou le traite de la lumiere*, Paris: Jacques le Gras, 1664。

《论世界》可以看作是一个转折点。从哥白尼以下一直到开普勒，甚至在一定意义上直到伽利略，关于日心学说研究的焦点常在是日心还是地心，是地动还是地不动，换言之，是图景。当越来越多的证据倾向于支持日心学说时，机制问题就渐渐凸显。这是和图景密切相关，但不是完全相同的问题。如果不把图景作为一种信仰，不加分析和解说地接受，那么不解决行星运动的机制，不回答它们是怎么运动的，它们为什么是这么运动的，就不能最终地确立日心学说。笛卡尔的《论世界》是第一个试图给出完整的综合画面的努力，试图用机械的作用给出一种可以理解的解说。这首先是一种哲学，这种哲学确信，自然是外在于人的，有其自己的规律；这种规律可以用人所能理解的机械作用的形式表达出来。作为这种哲学的具体表现，粒子理论，涡旋理论，以及与之相关的一系列的运动定律，在以后的五十年里，将要成为天文学的主流，开创和规范以后物理学和天文学的研究方法和方向。

第二节 1648：巴斯卡并不研究行星的运动 但为日心学说的确立提供了方法论基础

笛卡尔的核心概念是充斥宇宙的天界物质，他后来有时候又称之为精细物质或精妙物质，按其尺度有三类，而各自的性质和作用方式确乎精妙。其精妙之处最要紧的，是这种粒子非常精细，以至于可以充填进任何隙壑，于是整个空间完全充满，作用由此可以传递，而运动，尽管从本质上说应该是直线的，也呈现为涡旋。他以此来解释日月星辰的运动，清晰可观；在日常生活中，依靠常识的支持，这一图景也易于想象因而也易于接受。笛卡尔曾以一个自伽利略以来被普遍注意而鲜有解释的现象来说明他的假说：^①

^① *Le monde*，前引法英对照本，p.31f。

把一个酒桶的顶上完全封住，桶里的酒就不会从酒桶底部的开口中流出来，但说这是因为“自然厌恶真空”是不合适的。我们当然完全知道，酒没有心思去厌恶任何东西，而且，就是它有，我也想不到它有什么理由要厌恶真空，这事实上完完全全是胡拼乱凑的瞎想。相反，我们应该说，酒不从酒桶里流出来是因为[酒桶]外面所有的地方都已经塞得满满的，满到能塞多少就塞了多少的样子。酒如果要流出来就要占据空间，而占住这空间的空气在这个宇宙里却找不到任何别的地方可以藏身，除非打开酒桶顶上的开口，由这个开口，空气可以绕道进入它[可以转入酒桶]的空间。

这一论说在今天看来颇为奇特：他断然否定“自然厌恶”之类的说法，但同意说没有真空存在，并把这一现象纳入他的整个的宇宙图景之中，颇见自洽和谐。

“真空”云云据说最早是伽利略留意并引起学术界关注的。伽氏既不容于教廷，退隐乡间，转而致力于工程和更见实用的力学问题。据他自己报道，他似乎完全是通过对机械运行的观察注意到这一现象的。他把他的观察写进一部新著，即《两门新科学》，这本书日后将要成为力学和工程学的开山之作：^①

一次我见一座蓄水池装有一台水泵……水泵的扳手带动它上部的吸管和阀门，所以水是用吸力而不是像把阀门放在底部的那种泵靠推力提上来的。只要蓄水池的水面在一确定的水平之上，这种泵

^① 伽利略《关于两门新科学的对话》，武际可译，北京大学出版社2006年版，第14—15页。武译的祖本是Henry Crew and Alfonso de Salvio据拉丁文版的英译本，*Dialogues concerning Two New Sciences*, New York: Dover, 1914，这个译本有Norwich: William Andrew Pub., 2001，重印本，有电子版，颇便利用；另有Stillman Drake据意大利文原文的新版英译，*Two New Sciences*, Madison: University of Wisconsin Press, 1974，未见武译本利用。上述两个英译本均从所谓的“国家版”全集译出，即*Opere*, Edizione nazionale, Firenze, Tip. di Barbera, 1890—1909，文在第8卷。

工作得很理想；但低于这一水平时水泵就不工作了。我第一次注意到这一现象时，我想这台机器坏了；但是当我叫工人来修理时，他告诉我问题不出在水泵上，而是水位下降得太低，致使水上不来；他补充说，用泵或者用基于吸引原则的其他机器，要想把水提升到高于18库比特，^①即使再高毫发也是不可能的；不论水泵是大是小，这是提升高度的极限。

伽利略对此表示了很大的兴趣但没有给出任何说法。他想到“一根绳子、木棍或铁棍，如果足够长，当抓住它的上端时，总会被它的自重拉断，但从未想到对于一根水柱，同样的事情也会发生，何况还容易得多。”对此，他说他“心中充满讶异而头脑中却空空如也……”

“自然厌恶真空”是个老问题，亚里士多德讨论过，^②但并没有像大多数人相信的那样，得出过如此高度拟人化的结论。以后两千年，学者陈陈相因，鲜有质疑。至于伽利略和笛卡尔的讨论，约略同时，却代表了对自然研究的两种迥然不同的做法。对于笛卡尔来说，上一小节已经提到，一种概念清晰逻辑缜密的解释，足以满足孜孜探究的心灵，当然也就是研究的终极目的，至于真实的情形到底如何，则常不在计中。对于伽利略，既然在已知的知识基础上看不出有什么可能的解释，既然哪怕是最细致的观察也不能提示真实的情形，他又绝不愿意作任何猜测，答案当然也只能暂付阙如。

伽利略的学生托利切里^③继乃师任比萨大学教授及宫廷数学家，继续研究真空并及空气的重量。他用两支预先灌满水银的玻璃管，倒置

^① Crew从拉丁原文译作 *Cubit*，在 p. 16；Drake从意大利原文译作 *braccio*，在 p. 25，两者均意为“肘”；彼时在佛罗伦萨约合58厘米上下。

^② 亚里士多德的讨论在 213a14—217b28，见于《物理学》，iv，6—9，有徐开来译本，在前引《全集》，第2卷，第98—113页。和他的其他论述一样，亚氏的讨论是严肃的，他自己规定的研究纲领是，213a14—15，中译在第98—99页，“自然哲学家也必须同样考虑有关虚空的一些问题，即它是否存在，如何存在以及是什么，就像考察有关地点的问题一样”。案最后一句张竹明译商务版作“考察空间时提出的问题一样”，似较胜。

^③ *DSB*，v. 13，pp. 433—439.

在盛有水银的容器里。他注意到，管中水银的液面会下降，但其高度最后总是停留并维持在 18 库比特上下。在 1644 年给朋友的信中，他解释说，^①

大家至今认为，维持水银阻止它按其本性流出[玻璃管]的力，来管子内部，或是因为真空，或是因为管子里的物质即水银变得稀薄了，但我认为，力来自外部，并非内部。[承接流出来的水银的]容器中液体的表面，承受着 50 里厚的空气的重量，由此是不是可以猜想，在玻璃管里，水银既不是受到吸引，也不是受到排斥，因为[管子里]根本没有东西；水银进入管子并且保持如许高度，是为了平衡压迫它的外部空气的重量。……在此以后，我努力从这个角度考虑了我们觉得可能是真空引起的所有的排斥作用，至今还没有碰到任何与我的想法相悖的情形。

至于真空，他说：

我们浸没在一种空气的海洋的底部，实验无可置疑地表明，空气是有重量的，而且，在地球表面附近，最厚重，和同体积的水相比，大约是后者的 1/400。另外，研究晨曦的人说，他们见过水气和可以看得见的空气上升到我们头顶上 50 或 54 里的高度，但我不认为有这么高，因为如果真是这样，我所能展示的真空的抗拒会比现在的情形强烈得多……

^① Torricelli 的主要著作收在 *Opere di Evnaglis ta Toricelli*, Gino Loria e Giuseppe Vasura, ed., Faenza, 1919, 引文在 iii, 186 seq., 意大利文，笔者限于学力，不克利用。所幸下引 1644 年 6 月 11 日致 Michelangelo Ricci 的信有 Vincenzo Cioffari 英译，收于 *The Physical Treatises of Pascal: the equilibrium of liquids and the weight of the mass of the air*, trans. I. H. B. and A. G. H. Spiers, New York: Columbia University Press, 1937, 这封信在 pp. 163—166。下一段引文同。

这就是后来广为人知的“空气的海洋”的类比。他接下来提到伽利略曾说过，在地面上即我们人和动物生活的地方，空气有重量，但在高山顶上，空气就稀薄得多。

托利切里的做法，不同于伽利略，他不是原则上把自己限定在现象范围之内、拒绝作任何推测或假说；又不同于笛卡尔，向壁虚构，作脱离现象的臆想。他是要通过类比来探究事物的原因。他的探究模式是，“彼与彼脾性相类似，现象亦仿佛，结果自然相同，此理之当然”。至于以什么“理”，如何能判定“当然”，他没有说。换言之，凭什么来判断类比的结果是对还是错呢？是凭推理，还是凭实验？他没有追问下去。

当时大多数人的注意力所为之吸引的，是这个实验所显示的真空；对于水银柱的固定不变的高度，留心较少。至于托氏本人，确实作过一些猜测，但似乎也在无可无不可之间，难以作进一步的展开。实验的情形在第二年，1644年，传到了法国，^①引起了广泛的兴趣。1646年，不少学者报告说，他们也动手做了托氏的实验，并得到了相似的结果。

和很多学者一样，巴斯卡，当时二十三岁，也重复了这个实验并观察到了托氏所说的现象；和别的学者不一样的是，巴斯卡“由此推出了若干个推论，并用许多实验来证实他的想法”。这是比里埃，^②他的姐夫，他后来很多实验的助手或合作者，对巴斯卡工作的总结。一语中的。

据说^③巴斯卡的父亲很早就注意到这个孩子有寻根溯源的捷才，特别是“区分坚实的论据和泛泛之词”。他在吃饭的时候注意到，用刀叉轻轻地敲击细瓷的餐具会产生清脆的声响，但如果用手按上去，声响

^① 法国学者是通过 Mersenne 神父的通信知道这一实验的，见 Florin Perier 的报道，在上引巴斯卡物理论文集，序言 p. xvi。

^② 即 Florin Perier，巴斯卡的姐姐 Gilberte 嫁入他家。因为巴斯卡身体羸弱，不耐劳累繁剧，所以很多实验，特别是下文描述的为测量气压变化的登山等事，多由他代劳。

^③ 以下两则轶事均见 Perier 的回忆，在上引序言 p. xii 和 p. xv。

会立即消失。他随即做了实验，并由此学到了很多关于声学的知识，这时他才十一岁。巴斯卡的严格的推理训练是从自学欧几里得几何学开始的，十六岁时曾撰文讨论圆锥曲线。据说这篇论文颇具水准，后来笛卡尔看见这篇论文时，甚至曾认为这是老巴斯卡写的，只不过是用了儿子的名字，藉以夸示于人。以他对现象的敏感，以他的沉静深思，不久，他对这个时髦的演示就有了一番新的想法。他所追求的，是发现“自然中大量的最神奇的结果，不是由飘忽的猜测，而是由清晰的、可以感知、可以展示的理性解释。”^①

巴斯卡从考察空气的重量开始。他也认为空气有重量，因为他注意到，^②充满气的气球比未充气的重，“这就是证明”。如果空气是“轻”，^③那么充满气的气球应该比空的气球更轻才对。巴斯卡和托氏一样先从空气和水的类比中得出关于空气有重量的若干推论：

海水有重量，整个重量压在海底；同理，空气有重量，整个重量压在地球表面的每一点上。“正像水桶装满水时水桶的底部承受的重量比只有半桶水时大，而且水越深压力越大，相类似的是，地球上[海拔]比较高的地方，如山峦峰顶，所受到的空气重量的压力就不如低地处大，这是因为在低地的上方的空气比在山顶上方[厚得]多……”^④“生活在水里的动物感觉不到水的重量，同理，我们也感觉不到空气的重量。于是就有可能发生一个错误，推定说空气就是没有重量的，因为我们感觉不到空气的压力。……”

他又用羊毛作类比，说明“下层的空气”比较致密。对于厚厚的

① 上引序言 p. ix.

② 这是亚里士多德的说法，见《论天》，311b10—11，“吹胀了的皮囊比空的更重，这个事实证明了这一点。”中译见徐来来译“论天”，在前引《全集》，第2卷。亚氏接着谈到“绝对的轻”和“绝对的重”，前者当指的是“火”，见同上文，311b14。很容易注意到，如果皮囊内的空气压力和外部一样，其重量当没有变化，因为这时皮囊内空气的重量当恰为其在空气中产生的浮力所抵消。如果压力大于外部，则在理论上应该是“更重”，但在实际上差别应该是微乎其微，以巴氏当时的实验条件，似不一定能测出来。志此备考。

③ 前引巴斯卡物理论文集，p. 27.

④ *Ibid.*， p. 29. 下一段引文在 p. 30.

一层羊毛，下层是被上层的重量压得比较紧的部分，空气也是一样。如果把一只气球在低地充一半气，拿到山顶以后，它必然会涨大，这一变化将是可见的。“这就是空气有重量的正面的证明，……在低地它的压力比在高出大，因为它被自己的重量压缩，在地势较低的地方比在地势较高的地方压缩得更厉害。”^①他后来藉此对完全依赖于、局限于说理的亚里士多德学派提出了直接的挑战。如果说“自然厌恶真空”，那么——^②

自然会在高地比在低地更厌恶真空？在天气潮湿时更有甚于晴朗的日子？自然的厌恶会随地点，比如在教堂的尖塔上，屋顶阁楼里，院子里，各有不同？让亚里士多德的信徒们收拾起他们的大师以及笈注家的最精深的文字，如果他们做得到的话，用“自然厌恶真空”来解释所有这些吧。如果不能，那他们就要知道，实验是物理学中每个人必须追随的真正的大师……

“实验是真正的大师”，而亚里士多德不是。作为对“前述两篇论文的结论”，他进一步分析了错误产生的原因，首先是对亚氏的误解：^③

进一步证明自然不厌恶真空并不困难。这样谈论问题的方式是不合适的，因为自然既然被创造出来，就是我们现在谈论的自然，是没有生命的，因此也不可能有爱憎的冲动。这种说法其实是一种比喻，只不过是说自然力图避开真空，就好像厌恶真空一样。……（我在这儿用“真空”一词意思是一个没有我们感官能感觉到的东西的空间）。

① 前引巴斯卡物理论文集，p. 31.

② *Ibid.*， p. 75.

③ *Ibid.*， pp. 67—68。下一段在 pp. 69—72。

其次是学者的因循、教育的守旧以及对权威的盲从：

因为错误的意见从来没有被完全抛弃，[这一现象]在很长时间没有得到理解。……一直以来，空气都是被认为几乎是没有重量的，因为古人这么说，他们的学生盲目地追随他们；如果没有更敏锐的思想家用实验证据的大力气把他们救出来的话，他们至今还是沉湎于这种理论……哲学家把[关于空气的理论]作为科学的最普遍的原则之一和研究真空的基础，居之不疑；自有书籍以来，每天就在世界各地的每一个课堂里灌输讲授，人人坚信不疑，至今没有人提出过异议。这一事实或者可以让那些不敢怀疑普遍接受的意见的人睁开眼睛。现在普通的工人就能够证明所有我们称之为哲学家的那些大人物错了……

这就把亚里士多德为什么能长盛不衰说得很透彻了。后来巴斯卡对此还作了更清晰的论述：^①

有人说：“因为你从小就相信在你看到箱子里没有东西的时候，箱子就是空的；所以你就相信真空是可能的。这是我们感官的一种幻觉，它必须由科学来纠正。”另有人又说：“因为在学校里人们就告诉你们说，根本就没有真空，你们的常识若是竟然那么清晰地理解到了这种坏观念，你们的常识就是被人败坏了；并且必须恢复你们原来的本性，才能纠正它。”到底是谁在欺骗你们呢？是感官呢？还是教育呢？

在巴斯卡看来，用“自然厌恶真空”来解释液面的上升有两个方面

^① 《思想录》82，何兆武译，商务印书馆1997年版，第45页。译本据 *Les pensees*, Leo Brunschvicg ed., Paris: Libraire Hachette, 1912, 段落编号也从此一版本。

的困难：一是自然既然不是一个生命体，何来“厌恶”，这一点从笛卡尔以下，已是明白；二是从托氏的实验看，确实出现了人人可以看得见的“空的”空间。如果一定要说这不是“空的”，那么必须给出令人信服的理由。这和以前没有人见过“真的”空的空间时要靠想象谈论“真空”，形势迥异：先是反亚氏学说的一派要构造出想象中的真空，现在是支持亚氏的一派必须证明人人可以看见的、业已存在的不是真空。亚氏落于下风，不言自明。但是，如果巴斯卡的工作到此为止，他最多可以说亚氏的说法是“错的”，因为到此为止，他的立论、他用以证明的基础仍然不过是“理所当然”。何以说他的说法就是“对的”呢？

而如何判断科学理论的真伪的问题依旧。这儿的形势与日心学说的的发展有可比之处：到了第谷的时候，地心学说的困难日见明显，最前卫的学者甚至愿意接受说托勒密体系是“错的”；到了伽利略的时候，越来越多的证据指向日心说，但是，仍旧没有一件证据能断然肯定日心学说是“对的”。在这一点上，“真空”和“太阳系”有一个相似之处，即两者都不再是我们的感官可以直接把握的对象：直至这时，由感官提供的直接的判断不再是自明的了，对与错不再是一般人依据常识就可以一目了然的了。于是，当我们说“对的”，我们是在说什么呢？什么叫“对的”，谁又是最后的评判呢？巴斯卡说，“是实验”。值得注意的是，当他说“实验”时，他并没有做过这样的实验，他是把最终的评判诉诸实验。他是根据现象作出了一系列推论，又把这些推论的真实性或正确性诉诸实验：^①

但是不管这些推论有多么的确定，我觉得所有接受这一说法的人都期望看见这些说法被实验证实，因为实验包括了所有别的因素并且直接证明了这些原理。

^① 前引巴斯卡物理论文集，p.30。

他接着说，如果“确有一种可以观测的或者是可以标记的变化发生了，比如说[气球的]体积的八分之一或九分之一，这样的证明对我说来，绝对是令人信服的，并且对我所说的之为真理，不再有任何疑虑”。巴斯卡的论说结构是，先根据现象做出一种假设性的解释，这一解释必须能给出一种可以验证的预期，而如果这种预期在实验中果然由经验证实，那么先前的假设性解释即可确立为真，或者说“我们的理解是对的”。“在物理科学中，经验较之论说远远更令人信服，我毫不怀疑所有人都希望看到，这一推理被实验证实。”这就构成了一种全新的认识方法，史称科学方法。

在最初给他的姐夫的信里，他作了这样的说明：^①

我现在正忙着测验先前说法的真实性，即所谓“自然厌恶真空”，想要找到实验的方法来说明，用“自然厌恶真空”来解释的效应是真的可以归为这种“厌恶”呢，还是应该归于空气的重量和压力……对此，我设计了一个[实验]，如果能足够精确地实施的话，仅此一举就足以使我们所要求证的真相大白……你当然马上会看见这样的一个实验是决定性的：如果水银柱的高度在山顶比在山脚低，一如我有很多理由相信如此——尽管所有研究这一问题的人都持相反意见——即可得必然的推论，即空气的重量和压力是维持水银高度的唯一原因，而不是[自然]对真空的厌恶。因为很确定的是，空气的压力在山脚比在山顶大，而假定自然在山脚比在山顶更厌恶真空则是完全说不过去的。

要想证明“自然厌恶真空”不是液面上升的原因的困难在于，这一陈述既不能由逻辑推理来否证，也不能通过实验来直接显示。一个与之竞争的替代性解释是，液面上升的原因是空气的压力。现在的论题

^① 前引巴斯卡物理论文集，pp. 98—101。

是何以知道后一陈述为真。巴斯卡推论说，如果“空气压力”的说法为真，那么在低海拔的地点，其上空空气层应当较厚，其重量也应当较重，压力也应当较大，所支持的水银柱的高度也应当较高。而在高海拔地点，如山巅峰顶，空气层较薄，其重量也相应较小，水银柱的高度自然会低于低海拔地点。如果进行一次实测，而结果显示水银的高度“果然”如我预先的推论，那么“我们所要求证的”自然就“真相大白”。

实验地点选在海拔约 1 460 米的多姆山，这是法国中南部一处年轻的火山遗迹，在罗马时代就是祭神的去处，山腰有原住民在古代修建的星使庙。实施实验的是他的姐夫比里埃。先是，山区天气不好，峰顶一直是雪雾弥漫，“几乎没有一天可以看见顶峰”。到了 9 月 19 日，天气终于转晴，比里埃报告说实验是精心完成的，而且有几位“有学问而且其诚实也是不容置疑的人”也见证了实验的“确定无疑”的结果：^①

上个星期六，这个月的 19 日，天气仍旧是阴晴不定。但到早上 5 点前后，看来好像是个晴天，因为可以看见多姆山的顶峰了。我决定上山去试试。我通知了镇上的几个名流士绅，他们曾要求我在我上山时告诉他们。……这几位都不仅在各自领域里学有专长，而且在智力所及的每个方面都有兴趣。……8 点钟，我们在这个小镇海拔最低处的明尼神父花园^②聚齐……我先把三天前预备好的 6 磅的水银倒入一个容器，然后用几个同样大小的玻璃管，各有 4 尺长，一头封死的，一头开口……[放进水银以后]，我发现水银[柱]从容器中

^① Perier 1648 年 9 月 22 日给巴斯卡的信，*Oeuvres complètes*，Paris：Seuil，1960，v.2，p.682f。同见前引巴斯卡，pp.102—108。

^② “明尼”原文是 Minim，何兆武《思想录》附录“生平与著作年表”作“最小兄弟会”，见是书 496 页。案 Minim 实为 Paula 的 St. Francis 神父在 15 世纪创立的天主教的一个分支，名从《马太》25：40，王要回答说、我实在告诉你们、这些事你们既作在我这弟兄中一个最小的身上、就是作在我身上了。见 *Catholic Encyclopedia* 条，似不关大小，故作音译。

水银液面算起高度是 26 寸 3½ 分。^①我在同一地点用同样的玻璃管，同样的水银，同样的容器重复了两次，发现两支玻璃管中水银停留在相同的高度。

于是比里埃先生开始向上攀登，他记录说，

[在过了]修道院大约 500 寻^②以上，再以我在山脚下相同的方式做相同的测量，发现管子里水银的高度只有 23 寸 2 分……我在山峰上不同的地点把这个实验小心地又重复了五次……一次在风中，一次背风……每次我们都发现水银[柱]处于完全不变的相同的高度。

在下山的路中途即上文说的神庙附近，他又重复了这一实验，发现两次的读数都在 25 英寸。回到山脚，他又把带上山的仪器和保留在山下的做了对比，发现没有差别。第二天，又有人建议把仪器搬到镇上最高的建筑，圣母教堂和其他一些地方做了相同的实验，确认了水银柱的高度和海拔的关系。比里埃还试图求出海拔高度和水银柱高度的精确的数量关系。他认为他的实验本身已臻完美，但对所能得到的实验地点“极不满意”，并说在有机会时还可以做得“更精确”。他们还进一步变化了实验的其他条件：^③以水试之，得相同结果；以不同形状的玻璃管试之，得相同效果；不同的气候条件，会导致不同的水银柱高度读数，一如海拔变化引起的变化。“所有这些已由在多姆山的实验证实”。^④排除个别零星的细节，实验的意义是，他们“果然”得到了巴

① 原文编者注：这表明实验精度小于 1 毫米。1 寸 = 12 分。

② 原文作 *toises*，英译作 *fathom*，即“寻”，1 寻即 6 英尺，约为 1.828 8 米。

③ 意大利人的实验后来被 Richard Waller 详细地介绍到英语世界，见 *Essays of Natural Experiments made in the Academie del Cimento*, London: Benjamin Alsop, 1684, 例如这儿说的关于水的实验在 p. 31, 演示托利切里真空的实验在 p. 14、p. 28, 等等。

④ 前引巴斯卡物理论文集，pp. 53—54。

斯卡所预期的现象，“果不其然”！

巴斯卡的工作，对于亚里士多德的“自然憎恶真空”固然是一次批判；但在17世纪40年代后期，质疑亚氏已属常见。这一案例的意义，其实在于它对于全新的、日后行将大行其道的“科学方法”作了一次完整的演示。简言之，其意义不尽在于“除旧”，而更在于“立新”。亚氏以下，对于自然现象的收集，穷极遐迩，巨细无遗，然后规范整理，条分缕析，以求得理性可以想象的说明为务，构造自然体系。但是，正如巴斯卡后来所批评的，“他们看到了事物，但没有看到原因”，^①或者说他们不能无歧义地确立原因。他们得到的结果，他们给出的解释，并不常是错的，这是因为他们的研究对象通常还颇为直观，颇能为感官所直接把握。随着对自然的研究深入，当我们不再能“感觉”真空，“看见”是地球绕太阳还是太阳绕地球，这种“整理资料，构造解释”的开放性的探究方式就面临一种窘境：何以在诸多可能的“合理的”解释中分辨出“真实的”解释，换言之，科学解释的真理性是如何确立的呢？

巴斯卡并不是第一个企图回答这个问题的人；早于他十数年，伽利略也有过类似的想法，^②尽管尚称含糊，但毕竟可以说，这种方法不是一蹴而就地出现在科学研究中的。在这种“观察→假说→推理→实验验证”的模式中，理性的引导作用是显而易见的。巴氏对此常加以特别的强调：^③

人显然是为了思想而生的；这就是他的全部尊严和他全部的优异；并且他的全部义务就是要像他所应该的那样去思想。

① 《思想录》235，前引何译本第114页。

② 如他企图判断光的传播是即时的还是需要时间的，见前引《两门新科学》，武译第39页；但是当讨论落体时，他援引的显然还是用直接观测的方法，如上书第59—60页所描述的。

③ 同上《思想录》146，第74页。

这就是一个转折。在此以前，现象常引领理性的分析，即便是精心设计的实验，目的常在于看看可能产生的结果，也常在于扩大我们的视野；当这种新的思考方式和方法进入对自然的研究以后，理性常引领对现象的搜寻，实验的目的主要不再是，或者根本不是，无期待地“试试”，而是对于预期结果的证实；不是想看看会有什么现象出现，而是想看看预期的现象有没有出现。人对外部世界的认识从此走出了感官知觉的限制。当这一模式在日心学说的确立中以百千倍放大的力量最终确立的时候，当人渐渐认识了宇宙的伟大的时候，巴斯卡这样定义了人：^①

人只不过是一根芦苇，是自然界最脆弱的东西；但他是一根能思想的芦苇。用不着整个宇宙都拿起武器来才能毁灭他；一口气，一滴水就足以致他死命了。然而，纵使宇宙毁灭了他，人却仍然要比致他于死命的东西高贵很多；因为 he 知道自己要死亡，以及宇宙对于他所具有的优势，而宇宙对此却一无所知。

我们的全部尊严就在于思想。正是由于它而不是由于我们所无法充填的空间和时间，我们才必须提高自己。因此我们要努力好好地思想；这就是道德的原则。

巴斯卡早逝，他没有看见日心学说最后的验证，因此也理所当然地对哥白尼有所保留，^②而这种保留的态度，恰恰彰显了由上述科学方法所代表的科学精神。如果不问论证和事实而盲目地接受日心学说，恰是以一种信仰代替另一种信仰，以一种迷信代替另一种迷信，在本质上说，并没有把我们对于自然的认识从本质上推向前进。——科学的本

^① 《思想录》347，第157—158页。

^② 他在《思想录》218/219，何译第104页中，非常简短地提到，“我觉得最好不要深究哥白尼的意见，然而这一点……”这是笔记的一个片段。至于他的詹森教立场在他考虑日心学说时可能的影响，自不是本书可以承担的研究。

质不在于你接受日心学说还是接受地心学说，而是你为什么、凭什么接受某一种学说。日心学说最终取代地心学说，主要不仅仅是，而且在本质上不是一种图景替代了另一种图景，而是一种论证手段，即上述以巴斯卡为例说明的分析和实证的方法，取代了以信仰为基础的论证；这一重大的改变，是真理标准的改变，是理性对于信仰的胜利。以后五十年中渐次展开的关于日心体系的论证，将要展示的，正是巴斯卡所孜孜以求的人类理性的尊严和力量。当然，这是后话。

第三节 1659：惯性的概念和 惠更斯的《论离心力》

和大气压力的研究相比，运动学或动力学的研究，特别是不受外界约束的运动，常更引人注目。和巴斯卡约略同时而稍早，托利切里曾“以某种方式”谈到过，“如果运动物体没有受到重力的牵引，它将……做匀速直线运动”。^①他的老师伽利略不认为如此。伽氏认为，直线运动是不存在的，^②因为直线运动是无限的。对于“无限”之类，伽利略不喜欢谈论，他认为这种题目是“不确定的”，从而也是无法把握的。他研究自由落体的运动，但是关于物体降落的原因，他说“对于整个问题，不同的哲学家表达了各式各样的意见……所有这些和其他的离奇的想法都应当受到考察，但是实在不值得花时间。目前作者的目的仅是研究和证实某些加速运动的性质，不管这种加速的原因可能是什么……”^③

^① 柯瓦雷《伽利略研究》前引刘译本第345页引，原文在 *Opere*, Florentiae, 1644, 1, ii, p.156。

^② 《两大世界体系》，i, p.43，“把直线运动归之于部分，比归之于整个元素世界，要正确得多。”这是伽氏谈论别的问题时的一个边注，但在别处他也有类似的表述。中译见前引译本，第29页。

^③ 《两门新科学》，前引武译本，第153页。

伽利略只研究物体“怎么”运动，而要把“为什么”运动这个问题交给哲学家，这显然和他一贯的重视实证的做法相契合。但是物体的运动却是人人时时可见的自然变化，问题似乎也不可回避。笛卡尔把他的整个宇宙图景完全建立在物体的运动、特别是机械运动之上，形成了一个体系，后世称之为机械论哲学，在17世纪科学草创之时，蔚然独领风骚。而这种哲学的最初陈述，见于《论世界》，如上文所述，从臆造的三类物质起，得出涡旋图景，进而描述物体的运动状态，先是惯性定律，然后畅发其说，至于第三条定律，着力回答物体应该是沿直线运动而事实上却不沿直线运动的问题。和他前两个假定不同，这一点似乎并非自明的：^①

一个运动的物体，尽管其运动常常取弧线，并且，从来不可能取在一定程度上不是弧线的运动轨迹，但其各个部分，总是倾向于沿着直线继续其运动。它们的作用方式，即它们必须运动的倾向，和它们的运动是不同的。

深奥之处在于，物体表现出来的运动和它运动的“倾向”并不一致，换言之，所谓“倾向”是指物体“想要”怎么运动而未能这么运动的一种“潜在”的东西。笛卡尔对我们用“换言之”加上的注解一定会嗤之以鼻，因为这显然是在诉诸有意志的生命体或隐秘因素，而这正是他所断然拒绝的。他当然不知道，到他的哲学走到穷途末路的尽头时，科学竟然正是从这一点完成突破，进而再铸辉煌的。当然，这是后话。为了说明眼前的问题，笛卡尔举了两个例子来解释他的意思：一只旋转中的轮子，看上去是在作圆周运动，但是，万一发生断裂，轮子的各个部分都会沿直线飞散开来；一块由绳子牵制的石头，“在它被绳子牵制的整个过程中，它从绳子的中部[向外]拽，使得绳子绷紧”。

^① *Le monde*, *op. cit.*, p.71; Gaukroger 译本, p.29。

笛卡尔注意到的，是这一现象的两个侧面，一是“轮子的各个部分”会飞散开来，他认为正是这些部分，即便是在做圆周运动，仍旧有“飞散开来”的倾向，二是绳子因为这种“倾向”而绷紧，说明如果没有绳子拉住的话，物体自然会沿切线方向分散，一如人人可以看见的那样。

“所以，这就明白地显示，物体一直有一种沿直线运动的倾向，而它作圆周运动只是因为受了约束。”

现象是人人可见的，原因据笛卡尔说是因为上帝时时在规范干预运动，这种干预不是在运动发生之前做出的，而是在运动进行中即时做出的。直线运动之所以被优先选中，是因为“在所有的运动中，直线运动是最简单的，我们理解其本质不过是瞬间的事”。^①这有些不易理解，笛卡尔再作进一步的解释：

哲学家在这儿找不到机会展示他们的不必要的深刻：留意我不是说直线运动可能在一瞬间发生，而是说产生直线运动的、而不是产生圆周运动的所有要求，每时每刻都存在于运动体内，并可以在它们运动的时候确定。

这就更不清楚了。在稍后的《哲学原理》中，他再次用“倾向”来说明这个他无法说明的瞬间：^②

物质的任何部分，从来不倾向于沿任何斜线[案此处指曲线]运动，而只是沿直线运动，尽管很多[情形中物体]因为其他物体的碰撞被迫折转，而且，正如我们刚才指出的，在任何运动中，圆轨道多少是由所有物质同时运动造成的。

① *Le monde*, ch.7, p.71.

② *Principles of Philosophy*, ii, 39.

难就难在研究的对象是运动。在运动中，对象每时每刻都在变化，而这种变化的原因应该是在运动改变之先，并且随即规范运动。这就让我们想起了亚里士多德的“潜能的实现”这种有如神谕一般的定义。笛卡尔曾说，亚氏的意思很不确定；对我们来说，唯一可以确定的，是亚里士多德可不是“不必要的深刻”。笛卡尔要想说清楚，更不容易，他于是求助于上帝，说第一定律关于直线运动的基础和以前一样，是“上帝在物体中注入运动时的不朽的永恒和朴素的简洁”。的确，在笛卡尔的论述中，朴素的简洁表现得很清楚：从神学上说是上帝的简洁创造了简洁的直线运动，从经验出发则是简洁的直线运动反映了上帝的简洁。简洁地说，笛卡尔关于第一定律的说明在我们看来似乎是在兜圈子。如果要跳出这种“不必要的深刻”，就一定要把第一定律看作是对因果关系的先验的陈述：它所肯定的，是对于任何事物来说，没有改变的原因，就不会发生改变。这是没有外来干涉的情形，在前文已有讨论；现在要研究的，是有外来干涉的情形的。而所谓的外来干涉，从机械论哲学来看，就是碰撞，这是所有运动发生转折的原因。笛卡尔把这种情形描述为：^①

一个运动的物体碰到另一物体，如果它得以继续保持在直线上的力小于另一物体阻挡它的力，它就折转到另一个方向上，同时保持它自身的运动，失去的仅仅是其方向；如果它的力较大，它就推动另一物体和它一起运动，同时给与另一物体等于它所失去的一定量的运动。

事实上，这儿对碰撞的描述是错的，但和日常粗略的观察却颇相契合。^②当我们把一只乒乓球扔向墙壁时，我们看见的碰撞实际上是笛卡

^① *Principles of Philosophy*, ii, 40.

^② 我们日常生活中看见的是非弹性碰撞，其中包括机械能向热能的转换，笛卡尔的模型必须诉诸完全的弹性碰撞，他当年当然还不能认识到这一点。

尔在这儿所描述的、而不是现在物理教科书所教导的情形。当然，这是后话。由这一段以及紧随其后的长篇论述，^①包括运动的七条法则，我们可以看到，尽管笛卡尔把运动的本源和规律归为上帝，在他的物理学中，当从精神世界回到现实时，经验还是起着引领作用。

在笛卡尔的时代，很多学者已经认识到，或是模糊地经验地，或是清晰地哲学地，运动有两类；一类是需要外来援助的，一类不须外力而靠自身即可维持的。后者就是在理想的无介质的环境中的直线运动，这就是笛卡尔第一定律讨论的。至于前者，最典型或最简单的，应当是圆周运动，笛卡尔含糊地谈起，^②这应当是“多种运动的同時作用”。他注意到，作圆周运动的物体倾向于逃离它们运动的中心，他并且说，这种逃离的倾向随时间加剧，换言之，这种“逃离”是越来越快的，“因为这物体保留了它以前的力，而又在此之上获得了逃离中心的新的力”。这一段讨论，笛卡尔的标题是“这种倾向的力有多大”，^③他显然没有能够作出定量的回答；他把这个问题留给了他学生的学生，荷兰人惠更斯。

惠更斯^④很幸运，生在富裕并且高智力的环境中。父亲是荷兰亲王的秘书，被后来他的传记作者称为“非凡地才华横溢”，精于古典哲学，能写诗，能作曲，曾为詹姆士一世在宫廷中演奏短笛，1622年受封为英国骑士。以史称“最人文的”英格兰的苏格兰君主的品味，老惠更斯大概确实不错。作为职业外交家，他连同全家，有机会在欧洲主要国家做广泛的游历，并且和笛卡尔辈欧洲领一代风气的学者有密切的通信往来。因为父亲的缘故，惠更斯很早就认真地学习了笛卡尔的著

① *Principles of Philosophy*, ii, 45—53.

② *Ibid.*, iii, 57—58.

③ *Ibid.*, iii, 59.

④ A. E. Bell, *Christian Huygens*, London: Edward Arnold, 1947, pp. 16—18, 稍嫌老旧；同见 Cornelis D. Andriessse, *Huygens: the man behind the principle*, Cambridge: Cambridge University Press, 2005, 本书作者谙荷兰文，又是物理学家，致力于惠更斯几三十年，多方位地推进了对惠更斯的研究，但以本书的主题，势难细致追寻，志此以俟来人。

作。1637年迁居海牙附近，1646年就读于莱顿大学，彼时笛卡尔恰在荷兰逗留，因此得以亲炙。惠更斯在莱顿的老师，斯库腾，早在1632年就结识了笛卡尔，1659年翻译出版了笛卡尔的《几何学》，斯库腾的父亲同时又是老惠更斯和笛卡尔的密友。通过父执辈和导师辈，笛卡尔对惠更斯的影响是双重的。虽然后来惠更斯确有自己的—片天地，这种影响既造就了他，又限制了他，这在他一生的工作中清晰可见。

1656年撰写的《物体因碰撞引起的运动》，^①透露出惠更斯对于笛卡尔的承继。文章的出发点是三条“假设”，第一条就是惯性定律，但不是简单地重复笛卡尔，而是更清楚的重新表达：^②“任何物体，一旦运动，如果没有别的东西阻止它，将持续沿直线以原有的恒定速度继续运动。”他一定认为这是研究运动的不可替代的出发点；稍后的、更著名的《摆钟的理论和设计》也是以第一定律的类似陈述开始的。^③案当17世纪中叶，实用如航海贸易，学问如天文观测，都有赖于精确守时，^④惠氏对此也情有独钟，多有发明；但竟至要从力学的原本开始他的论述，也可见当时力学之深入人心。至于运动的原因，他把笛卡尔关于最初推动或上帝的议论略去，而代之以“不管什么是刚性物体碰撞的原因……”他这种对“原因”存而不论的做法，清楚地标志了他走出了哲学、走进了物理学——对于后者而言，研究的目的是可见的、可以以实证方式把握的因果关系的片段，而不是整个的因果链，并不涉及最初的或最终的世界。他接着对碰撞的种种情形逐一做了研究，归为13个命题，同样不是对笛卡尔的简单复述。谈到“运动”时，例如，惠更斯纠正了笛卡尔关于小物体不能推动大物体的错误：在命题3中，他证

^① Christianus Hugenius, *De motu corporum ex percussione*, 1656, 我用的是 M. S. Mahoney 给我的英译手稿。

^② *Percussions*, *op. cit.*, p. 1.

^③ *Horologium oscillatorium*, 1673, *Oeuvres*, xviii, 125. 在这儿，惠更斯假定了引力不存在，并考虑了空气的阻力。本书有 Richard J. Blackwell 英译，*The pendulum clock, or, Geometrical demonstrations concerning the motion of pendula as applied to clocks*, Ames: Iowa State University Press, 1986。

^④ C. Andriessse, *op. cit.*, pp. 153—156.

明了，“一个不论多小、以任意速度运动的物体通过碰撞会推动不论多大的物体”，这在日常经验中当然是匪夷所思的。但是，至于“运动”本身，或是假定相关物体的重量是一样的，因而可以用“速度”来衡量，如在命题 2，命题 10，或是简单的几乎是以一种未经定义的方式泛称之为“运动”，如在命题 5，命题 13，或是“运动的量”，如在命题 6；而他谈论“物体”时，也是“大”、“小”，“重量”、“物体”混用，把惯性叫做“倾向”或“趋势”，而作用显然等同于“碰撞”，所有这些，除了提示了惠更斯的工作和笛卡尔的紧密联系，也表明力学尚在草创，其精细化还须假以时日。

稍后，他的兴趣转向离心力，这是一个很难的问题。在 1673 年的《摆钟的理论和设计》中，他提到离心力的大小和物体转动速度的平方成正比，与其转动的半径成反比；也就是说，物体的转动速度越大，就越容易被“甩出”圆轨道，而且这种抛甩的力量随着转动速度的加大会急剧增大，这和日常生活中人人都能体验到的经验相一致。尽管在这篇文章里他没有给出证明，这个结论对于诸多学者来说还是可以接受的。

后来的研究表明，^①至晚在 1659 年前后，惠更斯就完成了上述结论的证明，^②或者说是把笛卡尔定性地提出的“离心倾向”转化成了一组定量的定律。他是从对伽利略的自由落体和斜面研究开始的：^③

重力是一种下落的倾向。重物或是垂直地或是沿着斜面下落，都产生加速运动，就是在相等的时间段里运动获取相等的速度。做这些实验，我们可以最确实地断定，在不同的时间段里，从静止开始

① A. E. Bell, *op. cit.*, p. 117.

② 上引 Andriessse 作了逐日的历史追寻，证明《论离心力》完成于是年 10 到 11 月，力图表现想法如何从“混沌”到清晰的表达，尽管他的表达并不清晰，见是书 pp. 167—169.

③ *De vi centrifuga*, 在 *Oeuvres completes*, xvi, 255—301. 在本文的写作中，参考了 M. S. Mahoney 的英译手稿。

[物体]走过的距离和时间的平方成正比。这是实验证实了的，这就表明先前的假定是正确的，伽利略和瑞奇欧里的实验准确地证明了这一点……

问题是，自由落体和作圆周运动的物体完全不一样，能把这两种运动放在一起讨论的，只是它们的运动似乎都有一种“越来越快”的加速运动。但是，当我们谈论“离心倾向”时，我们是在说一种“倾向”，并不是像落体那样已经实现的，可见的，可以测量的运动。这又让我们想起亚里士多德所谓的“潜能的实现”，这仍旧是“潜在的”东西。其次，他要处理的，是一种圆周运动，也就是说他要处理的轨迹有很多是弧线。要在数学上把弧线简化为直线处理，涉及到取用“非常小的”弧段或“一瞬间”的时间段，物理学后来常用无穷小位移的概念来谈论这种的变化，而在惠更斯的时代，与之相关的数学工具还远未出现。惠更斯所面对的，就是这么一个困难的问题。至于论证方法，值得特别注意的是，对于落体定律中的平方比，惠更斯在1673年给出的根据，竟然是“这是实验证实了的，这就表明先前的假定是正确的，伽利略和瑞奇欧里的实验准确地证明了这一点……”这不由让人想起巴斯卡的论说方式，“实验证实了先前的假定”。我们不知道惠更斯是不是直接从巴斯卡的工作中得到这个模式，^①但这确实告诉我们，在1670年代，这种“假设→验证”的模式已经是被广泛地接受了。

《论离心力》虽然晚至1703年才发表，但学者通常相信其主要部分在1656年前后就已经完成，这时惠更斯二十七岁，恰在完成大学学业，退居父亲在海牙附近的庄园之时，在那儿他得以自由地追寻自己感兴趣的课题。他的思路大体如下。首先，他细致地讨论了伽利略关于

^① 惠更斯曾接到过巴斯卡关于摆线的论述。尽管巴氏当时用的是一个假名Dottenville，但似乎没有理由说当时英法学界竟然没有人知道巴斯卡。参见前引Andriessse, pp. 159—160。

匀加速运动的研究，^①当然，自由落体是最经典的例子。他认为，^②

然而，不应当因为人们通常错误地认为重物倾向于沿平行的路径下落，就认为伽利略关于运动的理论……在处理重物的任何力学中不那么有用和杰出，其实重物事实上是倾向于坠向地球的中心。对于我们行将处理的问题，我们完全能够说，在很小的距离上，在从静止起的加速也按奇数序列增长，一如伽利略已经确立的那样。^③

这是他的第一个前提，或者可以叫做物理的考量，即：

对于那些倾向于奔离运动中心的物体，我们已经清楚地看到，它们的倾向与重力引起的倾向相类似。

他稍后又更清楚地写道：^④

由此，可以肯定，这样一种作用[案指用细线拴在旋转中心的小球所受的力]和用线悬挂一只球的情形完全相似，因为在现在这一情形中，小球沿细线方向[案即向背离旋转中心的方向]移开的作用也是一这类似的加速作用。

换言之，落体定律应该适用于任何“从静止起的加速”。惠更斯利用这一想法来描述物体脱离转盘的那一瞬间，这时候物体的径向速度为零，而加速度为一定值，这就是惠更斯所谓的“从静止起的加速”。

① 伽氏的论说见《两门新科学》，前引武译本，第160—162页。伽利略在这儿证明了，“以匀加速运动所通过的距离之比等于通过这些距离所用的时间的平方比”，即原书定理2。

② *De vi centrifuga*, *Oeuvres completes*, xvi, p. 256.

③ 这是伽利略用过的又一个说明重物下落距离和时间平方成正比的陈述，在数学上和“平方比”等价，见上引《两门新科学》，第162—163页。

④ *Oeuvres completes*, xvi, 263.

他讨论了沿弧线下落的物体，指出“运动开始”的情形是指一段“非常小”的距离或时间段：

显然，我们不应当考虑重物和[悬挂它的]悬线分离一段时间以后发生了什么事，而应当考虑运动开始时的非常小的时间段……

这是他的第二个前提，或者可以叫做数学的考量。他没有瞬时加速度的概念，当然除了说“非常小”之外，再也想不出什么更好的办法说明“瞬间”了。他继续写道，“虽然重物以后可能以某种别的速率运动，这也不会以任何方式影响运动开始之前的倾向性。”要清晰地说明“瞬时”，则要求无穷小概念以及与之相连的微分方法，这还有待于牛顿和莱布尼兹的工作，当然，这是后话。在惠更斯稍后的论述中，他花了相当的篇幅，绕过这一难点，说明在“很短的”区间用直线代替弧线的做法是可以接受的：“如果……弧段截取得足够小，直线和弧线在长度上的差异会比任何可以想象的还要小。”如果从一百年后柯西关于无穷小的严格定义来看，惠更斯这儿的陈述，听起来不仅仅是说“非常非常小”，而是已经包含了“无限的小”的意味了。这种说法当然有过度解读之嫌，但从数学概念上看，“任何可以想象的小”和“瞬间”至少已经是对无穷小的不严格的运用了。

然后，他设想了一只“平行于”地平的转盘。当转盘以恒定速度旋转时，在转盘上的所有东西都会感受到“离心倾向”。如果在转盘边缘站立的人手里有一只小球，在某一瞬间小球突然脱手，它自然会沿切线方向飞出去，这是人人都可以想象的。问题是如何计算使它飞出的力。

惠更斯假定，迫使铅球在沿切线方向飞离转盘边缘的力，他叫它为离心力，其作用和使重物坠落的力的作用方式是一样的。伽利略研究可知，对于重物而言，其坠落的距离和时间的平方成正比。惠更斯把离心加速度与重力做了对比，铅球飞离以后距转盘的距离和时间的平方

成正比，换言之，一旦脱离约束，这个小球距随转盘运动的观察者的距离将按 1, 4, 9, 16, ……增加，^①或飞离转盘的倾向也和转盘速度的平方成正比，这是惠更斯的基本物理推理。用现代物理的符号，这可以写作 $f = v^2/r$ ，这儿 f 是离心力， v 是转盘边缘的线速度， r 是转盘的半径。在惠更斯最初给出的证明中，这一表达式是分两步完成的：^②命题 1 阐述了离心力和旋转半径的关系，命题 2 则处理和旋转速度的关系。有了前面的说明和与自由落体的比较，加上伽利略的工作，这些证明仅花了寥寥数笔。^③

既然可以准确地算出离心力的大小，惠更斯接下来用他的离心力公式考察了地球自转的问题。命题 5 是对这一问题的准备。惠更斯首先证明，如果圆周的线速度等于从该圆直径的四分之一的高度自由下落的终点速度，那么在这一圆周上的物体感受到的离心力与它的重量相等。在现实的物理世界中，重量和离心力平衡的问题曾被用来反诘哥白尼学说。按哥白尼图景，地球绕自己的地轴作周日运动。这一旋转运动，根据常识，必然产生离心力。不少人问道，既然如此，为什么我们，生活在地球表面、随地球作圆周运动的人，没有被抛甩出去，飞上天空？惠更斯的公式表明，这一离心力的大小正比于地球表面，例如说赤道上，地球运行的线速度的平方。根据地球的半径和地球周日运动的周期，他计算了这一速度。很容易看到，为得出具体的数值，他需要地球的半径值和引起“重量”的重力加速度值，但是这两个数值在他那个时代还没有准确的测量值。根据他手头可资利用的数据，惠更斯算出，如果要使赤道上由地球自转产生的离心力和重力相等，地球的半

① 惠更斯没有进一步解释为什么是如此，他似乎是认为离心力和重力类比是不言而喻的。

② *Oeuvres completes*, xvi, 267—269.

③ 戴氏《世界图景的机械化》，前引张译本，iv, 139，即第 402—404 页介绍了惠更斯的工作，证明采用了一些现代手法，据作者说是考虑到“读者所受的数学训练”（第 401 页）的程度而作的变通；R. S. Westfall, *Force in Newton's Physics*, *op. cit.*, pp. 169—171, 采用的说法和惠更斯的原著也不尽相同；Bell 的书, p. 118, 则直接指出，“惠更斯对其推理未作解释，径自宣称……”本书依例不作细致的追究，以免枝蔓。

径必须增大 256 倍。^①我们现在知道，由于初始数据的误差，这个结果比真实的数值小了一些。但是即便如此，256 倍也是个足够大的数，足以说明用离心力来否定哥白尼的日心学说是完全不能成立的。后来，在 1665 年或 1666 年间，^②他又利用新得到的重力加速度和地球半径的测量值重新作了计算。这一次，重力的值仍旧偏小，而半径值偏大，大到真实数值的一倍半，他由此得出，赤道上的离心力为重力的 $1/165$ 。尽管如此，这个结果仍旧足以说明对哥白尼的反驳是没有根据的。

从物理学，特别是力学的发展看，惠更斯的工作提示了三十年后发展起来的经典力学的所有主要概念：运动的速度和加速度以及它们的衡量，物体的重量，惯性以及相互作用。惠更斯的数学能力当然足以让他傲视同侪，但是笛卡尔的机械论和以碰撞为作用机制的基本图景显然阻碍了他抽象地理解有关力的概念。对于惠更斯而言，由开普勒代表的对“力”的模糊的解释，清晰地指向神秘主义和诉诸生命体的非理性思维，和当时科学思想的主流迥异。很可能是因为他对于离心力的研究开始于笛卡尔的相当直观的“飞散”出去的现象，惠更斯对于圆周运动的考查，着眼点常在迫使物体飞离转动中心的力。他曾对惯性定律作了最清晰的陈述，但却没有从物理上把离心力和惯性力联系起来，没有明确地指出，在真实的物理世界中，离心力是不存在的，它只是惯性的一个表现；沿着这一考察途径，惠更斯始终没有把眼光转向迫使物体不飞离中心的原因、那一个没有人能清晰表达但每个人都能亲身感受的力。很可能是因为他对于力的理解局限于笛卡尔的关于运动机制的机械论解释，他注意的重点始终在运动物体而不是在作用在物体上的力。从笛卡尔到惠更斯的对于清晰表达的要求，使得他看见了物体飞离转盘，但却对作圆周运动的物体，特别是行星，其实并没有飞离各自的运行轨道的事实，视而不见。他的问题始终

① *Oeuvres, op. cit.*, xvi, 304. 用现代数据计算，这一数值大约应在 300 左右。

② *Ibid.*, xvi, 323—324.

是，是什么让物体飞散，却没有问是什么让物体不飞散。所有这些，让他停留在离心力上，却没有留心平衡离心力的向心力。这看来不像是一种偶然的疏忽或错失，而更像是笛卡尔图景和哲学的限制。在他看来，向心力的作用方式是不可理解的。终其一生，尽管他坚定地相信日心学说，但始终未能接受牛顿以“引力”为基本假设的力学模型，当然，这是后话。

第四节 1666—1683：胡克猜到了引力的 两个基本特性但无法证明

惠更斯关于离心力的研究和他对于钟表的兴趣密切相关。事实上，我们还记得，离心力公式最早就是发表在1673年《摆钟的理论和设计》中的，——尽管没有提供证明。他不仅研究理论，还自己亲自动手制作，特别是采用了一种稳定发条的装置，改善了摆钟的性能；在他那时候，摆钟不论是作为精巧的玩意儿还是守时的器具，都是很引人注目的。1675年2月，惠更斯发表了他的发明，不久，同年10月，他就收到了皇家学会秘书寄来的信，告诉他英国人胡克声称，这种稳定装置“不值半文”，他十四年前就发明了，^①“是的，惠更斯先生使用了我发明的那个装置。”更有甚者，胡克还加上一句，“改善容易发明难”，语气颇涉轻佻。

对胡克的这种说法，惠更斯立即回击，依据并不是这项发明的先

^① 参见 C. D. Andriessse, *op. cit.*, p. 281, 下面的引文见 Huygens, *Oeuvres completes, op. cit.*, vii, 519。皇家学会秘书 Henry Oldenburg 1675年10月15日写给惠更斯的信见 *The Correspondence of Henry Oldenburg*, A. Rupert Hall & M. B. Hall ed., London: Taylor & Francis, 1965—1986, 1675, xii, ltr 2764, pp. 16—17。Oldenburg 很是抱怨了胡克一番，所以惠更斯会有如此激烈的反应；前者确实要求惠更斯“阅后焚毁”这封信，但后者显然没有照办，所以我们今天仍有机会看见当时学人中的种种争斗，由此也可以理解后来胡克对牛顿说他们两人不和是因为 Oldenburg 说他的“坏话”，大概是真的。见 *Correspondence of Isaac Newton*, ii, 297—298, ltr. 235。

后，而是胡克为人行事的口碑：^①

你把胡克先生的厚颜无耻的指责转发给我使我深感吃惊。我早就感到他虚骄自负、游谈无根，但我还不知道他已经恶毒和无耻到我现在看见的这种程度……

骂得痛快淋漓。按照近代历史学家的看法，胡克和惠更斯确实是各自独立地发明了稳定发条的装置，^②而且胡克确实在先。但是，当时和后来一两百年，史家多偏袒惠氏，这实在是胡克行事不讨人喜欢的一个结果。

胡克^③童年颖慧但多病，所以没有机会受正规的教育，虽然颇得高明指点，直到年近二十，才以半工半读生进入牛津大学的基督学院，又十年，完成学业。这时牛津正是大师云集，如日中天；胡克充任波义耳的助手，对空气泵、气体和真空的研究卓有建树，一时声名鹊起。1662年皇家学会成立，胡克受聘主持其实验部，直至1703年去世。胡克的工作涉及当时实验科学的各个方面，并且成果斐然。但是正如我们行将看见的那样，他的研究常承袭笛卡尔式的思辨论说而少推理，特别是没有和数学论证密切地结合，因而也鲜有量化的可供验证的预测。从研究手段看，他还没有进入他所在的那个时代，但是他的直觉和实验能力则确实常常是超乎常人的。这就使得他在天文学和力学的研究中注定要成为最先看到结果但砉砉然无法得到的证的悲剧人物。胡克一生不断地为发明的优先权与别人争吵，加之形容猥琐，^④言语常涉傲

^① Huygens, *Oeuvres completes*, vii, 528.

^② 参看，例如，A. E. Bell, *Christian Huygens*, London: Edward Arnold, 1947, pp. 53—58, 对两人工作的介绍。

^③ 生平见 Robert Purrington, *The First Professional Scientist: Robert Hooke and the Royal Society of London*, Basel: Birkha, 2009, 这是最近的，也是比较均衡的研究。

^④ Philip E. B. Jourdain “Robert Hooke as a precursor of Newton,” *Monist*, 23 (1913) 357, 对他的外貌有生动的描写。

慢，因此颇得恶评。从他去世后不久出版的《遗著》看，^①煌煌八开本几六百页，讨论运动和光的作用，太阳和彗星，记忆，心灵对于器官的运用，重力和磁力的原因，地震，航海和天文所用的仪器，等等，无所不谈而且多有建树；十五卷本《牛津早期科学史》中有五卷是介绍他的，^②而他最重要的成就，当属以实验和观察为基础的《显微术》^③，常被称作和伽利略的《星际使者》同样地石破天惊。^④

1664年1月，胡克的注意力转向天文学。^⑤1666年5月23日，他向皇家学会提交了一篇论文，论者以为“很类似于牛顿”的疑问21，^⑥而问题是：^⑦

我一直觉得很不可解，行星又没有被限制在任何坚实的轨道之中，为什么非要按照哥白尼的假定绕着太阳运动……又没有任何可见的绳索把它们捆绑在它们的中心，却从不过分地脱离中心，也不沿直线运动，就像所有的物体受一次推动以后就必须[按直线的方式]运动那样……因为一个在流体中朝着任何固定地点运动的固体必定保持在一条直线上运动，而不会有所偏离。然而所有的天体虽然都是在流体中运动的普通的固体，却沿着圆形或者椭圆轨道运动，这就

① *The Posthumous Works of Robert Hooke containing his Cutlerian Lectures, and Other Discourses*, London, Richard Waller, ed., Printed by S. Smith and B. Walford, 1705, 本书有电子版，颇利应用；书前冠有编者撰写的胡克生平，长达28页，为以后同类叙述所本。

② R. T. Gunther, *Early Science in Oxford*, Oxford, 1920—1968, 其中第6, 7, 8, 10, 13五卷叙述胡克的工作，这还不包括《显微术》。

③ *Micrographia or some Physiological Descriptions of Minute Bodies*, London, Printed by Jo. Martyn and Ja. Allestry, 1665, 本书的主题自然使得我们不能作细致的讨论。

④ *DSB*, vi, p.483.

⑤ “Life of Dr. Hooke,” 附在前引 *Posthumous Works*, p. xi.

⑥ 柯瓦雷语，见氏著《牛顿研究》，张卜天译，北京大学出版社2003年版，第177页。

⑦ 下引文字均出自 Thomas Birch, *The History of the Royal Society of London*, London, printed for A. Millar, 1757, ii, 90—91, 原始文件在 Royal Society Register, iii, 14f, 以后又见于 R. T. Gunther, *op. cit.*, vi, 265 sq. (张译本238页误作 E. Gunther), P. Jourdain, *op. cit.*, 363—364, 以及上引柯著所引，在第177—178页。此段以下，译文如有张译，则径自采用，不另出注。

[表明],除了最初的推动之外,必然有某种别的原因,使得它们的运动折弯到那些曲线[轨道]。

这就是问题的出发点,同时也是17世纪中叶科学研究的一个热门话题。一方面,日心图景既为广泛接受,行星运动的物理原因即成为一个显然的不可回避的问题;另一方面,惯性原理既然是普适的,那么行星何以不受其约束而取椭圆轨道运行。和惠更斯的取向相反,胡克一开始就把问题的焦点定在物体“为什么不”飞离中心。问题提法的这一个改变导致了两个意义深远的后果:一是把现象,即事实上行星是沿椭圆轨道运行,重新摆放到了考察的中心,二是把笛卡尔、惠更斯的假设性问题“如果绳子断了,石块为什么会飞离”,改变为既然行星没有沿切线方向飞离,那么必有一个把行星“拽住”的原因,这就直接导向了关于力,尤其是“引力”的概念;这就把本质上是惯性的虚构的离心力转化成了具有物理意义的引力。胡克尖锐地提出了问题:惯性运动和椭圆轨道如何得以共存?他显然是从笛卡尔出发的,先肯定惯性运动定律,其次是充塞“流体”的宇宙。但他似乎马上又离开了笛卡尔;他没有采用笛卡尔的涡旋,转而认为行星“之所以没有沿着直线运动”,必定有另外的“某种原因”。按他的分析,可能的原因一共有两个。一是充满宇宙的介质,或流体或以太,不是处处相同的,而是疏密不匀的;以其密度不均衡,或按他的猜想,“距离中心或者离太阳较远的那部分介质的密度要比较近的介质大,则直线运动将总是由于内部介质的柔顺和外部介质的更大阻力而向内偏斜”。他进一步解释说,以太类似于空气,靠近太阳的在其熏烤之下变得炽热,因此“很自然地”较为稀薄。容易看出,胡克的这种猜想,或者甚至说是假说,若以常识判断,甚是易于接受。

从机械论哲学的原则看,这不失为一个相当好的解释。可是出于我们现在还无法考察的原因,胡克似乎不喜欢这个图景,他对此没有作细致的讨论,未加说明就转向了和上述这个假定并列的,另外一种

可能：

第二个能使直线运动变为曲线运动的原因可能是来自中心物体的一种吸引属性，通过这种性质，中心物体一直竭力要把它引向或拉向自身。……也许进行这种猜测，会给我们提供一个关于它们运动的真正假说。

“来自中心物体的一种吸引属性”，这就是“第二种可能”的核心概念。说实在的，这不新鲜，很多人想到过类似的东西。比如开普勒，就曾经有过认真的考虑：^①

每个实体将停留在它被放置的、孤立地置于同类物体的力量所及之外的任何位置。引力是同类物体相互之间要合为一体的共同趋势，一如磁力。如果两块石头在空间中被放置在相互靠近的地方，但在同类的第三个物体的影响之外，它们会以两块磁铁的方式移动到一个中间的位置，各自以其吸引的量的比例移向对方。

在这儿，开普勒似乎很清楚地区分了磁力和引力，虽然他后来，如同我们第四章提到过的，曾考虑把引力解释为磁力或者类似磁力的东西。他的构想究竟如何，现在很难追寻，但他的引力概念和磁力的亲缘关系，似乎是可以肯定的。或者是受这一来源的影响，或者是直接接受了某种自古以来的神秘暗示，^②开普勒强调了这种引力只存在于“同类”物体之间。这种基于呼朋引类，同气相求观念的论述，强烈地提示了自然研究中的隐秘主义观念。在17世纪中叶，这种论说连同

^① Kepler, *Gesammelte Werke*, *op. cit.*, v.3, p.25.

^② 例如 S. Sambursky, *The Physical World of the Greeks*, London: Routledge, 1956, pp.206—207, 提到 Plutarch 曾说过石块落向地面是因为“和地球有一种确定的友谊和自然的亲缘关系”，如果一件物事本来就和地球没什么联系，它就不会掉下来，月亮就是个好例子。

其基础已被笛卡尔机械论哲学完全唾弃，理所当然地遭到大多数自然学者的拒绝。伽利略的反诘可以说是最具代表性，而且一针见血：^①

你错了，辛普利丘；你应当说谁都知道它叫做“吸力”。我问你的不是它叫什么名字，而是它的本质，而你对它的本质和你对那个使星体运动的原因同样地毫无所知；我只知道它的名字叫什么，而这个名字是由于不断的日常接触而变得家喻户晓，但是我们并不真正知道是什么原因或者什么力量使石头下落……，正如我们把此外无数运动的原因归之于“自然”一样。

伽利略所要求的，是一种由因到果可以逐点连续追寻的、可以通过实验重复的、可见的至少是可以想象的、笛卡尔意义上的原因。但是，和笃信笛卡尔学说的大陆学问界不一样，胡克没有这么绝对，他宣称：^②

引力是世界上最普遍的基本原则之一……而且，并非没有理由，开普勒也把它作为所有天体，包括太阳，恒星和行星的固有特性，我们稍后可以更细致地检查这一假定，而首先需要考虑的是，这种引力或吸引的能力是不是地球各个部分所固有的……

胡克对开普勒把磁力混同引力的图景的理解显然有些过于简单。1666年3月间他曾模仿巴斯卡的实验，想通过改变物体相对于地心的位置试试“吸引力”有什么变化。在西敏寺大教堂和圣保罗教堂的塔楼顶上和深达300尺的坑井里测量了物体的重量。^③他猜想，如果重力确实是由地球引起的，那么“在地球表面以下，[物体]应该会失

① 上引《两大世界体系》，第164页。

② R. T. Gunther, *op. cit.*, vi, 256.

③ *The Posthumous Works*, p. 182, 这是他多年以后的追述。

去它的一部分重量”，因为地球在这一物体上方的那一部分同时也在向上吸引它，从而使它的重量减小。按他的计算，这一变化应该在1/7 680之谱，所以以当时的测量精度，实验不可能给出判定性的结论。

胡克把开普勒模模糊糊地混为一谈的磁力和引力清清楚楚地等同起来，称之为“世界上最普遍的原则之一”，但这一做法的基础仍旧十分可疑，他的论述也不见得完全自洽。从他后来的研究计划来看，“重力”又是和“轻力”相对而言的。他稍后还重复了这一说法。^①他在《改善自然哲学的研究方法》中写道，“因此，找到流动性、热、引力、硬性等等的原因对于探究其他物体的类似性质将大有帮助……”^②这又把引力看作是物体的一个性状了。

后来，至晚到1674年，胡克把他关于引力是万物的“一种性质”作了更清楚的表述：^③

今后我将致力于解释一种世界体系，与业已提出的机械运动的一般规则相比，这个体系在许多方面都有所不同。它基于三条假设：第一条是，无论什么天体，都具有一种朝向其中心的引力。通过这种力量，它们不仅吸引住自身的多个部分，从而就像我们看到的地球一样，使其不至于分崩离析，而且也吸引所有那些位于其作用范围以内的其他天体。结果是，不仅太阳与月球对地球及其运动发生影响，同时地球也影响它们，而且水星、金星、火星、木星和土星也通过各自的这种吸引能力而对地球产生巨大的影响，同时地球的吸引能力也相应地以同一方式对它们中的每一个施以巨

^① 例如，*The Posthumous Works*, p.23, p.36;在谈到光时，显然有后来笛卡尔的影响，p.72。

^② *Ibid.*, p.29.

^③ *An Attempt to prove the Motion of the Earth from Observation*, London: T. R. for John Martyr, 1674, pp.27—28.这本书有电子版，颇利利用。中译从上引张译《牛顿研究》，第179—180页。同见Gunther, *op. cit.*, pp.27—28。

大的影响。

就其结论而言，胡克无疑已经触及了引力的一个最本质的要素，即如现代物理学教科书中所强调的，这种作用发生于“无论什么天体”，不仅仅是地球对“地球的另一部分”或落向地球的东西。换言之，引力作用是普遍的，这就打破了开普勒的“同气相求”的约束，很大程度上削弱了开氏特有的神秘主义色彩。但是要注意的是，这段话实在是出现在一篇短文的最后，当时胡克正在谈论他“今后的计划”，这并非已经证明了的结论，也不是已知证明途径的、证明指日可待的东西，而在更大的程度上仍旧是一种猜测。稍后胡克再次提到引力时，对于引力是不是“万有”的，又有些含糊：^①

我认为，处于我们所在的宇宙的这个部分中心的太阳有一种对于所有行星体的吸引力，包括绕日运行的地球，而每一个星体也有一种相应的作用，由此可以说它们也以和磁石之于铁片、铁片之于磁石一样的方式吸引太阳。我想，这种吸引作用也可以以相同的方式作用于进入它作用范围的多个物体，虽然对于有些物体，[这一作用]可能全无影响，也不是不可能的，这就和对铁片有作用的磁石之于锡、铅、玻璃、木头等等一样。……

一方面是针对“所有星体”都适用的吸引力，一方面又谈论“有些物体”可能的例外，这种含混模糊的陈述明白地提示了引力概念此时仍处于草创时期。如果我们放弃对概念的无歧义表达的逻辑要求而之以对观念形成时的从混沌到清晰的历史考察，可以看出从“同气相求”、同为交感巫术所采纳依赖的原则出发，将概念外延以涵盖更大范围的思维方法在这儿引领着探索的发展。这一方法在科学观念的

^① R. T. Gunther, *op. cit.*, viii, 230—231.

创造上常常卓有成效，并被广泛地采用，尽管其合理性从未得到充分的阐发。牛顿将要在哲学上面对这一困难，当然，这是后话。至于胡克究竟在多大范围上把引力作为一种普适的性质，史料尚不足以支持一种判断，但是说他把“天体”都归为一类，应该不至于太错；他后来把万物分为两类，一是地上我们日常所习见，一是以太和以太结成的东西：^①

……这就使所有那些具有类地本质的流体集合在一起，构成了这么一大块东西，或称地球；其余部分则更具有天界的本性，聚集起来成了太阳和群星。

这是很清楚的陈述；至于是否可以把他的这段话再作哲学发挥，是否可以进一步把他的想法追溯到亚里士多德的天与地的区分，则要冒牵强附会的风险了。但是引力到底是怎么回事儿呢？这实在太难了，他对此有充分的认识，后来他追述说：^②

剩下来要问的，是引力原则的原因是什么，即到底是什么不可见的、不可感觉的力量造成了[我们所说的]这种结果。好些个人想通过不同的努力来解释它，但就我所遇见过的，没有一个让我满意；他们不能说明现象，尽管他们的假定让人眼花缭乱，[不能说明]是什么使得物体向中心移动。

太难了，胡克不得不在这一点上停下来，一停就是十五年。

1680年和1681年的彗星再次激起了对天体和宇宙研究的热情。在1682年圣马可节后不久，大约在10月初，胡克在皇家学会宣读了

^① *The Posthumous Works, op. cit.*, p. 175. 但是他也的确说过太阳和地球是“相互般配的”，并且列举了八个方面的理由，包括两者都有引力(第三方面)，见同书 p. 92。

^② *Ibid.*, p. 180.

《论彗星的本质》，^①重提引力话题。一如他身后出版的文集的编者所强调的，^②

在这儿，他[案指胡克]考察了物体最为常人所知晓的性质，并由观察作了若干推测，如以太、空气等等的本质……还有重力，即[物体]退向或趋向中心，……讨论了重力和光的作用，然后他更具体地研究了物体和运动，解释了他对两者各自的理解，再研究运动，即两个关于光和重力的运动的伟大定律，通过研究前者，他得以更准确地解释后者……

这儿对胡克的思想的把握是准确的。这十五年对引力的本质和特性的思索，最重要的一点突破产生于胡克把对光的研究过渡到了对引力的认识。要注意的是，在胡克这儿，光和引力的关系，不是一种认识手段的比附，不是类比，而是实实在在的同件事情的两个方面。

胡克认为，天地的构成有所不同，但都有一种规律可循：“接下来是两条伟大的运动定律描述，这两条定律构成世界的形态和秩序；第一条关于光，第二条关于重力。”^③他接着引用了《创世记》，“这是第一天”。这种思考或推理的方式，在现在看来，似乎有些怪异，但在胡克的年代，则是自然而然的联想，或者简言之，这正是那个时代的典型想法。米开朗琪罗在西斯廷教堂天顶上留下的，号称“神的寂寞”的组画，正是“于是有光”、“上帝分出水陆”和“亚当”。胡克称光是“运动的第一定律”，因为光可以在瞬间穿过物质，他说这是有意

^① “Discourses of the Nature of Comets,” *The Posthumous Works*, p. 149 sq. 我使用的普林斯顿 Firestone 善本书库馆藏的 1705 年版在这儿有一错页，作 p. 194，这显然是 p. 149 的误印，擅以忖度改之。

^② 这是该书的编者 Richard Waller 写的题解和摘要，见 *The Posthumous Works*, p. 150。此处 Gravity 被定义为“物体退向或趋向中心”的运动，并未在“引力”和“重力”之间作明确的区分，下文时作“重力”，时作“引力”，但间或不免发生误会，读者宜留意这一含糊之处。

^③ *Ibid.*, p. 175. 下一段引《创世记》云云同。

义的，因为在创世时充满宇宙的流体物质是最先安置的。其次是重力，帮助形成了“地性的”物体，包括地球；这正应着上帝把水陆分开。他说，^①把重力称为“宇宙通则”或“万有的”，应该是显然的，因为重力决不局限于地球一隅，这就在一定程度上打破了原来模糊存在的天地界线。他接着说：

重力的力量延展到以太中，并不限于物体[周围的]大气，由此可知大气层或空气不是重力的原因，而是以太，其中空气不过是一种溶剂，就像盐或染料溶化在水里。

这有些奇谈的味道。但是，可以注意的是，这种诉诸化学和亲合力的考察方式，正是牛顿后来所赖以发展“引力”概念的一个重要支撑点，当然，这是后话。接下来的说法，胡克又回到了力和力学：^②

至于引力，我理解为这样一种力量，使得具有类似同质的物体相向移动的，直到它们合在一起，这种力量总是冲力，或是驱动力，吸引或迫使运动按这样的方式移动，或使得它们合在一起。……

稍后他还更细致地列举了重力的主要表现，条分缕析，共计九种：^③重力的作用在任何时间都是一样的，重力使得下落物体加速，而且在相同的时间里得到相同的加速度，重力是一种“有限的”力，重力永远不可能把任何物体加速到它自己的速度，等等。所以，尽管是“不可见”和“不可感觉”的，他还是用一种类似于吉尔伯特研究磁力的方式讨论了力的作用；而且，他还加上一条，^④地球和天体都是球形

① *The Posthumous Works, op. cit.*, p. 167. 下一段引文在 p. 168.

② *Ibid.*, p. 176.

③ *Ibid.*, p. 182.

④ *Ibid.*, pp. 177—178.

的，正说明了这种引力的存在。“苍穹正是重力的延伸，正是产生那些结果的原因。”在这个基础上，他把光和重力定为并列的、共存的两条基本原则，并且由此得出世界之所以构成：^①

这两种力量似乎构成了世界万物的灵魂，太阳和群星，还有行星，围绕着太阳，或者围绕任何其他的中心物体。在所有这种物体中都可以看见，或多或少，有些支配这个运动，有些不然，但没有任何一者没有一定程度地兼有[光和重力]两者，因为没有任何东西没有重力，因此也没有任何东西在一定程度上没有光。

既然光和引力被确定为同类，胡克很自然地推论，其作用方式也自然是一样的。这一假定对胡克说来是不言而喻的；对于解释天体的运动而言，正像牛顿日后完成的那样，是决定性的。

我们还记得，在最初谈论引力时，胡克对其作用方式作过如下的说明：^②

这种引力作用有多强，取决于被作用的物体距离其中心有多近。至于它们的关联程度是多少，我现在还没有用实验去验证……

这清楚地表明，至少到 1666 年 5 月，胡克尚自认为引力的大小反比于这一物体距吸引中心的距离，而不是这一距离的平方。至于“用实验去验证”云云，和平时一样，和他在谈论他的“计划”之前的大言，“在我先前的观察中，我发现了甚至是地球自身的一些新的运动，可能是先前从没有人梦想到过的”同调，让人不难理解他不讨人喜欢的的原因。现在，有了“光-引力”的对称关系，胡克显然有比较实在的基

① *The Posthumous Works, op. cit.*, p.175.

② 上引“An Attempt to prove...” p.28, 张译第 180 页。

础推进他的讨论了。对于光的传播，他写道：^①

光的传播是物体的作用，不是神灵，光的作用在传播中是一种和距离成平方反比的扩展。……光的这种传播不是神灵而是物体的作用，并且和其他有形体的作用一样遵从相同的定律，因此也是性质定律范围内的一个题目，……

胡克花了很大的篇幅细致地描述了光从处在锥体定点的光源发出，照到离这个光源一段距离的假想的球的表面时，光的强度如何随着距离的增加而以平方比的速率减小。这是不难想象也不难证明的，虽然胡克论述今天读起来很有些累赘。他大概怕他的读者不能很好地理解“平方反比”，还举出了具体数字来说明他的意思：

既然光从到发光点的距离以平方反比作用，那就是，光的强度在离发光点一尺的地方比在两尺的地方的光强四倍，比在三尺的地方强九倍，依此类推……

于是，就现在对于引力的认识而言，既然突破了机械论哲学的樊篱，既然明确提出了“吸引力”，既然认定光和引力在本性上是一类，那么把由光得出的结论移植到引力上，应该也不会显得不自然。事实上，胡克并不是第一个想到要这么做的人。三十多年前，法国人布里阿德就有过类似的说法，但他没有说明这一类比的基础，因此也不见得可以称作胡克的先驱：^②

^① “Lectures of light explicating its nature, properties, and effects &c.” *The Posthumous Works*, pp. 71—79. 下一段同。

^② Bullialdus 的名字有多个写法，比较容易找到的研究是 *DSB* 本传，在 v. 2, pp. 348—349 有传，下文引自 Ismaelis Bullialdi, *Astronomia philolaica*, Parisiis: Sumptibus Simeonis Piget, 1645, 英译转引自 J. J. O'Connor and E. F. Robertson 所撰小传，<http://www-gap.dcs.stand.ac.uk/~history/Biographies/Boulliau.html>。据 Max Jammer, *The Concept of Force*, Cambridge: Harvard University Press, 1957, pp. 92—93, 说，这是对平方反比的最早陈述之一。

至于说太阳得以羁挟众行星的力量，是实实在在的，就像一双手一样[抓住行星]，在整个宇宙中沿直线放射出去……正因为它是实在的，这力在变得越来越弱，很大的距离或间隔削弱了它，而它减弱的速率和光的情形一样，即以平方的方式，反比于距离……

事实上，胡克确实没有明白说过他是从布里阿德那儿得到平方反比的想法的，但作此推想当不为向壁虚构。案布氏在当时是很活跃的学者，致力于把开普勒的工作介绍到法国，和主流学者如巴斯卡辈均有交游。胡克也知道他关于光的反射和折射的工作，称之为“博学而天资颖慧”，并且做了大段的引述。^①牛顿后来也把他和开普勒并列，用过他关于行星运动的观测资料。^②至于布氏，我们并不知道他把光和引力联系起来的想法由何而来，因为在他的著作中，这一论述出现得相当突兀，而且他也明确否认了这力作为行星运动原因的可能性。这是否是受了机械论的影响，并不易骤然断言，^③但布氏的类比和胡克的假说的实质性差别应该是清晰可见的。

和被笛卡尔机械论哲学笼罩的欧洲大陆不同，在17世纪70年代，英国学术界并不认为“吸引”是那么不能想象的和不可接受的，引力的概念得到广泛地谈论。胡克的学术地位主要是由他利用显微镜对生命体所做的一系列研究建立起来的，这种研究自然地提示了诸如“同情”和“反感”之类的、在机械哲学看来十分可疑、全然不可接受的概念。^④当他转入力学和天文学时，他完全不觉得谈论“力”或“引力”有什么不妥。从开普勒的模糊的图景，他注意到“重力”或者“引力”的作用并不见得是狭隘的“同气相求”，至少对于“所有的”天体都是可以想象的，至少其作用范围相当的广大；他进一步发现，这种包举宇

① *The Posthumous Works, op. cit.*, pp.114—115.

② 《原理》，卷3，天象4，中译本第483页，详后。

③ 对布氏的研究尚属少见，而本书作者限于学力自然也无从追寻。

④ *Micrographia, op. cit.*, pp.15—16.

内的、囊括万物的作用的典型代表是光，这是上帝最初创造的；其次，在他看来，应当就是引力，上帝借此分出天地水陆。这两种作用比肩类埒，其作用方式自然也应当相同。从对光强度和传播距离的平方反比关系，胡克得到了引力的平方反比作用。

但是，易于想象的并不总是易于证明的。胡克对引力的研究表明，他的数学知识和分析能力均不足以支持他的直觉和想象力。在这一点上，他自己从来没有认输过，可是别人看得很清楚：^①

不可否认，胡克先生总是期望把他的钟表和计时器做得完美；别人催促他时，他常常答应[完成]，而当别人做出任何新的东西来的时候，他就拿出他自己的一些[制作]，或是与之相同，或是更好，证明他早先就做过相同的東西了。

早在1666年他最初触及引力问题时，他就力图从钟摆的运动中推出引力作用的严格的数学公式。细致的研究表明，他后来的推导中包含了好几处明显的错误。而且，历史学家相信，他是先从光和引力的“同类同性”的分析中“直觉地”发现了平方反比关系，然后再倒过来，很费心思地想从开普勒或惠更斯的工作中推出这个结果的。^②

在17世纪后半期，在欧洲大陆，伽利略、笛卡尔，特别是惠更斯的、高度数学化的论述模式已经在很大程度上成为科学研究的典范，胡克的一半哲理性的议论，一半直观定性的描述，自然不能自立于学问界。在这一点上，胡克知道但始终没有取得任何进展。如果我们不避刻薄的话，倒是可以把胡克当年挖苦别人的话反过来

^① 前引 *The Posthumous Works*， 导言， p. vi。

^② 对于胡克的“推导”的重建，见 R. Westfall, “Hooke and the Law of Universal Gravitation,” *The British Journal for the History of Science*, 3 (1967) 245—261, esp. p. 256 sq. “倒过来”云云见 p. 259。胡克工作的原始材料在前引 *Early Science in Oxford*, *op. cit.*, viii, p. 180 sq.

用在他自己的身上，“发明容易改善难”。这一点他在十几年前就认识到了：^①

……如果这个想法[引力和距离的“关联程度”]果真能付诸实施，它必将极大地帮助天文学家把所有的天体运动简化成一条特别的规律，……只要一个人理解了圆锥摆以及圆周运动的性质，他就能轻易地弄懂整个原理，……我敢保证，从事这项研究的人将发现世界上所有的运动都是受这个原理支配的，对它的真正理解将成为天文学的至高成就。

完全说对了，只是他本人并没有取得这项“天文学的至高成就”；对胡克说来，故事的悲剧性结局是，取得这项“至高成就”的人是他最不喜欢的一个，而且，是在他自己的启发和引导之下取得突破，最终一蹴而就地取得这一“至高成就”的。

^① “An Attempt to prove . . .” *op. cit.*, p.27. 中译采用前引张译《牛顿研究》，在第180页。

第七章

牛顿革新了“力”的概念并以此为基础建立了日心图景的运动机制

胡克在1679年早些时候接任皇家学会的“国际通讯书记”的工作；^①在科学杂志还没有大行其道的时候，学者们主要通过信件讨论和交换他们的研究成果，而皇家学会的一个功用就是传抄这类与其说是私信不如说是学术论文的东西。作为这份工作的一部分，胡克上任不久，就给牛顿发去了一封表达善意的信，呼吁冰释前嫌，其中和本书主题特别有关系的是，他告诉牛顿，行星的圆周运动可以看作是切向运动和向心运动的组合：^②

^① 先是，长年担任这一职务的 Henry Oldenburg 在 1677 年 9 月去世，由 Nehemiah Grew 接任，Grew 氏为植物学家，医生，在剑桥受教育，*Dictionary of National Biography* 有传。这本书有电子版，*Oxford Dictionary of National Biography*, New York: Oxford University Press, 2004—，可用。Grew 后因故去任，胡克继续他的工作。

^② *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull, Cambridge: the Royal Society at the University Press, 1959—1977, ii, 297—298, ltr. 235, 1679 年 11 月 24 日。胡克和牛顿的不和由来已久。先是，1672 年 1 月牛顿向皇家学会报告了他新发明的望远镜，胡克在学会记录上加上了“[实验部主任（即胡克自己）]说他曾致力于建造一架这种望远镜”。2 月，当牛顿报告他关于颜色成因的研究时，他又说在《显微术》观察 53 中，他也提出过颜色理论。参见 *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, ed. I. B. Cohen, Cambridge: Cambridge University Press, 1978, p. 111. 1675 年 12 月牛顿提交了题为“解释光的性质的一个假说”的论文，胡克又说“主要部分均已见于《显微术》，牛顿先生在一些细节上作了进一步的发挥”。牛顿立即作了反驳，见 *Correspondence*, i, 406, 412—413, 416。由此两人反目。柯瓦雷有比较详细的介绍，见《牛顿研究》，第 267—272 页。

……然而我想，意见上的分歧，如果真有的话，不应当变成相互的敌对……如果你乐意来信对我的假说或意见提出反驳，特别是如果能让我知道，你对[我关于]把行星的切线方向的运动和吸向中心物体的运动组合在一起[的做法]的意见……我将极为欣慰。

胡克特别询问的，把行星的运动看作是“切向的”和“向心的”两个运动的合成的想法，似乎是指他在“证明地球运动的一个尝试”^①中提出的“由中心物体的持续不断的吸引性质，即太阳”造成的作用，使得行星运动不断偏离直线，折入弧形轨道。11月28日，牛顿回信说，^②他还没有准备好，回答不了胡克的问题，而且，牛顿说，在收到胡克的信之前，他也没有听说过“关于把行星的[不同方向的]天界运动组合起来”，变成曲线运动的假说。不仅如此，牛顿还声称，他这一年来忙于俗务，无暇哲学，^③这大致可信；但所谓“已经与哲学分手了”云云，研究者明白指出，是“口是心非”。^④因为胡克说到的工作是他关于证明地球自转的一个实验，牛顿在回信中也提出了一个关于地球运动的想法。

牛顿考虑的是一个高悬于地表之上的物体，一旦开始自由下落，该物体“除了保持原有的自西向东的运动不变以外，物体的重力还将给它一种朝向地心的新的运动”。由于在下落前所论物体以和地球相同的角速度在作圆周运动，又由于“高悬于地表之上”，所以它的切向线速度会比“下落过程中所到达的部分的运动更多”，因此不会落在该物体垂直投影到地表的那一点，而是偏东。当17世纪中叶，这个问题曾引

① “Attempt to Prove . . .” 1674, p. 27, 参见上引《牛顿研究》，第274—275页；并见本书上一小节。

② *Correspondence*, ii, 300, ltr 236, 11月28日。

③ 牛顿的母亲于1679年早些时候去世，说是有些家务要分心，似也不见得完全就是托辞。很多牛顿的传记作家将这一不幸事件系于1689年，误，考证见*Correspondence*, ii, 303—304, 注2。

④ 上引《牛顿研究》，第277页。

起过很多人的兴趣，有过很多讨论，^①而就胡克-牛顿的这一波通信而言，牛顿似乎是为前者“切向运动-向心运动”的划分提供了一个具体的案例分析。12月9日，胡克回信，^②在一大段例行的客套以后，胡克告诉牛顿，他对于下落的物体的分析“当然是正确而真实的”，但是，牛顿作出的轨迹却是完全错了：

你似乎认为它将是一条螺旋线……而根据我的圆周运动理论，情况将很不同，它将根本不类似于一螺旋线，而是一种有点儿像椭圆的曲线^③。

“有点儿像椭圆的曲线！”胡克还告诉牛顿，他已经在“上星期四的[皇家学会的]会议上”宣读了牛顿的前一封信。12月13日，牛顿回信，承认胡克说得有理，“我也同意，如果假定它的重力是均匀的，那么它将不会沿一螺旋线朝地心下落……”^④次年元月6日，胡克回信，没有通常的客套，他一上来就再一次纠正了牛顿的一个错误，指出重力不应该是“均匀的”。第一句话是，“你让一个物体在到中心的所有距离上都被相等的力吸引，并用这种方法对物体所画出的曲线的计算……是正确的……但我的假设是，引力总是与到中心的距离的平方成反比的，因此速度也将与此吸引成类似比例，即与距离成反比，一如开普勒所假定的那样”。^⑤

“平方反比！”牛顿没有答复这封信。他后来对哈雷说，他不能

^① 柯瓦雷有专门的讨论，A. Koyre, *Transactions of the American Philosophical Society*, N.S. 45(1955) 329—395。

^② *Correspondence*, ii, 304f. 原信藏耶鲁大学图书馆。这封信最初发表在 *Isis*, 43(1952), 328—329, 为上引柯氏讨论这段通信的论文所引。

^③ 原文是 *elliptueid*, 好像是胡克生造的字，意思不太清楚；他最初是在皇家学会讨论牛顿11月28日的信时使用的，见上引柯瓦雷，第284—285页。张译柯文很谨慎地保留了原文，但作 *elliptoid*。本文主题既不是落体，为阅读顺畅计，暂作此译而不予深究，以免枝蔓。

^④ *Correspondence*, ii, 307。

^⑤ *Ibid.*, ii, 309, 这句话的后半有些费解，胡克说速度和吸引的比例是 *subduplicate proportion*, 姑存疑。

忍受胡克。^①1680年元月17日，胡克又给牛顿写了一封信，正面提出了问题：^②

现在仍旧未知的是那一由中心吸引作用产生的曲线的性质，这种中心吸引作用使物体从切线上，即运动的直线方向上，不断地以与距离成平方反比的速率下落。我决不怀疑你能用那绝妙的方法[案指流数法]轻而易举地发现这曲线为何，其性质为何，并提出这一比例的物理原因……

牛顿仍旧没有回信；或者说他晚至十一个月以后才回信，但是谈论的是一个意大利医生的一篇关于用一种奇怪的树皮治疗恶性感冒的论文。^③信的最后，牛顿用一种“顺便说”的口气提了一下胡克一年前的工作：

对于你根据我的建议所做的落体实验的验证，我应该谢谢你；虽然口头上说过，但还没有机会在信里提一下。

牛顿是该谢谢胡克，因为正是1679—1680年间的这一套通信使得他的注意力转向了行星运动，使他注意到了行星运动的轨道，使他注意到了力的平方反比。^④的确，是胡克把牛顿带上了正确的方向。

要解决行星运动的问题，尤其是要说明这一运动的机制，科学后来的发展表明，有两个关键点。一是引进“力”的概念，一是发明一套数学工具，以此为基础，定量地推出整个日心宇宙的图景。胡克显然没有认识到“力”的概念是一个问题，他仍旧是按一种直觉的、非量化

① *Correspondence*, ii, 436.

② *Ibid.*, ii, 312—313.

③ 这种树皮叫 *Cortex peruviana*，产于南美，当地土著告诉西班牙传教士，欧人遂留意此物；1663年 Sebastiano Bado 著书论及。现在一般认为此类植物含奎宁，治疗疟疾有效。牛顿的信在 *Correspondence*, ii, 314, ltr 241。

④ 牛顿后来曾说，“他[案指胡克]的信使我找到了确定形状的方法……”见1686年7月14日致哈雷的信，*Correspondence*, ii, 444—445。

的、或者是思辨哲学的方式来理解谈论这一概念的；对于以后的推导，他倒是很有自知之明地退出了进攻的行列，而直接把问题交给了牛顿，要后者利用“那绝妙的方法”去完成他认定的“天文学的至高成就”。后世科学史家常喜欢比较这两人的工作，^①前人之述备矣。至于用一种非专业历史学家的方式，我们或者说，没有胡克，地球可能会转得慢一些，我们可能要花更长的时间去认识地球的运动；但是没有牛顿，地球可能仍旧静止地留在太阳系的中心，等待我们对日心学说行星运动的机制作最后的说明。

第一节 神秘的宇宙：力、引力、万有引力

当大家的注意力都集中在绕着一个中心运动的物体飞离圆轨道的倾向时，胡克的分析提示了使得物体不飞离轨道的原因，这是一个全新的方向。胡克还提到了椭圆轨道，提到了平方反比。胡克至少是提醒了牛顿，向心力应该是解释整个图景的关键概念，从而“力”的问题进入了研究的核心。用向心力和“离心倾向”的平衡来分析行星的运动，可以构成清晰而且可以付诸数学运算的模型，和哲理性的、定性的涡旋理论迥异。这种模型抛弃了行星被涡旋裹挟运动的画面，代之以一种看不见摸不着的“吸引力”的作用，这有些玄妙，也不合于当时普遍接受的机械论解释的要求。牛顿几乎是立即领悟这一要点，这一方面在于他已深刻地认识到涡旋理论有着不可补救的缺陷，另一方面也在于他对“力”这个概念的长年思考中得到的全新的认识。这相辅相成的两个方面，构成了1680年代理解日心图景的主线，最终导致了对日心学

^① 参见，例如，A. Koyre, *Isis*, 43(1952) 312, 即上引柯瓦雷的《牛顿研究》中的第五章，J. Lohne, *Centaurs*, 7(1960) 5, L. D. Patterson, *Isis*, 40(1949) 327, *Idem*, 41(1950) 32, 以及 R. S. Westfall, *British Journal for History of Science*, 3(1967) 246。

说机制的说明，而正是基于这种说明，日心图景最终得到了确立。

要整合这些观念，首先遭遇的，是要说明“力”是什么，还有力是如何作用的。对笛卡尔来说，“力”是描述物体间相互作用的一种手段，这种相互作用的本质是碰撞；在这个意义上，“力”不是一个核心的、必不可少的、物理上独立的概念，而是对碰撞的描述中的一种说法，其本质是相关物体在空间中在机械论意义上的实际接触，就像台球比赛中母球击中了彩球，引起了彩球的运动那么简单和直观。当然，笛卡尔同意说这种碰撞可以是“一连串的”，即 A 击中 B，B 击中 C，C 击中 D……于是作用可以传递到很远；于是有关于充满空间的以太假定，于是有涡旋理论。到此，我们好像又回到了“水晶球”的假说：行星为看不见、探测不到的实体裹挟，就像是镶嵌在看不见、探测不到的水晶球上一样。可是，以太似乎很难完成笛卡尔所赋予的任务，不要说它必须对行星运动绝无阻滞，光通过其中绝无衰减，而且实验也始终不能提供支持这一假说的哪怕是最间接的证据。

在最初的学习阶段，牛顿就注意到了这种“天际物质”。在后来被称为“三一学院笔记本”的开头，^①牛顿有大段关于“第一物质”^②的文字，其略云：

这[案指“第一物质”]是数学的点呢……还是一种无法辨认的划分之前的单纯的实体呢，还是一种个体，即原子。……~~一个数学点是空的，因为它只是一个想象的实体。~~

最后被划掉的句子似乎表明牛顿一开始就有了“想像的实体”的模

^① 没有直接的史料可以为下引“三一学院笔记本”的开始时间作出确定的断代；通过对笔迹的辨认，一般认为当在 1661 年牛顿考入剑桥以后不久到 1664 年间，“1664 年可能是一个更合理的猜测”。细致的讨论见 R. S. Westfall, *Force in Newton's Physics*, London: MacDonal, 1971, pp. 326—327。

^② Add MS 3996, f. 188r, 刊印本见 *Certain Philosophical Questions*, Cambridge: Cambridge University Press, ed. J. E. McGuire and Martin Tamny, 1983, pp. 337—339。

糊概念。如果单从哲学上考察，这一概念有些玄，但是如果和笛卡尔的“第一物质”或“天际物质”对比看，就不难体会这时对牛顿说来确有不可言传的微妙。研究表明，这段内容来自查尔腾，^①氏为复辟前后两代查尔斯王的御医，他的传记标题很准确地反映了他面对自然时的基本哲学观念：^②“玄妙而神奇的机器”；一为“玄妙”，一为“机器”。这很可以为笛卡尔涡旋的困难作附注，并且一语中的：“机器”当不至于“玄妙”，“玄妙”当不会是“机器”。下一段笔记表明牛顿同时注意到了笛卡尔在《哲学原理》第三篇第54、55和64—78节的论述，他以困惑的口气写道：^③

在笛卡尔那儿，他的第一元素是否可以同时旋转成涡旋又不断地从太阳驱使其物质产生光，而它运动的大部分又用来充填[涡旋的]球体之间的缝隙？……在那儿当第一元素的运动停歇下来时涡旋的运动也必须慢下来？

彗星可能是直接把牛顿的注意力引向涡旋理论的现象，并促使他发现了涡旋理论在构造太阳系运动机制上有不可克服的困难。1664年12月9日到1665年1月10日，他详细记录了他对彗星的观测，有方位，有出没时间，有图，并抄录了1585年和1618年的彗星资料。^④他注意到笛卡尔在第三篇第21，126—129，132—136诸节关于彗星的论述，然后问道：^⑤

^① Walter Charleton, *Physiologia or a fabric of science natural, upon the hypothesis of atoms*, 1654, 这本书有电子版，颇利应用。牛顿摘引的，在 bk.2, ch.3, sec.2, pp.107—110; bk.3, ch.10, sec.1, pp.264—265。

^② Emily Booth, *A Subtle and Mysterious Machine: The Medical World of Walter Charleton, 1619—1707*, Dordrecht: Springer, 2005. 这似乎是研究查氏的唯一的学术专著。

^③ Add MS 3996, f.11 93r, 上引刊本 pp.354—357。

^④ *Ibid.*, f.55 115v 到 f.58 116r. 彗星资料在 54 114v. 在 f.12 93v 他也提到了1618年10月26日出现在天蝎座的彗星，并注意到“它的彗尾一直向北极方向延伸到处女座的角宿一和大角星之间”。

^⑤ Add MS 3996, f.12 93v, 刊本 p.357。

太阳是否按笛卡尔所希望的那样绕着涡旋的边缘运动。……涡旋可以把彗星带向[天?]极吗？太阳又是怎么绕它的轴旋转的呢？笛卡尔关于折射的观念可以解释神秘的彗尾吗？

库恩曾经俏皮地说他的工作是“建立在别人之上又背离了别人的观点”，惹得别人老大不高兴，^①这倒很可以用在牛顿之于笛卡尔。在假设“天际物质”为介质和假定“超距作用”之间，在理论和实验之间，在因果解释和神秘图景之间，牛顿起于笛卡尔又最终完全背离了笛卡尔；他挣扎了二十年。后来在《自然哲学的数学原理》中，牛顿更加清楚地指出了涡旋假说的致命弱点是和开普勒第三定律不合，而后者是建立在观测之上的：^②

涡旋假说面临许多困难。每颗行星通过伸向太阳的半径掠过正比于环绕时间的面积，涡旋各部分的周期正比于它们到太阳的距离的平方。但要使行星周期获得到太阳距离的 $3/2$ 次幂的关系，涡旋各部分的周期应正比于距离的 $3/2$ 次幂。……太阳和行星绕其自身的轴的转动，又应当对应于属于它们的涡旋运动，因而与上述这些关系相去甚远。彗星的运动极为规律，是受制于与行星运动相同的规律支配的，但涡旋假说却完全无法解释；因为彗星以极为偏心的运动自由地通过同一天空的所有部分，绝非涡旋说可以容纳。

最讲究实证的机械论哲学被实证打败了。如何解决这些问题呢？如果放弃“涡旋”和机械碰撞的图景，如上所述，另一个可以想象的做法就是诉诸“力”的作用。但是，在牛顿时代，学者通常认为“力”强烈地提示了一种和生命体的神秘的联系，这在实证科学中是没有地

^① 库恩曾用 depart 一词作双关语，既有“从……开始”又有“背离……”之意，参见本书作者《科学革命的历史分析》，复旦大学出版社 2013 年版，第 182 页。

^② 《原理》，第 610 页。

位的。

和大陆学者和大部分学者不同，牛顿没有断然拒绝“力”作为一种独立的物理学对象的存在；“力”虽然和亚里士多德谈论的、基于“触觉”的实体不一样，但是仍旧是可以实实在在感知的。牛顿的这一观念，和他对于化学和炼金术的研究有深刻的联系。

牛顿的炼金术文稿现存多达 121 宗，65 万字，“几乎全部是牛顿亲笔”。^①最早的似乎是“炼金术笔记本”，^②仅是一些化学名词，如“溶液”，当是初学时的情形。后来的手稿通常被分为四类，其中数量最大的，是牛顿抄录的前人的炼金术研究，如“炼金术著作”题下，113 位作者，杂然牖陈，让人看不出头绪。对这些档案的研究尚称稀见，^③但牛顿在这一方向上所花的时间和精力，对此所表现出来的兴趣，却已是不争。我们看到，牛顿对化学和炼金术的兴趣贯穿他一生的学术研究。^④他去世时留下的 1 752 本藏书中有 138 本炼金术著作，31 本化学书，占藏书总量的 9.5%。^⑤他的炼金术-化学研究可能是为了单纯地“追寻真理”，^⑥但更值得留意的是，正是在这一类研究中，牛顿形成了迥异于机械论哲学的“力”的概念；这种力的作用机制是杳然未知，但其作用结果却是了然可见。

^① 据 1936 年苏富比拍卖时的说明，Betty Dobbs, *The Foundation of Newton's Alchemy*, Cambridge: Cambridge University Press, 1975, pp. 235—248 做了完整著录；晚近 University of Indiana 的 Newton Project 著录，并附有电子版。

^② 前引 University of Indiana 著录号为 ALCH 64，有电子版，Jewish national and University Library, Jerusalem 藏，著录号为 Yahuda MS var 260。牛顿的手稿大部分已经编辑出版，但篇目常为编者所拟，常涉混淆，著录号则为唯一，可省核对之力。

^③ Betty Dobbs, *The Hunting of the Greene Lyon*, Cambridge and New York: Cambridge University Press, 1975, 和 idem, *The Janus Faces of Genius*, Cambridge and New York: Cambridge University Press, 1991, 以及她 1990 年为 Smithsonian 作的综述性讲演，是最引人瞩目的相关研究。可惜著者不得永年，研究竟止于灿烂。

^④ 据 R. S. Westfall 研究，他关于炼金术的手稿时间跨度为 1669—1696 年，见 *Never at Rest*, Cambridge: Cambridge University Press, 1980, pp. 290—291。

^⑤ J. Harrison, *The Library of Isaac Newton*, Cambridge: Cambridge University Press, 1975, p. 59.

^⑥ David Brewster, *Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of Sir Isaac Newton*, Edinburgh: Thomas Constable, 1855, ii, 374—375. 这本书有现代重印本，New York: Johnson Reprint Corp., 1965, 甚是好用。前引 B. Dobbs, 1975, pp. 18—19, 也说牛顿的炼金术是“求真知的统一的计划”，近是。

1667—1668年间的“化学字典”^①记录了7 000多个化学名词，包括常见的“汞齐”，“坩埚”，“升华”之类，而引起我们特别兴趣的，是这本16页的笔记本里，也包括了如“龙血”之类的显然来自于炼丹术的词汇。^②稍晚一些时候，牛顿开始使用一本283页的笔记本，后来常被研究者称为“化学笔记”。^③最早的记录出现在1669年，虽然没有确凿的证据，但假定以后文字出现的先后合于时间顺序应当不会太错。牛顿先是复述了波义耳的一些实验，稍后的叙述在现在看来很像是“理性的实验科学家”，^④最后的部分则显示了一种脱离笔记本最初部分中的单纯的化学而转向炼金术的更加神秘的趋势。

在牛顿看来，物质的化学反应并不是可以用机械的碰撞完全解释的。简单地说，有些物质能相互作用，有些则不能。这就强烈地提示了在机械论哲学所描述的碰撞和涡旋之外的、自然作用的另外一种可能：^⑤

自然作用可以分为两种，一种是能动的，一种是纯粹机械的……

我们看见的逻辑似乎是，牛顿发现机械论说不通，于是就转向假定一种更加神秘的“能动的”东西，他接着说：

除了这些粗重物质质地中可感知的变化外，还有一种更加玄妙、隐秘和高贵的方式在精气中起作用，产生出与众不同的结果。这种

① 这是一份手稿，牛津编号为 Don. b. 15，主要的内容见于 B. J. T. Dobbs, 1975, p. 122 sq.

② 原文是 *sanguis draconis*，盖为从龙血树类植物中得到的一种树脂，但也有人认为就是辰砂。可用来染色，熏香，也作药物，也是炼丹时常用的一味原料，但要一一指实，殊非本书主题和本书作者所能企及。

③ 即 Add MS 3975, J. E. McGuire, *op. cit.*, 刊本。

④ M. Boas and A. Rupert Hall, “Newton’s Chemical Experiments,” *Archives internationales d’histoire des sciences*, 11 (1958) 113—52, 引文在文章最后。

⑤ Dibner MS 1031B, f. 5r, 刊本见 B. J. T. Dobbs, *op. cit.*, 1991, p. 267sq; 下一段在 f. 5v—6r。

作用真正发生之处，并不在于整块物质，而在散见于整块物质中的极其玄妙和小到无法想象的一小部分……

这真是玄了。我们难道可以用一种更玄的东西来解释一种我们觉得太玄而无法接受的东西吗？牛顿怎么会这么想的呢？我们知道，牛顿一生沉湎于对物质转化的研究，据当时目睹牛顿工作的助手回忆：^①

特别是在春天或落叶时节，他常常六个星期一直留在实验室里，不分昼夜，炉火总是不息……

至于他所做的，据牛顿自己报告说：^②

我把这样一个盛有金液的容器放在火上，可以看出，其中的金子不是因腐蚀成原子而化解，而是靠着内外夹击的力量化成了水银……液滴冲腾四溅，颜色逐日变化，种种现象常使我欣喜惊讶。

即便没有亲见，我们也可以想象到这种壮观；而这种现象所提示的，很自然的，是一种确乎“玄妙”的力量。除了笃信笛卡尔到了盲目的地步的人，谁能不为这沸腾的金液，熊熊的火光，流动的水银动容呢？论者相信，^③“物质粒子之间的吸引和排斥的力……最初是从炼金术的作用原则中产生出来的”。牛顿后来把力的概念更扩展到一般

^① Humphrey Newton, Keynes MS 130, 以此为基础的描述见 Lyman C. Newell, "Newton's work in alchemy and chemistry," in *Sir Isaac Newton: A Bicentenary Evaluation of his Work*, Baltimore: Williams and Wilkins, 1928, p. 212 sq.

^② 手稿 Keynes MS 18, 常称为“锁匙”，刊本见 B. J. T. Dobbs, *op. cit.*, 1975, pp. 251—255; 引文在 f. 1r, 英译在 p. 253。但这篇文字是否为牛顿原作尚有争论，见同作者 *Ambix*, 29 (1982), 198—202。

^③ R. S. Westfall, "The role of alchemy in Newton's career," in *Reason, Experiment and Mysticism in the scientific Revolution*, ed. B. Righini and W. R. Shea, New York: Science History Publications, pp. 189—232, 引文在 p. 224。

的化学反应中去：^①

当酒石酸盐发生潮解时，是不是有酒石酸盐粒子与以蒸汽形式飘浮在空气中的水粒子之间的一种吸引作用所造成的？为什么食盐、硝石或矾就不会潮解，是否由于它们缺乏这样的吸引？

他接下来一口气举了近十个例子；矾精倒在食盐上，酒石盐和金属溶液的反应，铜的溶液把浸在其中的铁溶解而析出铜，硝酸能溶解金，砷与肥皂的反应，酸绕着较致密的土粒子形成盐粒子，等等，牛顿说，都提示了一种“吸引”的概念。一种不同于碰撞的、不能以碰撞的模式规范的、迫使物体和物体相互靠近的力，在化学中如此强有力地展示了它自己，假定这种力是自然作用的一种普遍的形式，又有什么不对呢？这就突破了机械论哲学关于碰撞、通过物理接触而作用的樊篱，引进了一种全新的作用模式。可是，这种引力是怎么作用的呢？牛顿说，这和我们通常感觉到的力，在效果上应该没有不同。在《原理》中，他开宗明义地指出：^②

古代人曾经研究过部分力学问题，涉及与手工技艺有关的五种力，他们认为较之于这些力，重力纵非人手之力，也只能表现在以人手之力来搬动重物的过程中。但我考虑的……主要是与重力、浮力、弹力、流体阻力以及其他无论是吸引力抑或排斥力相联系的问题。

不仅如此，牛顿还把这种力的作用再扩大到太阳系。这种推理的基础似乎是“想当然耳”，但是，和“力”的本质一样玄妙，他不觉得需要质疑这种做法。他说，他“已经弄清楚”，天体间的力，也是一种

① 《光学》，疑问 31，周岳明等译，北京大学出版社 2007 年版，第 227—228 页。

② 《原理》，正文前第 2 页。

吸引力：^①

迄今为止，我们称使天体停留在其轨道上的力为向心力；现在已经弄清楚，它不是别的，而是一种起吸引作用的力，以后我们即称为引力。

这样，牛顿为行星运动中平衡离心力、迫使行星在绕日轨道上作圆周运动的作用找到了一个物理实在，他称之为“引力”，一种“起吸引作用的力”。

这是牛顿提出的最独到的概念，发表之初，特别引人注目。1692年，三一学院的本特利^②博士想以此论证上帝的存在，遂细读牛顿的《原理》。此公在求学时曾和牛顿有过通信，^③但人品颇为人不齿，这时毕业未久，以他的训练，自然不足以理解牛顿，于是他就其中特别困难的地方向牛顿提出了一系列的问题。假此机会，牛顿更明确地肯定，他所说的“力”可以一直推广到行星运行，当然，他仍旧没有说明为什么他有如许信心作这么一个大的跳跃：^④

正是这同一个把太阳置于六个主要行星的中心的力，不论它是自然的或是超自然的，也是把土星置于它的五个卫星轨道的中心、把木星置于它四个卫星轨道中心、把地球置于月球轨道中心。

稍后，他更明确地提出：^⑤

① 《原理》，第三篇，命题5附注，第461页。

② 专题研究和生平见 R. J. White, *Dr. Bentley: A Study in Academic Scarlet*, London: Eyre & Spottiswoode, 1965。

③ *Correspondence*, ii, 155—156。

④ 这是牛顿1692年12月10日写给 Bentley 的信，中译见上海外国自然科学哲学著作编译组译《牛顿自然哲学著作选》，上海人民出版社1974年版，第55页。这一译本的祖本是 H. S. Thayer, *Newton's Philosophy of Nature*, New York: Hafner, 1953。

⑤ 《光学》疑问31，第254页，撰写时间应当在1706年到1717年之间。

这样看来，大自然将是很自适和简单的，天体的一切巨大运动都是在作用于那些物体之间的引力的吸引下进行的，而这些物体的粒子的几乎所有的微小运动，都是在作用于这些粒子之间的某些其他的吸引力和排斥力之下进行的。

至此，这种神秘的作用变成了我们耳熟能详的“万有引力”，“万有”者，天地之间任何物事都普遍具有之谓也。牛顿关于“力”的观念的发展线索可以约略归纳如下：从涡旋说的困难，看到了放弃笛卡尔图景的必要；从炼金术-化学的研究，看到了用“力”的概念来描述自然作用的可能。这“力”首先由化学反应中某些物质相互之间的“吸引”作用所提示，这种吸引为解释化学反应的机制所必需。这种在化学中表现出来的“力”，与“重力、浮力、弹力、流体阻力”应该是一回事，“因为自然本来就是和谐的”。^①再进一步，它和天体之间的作用力也应该是一回事，“因为自然本来就是和谐的”。我们曾经提到过在科学创造的最精深微妙的阶段，通常的逻辑推理过程会中断，代之以几乎不可思议的想象，这儿，把“力”的概念不加证明地外延扩展，即是一例。如果规规然把力划分为炼金术的力和物理学的力，隐秘幻术的力和机械论哲学的力，把牛顿划分为炼金术的牛顿和物理学的牛顿，则不仅不能逻辑地说明这一概念的发展，而且也极大地简化了历史，化精彩为平庸，遑论神奇。

但是，这“力”是怎么作用的呢？或者更准确的问法是，力的作用机制是什么呢？笛卡尔用充满宇宙的精细物质作为媒介，所有的运动，或者准确地说，所有的运动的改变，都是通过碰撞实现的。这可以想象，因而也可以理解。但是在太阳系，在这相距极远的星体之间，作用是如何传递的呢？

这可是个困难的问题。事实上，这个问题要伴随牛顿一生。——

^① 《光学》，第242页。

事实上，在以后几个世纪中，这都将成为理解宇宙结构的一个核心问题。当然，这是后话。

和很多通行的说法不同，牛顿意识到了超距作用所隐含的困难：毕其一生，他不断尝试引进作为介质的以太来构造力的作用机制，他要抛弃的是哲理性的、非数学化的、不能构造预期的涡旋理论，他从来没有打算过彻底否认介质的存在，诉诸超距作用。在1673年的一则题为“论以太和空气”的笔记中，^①牛顿提到他相信存在一种东西，叫做“空气之精”或者“以太”，“极其精细，足以穿透玻璃、水晶、和别的地类物体中的孔隙”。这种东西存在的证据，在牛顿看来，一是单摆在真空中和空气中的频率没有明显的差别，一是据波义耳的煅烧实验，金属在密封的容器中加热，重量确实有所增加。他同意当时大部分学者的看法，即某种非常精细的粒子，穿透了曲颈甑的玻璃壁进入了甑内与金属结合使得煅烧后的重量增加。

两年以后，1675年，在给皇家学会的信里，他重申了关于以太的假说，^②再次提到单摆在真空中和空气中以几乎相同的速率慢慢停下来，说明这种以太的粒子非常精细，不足以影响单摆的运动。这些“假说”立即遭到了胡克的质疑，^③他说他在《显微术》里早就提出过，“牛顿先生不过是在某些细节上有所推进而已”。牛顿回复说除了承认以太的存在之外，他们两人毫无共同之处。这场争论没有延续多久，但确实使两者本来就极度不相融洽的关系变得形同水火，形成了本章开头时提到的两人之间的裂痕。当然，这是后话。

1679年2月，在给波义耳的信的中，牛顿又“以假设的方式”对以

^① 即 Add MS 3970 f. 653，这是一份四大页的手稿，一般认为写于1673年，唯 R. S. Westfall 认为应在1679年“给波义耳的信”之后，但在 *Force in Newton's Physics*, *op. cit.*, pp. 401—402，他也说可能在1672年之前。原文见 *The Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton: A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library*, ed. A. R. and M. B. Hall, Cambridge: Cambridge University Press, 1962, pp. 214—228。下面的引文在 p. 227。

^② 这是1675年12月9日和16日给 H. Oldenburg 的信，见 *Correspondence*, i, 361—386。

^③ *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, *op. cit.*, p. 199.

太作了反复的讨论。^①这封信的起因，是恰有便人要在第二天去伦敦，可以带信，^②这在当时邮驿不甚方便时，颇是难得。我们由此推知，以太假说一定是长时间地困扰着牛顿，他因此可以在一夜之间文不加点地写完这么一封长信。他首先沿着几年前“以太和空气”的类比出发，假定“有一种无所不在的以太物质，……非常富有弹性，一言以蔽之，它在各方面都很像空气，只是远比它要微细”。因此，“这种以太能渗进所有粗大的物体，但在它们的孔隙中要比在自由空间中稀薄，而且孔隙愈细而愈稀薄。”这有点神，不好理解，但笛卡尔的影响清晰可见。他接着用以太密度的这种变化来解释引力：

当两个物体一个对一个运动而相互走近时，我认为它们之间的以太会变得比以前稀薄……其所以会如此，就是因为以太在两物体之间的这条直线通道中不能像它们相互趋近以前那样自由地运动和上下移动……当最后它们走得这样靠近，使物体周围的外界以太的压力超过物体之间稀薄的以太压力很多，足以克服物体不愿彼此接近的时候，那么，这一超压部分将迅猛地把它们推在一起……

这是就牛顿提出的、基于机械论哲学的、对于引力作用机制的解说。值得注意的是，除了最后的吸引之外，牛顿也提到了“物体不愿彼此接近”的情形。他当时认为，物体开始是“不愿”接近的，比如“一只苍蝇能在水面上行走而不粘湿它的脚，也就是说不接触到水”，“尘埃粒子不能用紧压的方法使它们附着在一起”，“溶解于水中的盐不是根据自己的意愿凝结而沉于底上而是散布在整个液体之中，当你加

^① 1679年2月28日，*Correspondence*，ii，288—295，前引《牛顿自然哲学著作选》有部分中译，在134—139页。下一段引文见pp.290—291，中译从《著作选》136页及稍后。

^② 带信的人是 John Maulyverer，他在1672年3月在剑桥 Magdalene 学院获得硕士学位(CUL，EDR A/5/2)，以后似乎和皇家学会诸公和权贵颇有往还，但似乎不是学术方面的交游，见他1679年11月29日给 Samuel Pepys 的信，在 *Memoirs of Samuel Pepys*，ed. Richard Lord Braybrooke，London，H.Colburn，1828，v，68。

入更多的液体时它们就更扩张”，等等，都是物体有“排斥”倾向的证据。这种“吸引-排斥”的模式可能和基于电力磁力的类比的最初考虑有关，而不均匀的以太密度则可能来自于胡克，当然，牛顿绝对会愤然否定这一点；而且，和胡克不同的是，牛顿在密度之外，更设想了以太具有不同的“细微度”，并以此来解释“重力”。

1702年或稍早，在“月球理论”一文中，^①他又强调了引力在天体运动中的主导地位。他说如果以太干扰了天体的运动，他宁愿抛弃它：

所有的行星都受制于引力[作用]，不仅固体的球体要融入流体介质，甚至这一介质，如果不按引力的规律干涉延缓天体运动的话，也要被拒绝。

这就是说，以太的存在是为说明力的作用机制而假设的，以太作为介质，不能取代力的作用。一个基本的想法是，如果确有某种介质存在，“以太”也好，或者什么别的名字也好，应当是可以感知的；而这种想象中的介质最能被探测到的，应该是它对于运动物体的阻力或干涉。17世纪80年代初，牛顿考虑和撰写《原理》时，他一定是这么想的。^②《原理》第二篇，牛顿花了近全书三分之一的篇幅，讨论了“在阻滞介质中的”运动，这一方面是对笛卡尔图景的考量，另一方面也反映了他对于介质存在的探询和困惑。在对计入介质阻力的运动的大段的、数学的讨论以后，牛顿细致地描述了他用单摆所做的实验。他用空的和装满金属的圆松木箱作摆锤，“尽可能精确地记录摆动位置”，得到结论，两者所受的“阻力的比值不大于78比77”，换言之，两者相差微乎其微，不大于1.3%，未见介质存在的证据。

① *Correspondence*, iv, 1—6.

② 《原理》，第360—361页。

这就难了。为了解决涡旋的困难，引进了“力”；为了说明力的作用机制，需要假设一种介质；既然有介质存在，它必然要有所表现，而最可以想象的，应当是其对运动其中的物体的阻碍；令人吃惊或令人不解的是，这种阻碍在设计精巧实施精密的实验中竟然完全探测不到。但是，以太对于说明力的作用机制又是如此的必要，抛弃以太会使得力的作用不可挽回地跌入神秘的超距作用的噩梦，这显然是不可接受的。

为了摆脱这一困境，牛顿考虑了一种极端的情形；他论证说，介质有可能非常稀薄，以至于阻力非常小，小到实验无法探测的程度。他注意到，行星的运动没有表现出穿越介质时所应有的典型的减速现象，但并不说明介质不存在。可以证明，即使有介质存在，行星在天空中的运动仍旧可以持续极长的时间，^①他首先引述了第二篇命题 40 的附注，一共援引了 14 个实验，考虑了空气中冰球的运动，即每移动过一个半径的距离，运动将损失总运动量的 $1/4586$ 。^②考虑到地球的密度要大得多，而外层空间的空气密度要小得多，^③他举例说，在 200 英里的高度，空气的密度可以小到地面密度的 75 兆分之一。“如果木星在密度等于该上层空气密度的介质中运动，则在 100 万年中，介质的阻力只使它失去百万分之一部分的运动”。这是一个可以想象的解释，可以缓解对“介质”的质疑，但是，所有人都同意，实验才是最后的判决者，任何一种解释性的说辞，都不能取代实验的判决，而现在所缺少的，恰恰正是实验。

作用机制的另一个方面，可能是更困难的一个方面，是“吸引”，这个名称本身就非常可疑。如果力的概念还可以想象，那么，吸引则明白提示了和灵魂相关的、为机械论哲学所鄙夷的神秘主义观念。但是，从现象看，这又是这么明显的一件事，以至于很难把它简单地否定

① 《原理》，第三篇，命题 10，定理 10，第 468—470 页。

② 《原理》，第 402 页。

③ 《原理》第二篇，命题 22 附注：这儿牛顿讨论了重力和密度的关系，见第 333—334 页。

或拒绝。1692年,《原理》出版后的五年,牛顿仍旧辗转于这个概念之上:①

我认为,如果你把吸引看作如此广义,以至于可理解为一种能使相距很远的物体,无须机械的推动,力图互相靠近的力,那么它是很明显的。

从现象来说,是“很明显”,没有人可以假装视而不见。但是,从概念上考察,又非常脆弱,牛顿觉得需要提醒大家他在《原理》中早就作过的一种明确的界定:②

[命题 69 定理 29“附注”]:由这些命题自然使我们推知向心力和这种力通常所指向的中心物体之间的类似之处;因为有理由认为指向物体的向心力应当由这些物体的性质和量来决定,如我们在磁体实验中所见到的那样。……我在此使用“吸引”一词是广义的,指物体所造成的相互趋近的一切企图,不论这企图来自物体自身的作用……不论这媒介是物质的还是非物质的……我使用“排斥”一词同样是广义的,在本书中我并不想定义这些力的类别或物理属性,而只想研究这些力的量与数学关系……

一方面是针对“解释性”要求,即要求科学给出一种能为一般人的理性所能接受的对因果关系的描述和证实,一方面是人人可以感觉到的、显然为理性所不能接受的现象,“吸引”所提出的难题在《原理》中把牛顿从“物理属性”逼退到了“数学关系”。他在后来重申了这一做法:③

① 这是牛顿写给本特利的信,中译见《著作选》,第63页。

② 《原理》,第214页。

③ 《光学》,疑问31,第242—243页。

众所周知，物体能通过引力、磁力和电力的吸引而相互作用；这些事例表明了自然界的趋向和进程，而且，除此以外还可能有更多种的吸引力。因为自然本身是和谐一致的。这些吸引力是如何实现的，这里我就不研究了。我们说的吸引力可以通过冲击或其他我们不知道的方式来实现。我在这里用这个字眼不过是一般地用它来表示任何一种能使物体彼此趋近的力，而不管其原因何在。

“不管其原因何在”是不研究力的本质，力的物理特性，是放弃了机制，只追求数学模型，这让我们想起了日心学说最初的维腾堡解释。时隔一百年，从方法论上说，我们似乎又回到了原地。但是，牛顿现在所能做到的，似乎也只能是“量与数学关系”：①

加速力属于物体的处所，它是一种由中心向周围所有方向扩散而出、使处于其中的物体运动的能力；绝对力属于中心，由于某种原因，没有它则运动力不可能向周围空间传递。不论这原因是由中心物体或者别的尚不曾见过的事物引起。在此我只给出这些力的数学表述，不涉及其物体根源和地位。

但是，我们探询自然，不是就是要问“物体的根源和地位”吗？“数学表述”，即确认现象之间有联系但不问是“怎么”联系，这显然不是“询问自然”的初衷。一直到垂暮之年，疑问仍然横梗牛顿胸中：②

这种以太媒质在从水、玻璃、水晶及其他坚实而稠密的物体中出来而进入空虚的空间时，是不是逐渐变得越来越稠密……这种媒质

① 《原理》，正文前第9页。

② 《光学》，疑问20、21、22，第227—228页。

的逐渐变密是否延伸到与物体等距离上,从而造成光线在掠过致密物体的棱旁时,在与物体的一定距离上发生拐折呢?

在太阳、恒星、行星和彗星这些致密物体的内部,这种媒质是否远比它们之间的空虚的宇宙空间中的媒质要稀薄得多……从而造成那些巨大天体相向的引力和它们的各部分趋向天体的引力……

行星和彗星以及所有粗大物体,是不是在这种以太媒质中可以比在任何一种恰好充满空间而不留下任何孔隙,因而比水银或黄金还要致密得多的任何流体中运动得更自由,更不受阻碍?而且它的阻力是不是可以小到可以忽略的地步?

这就令人深感困惑。牛顿没有办法正面回答这个问题,他承认,他没有找到天体运动的原因,他所能做的,是以引力解释现象,而“引力”本身是一个假设,是一个非常神秘的东西:①

迄今为止我们以引力作用解释了天体及海洋的现象,但还没有找出这种作用的原因。它当然必定产生于一个原因,这个原因穿越太阳与行星的中心,而且它的力不因此受丝毫影响;它所发生的作用与它所作用着的粒子的表面的量无关,而是取决于它们所包含的固体物质的量,并可向所有方向传递到极远的距离,总是反比于距离的平方减弱。……但我迄今为止还未能从现象中找出引力的这些特性的原因……我们再补充一些涉及某种最细微的精气的事情,它渗透并隐含在一切大物体之中,这种精气的力和作用使物体粒子在近距离上相互吸引,而且在相互接触时即粘连在一起……但这些事情不是寥寥数语可以解释得清的……我们还缺乏必要而充分的实验。

通行的、可以想象的解释在实验中屡屡受挫,直到牛顿 1683—1685

① 《原理》总注,第 614—615 页。

年撰写《原理》的时候，直到他 1717 年把长年的困惑写下来做成“疑问”的时候，^①没有任何证据指向以太或任何一种介质的存在，而这种介质无论从哪一个方面看，都为一种可以理解的因果解释所必须。很可能是出于这种考虑，牛顿否定引力作为物质“内在的、固有的”性质并强调一种“中间参与”的东西：^②

至于重力是物质内在的，固有的和根本的，因而一个物体可以穿过真空超距地作用于另一个物体，毋须有任何一种东西的中间参与，用以把它们的作用和力从一个物体传递到另一个物体，这种说法对我说来，尤其荒谬，我相信凡在哲学方面有思考才能的人绝不会陷入这种谬论之中。重力必然是由一个按一定规律行事的主宰所造成，但是这个主宰是物质的还是非物质的，我却留给了读者自己去考虑。

既然不是超距作用，而实验又不支持介质的存在，那么力到底是如何作用的呢？牛顿很明白地说，他不知道：^③“重力的原因是什么，我不能不懂装懂，还需要更多的时间对它进行考虑。”二十五年以后，他旧话重提，并表明在这一问题上并没有新的进展：^④

在第三篇末尾，我增补了若干疑问。为表明我没有把引力看作物体的基本属性，我已加上了关于它的原因的一个疑问；我所以选定以一个疑问的方式提出它，是因为我由于缺乏实验而对它还不满意。

他当然相信这个“原因”是存在的，就像他先前所说的那样，现象

^① 上引光学疑问 20—22 最初出现在《光学》1717 年英文第二版，和 1704 年的前 16 个疑问与 1706 年的后 7 个时间上差了 10 多年。

^② 这是牛顿 1693 年 2 月 25 日写给 Bentley 的信，*Correspondence*, iii, 253—254, 中译见《著作选》，第 64—65 页。最后一段引文同此。

^③ 1693 年 1 月 17 日给 Bentley 的信，*Correspondence*, iii, 240, 中译见《著作选》，第 62 页。

^④ 《光学》，声明 2，第 5 页。

必然由一定的规律所统摄；但是其原因却又是如此杳渺，它的本质或本源，牛顿存而不论，做成了他留下的一个谜：^①

不论就实效而言，还是就本质而言，上帝都是无所不在的，因为没有本质就没有实效。一切事物都包含在他之中并且在他之中运动……但却是以一种完全不属于人类的方式，一种完全不属于物质的方式，一种我们绝对不可知的方式行事。……我们能知道他的属性，但对任何事物的真正本质却一无所知。……对于我们说来，能知道引力确实存在，并按我们所解释的规律起作用，并能有效地说明天体和海洋的一切运动，即已足够了。

如果我们把“上帝”读作我们正在追寻的引力的原因，在这里，我们就看到一种认识论上的深刻分歧。对笛卡尔和机械论哲学说来，力，看不见，摸不着，不是一件东西，当然不能成为实证科学研究的对象；而牛顿看见的是，这力的作用和结果，可以感知可以验证，力是“什么”自然是形而上学的问题，但是对力“怎么”作用的描述则全然是物理学天文学要解决的。我们行将看到，这就对因果解释的要求作了重新诠释：我们所追求的不再是一种囊括一切的大而无当的哲学解说，而是现象之间的确定和有限的、可以无歧义地表示的、可验证的关系；在这个意义上，描述就是解释；由此，对自然的研究和哲学分道扬镳，现代意义上的科学诞生了。

第二节 1687：《原理》第三篇《论世界体系》

说实在的，如果不是机械论哲学先入为主地占据了大部分人的头

^① 《原理》，第613—615页。这是牛顿1713年加在第二版最后的总评。

脑，规范了他们的思维，“力”的概念也不见得会显得这么怪异。这或者就是所谓的科学对新事物的压制作用。在笛卡尔不那么盛行的英伦，学者们颇是按其直观意义来谈论“力”，就像我们今天大部分未经深思熟虑的讨论一样。哈雷回忆说：^①

1684年1月，我由对开普勒的 $3/2$ 定律的一些考虑，得到向心力是以平方反比衰减的。一个星期三，我进城和瑞恩和胡克先生相聚，并谈到了这个问题。胡克先生说，天界运动的所有规律都由此展开阐明，并说他已完成了这一工作……

可以注意的是，在聚谈中，“力”之为何物甚至没有作为一个问题提出，而其作用方式，即向心和平方反比，也是一种基于坦然的“想必如此”的假定；而且，和所谓的开普勒问题相反，问题是已知作用力而求轨道，而不是已知轨道求作用力，这就不知不觉地把作用力放置到了轨道形状的原因的地位。前已述及，这是胡克当时的提法。胡克说他已知道怎么做，但他不打算告诉别人；哈雷几经尝试未果，遂于当年8月访问剑桥时向牛顿提出了这个问题。

据说^②牛顿脱口回答说，“是椭圆”。这不令人吃惊，我们还记得，开普勒第一定律早就说过“是椭圆”，问题是怎么得到这个答案的。牛顿说他是“算出来的”，这令人吃惊。我们还记得开普勒为说出“是椭圆”的第一定律所遭受的苦难：他是“试”出来的，他是“凑”出来的；在整个过程中，并没有一个贯穿始终的原理指导他前进。我们只能以惊讶和敬佩的心情来想象那个孤独的天才在杂乱无章的数字中的挣扎与奋斗，但我们看不出线索。现在，在牛顿这儿，这

^① 这是哈雷后来的追述，见他1686年6月29日给牛顿的信，*Correspondence*，ii，441—442。

^② 这是牛顿后来对Abraham de Moivre所作的追述，存Joseph Halle Schaffner档案，芝加哥大学图书馆馆藏号MS1075—7，R. Westfall，*Never at Rest*，p.403，引。法国数学家De Moivre 1692年结识哈雷，后又结识牛顿。

竟然可以表示为一种逻辑的结果，这自然令人吃惊。1685年2月23日，牛顿的证明由皇家学会记录在案，^①这一套后来笼统地题为“论运动”的文件，^②对科学史研究而言，提示了牛顿走向《原理》、完成日心体系解释的最后思索。

通常认为，题为“论物体的运动”的若干残叶是这一时期较早的一个草稿。开宗明义，牛顿给了三条“力”的定义，即“惯性力”，“冲力”和“向心力”。对于向心力，牛顿说，“向心力是一种作用或潜在的作用，这一作用拖拽、逼使、或以任何方式使一物体趋于一个作为中心的点”。所谓“潜在的作用”，很让人想起亚里士多德的“潜力”或笛卡尔的“倾向”，这有点模糊。牛顿举出的例子是重物落向地面，铁片趋奔磁石，这和牛顿后来谈论的也是我们现在谈论的向心力也很不一样。他反复努力，但是没有说清楚，最后不得不承认，“我不加区分地使用诸如吸引，冲力或内在倾向之类的字，并非出自物理的，而是出自数学的考虑。”

在“论运动”中，牛顿更加清楚地把力分为“物体的力”、“惰性力”、“向心力”和“阻力”。接着，他明确地把出发点定在开普勒第二定律，即面积定律之上。这条定律自从提出以来，一直是最令人困惑的，因为“面积”对于天象观测者而言，无论如何是一个想象中的、不着边际的东西。但对开普勒来说，这是对现象的归纳，是宇宙和谐

^① 参见 *Correspondence*, ii, 415; 原稿即“运动定律”，刊于 S. P. Rigaud, *Historical Essay on the First Publication of Sir I. Newton's Principia*, Oxford, 1838, 稍后复见于 W. W. Rouse Ball, *An Essay on Newton's Principia*, London: MacMillan, 1893, 这份手稿又有 New York: Johnson Reprint Corp, 1972, 重印本，所以很容易找到。

^② “论运动”今存五个文本，除上注中提及的皇家学会本以外，另三个大同小异，宜为一组：a) Add MS 3965, ff. 55—62, 题为“物体的圆周运动”，刊于 J. Herivel, *The Background to Newton's Principia*, Oxford: Clarendon, 1965, ix, pp. 257—289; b) ff. 63—70, 同上书, pp. 292—294; 和 c) ff. 40—54, 抄本，但行文似乎表明是最后定稿，刊本见 A. R. Hall and M. B. Hall, *The Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton, A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library*, Cambridge: Cambridge University Press, 1962, iv, 1, MS B, pp. 243—292. 最后一个文本即 ff. 21—24, 似为“论运动”开头部分的残叶，刊本见上引 Halls, iv, 1, MS A, 题为“论物体的运动”。稍微详细一些的介绍可参见本书作者撰写的《牛顿》，台北三民书局 2000 年版，第 134—135 页。

的要求，是日心体系运动规则的前提。在“论运动”中，牛顿根据“匀速直线运动”和“向心力”这两个在当时看来就是很普通的概念，^①用纯几何的方法，证明了行星的矢径在相等的时间间隔中扫过相等的面积。我们看到，^②“矢径扫过的面积”这样完全无法测量、鲜有物理意义的量，竟然在证明中如此优美地表现出来，以至于任何人，只要受过最基本的数学训练，都可以不费力地理解这一证明。接着，定理2证明，由开普勒第三定律即3/2次方定律可以断定，向心力的作用模式为平方反比。定理4几乎是定理2的逆定理，牛顿在这儿证明，如果力以平方反比作用，那么开普勒第三定律成立。换言之，这两条定理证明，3/2次方和平方反比在数学上等价。^③

从1685年2月的“论运动”到1687年4月交出《原理》第一篇的书稿，^④前后二十六个月，牛顿的工作情形不见于任何史料。我们只知道，哈雷是促成牛顿把简单的“论运动”变成《原理》的主要动力。^⑤牛顿后来证实说：^⑥

埃德蒙德哈雷……在得知我对天体轨道形状证明之后，一直敦促我把它提交皇家学会，此后，在他们善意的鼓励和请求下，我才决定把它们发表出来。

① 当然还有力合成的平行四边形法则，但这更不是新奇的东西，尽管牛顿后来在《原理》中还是单独做了说明，见“运动的公理或定律”“推论1”，第19页。

② 见前引 Halls, ff. 1—2, iv, 1, MS B, p. 247, 或 Herivel, *op. cit.*, ix, pp. 257—303。

③ 这同样可以由简化的方式推出：引力即向心力由惠更斯的离心力公式 $F = v^2/R = \left[\frac{2\pi R}{T} \right]^2 / R = [4\pi^2 R^2 / T^2] / R = [4\pi^2 R^3 / T^2] / R^2$ ，留意 R^3 / T^2 是常数，则 $F = \frac{c}{R^2}$ ，所以平方反比的前提只是向心力公式和3/2定律。

④ 1687年4月5日的信，*Correspondence*, ii, 473—475。

⑤ 案哈雷两代治生商贾，遂致饶富，《原理》第一版实际上是他私人出资印行的。他虽然对《原理》有特殊的贡献，却颇不见称于牛顿的友人，J. Flamsteed 曾痛骂他“不忠实”，参见，例如，*Correspondence*, iii, 203。但从《原理》撰写到出版的过程中，他和牛顿的通信，见于上引 *Correspondence* 第二卷，确实证明他无可争辩地是推动牛顿、解决种种困难的核心人物。

⑥ 《自然哲学之数学原理》，王克迪译，武汉出版社/陕西人民出版社2001年版，正文前3页。案牛顿的《原理》尚有赵振江译本，商务印书馆2006年版，但本书撰写时未及充分利用。另外，前引《牛顿自然哲学著作选》选译过《原理》的部分章节。

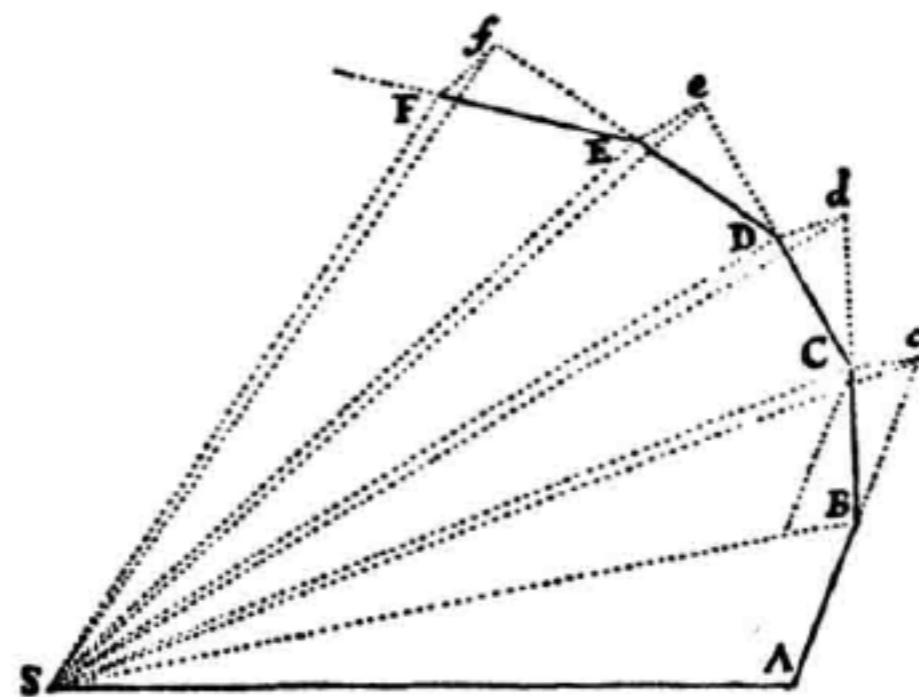
S E C T. II.

De Inventione Virium Centripetarum.

Prop. I. Theorema. I.

Areas quas corpora in gyros acta radiis ad immobile centrum virium ductis describunt, & in planis immobilibus consistere, & esse temporibus proportionales.

Dividatur tempus in partes æquales, & prima temporis parte describat corpus vi inlita rectam AB . Idem secunda temporis parte, si nil impediret, recta pergeret ad c , (per Leg. I) describens lineam Bc æqualem ipsi AB , adeo ut radius AS , BS , cS ad centrum actis, confectæ forent æquales areæ ASB , BSc . Verum ubi corpus venit ad B , agat vis centripeta impulsu unico sed magno, faciatq; corpus a recta Bc deflectere & pergere in recta BC . Ipsi BS parallela agatur cC occurrens BC in



C , & completa secunda temporis parte, corpus (per Legum Corol. 1) reperietur in C , in eodem plano cum triangulo ASB . Junge SC ; & triangulum SBC , ob parallelas SB , Cc , æquale erit triangulo SBc , atq; adeo etiam triangulo SAB . Simili argumento si
vis

牛顿对开普勒第二定律的证明：《原理》1687年版第37页处理长期令人困惑的面积定律，这一定律以不包含任何可测的物理量而令当时的天文学家不知如何下手：

假定物体以匀速沿直线 ABc 运动，在相等的时间间隔中移动 AB 和 Bc 。如果它同时受指向中心 S 的力吸引，因此产生一个指向 S 的位移 Cc ，在下一个间隔后实际移到 C 点。对于 $\triangle SAB$ 和 $\triangle SBc$ ，由匀速的条件知 $AB = Bc$ ，即它们有相等的底 AB 和 Bc ，有共同的高，所以面积相等。另一方面，对于 $\triangle SBC$ 和 $\triangle SBc$ ，由于力的平行四边形合成法则， SB 平行于 Cc ，所以这两个三角形的高相等而又有共同的底 SB ，于是 $\triangle SBc$ 和 $\triangle SBC$ 面积相等。由此得到 $\triangle SAB$ 和 $\triangle SBC$ 面积相等，此即第二定律。牛顿的证明如此简明直捷，怪不得在这几行文字下他可以潇洒地写下 Q. E. I., —Quite Easy to Imagine.

由哈雷6月7日给牛顿的信我们还知道了关于第二篇的消息，^①这一部分处理物体在“阻滞介质”中的运动；我们还记得牛顿关于介质以及可能存在的力的传播媒介的考虑，这在当时，特别是笛卡尔学说盛行之时，应当是很重要的。^②很快，6月20日，牛顿报告说他还要对世界体系作综合和统一的说明。^③1687年4月4日，哈雷收到了整部著作的书稿。

《自然哲学的数学原理》是一部结构严整的大书，牛顿在这儿最终要解释的，是太阳系的构造及其所辖诸星的运动，这一解释的基础是物质、运动和力。这三件事是密切联系在一起的，一如稍后的“运动的公理或定律”所表述的，物质是运动的本体，运动是物质的状态，而运动的改变则必须诉诸力的作用。由 $f = ma$ 这一人人皆知的公式，即牛顿的“公理2”联系起来的这三个量，表达了物质世界最基本的因果关系：力是运动改变即加速度的原因。在这儿，“物质”由密度和体积定义，“运动”由物质和速度定义；如果再进一步细分，运动可以看成是由密度和体积所定义的物质以及时间和空间所定义的速度两者联合定义的，而时间和空间在紧随其后的附注中有明确的讨论。在这儿，物质和运动的基本定义完全建立在可以通过操作测量的物理量之上，绝不玄妙，绝不神秘。问题仍旧在“力”上。在书前的八个定义中，牛顿花了六个来谈论“力”，这就透露了他的穆结。定义3和4是“固有的力”和“外力”，而另外四个定义，则全都集中在“向心力”之上。这向心力到底是怎么回事呢？牛顿重申：^④

我对这些力不从物理上而只从数学上加以考虑：所以，读者不要

① *Correspondence*, ii, 434.

② 尽管第二篇实际上几乎占了全书篇幅的三分之一，但以其主题与本文关系稍远，兹从略，以免枝蔓。

③ *Correspondence*, ii, 437.

④ 《原理》，10页。在后来《论世界体系》（通俗论述），Cajori译本 sec. 2, pp. 550—551中，牛顿重申，“我们以数学的方式，避开了关于这种力的本质和性质的所有问题，这些问题我们不能有任何的假说来决定，因此就泛称之为向心力，因为这是一种指向某个中心的力……”

望文生义,以为我要划分作用的种类与方式,说明其物理原因或理由,或者当我说到吸引力中心,或者谈到吸引力性质的时候,以为我要在真实和物理的意义上,把力归因于某个中心。

以后的发展证明,这是完成对日心体系运动机制说明的关键一步:如果在“力是什么”这样的问题上纠缠,将始终徒劳无益地在哲学的迷宫中游荡。

以下正文分为三篇。第一篇是对“运动”的理想化的讨论,第二篇谈有阻力时的情形,第三篇把前两篇的理论用到天文学,讨论日心体系。所谓理想化,是在不考虑运动介质所产生的阻力,不考虑物体的形状大小,不考虑物体的密度或品质的前提下,对运动的研究。其第一章多少是个数学准备,第二章转入正题。定理1就是前面“论运动”一文的定理1,开普勒的面积定律,证明在简洁中透出清澈的优美,短短半页,牛顿潇洒地写下 Q. E. I.,^①“此即所求”;的确,牛顿大概会把它读成 Quite Easy to Imagine,“容易想象”;尽管如此,对我们大部分人说来,仍旧不容易想象牛顿是怎么想出来的。定理2是本定理之逆:如果面积定律成立,则作用力是向心力。再下,定理4推论6,如果 $3/2$ 次方定律成立,则作用力是平方反比的向心力。至此,“论运动”的主要结论,开普勒的第二第三定律,平方反比,都处理完毕。第三章讨论更一般的“物体在偏心的圆锥曲线上的运动”,命题11证明,在椭圆轨道上,指向焦点的力是平方反比的。命题13推论1总结说,所有在圆锥曲线轨道上运动的物体所受到的向心力都是平方反比的。^②

这有点乱,让我们把线索梳理一下。这儿,讨论涉及的有三件事: $3/2$ 次方定律,平方反比的力和椭圆轨道;胡克最初的问题是,如

① 《原理》,第51—52页。

② 《原理》,第73页。

果力是平方反比的，轨道是什么形状。细看《原理》，也包括“论运动”，很容易发现，牛顿其实并没有回答这个问题；命题 11 证明了如果轨道是椭圆，力是平方反比的，而不是相反。尽管命题 13 把这个结果推广到“所有圆锥曲线”，但是于事无补：我们都只能从轨道推出力，而不是相反。在深入研究了《原理》以后，欧洲数学家提出了这个问题；几乎同时，牛顿也意识到了这是一个缺憾，他后来在第二版里作了修正。^①

不管怎么说，这前三章基本完成了对在平方反比的向心力作用下物体的运动的描述。牛顿后来说，一般人只要细读这前三章，就可以理解他对于日心体系的解说，^②这是说太阳系诸星的运动的理论，尽在于此。接下去直至第 10 章，牛顿讨论了各种各样的复杂情形：不同的曲线形状，不同作用方式的向心力，等等。第 11 章牛顿引进了“两个物体的相互作用”和它们的共同中心，命题 66^③谈到了三个物体的相互作用；第 12 章，讨论从“数学点”扩展到真正的“小球”，命题 71—75 证明，^④所谓的“小球”的物理行为和其所有质量都集中在球心的一个数学点等同，从而确定了以前关于“数学点”的未经说明的讨论的合理性，^⑤也明确了先前谈论的两个球体之间的“距离”就是指它们各自的几何学的球心的距离。再次，命题 76 定律 36 推论 3：引起运动的吸引力，或者一个球体对另一球体的重量……与一个球体和另一个球体[的

^① *Correspondence*, v, 5—6. 虽然牛顿在证明的叙述中有“因此……”之类的话，但实际没有给出直接的证明。R. Weinstock, *American Journal of Physics*, 50 (1982) 610—617, 对此提出了质疑，引起了热烈的讨论，J. Bruce Brackenridge, *The Key to Newton's Dynamics, the Kepler Problem and the Principia*, Berkeley: University of California Press, 1996, Ten, Note 20, 对这一讨论作了回顾，并认为牛顿“实际上”是解决了开普勒问题，他同意 Bruce Pourciau 的说法，认为就是有些不足，“也是很容易修补的”。另据 John Locke 1690 年说，牛顿给了他一个证明，说“行星在指向太阳的万有引力的作用下，可能沿椭圆运动”，见 *Correspondence*, iii, 71—77。

^② 《原理》，445 页；在后来给本特利的信中他还说，阅读了前 60 页以后，就可以直接阅读第三篇了，见 *Correspondence*, iii, 155—156。

^③ 《原理》，第 196—197 页。

^④ 《原理》，第 216—220 页。

^⑤ R. 瑞斯尼克和 D. 哈理德合著《物理学》，郑永令等译，科学出版社 1979 年版，第一卷，第二册，16—6，给出此一问题的现代解法，但本质上和牛顿的考虑相似。

质量]相乘而得出的乘积成正比。……推论 4：在不同的距离处，正比于该乘积，反比于两球心距离的平方。^①这就是万有引力定律的数学表达，但其物理意义，尚称阙如。不难看出，第一篇的最后部分，虽然仍旧是以“纯理论”的形式，但是在牛顿的心目中，图景逐渐转向真实的太阳系了。

第三篇的结构和前两篇明显地不同。这可能是因为在牛顿的写作过程在此有过中断，^②但更可能的是，现在他所面对的，是真实的物理世界：^③

在前两篇中，我已奠定了哲学的基本原理；这些原理不是哲学的，而是数学的……现在，我要由同样的原理来证明宇宙体系的结构。

在数学中，我们已经提到，平方反比和 $3/2$ 次方是等价的，它们可以互为因果；但是在真实的世界中，这种等价关系并不存在：如何物理地说明这种因果关系，何者为因，何者为果，似乎不能颠倒，也不能回避。这就凸现了数学处理和现实的关系。虽然在牛顿时代我们所谓的“自然科学”常被称为“哲学”，但在这儿，牛顿为了从数学转入物理学，却遭遇到了真正的哲学上的困难。难点在于如何把现实世界理想化进而数学化。牛顿对此显然有清楚的认识，为此，他引进了本质上绝不不同的两套前提：他称之为“现象”和“推理法则”。现象是基于真实世界的观测，是经验的；法则是推理所依赖的原则，是先验的。牛顿要把这两者结合起来，使之成为他对宇宙即太阳系的描述的基础。

① 《原理》，第 222 页；但推理 3 采用了《著作选》的译文，在该书第 126 页。

② 这是因为胡克提出的优先权问题激怒了牛顿，在 1686 年 5 月到 7 月间有大约一个半月的时间，牛顿辍笔不写了；见 *Correspondence*, ii, 431—443，后经哈雷调停。叙述参见本书作者《牛顿》，148—149 页。

③ 《原理》，第 445 页。

这不容易；胡克也曾尝试，^①盖归纳的合法性当时已受到质疑并为广泛留意。牛顿在对这些材料的安排上，颇费苦心。从1687年《原理》初版到他最后的1726年修订版，几四十年，反反复复，最后成了我们现在看见的，应该说，是最清晰，最严整的表述，即四条“推理法则”，一条“假说”和六条“现象”。

现象1, 2和4是关于木星卫星、土星卫星和太阳系当时已知的六颗行星的 $3/2$ 次方定律，即开普勒的第三定律；其间插入现象3，肯定了日心图景，这一图景为现象4的陈述所必须。现象5和6是开普勒的面积定律对于行星和月球的运用。牛顿把这些定为理论的出发点，置于论述之首，其理由是，很简单而且看起来无可辩驳：^②

这是天文观测事实。

这是“事实”。和搁置力的本质相辅相成，这儿是解释日心学说的又一个关键转折：认识的出发点重新回到了现象。我们还记得亚里士多德对于自然研究的出发点，现在，两千年以后，牛顿重新回到了这里。但是，接下来的问题是，观测总只能在有限的范围和事例中完成，如何把从“有限的”事例中得到的结果变成“普遍适用的”结果呢？如何实现从五彩缤纷的现象世界到理想化的数学模型的过渡呢？

从“有限”过渡到“普遍适用”这件事不可能在实证科学内部完

^① Robert Hooke, *The Posthumous Works*, *op. cit.*, p.179, 把他的表述和牛顿的最后版本比较，可以看到有趣的类似和不同。胡克的第一条是“对所有物事的假定，如能在部分中证明，即可假定并非虚妄”；第二条是“我研究的基础是，对自然的工作，最简单的和最短的，被所有哲学家所认可的，被所有自然研究者所发现的”；第三条是“自然用类似的方式产生类似的效果”；等等。

^② 《原理》，第450页。在这六个“现象”之中，“现象2”即土星卫星的资料不见于第一版。案 Giovanni Domenico Cassini 在1671—1672年发现了两个土星卫星，1684年又观测到另外两个，连同惠更斯1655年发现的一个，即是牛顿在《原理》中提及的五个土卫。参见 Albert Van Helden, “Naming the Satellites of Jupiter and Saturn”, *The Newsletter of the Historical Astronomy Division of the American Astronomical Society*, 32 (1994) 1。据此时间推测，可能当牛顿1686年撰写《世界体系》时未及使用 Cassini 的资料。

成：牛顿没有办法以部分证明全体，没有人能够。从《原理》撰写直到发表以后很久，他颇是为之所困。先是，在1687年的第一版中，后来的“推理法则”和“现象”统称为“假说”，但他显然对这一安排很不满意。1713年再版时，他删去了关于物质转化的“假说3”，加上了关于“物性”的一条说明，和原来的前两条“假说”并列，改称“推理法则”；而剩下的改称“现象”。^①我们已经看见，这一改动是意味深长的。到1726年的第三版，也就是他生前的最后一版，牛顿在“推理法则”中又加上了“规则4”：^②

在实验科学中，我们必须将由现象所归纳出的命题视为完全正确的或基本正确的……直到出现了其他的或可排除这些命题、或可使之变得更加精确的现象之时。

“归纳”。在《原理》中，牛顿没有作进一步的说明。从科学方法上看，这一法则有特别重要的意义。在对自然的探索中，是归纳，而不是演绎，帮助我们扩充视野，求得新知；而现在，正是靠着这一法则，牛顿宣称归纳法应用合法，但他说的，是一个“法则”，而不是论证。这听起来仍旧有些可疑，牛顿对此还有发挥：^③

[光学疑问31]在自然哲学里，像在数学里一样，用分析方法研究困难的事物，应当总是先于综合的方法。这种分析包括做实验和观察，用归纳法从中引出普遍的结论，并且使这些结论没有异议的余地，除非这些异议是从实验或者其他肯定的事实中得出的。因为实验哲学是不考虑什么假说的。尽管用归纳法从实验和观察中进行论

① 原有的“假说4”，关于世界中心不动的论断，在最后仍保留作“假说1”，附在“命题10”之后，见《原理》，470页。牛顿没有展开讨论，只是说“所有人都承认这一点”。因为这一陈述和本文主题关系不大，故略去不提，以免枝蔓。

② 《原理》，第449页。

③ 《光学》，疑问31，第258—259页。

证不是普遍的结论的证明，可是它是事物的本性所允许的最好的论证方法，并且随着归纳得愈普遍，这种论证看来也愈为有力。如果在现象中没有出现例外，那么这个结论就可声称是普遍的。但是如果以后在任何时候从实验中出现了例外，那么就可以声称有这样的例外存在。用这样的分析方法，我们就可以进行从复合物到成分，从运动到产生运动的这种过程的论证，一般地说，从结果而原因，从特殊原因而普遍原因，一直到论证最普遍的原因。这就是分析的方法……

“从特殊而普遍……”为什么可以这样做呢？“现象”是经验的，因而总是有限的，它要靠先验的“推理法则”推广而达到“放之四海皆准”的普遍，“特殊”和“普遍”自然有本质的区别。牛顿一定感觉到了这一点，所以处理太阳系的第三篇开头的“推理法则”，在牛顿生前的三个版本里都有不断的修改，^①反映了牛顿在这一方向上的孜孜努力。

“法则 4”把对一事物的有限的经验扩充到普适，还不足以完成对自然的包罗万象的说明。为了全面地说明行星的运动，为了统一地处理“力”的作用，牛顿还要求把归纳方法扩充到所有同类的事物：

[推理规则 2]对于相同的自然现象，必须尽可能地寻求相同的原因。

他说这是法则 1 的一个推理，而法则 1 则要求寻求原因时“不得超

^① A. Koyre 曾对“推理法则”做了细致的历史学和版本研究，见氏著《牛顿研究》，张卜天译，北京大学出版社 2003 年版，第六篇，第 317—332 页。柯氏还说（第 317 页），牛顿在《原理》出版以后的版本修订上所花费的气力，远非我们后来仅仅从版本的简单变化可以想象的。

出足以解释现象者”。这一法则的基础，牛顿说，是“自然不做徒劳的事”，“因为自然喜欢简单”。很容易看出，“推理法则”所表达的，这些对于构造统一的图景，建立因果解释绝对必要的前提，并不在实证科学的“此岸”。牛顿把它们作为“规则”引入理论系统的做法，无疑是先验地赋予了这些“规则”真理性。他没有能够证明这样做是对的。一直要到很久以后，哲学家才认识到，这些法则的真理性的证明并不在理论内部，而在于其推理的验证。当然，这是后话。

如上所述，牛顿的出发点是“现象”，而且据他自己说，所谓“现象”，就是“观测事实”。对于他所给出的六个之中的五个，这话没错；但是细看“现象3”，哥白尼图景，其实并没有直接的观测支持。牛顿用的是水星和金星的位相，前已提及，这是一个强有力的证据，但还不是证明。在1680年代，我们确实有大量的观测结果指向日心说，现象和日心图景不相悖逆，但是并没有一个特定的结果能够排他地证明这一图景为真。我们不得不承认，“现象3”实际上是一个假说，而这正是牛顿所反复否认的。

不管怎么说，牛顿现在开始在这个基础上着手解释日心体系。先从木星卫星开始，显然，这是真正观测到的“现象”，牛顿证明，向心力是平方反比的。次及行星：^①

[第三篇]命题2：使行星连续偏离直线运动，停留在其适当轨道上向着太阳运动的力，反比于这些行星到太阳中心距离的平方。

这就是对哥白尼图景中行星运动机制的说明：太阳居中，行星受平方反比的向心力的作用，留在“其适当的轨道上”。值得特别注意的是，所谓“3/2次方定律”说的是行星的运行周期和轨道半径之间的关系，而这儿的周期和半径均是可观测量，是现象，宜乎作为出发点；而

^① 《原理》，第456—457页。

不能由观测测定的“平方反比”则表现为一个结论，即结果。这儿，这两者不再是等价的了： $3/2$ 显然在更根本的一个层次之上，是因；而“平方反比”则是果。我们是从 $3/2$ 认识到平方反比的，从现象前进了一步，现象得到了理解。和自然哲学追求终极的物理原因不同，我们看到了一种对因果关系的新型的表达。

和命题2中关于行星的简单讨论不同，命题3和命题4具体细致地计算了月球的向心力，证明正是这一个向心力，使得月球留在它的轨道上，既不飞离、也不落向地球。而且，这个向心力和“重物体的重力”“都指向地球中心，相似而且相等，它们只能有一个相同的原因”。这一重力，同样是平方反比的，使得月球连续偏离直线运动，停留在其轨道上，这就证明了月球为地球所吸引。^①利用“法则2”，牛顿成功地从重力过渡到了引力。牛顿后来回忆说，这是他考虑了几乎二十年的题目，而且一开始就“神奇地”完成了整个图景：^②

在这一年[案指1666年]，我开始考虑延伸到月球轨道的引力，并且在搞清楚怎样估算在球面内运动的球状物体对于球面的压力以后，从开普勒关于行星公转周期同它们到各自轨道中心的距离成 $3/2$ 次方比的定律中推出，把行星保持在它们的轨道上的力必与它们绕之旋转的中心到行星的距离的平方成反比；我于是比较了把月球保持在它的轨道上所必须的力和地球表面的万有引力，发现此两力差不多密合。

这就是所谓的“月地检验”。牛顿在这儿描述的他最初的思路和后来《原理》里的陈述确实一样，但大部分研究者不认为这是发生在

^① 《原理》，第457—458页。定理4王译本作“月球吸引地球……使它连续偏离直线运动……”稍嫌费解。

^② Add MS 3968.41, f.85r.这是牛顿1718年写给Pierre des Maizeaux的信，几乎被所有牛顿研究所引用，但很多人认为从历史细节看，不尽准确。

1666年的事，^①更可能的情形是，他确实很早就有了一些想法，但严整的证明则晚至1685—1686年间才完成。

在《原理》第三篇命题25到39，并大段引用了他同时代的学者的工作，牛顿用了几近全书十分之一的篇幅，细致地考察了关于月球的几乎所有的方面。把月球特别提出来讨论，除了上述历史上的这一层原因之外，很可能更在于在太阳系的诸多星体，即行星、木卫、土卫这些例子中，只有月球的情形是可以用地球表面的重力加速度的测量值直接验证的。对比命题2和对月球的处理，我们很容易看出，关于行星的解说，实际上是关于月球的讨论的推广；月球作为一个典型，提供了对其他所有天体讨论的范例。这种推广的基础同样是“法则2”，是先验的。

第三篇定理6，牛顿把第一篇命题76定律36推论3再用了一遍：物体对于任意一个行星的重量，在到该行星中心距离相等处，正比于物体各自所包含的物质的量。这儿，牛顿把重量推广到“任意”行星，从而也强调了“物质的量”即质量概念。他说，“我曾用金、银、铅、玻璃、沙子、食盐、木块、水和小麦做过试验。”显然，不同的东西对于我们所谈论的题目并没有表现出差别。这一做法大概是受到吉尔伯特关于磁力的实验研究的影响，但不是简单地重复。事实上，牛顿在推论5中，细致地比较了这两种力，并明确提出它们不是同一的：“引力的性质与磁力不同；因为磁力并不正比于被吸引的物质。某些物体受磁力吸引较强，另一些则较弱；而大多数物体则完全不被磁石吸引。同一物体的磁力可以增强或减弱，而且远离磁石时它不正比于距离的平

^① I. B. Cohen 用了一个意大利词称之为 *screnario*，“生造的情节”，见 *Scientific American*, 244 (1981) 179; R. S. Westfall 称之为“神话”，见 *Never at Rest*, *op. cit.*, p. 143; 而 D. T. Whiteside 说“难于证明”[确有其事]，见 *Notes and Records of the Royal Society of London*, 21 (1966) 33. 案如循牛顿当时用的数据和算法，Add MS 3958(5), f. 87, 刊本见 Halls, *op. cit.*, p. 69, 可得地面重力加速度的计算值约为 27 英尺/秒²，与实测值 32 英尺/秒²相差几六分之一，当不能称为“密合”。稍微详细的讨论见拙作《牛顿》，第 57—59、72—79 页。

方而是几乎是随距离的三次方减小的。”^①牛顿再一次利用他的归纳法，把引力推广到“一切物体”，是为定理7：对于一切物体存在着一种引力，它正比于各物体所包含的物质的量。^②

再看整个太阳系。〔第三篇〕命题13：行星沿椭圆轨道运动，其公共焦点位于太阳中心，而且，伸向该中心的半径所掠过的面积正比于运行时间。^③这就是开普勒第二定律。这是第一篇命题1和11，以及命题13推论1的结论。至此为止，牛顿完整地说明了太阳系的构造和运动机制。这种说明由一种解释构成，这种解释并不专注追寻太阳系诸星运动的最初或最根本的原因，而致力于提供一种描述；这种描述表达的是现象之间的联系，而这种联系反映了我们对现象的理解。这就对因果关系作了新的诠释：我们不再孜孜然于最后因，当我们认识了现象和现象之间的关系，完成了对这种关系的精细的无歧义的描述，我们就认识了这一现象。到了这一点，科学找到了自己的形式和目的，科学从此成为科学，和宗教与哲学分道扬镳。

但是，我们还愿意再强调一遍，在这儿，牛顿考虑的是太阳系真实的情形，第一篇中的数学证明和第三篇中对太阳系的描述，看来相似却不能简单地等同；数学和物理的联系实际上是一种假定。牛顿说，^④

由于古代人在研究自然事物方面，把力学看得最为重要，而现代人则抛弃实体形式与隐秘的质，力图将自然现象诉诸数学定律，所以我将在这本书中致力于发展与哲学相关的数学。……因为画直线和圆虽是几何学的基础，却属于力学。几何学并不告诉我们怎样画这些线条，却需要先画好它们……画直线与圆是问题，但不是几何学问题。这些问题需要力学来解，而在解决了以后，则需要几何学来说明

① 最后半句译文按《著作选》134页稍有改动。

② 《原理》，第461—465页。

③ 《原理》，第471页。

④ 《原理》，第一版序，正文前第1—2页，最后一句前引《著作选》作“用数学来探讨有关的哲学问题”，见第10页。

它的应用。

经验的，即牛顿所谓的哲学的，和先验的，即这儿所谓的数学的，不是一件事的两个方面，而是两个不同的范畴。如何把两者联系起来，如何跨越两者之间的界面，是科学认识的基本问题。现象是一回事，推理法则是另一回事；自然界是一回事，对自然的理解是另一回事。要把两者联系起来，要跨越这个界面，要证明两者的同一性，不是通过简单的观察就可以实现的，不是通过单方向的论证就可以完成的。当牛顿谈论太阳月亮和行星时，他怎么有如此的信心呢？

我们看到在《原理》第三篇，当牛顿建立他的囊括宇宙的理论的时候，他进行了一系列非逻辑的跳跃：把理想化的纯数学得出的结论用到了非理想化的现实，把非理想化的现实作理想化的推广，简言之，由重力而引力，由木卫土卫而月球，由月球而诸行星，由有限的案例而一般化的结论，其合理性全然依赖于先验的“推理法则”；牛顿的逻辑是，既然“推理法则”已经确定，我们不应该也不必再寻求其他的原因，这种对自然的解释自然是在合理之列了。但是如果一定要继续追究，我们可以看到，推理法则的基础立在一种信念之上，即自然是有规律的，而且这种规律是我们的理性可以认识的。或者用牛顿喜欢的话说，“这样看来，大自然本身是很一致的，并且是很简单的……”^①这一信念神秘但是坚强。于是，“推理法则”保证了这种跳跃的合法性，思维是可以信赖的，成为对太阳系结构和运动机制的整个说明中不可或缺的一环。

^① 《光学》疑问 31，第 254 页。这儿采用了《著作选》的译文，在该书第 206 页。

尾声

1758 年哈雷彗星的回归 最终确立了日心学说

在“讨论了太阳、地球、月球和诸行星”以后，^①牛顿转向讨论彗星，这是他一生钟爱的题目。我们还记得，在他大学时代的手稿里，^②最初的几段文字就是 1664 年 12 月 10 日对彗星的观测和记录，而且不断出现在以后的笔记中。^③从古代起，自亚里士多德以下，一般认为彗星是大气层中的现象，至于第谷，欧洲学者才转而接受彗星是遥远的星体的概念，但仍然认为这是偶然闯入我们视野的、孤独的过客，因而无所谓轨道或周期或预测可言。1680 年 11 月，一颗大彗星引起了广泛的注意。^④同年 12 月，彗星复现。牛顿最初以为这是两个相互独立的事件，在随后和格林威治天文台的佛莱姆斯提德的通信中，他拒绝了后者提出的关于这是同一颗星的可能，^⑤尽管稍后略显犹豫。1682 年出现

① 《原理》，第 546 页。

② MS 3996 12 93v，刊本见前引 J. E. McGuire and Martin Tanmy ed.， p. 357。

③ 例如，MS 3996 54 114v，55 115v，一直到 58 116v，他先是抄录了 1585 年彗星的位置，接着对 1664 年 12 月到次年 4 月的彗星做了完整的观测记录。见同上刊本，pp. 410—418。

④ 即所谓的 Kirch 彗星，最大时横亘 70° 天区，几乎占可见天空的一半。参见，例如，John Fiske，*The Dutch and Quaker Colonies in America*，Cambridge: Riverside Press，1903，这是第三次印刷，初版是 1899，v. 2，p. 59。这颗彗星被认为是有记录以来最亮的几颗之一，光亮据说几与太阳相埒。

⑤ *Correspondence*，ii，341。

的、后来以哈雷命名的大彗星似乎使牛顿转而相信彗星是一种周期性回归的天体，从那时起，他即给彗星以特别的注意。^①但是晚到1685年9月，他才最终接受彗星回归的事实。^②

现在，在《原理》中，牛顿花了近全书十分之一的篇幅讨论彗星。^③他首先肯定，“彗星远于月球”，然后仔细考察了彗星和太阳的关系。他注意到，^④

在两个时间间隔很大但到地球距离相等时，彗头所表现的亮度是相等的，在近地点^⑤趋向太阳的一侧时达到最大亮度，在另一侧消失。……因为其亮度呈规则变化，并在彗头运动最快时最大……

他得出推论说，彗星的光芒来自对太阳光的反射，并由此解释了为什么彗星总是频繁地出现在太阳附近的地方。

《原理》第三篇命题40确认，^⑥彗星和行星和其他天体一样，沿以太阳为一个焦点椭圆轨道运行，其速度符合开普勒的面积定律。牛顿进一步用 $3/2$ 次方定律得出推论说，“如果彗星轨道的主轴比土星轨道轴长四倍”，其环绕太阳的时间周期会长达240年。命题41则给出了由三个观测点求彗星的抛物线轨道的方法，尽管牛顿说“这一问题极为

① Add MS 3965.14. 他后来以四次观测记录提供的数据计算了1680年彗星的轨道，刊本见 *Mathematical Papers of Isaac Newton*, D. T. Whiteside ed., Cambridge: Cambridge University Press, 1967—, v, 524—531. 稍后在《原理》所附的《论世界体系》(通俗论述)，牛顿证实说，“这些彗星不是两个，而是一个并且是同一个，从这颗彗星的轨道和在天空中的运行速度可以更加精确地判定”，见 Cajori 译本，Berkeley: University of California Press, 1962, v.2, sec.76, p.617.

② *Correspondence*, ii, 419.

③ 《原理》，第546—603页。“十分之一”云云是约数，拉丁文原版和诸译本各有差。在前引《论世界体系》中，他用了全书78节中的20节讨论彗星。

④ 《原理》，第552—553页。

⑤ 1687年本479页作 *atque adeo sunt in perigaeis* [我用的是 William Dawson and Sons 影印本]，当为“近地点”，Cajori 译本，*op. cit.*, v.2, pp.496—497，也作“近地点”，所以中译不误。但以文意看，似当作“近日点”，Peter Lancaster-Brown, *Halley's comet & the Principia*, Suffolk, UK: Aries Press, 1986, pp.138—139，在讨论这一问题时正作“近日点”。牛顿何以用“近地点”一词，抑或是当时的习惯用法，无从考证，志此存疑。

⑥ 《原理》，第554页。

困难”，^①但他确实给出了切实的做法。

在完成了数学和预备知识以后，牛顿以 1680 年彗星为例，利用佛莱姆斯提德提供的以及他本人所作的观测数据，^②计算了彗星对指定恒星的相对位置。^③牛顿先是细致地抄录了佛氏 1680 年 12 月 12 日到次年 2 月 5 日的十四次观测资料，然后从中选择了 1680 年 12 月 21 日，1681 年 1 月 5 日和 25 日三次观测的数据，推算出了这颗彗星的轨道。^④“最后，为检验彗星是否确定在这一求出的轨道上运动”，牛顿把计算值和观测值作了比较。他选择了 1680 年 12 月 12 日等四次观测，用“作图法”求出了彗星坐标的经度。与实际的观测值相比，误差最大也只有 2'；符合得最好的是，1681 年 2 月 5 日的的数据，经度计算值是 17°，而观测值为 16°59 7/8'，这真的让我们想起了他二十年前说的“差不多密合”。^⑤稍后，哈雷进一步以数学方法对 16 组数据作了更细致的计算，经度符合最好的是 1 月 10 日 6 时 06 分的观测，误差仅为 10 弧秒；最大的误差也仅仅是略大于 3 弧分，出现在 12 月 12 日 4 时 46 分的一次观测中，而牛顿以作图得出的结果竟然还要好得多，不到一个弧分。

至此，牛顿完成了一套理论：从现象出发，构造了日心假说，并以此为基础，建立起了缜密自洽的推理，这一推理导出定量的结果，这一结果可以和观测数据比对，这一比对表明两厢一致，这种一致性常被看作是对最初假说的验证。和哥白尼相比，牛顿完成了一种物理理论，不仅描述了行星怎么运动，而且说明了它们为什么这样运动；和第谷相比，牛顿提供了一种数学的、可以付诸计算的方法，这一方法导致定量的、可供核对的结果；和开普勒相比，牛顿建立了一个以力为核心概念的物理学体系，给出了运动机制，解释了从现象中归纳出来的经验定律，

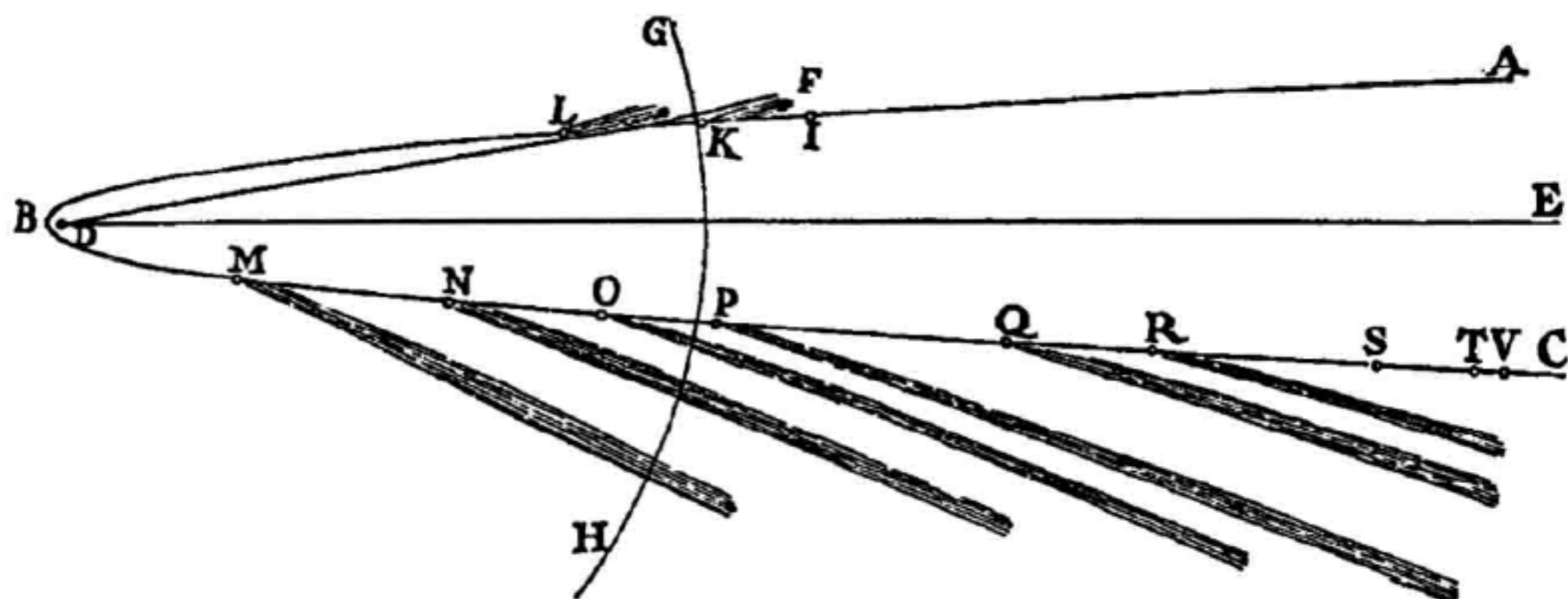
① 《原理》，第 561 页。

② 这是 Flamsteed 1681 年 3 月 7 日和 1685 年 9 月 26 日给牛顿的信，见 *Correspondence*, ii, 354 和 425。

③ 《原理》，第 564—581 页。

④ 《原理》，第 569 页。

⑤ 参见上文，第七章第二节。稍微详细一些的介绍见前引本书作者，《牛顿》，第三章第四节。



选自 *Principia*, trans. F. Cajori, Berkeley: University of California Press, 1962, p.519; 在1687年版中, 本图是一个插页, 置于496和497页之间, 以其尺度过大, 换用本图。在原图A处牛顿注明说“彗星轨道”、在E处有“轨道轴线”字样, 在D点他注明“太阳”, 弧线GH是地球轨道。此外, 在L处前后, 牛顿标出了“11月17日”、“11月21日”和“11月23日”等三个日期, 和本图不尽相同; 但在M处、N处、O处、P处和Q处标作“12月12日”、“12月21日”、“12月29日”、“1月5日”、“1月25日”, 和R处“2月5日”, 此图同; 最后在V处表有“3月5日”。至于Cajori版正文中有“11月4日, 1680年”云云, 不见于1687年版原图, 且原本也未标出此一特殊位置, 似为Cajori译注时所加; 当然本书也不拟作细致的版本考证, 以免枝蔓。从这张图可以看出, 牛顿此时已清楚认识到彗星是绕日运行的一种天体, 彗尾背向太阳, 而且1680年11月出现的和12月至次年初出现的是同一天体; 在图中还可以看出, 牛顿最初所说的, 彗星轨道“类似抛物线”云云, 很大程度上似为对彗星在可观察范围内的行经的一种叙述。

这一体系的基本定律涵盖大到天体小至尘埃、质量跨越 50 个数量级的物体。理论值和观测值的比对所表现出的一致，强有力地表明，最初对现象的归纳，以现象为基础的假说，对这一假设所作的物理分析，以及整个过程中时时运用的推理法则，全部为真。至此，如果理论最后相对于观测的误差是可以接受的，我们就可以认为，日心学说至此确立。

根据他的理论，牛顿不仅准确地描述了这颗在 1680 年人人都能看见的彗星，还追述了这个人人都为之震惊的现象的历史。牛顿引述哈雷说，在历史上“有一颗奇特的彗星以每 575 年的相等时间间隔出现过四次”，第一次是在公元前 44 年，在恺撒被刺以后的六个月。根据他们所计算的轨道，牛顿认定：^①

对这颗彗星[即 1680 年彗星]的观测，自始至终都与在刚才所说的轨道上计算出的彗星运动完全吻合，一如行星运动与由引力理论推算出的运动相吻合，这种一致性明白无误地显示出每次出现的都是同一颗彗星，而且它的轨道也已正确地得出。

牛顿在谈论距他 1700 年的一个天象。他没有见过恺撒，但他见到了这颗见过恺撒的彗星。问题是，你怎么知道 1680 年的这颗星就是公元前 44 年的那颗星呢？牛顿说这是因为 1680 年的观测结果和根据引力理论计算出来的那个前 44 年的轨道“相吻合”；“似曾相似燕归来”，靠的不是看上去“相似”，而是轨道参数所显示出的一致性，“这种一致性明白无误地”显示，这是“同一颗彗星”——“就是它”。

这是很有力的推理，但是还不是证明。你怎么知道你赖以得出结果的“引力理论”是对的呢？牛顿说，这是因为他曾用引力理论做过

^① 《原理》，第 574 页。

计算，结果和观测到的行星运动相吻合。那么你怎么知道行星理论是普适的，也可以用于彗星呢？牛顿说这是“推理法则”所规定的。但是，你怎么知道推理法则是正确的而且是普遍适用的呢？现在我们好像在成心叫板，有意吹毛求疵。但是，在17世纪80—90年代，日心学说还没有像现在这样被老师当作不需解释的教条要求学生背诵，学生也没有像现在这样把它当作老师不会进一步追问的真理来接受，问一问“为什么”好像也在情理之中；考以牛顿后来对于彗星的组成成分和彗星的物理性质的推测，包括彗星是“像是行星一样的坚硬、紧密、牢固和持久的星体”，^①可能提供“维持与我们同在的一切生命所最需要的”，“我们空气中最小最精细也是最有用的部分”^②的精气，这一诘难似乎也不见得一定就是毫无根据的胡搅蛮缠了。

牛顿在《原理·世界体系》中系统地回答了这些问题，其线索如下：他是从开普勒的 $3/2$ 次方定律出发的，把这些表述明确地称为“现象”。他进而假定，星辰的运动由“力”推动制约，这力的作用方式已经在前面第一篇中归纳为三条“公理”，即自明的原则。从这些现象，借助于一些普遍接受的“推理法则”，通过严谨的数学推导，他得出了力的平方反比关系。从这个关系他推出了椭圆轨道。从椭圆轨道推出了行星在某一指定时刻的位置，这一位置可以和实际的天文观测结果相比对。《原理》的第一个读者，哈雷，也是第一个清楚地认识到这一推理中所展现的逻辑的人。在收到书稿时，他写道：^③

我最近收到了那篇论述的最后一卷，标题是《论世界体系》，其中有得以规范所有天体运动的原则，以及对于月球运动的若干方面的理论，远地点进动还有节点的退行原因和定量的计算……他把彗星

① 《原理》，第581页。

② 《原理》，第589页。

③ 这是哈雷1687年4月9日写给John Wallis的信，见 *Correspondence*, ii, 475, n. 4, 原件藏 Bodleian Lib. MS. Lister 3, ff. 119—120。

理论作为全书的结尾，指出彗星的轨道非常接近抛物线形，并由此一结论进一步指出如何从观测数据得出彗星运行的抛物线，并且，以1680—1681年的大彗星为例，在说明晚间观测到的彗星的轨道以后，他发现11月间早上出现的彗星和就是那颗有长尾巴的，他的计算也与其运动相合，一如行星星表之于行星运动。

也就是说，如果观测结果和理论计算相合，则从最初的假设以下的、这一整套对世界体系的理解为真，进而可以被当作科学事实接受。

这一认识过程的合理性早在巴斯卡时代已被确认。我们还记得，^①巴斯卡根据液面的高度想到了“空气的海洋”的假说，其真实性并非一目了然。根据这一假说，他推测水银柱将随海拔高度变化。在稍后的实验中，这种变化果然被观测到，一如预期，于是可以认为，最初的认识即关于“空气的海洋”的假说为真，进而可以被当作科学事实接受。

让我们再仔细检查一遍牛顿推理的哲学基础。作为出发点的“现象”是为数不多的有限个事例，对基本概念的定义和相关的“公理”同样建立在有限的数量分析之上，把“现象”、“定义”和“公理”推广到普适的情形，我们上文提及的把对行星的分析推广到彗星就是一个显例，这一做法的基础是“推理法则”。而“推理法则”的合理性，如上所述，^②略同于“自然界是有规律的，而这一规律是为人所能理解的”这样一种形而上的陈述，这是自然科学探究的前提，不是结论，因而也不能在自然科学内部逻辑地论证。但是，当以这些法则为基础的研究反复地、无例外地给出了与实际观察观测相符的、预期的结果时，这一前提的可接受性就不断地被强调。虽然在最严格的意义上不能说是被证明，但作为一种信念，竟然渐渐地变成了探究自然的基石和出发

① 第六章第二节。

② 第七章第二节。

点了。

于是，验证从基本假说导出的可供观测的结论就成了证明这一假说为真的主要手段，但是对这种验证方法的理解并非一蹴而就地完成。早在 1669 年，胡克就曾考虑过通过观测发现视差来检验哥白尼的“地动”假说。他在稍后写道，“对于那些不能理解天文学的基础和原理的人说来，常人见解和偏见确实使[这种认证方法]显得荒诞无稽，他们很容易相信，说太阳静止不动就像是说太阳不发光一样……对于这些人，我不能假定他们能理解我们提出的理论的说服力……”^①他说的“我们的理论”是指“如果地球真的是在一个环绕太阳的轨道上运动……这一轨道在诸恒星中[应当有]可感知的视差”。^②为了寻求他想象中的视差，他打通了他住所从底层到三楼的楼板，安置了一款垂直的望远镜，对此他颇为得意，称之为“阿基米德”，取“我发现了”之意。他的想法是，通过垂直的望远镜，他可以确定他所在地的天顶位置，并由此获得一个“无穷远的”参照点。^③他选定的观测对象是天龙座 γ 星，即天棓四，视星等 2.42，近天龙座和武仙座的交界处。之所以选用天棓四，是因为该星恰距他的居所的天顶最近。^④他说他的实验对于哥白尼假说和第谷模型将是“判决性的”。

1669 年 7 月 6 日他作了第一次观测，发现天棓四距天顶“大约 $2'12''$ ”，^⑤稍后在 7 月 9 日和 8 月 6 日他又作了两次观测，“并无可感知的差别”。最后在当年的 10 月 21 日，尽管观测时在下午 3 点 17 分进行的，在“明亮的阳光下”，胡克报道说，他仍旧测出该星在天顶北 $1'48''$ 到 $50''$ 之间。换言之，10 月比在 7 月向北移动了大约 $23''$ 。这使

① *An attempt to prove ...*, *op. cit.*, p.1.

② *op. cit.*, p.11.

③ 当然垂直位置的望远镜还有其他技术上的优势，如避免了大气的折射和极大地减小了安装时可能造成的，作为参照点的天顶位置的误差。参见他的讨论，在上引书 pp.14—15。但以我们现在的主题，当然不宜追逐这些技术细节，以免枝蔓。

④ 天棓四即 Etamin，赤纬 $51^{\circ}30'$ ，胡克所在的伦敦市中心的 Gresham 学院天顶赤纬为 $51^{\circ}28.6'$ 。

⑤ *An Attempt to prove ...*, *op. cit.*, pp.23—24.

胡克大感满意，他得出结论说：^①

[由此可知]地球轨道对于天龙座顶上的恒星存在有可感知的视差，由此可以证实哥白尼体系在托勒密和第谷之上。

至此胡克好像觉得这项工作业已完成，加上他的望远镜镜片也在一个“倒霉的意外”中损坏了，他又说他身体不适，尽管继续活了34年，他并没有回到这一方面的研究上来。但他的工作确实引起了哈雷和英国皇家天文台的佛莱姆斯提德的极大兴趣，并继续这种对视差的追寻。1679年11月24日，胡克在给牛顿的信里提到，^②佛氏“通过后来的垂直观测证实了地球轨道[存在]视差”。1689—1690年间，佛莱姆斯提德也报道说，他观测到北极星的偏角在七月较之在十二月要小40”。

可能是受牛顿理论的激发，大约在胡克以后50年，英国天文学家布拉德雷和一个富有的业余天文学爱好者合作，^③重复了胡克的工作。和胡克不同，布拉德雷预先计算了可能的视差，改进了观测仪器，使其分辨率达到小于一弧秒。但是，1725年12月中旬的观测结果完全出乎他们的意外：他们发现这颗星确有位移，但移动的方向和大小全然不合于计算的预期。他们不仅没有能够重复出胡克报道的23”，而且发现了更为令人困惑的事实。事实上，也没有谁有可能重复出这个结果。我们知道，现代天文学测定的天龙座 γ 星的视差仅为0”.017，约略是布拉德雷仪器分辨率的五十分之一，这一精度远非18世纪的天文学仪器所能企及。后来，牛顿去世后的第二年，1728年，经过艰苦的努力，布拉德雷对观测结果提出了后来被称为光行差的解释。^④这当然是了不

^① *op. cit.*, p. 25.

^② *Correspondence*, ii, 298.

^③ James Bradley 和 Samuel Molyneux 1725—1743 年间测定天龙座 γ 星的工作记录在 *Miscellaneous Works and Correspondence of the Rev. James Bradley*, ..., S. P. Rigaud ed., Oxford, 1832.

^④ 发表于 *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 35 (1729) 637, 限于本书主题，我们对这一方向的工作不作追寻，以免枝蔓。

起的成就，但是对于我们所关心的日心体系，至少在当时人看来，并非自明，并没有提供如胡克一开始所说的“判决性”的论据。

尽管牛顿在他的关于日心体系的工作中并没有引入任意的可调环节，因而对计算也不可能做任何调整以“凑合”观测数据，一如托勒密以下所有天文学家多多少少采用的那样；尽管对1680年彗星轨道计算结果和观测的符合程度应该足以证明理论的真理性，整个学界还是希望看到理论能够提供一种预期，而不是事后的验证。随着观测水准的提高，越来越多的证据指向日心学说，表现出越来越强大的说服力。但是，直接的、判决性的、排他的证据，最终仍旧来自彗星。

哈雷是拳拳然服膺牛顿的理论的，在《原理》出版以后的数年里，他对彗星又作了进一步的发挥。1705年，发表《关于彗星的天文学的一些考虑》，这时他已是牛津大学的讲座教授了。他首先回顾了历史上的彗星，^①先是1472年出现的，拉哲蒙坦那观测过，但直至第谷，所有的天文学家都认为彗星是在“月下的”。第谷对彗星视差的研究表明，彗星在“月上”，进而得出关于彗星是在行星间运动的结论。然后是“睿智明慧的”开普勒，他有幸观测了两颗极大的彗星，其中一颗后来以他的名字命名。完成了历史回溯以后，哈雷转到“我们的时代”，1680年的大彗星，对此“在巴黎的皇家天文台和格林威治天文台”都作了很仔细的观测。最后——^②

伟大的几何学家，杰出的牛顿，在他的《自然哲学的数学原理》中证明，不仅是开普勒发现的，确实包含在我们这个行星系统中，而且

^① Edmund Halley, *A Synopsis of the Astronomy of Comets*, London: John Senex, 1705, p. 3. 这本书有电子版，颇利利用。留意哈雷的名的拼写和现在稍有不同。

^② *Ibid.*, p. 5; 哈雷最初提到牛顿算出的轨道是“抛物线形的”，他说彗星“频繁地回归”说明它们的轨道应当是“偏心率非常大的轨道”，见 p. 20，他后来又说“从椭圆形变成了抛物线形”，p. 22。彗星轨道的焦距的确非常之大，而观测点往往集中在轨道长轴的顶端近日点附近，而且牛顿也确实说过，“彗星轨道与抛物线如此接近，以至于以抛物线代替之没有明显误差”，见《原理》第三篇命题 40 推论 2，第 554 页。哈雷为什么采用这一说法，频频提到抛物线，不知是否有技术上的考量，志此存疑，以俟识者。

所有的和彗星相关的现象，都自然地遵循同一定律，他以先前讨论过的 1680 年彗星为例，充分地说明了这一点。

注意哈雷并没有把“都自然地遵循同一定律”看作是自然的当然的事，而把它列为牛顿的伟大之一；而他则是要把这一伟大细致地阐发出来。哈雷说他是在“亦步亦趋地追随如此伟大的一个人”，“在收集了关于这颗彗星的所有可能得到的观测资料以后”，做成了描述这颗彗星运动轨道的数值表。他的数值表非常精细，密密麻麻地占了 10 页，几乎是他的这本小册子的一半。他说他原来并不打算发表这些结果，因为还需要“适当的检查以保证[这些数据]尽可能地精确”，^①但是考虑到人的寿命有限，这些计算结果可能会丢失，作为“为了将来”的工作，他还是把计算公之于众。

当人认识到，在理性引导之下得到的结果将具有永久的价值的时候，就自然而然地出现了这种“为了将来”的考量。从更大的时间尺度，哈雷得到了一种更广阔的视野：^②

这些关于它们[案指彗星]运动的基本[数值]表的主要用途因此在于、同样是导致我编撰这些表格的意图在于，无论什么时候一颗新的彗星出现，通过对比这些数据，我们将有机会知道，这些[彗星]是不是以前出现过，并由此定出它的运行周期，轨道的轴，并预言它的回归。

既然断定彗星是一种周期运动的天体，那么，哈雷根据“对比这些数据”，确实发现了一颗彗星，“以前出现过”：1531 年阿皮阿诺观测过的彗星，和 1607 年开普勒观测过的，和他自己 1682 年观测过的，应

^① Edmund Halley, *A Synopsis of the Astronomy of Comets*, London: John Senex, 1705, p.18.

^② *Ibid.*, p.21.

该是同一颗星。“所有的参数相互符合，没有任何东西看上去和我的意见相左”。他又想到1456年的彗星，虽然没有详细的记录，但是，“我没法相信，这可能会和我刚才提到的[是同一颗彗星的说法]不一致”。哈雷说，这就可以推出，这颗彗星大概七十五六年回归一次。以此类推，哈雷说：^①

我敢大胆预言，它将于1758年回归。而且，如果这颗[彗星]果然回来了，我们就没有理由怀疑其他所有的[彗星]都必将回归。由此，天文学家就有了一个广阔的空间供他们驰骋，去发现这种为数众多的、伟大的、环绕它们共同中心运行的天体的数目，并推演出它们运动的规律。

“我敢大胆预言”！哈雷，这个滚滚尘埃中的渺小微贱的人，竟敢告诉上帝五十三年以后应该如何行事。这就给出了一个预期，人人拭目以待。尽管牛顿对于1680年彗星的计算已被证明和观测数据令人满意地一致，尽管我们说过这样的一致性足以支持假说和构造理论的前提的真理性，但是，我们要记得，所谓的理论和观测的高度的“一致”或“吻合”永远只是在一定程度上实现的，对于误差的容忍在很大程度上还是依赖于对理论的信心；另外，对于不习惯深思熟虑和没有充分准备的公众，这种高度戏剧性的预言及其证明仍然有其独到的科学史意义。^②

以回归周期来划分，这一颗星既不属于动辄百年以上的“长周期”彗星，又不是仅仅十数年的“短周期”彗星；76年恰似一个人的寿命，

^① Edmund Halley, *A Synopsis of the Astronomy of Comets*, London: John Senex, 1705, p.22.

^② 这一点在当时就已经被注意到，1759年，当哈雷彗星刚刚被观察到时就有人写道：“通过它[哈雷彗星]的出现，牛顿关于太阳系的理论展示为真理，令全世界信服；天文学家的信誉被充分地建立起来，远远高于无知的人的小聪明和嘲讽。” *The Gentleman's Magazine*, 29(1759)206.

一个人一生通常能见到它一次，但仅仅一次。就像他很准确地预见的那样，哈雷没有看见彗星的回归；尽管他得享当时罕见的高寿，他毕竟是个凡人，于1742年去世，而把验证的光荣留给了“将来的人”。这有些可悲；至于天象则不为所动，依旧照常运行。在距哈雷推算的日期三四年的时候，一群法国天文学家旧话重提，^①复算了这颗彗星的轨道，这时，距牛顿理论的提出几七十年，距哈雷的预言恰五十年。在这段时间里，数学天文学取得了长足的进步。无穷小变量的引进，分析学方法的发展，多元方程组特别是多体问题的求解，在技术上和牛顿哈雷时代几乎不可同日而语。这就使得数学天文学有可能更精密地计入土星木星之类质量巨大的行星对彗星回归的影响。考虑到这种后来被称作“摄动”的干扰因素，天文学家给出了更加准确的预言：彗星将于1759年4月13日通过近日点。^②

1758年12月圣诞节，德国业余天文学家帕利奇仍旧坐在他的观测点上。他是一个很投入的人，出生农户，但对自然科学抱有广泛的兴趣。去世时个人藏书多达3500余册，这甚至在今天仍可称丰富，何况在18世纪。^③他用的是焦距为7英尺的望远镜，而正是在这个圣诞节，他的勤奋使得他成了第一个观测到哈雷彗星回归的人。

以后的观测表明，彗星实际上是在1759年3月13日通过近日点的，比从计算得出的预测恰恰早了30天。对于一个周期长达几乎

^① 这是 Alexis-Claude Clairaut, Joseph Lalande, 和 Nicole-Reine Lepaute 的工作。参见，例如，Peter Lancaster Brown, *op. cit.*, pp.133—138。但他们的工作与其说是天文学的不如说是数学的。

^② 哈雷彗星的每一次回归都会引发对这一天象的极大的兴趣。借1910年回归，David Todd 撰写专书，*Halley's Comet*, New York: American Book Co., 向非专业读者介绍了这颗彗星的历史，1910年回归的方位，如何观察，哈雷其人，并附上了他自己撰写的《新天文学》关于彗星的一章；1986年哈雷彗星回归，Ben Mayer 出版的工作手册，*Halley's Comet Finder*, New York: Perigee, 1985, 在封面上就要读者“盯紧这个一辈子仅此一次的奇观”，按照彗星行将行经的星座，逐一解说介绍，甚至《纽约时报》也出版长达几250页的导读，Richard Flaste, *et al.*, *The New York Times Guide to the Return of Halley's Comet*, New York: Times Books, 1985; 更加专业化一些的讨论同时见于 D. W. Hughes, “The History of Halley's Comet”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series A, Mathematical and Physical Sciences, 323, No. 1572, (1987) 349—367. 对1758/1759回归的历史回顾，见 pp.362—363。

^③ Peter Lancaster Brown, *op. cit.*, p.313.

28 000天的彗星而言，30天的误差，仅仅略大于千分之一。这是天文学史上第一颗根据预测观察到的彗星，哈雷是第一个作出这种预测的人。因此，这颗星也例外地以哈雷，而不是以发现者命名。至此，日心学说的真理性得到了无可置疑的证明。这对于天文学来说，当然是划时代的；而对于人类对自然的认识来说，则更是清晰地提出来一种崭新的认识论。恰在《原理》出版一个世纪以后，1786年，康德发表了《自然科学的形而上学初始根源》，^①他写道：

因此，自然科学的形而上学初始根据就可以置于四章之下，其第一章撇开运动物的一切质，把运动当作一个纯粹的量而根据量的组合来考察它，可以被称为运动学；第二章把运动当作属于物质的质，在一种源始的动力的名目下来考察它，因而叫做动力学；第三章把具有这种质的物质通过它自己的相对运动在关系中来考察它，并出现在力学的名目下；第四章仅仅与表象方式或模态相关来规定物质的运动和静止，从而把它们规定为外部感官的显象，并被称为现象学。

从哥白尼到牛顿的天文学和物理学的发展显然提示了这样的认识论：从哥氏的数量关系到开普勒力图追寻的“源始的动力”到牛顿建立的力和加速度的关系，我们看见了对自然探究的一种模式。我们当然知道，进一步的机械的对比不仅会因为大大简化了历史而显得浅薄，而且会因为大大简化了哲学而显得愚蠢。尽管如此，科学革命，特别是日心学说的建立，对于康德的影响应该是显而易见的。我们在这儿不自量力地谈论哲学，并不是想要图解科学革命对于康德的意义，而是要强调，当天文学在对太阳系结构的探究延伸到我们的感官所能直接感知的范围之外、当天文学不再是简单地归纳感官提供的影像时，从笛卡

^① 《康德著作全集》，第4卷，李秋零译，中国人民大学出版社2005年版，第485页。

尔到休谟到康德，这种研究所牵涉的认识论的问题就渐次凸显，如影随形，而康德关于“外部感官的显象”的困惑，或者说人的认识如何洞察自然，这种认识的真理性和如何保证，就一直表现为哲学家们面对的重大课题。直到大约六十年后，马克思在回顾德国古典哲学的发展时，作了解答：^①

人的思维是否具有客观的真理性和力量，这并不是一个理论的问题，而是一个实践的问题。人应该在实践中证明自己思维的真理性和力量，及自己思维的现实性和力量，亦即自己思维的此岸性。关于离开实践的思维是否具有现实性的争论，是一个纯粹经院哲学的问题。

当哈雷彗星在 1758/1759 年冬天寒冷的夜空中缓缓移动、俯瞰这个世界的时候，世界感受到的不是惊讶，而是一种深刻的庄严。“知识成系统的整体……就已经可以叫做科学了，而如果知识在一个体系中的联结是根据与后果的联系，它就甚至可以叫作理性的科学了。”^②在那时候，欧陆学人普遍认为上帝创造了宇宙和人，并赋以理性；而现在，就像一道光，人的理性竟然直达苍穹，逼近神而和神合为一体。这就确立了人的理性的至高无上的地位，这一地位证实了人的尊严和力量。这就标志性地表明，人的思维，即基于理性的理解力和想象力，已经把世界连同它的主宰者带入了一个全新的时代。

和哈雷彗星回归约略同时，1755 年，31 岁的康德发表了一个小册子，题为《自然界通史与天体理论：根据牛顿定理，试论整个宇宙的结构及其力学的起源》，提出了一套关于太阳系形成的理论，史称“星云

^① 《关于费尔巴哈的提纲》，《马克思恩格斯全集》，第 3 卷，人民出版社 1974 年版，第 7 页。其中“客观的”原文是 *gegenständlich*，在本文的第一段中也译为“对象性的”。

^② 上引《康德著作全集》，第 4 卷，第 477 页。

学说”。在结束他的讨论时，这个素称冷峻、了无情感的哲学家充满激情地写道：^①

在晴朗之夜，仰望星空，就会获得一种愉快，这种愉快只有高尚的心灵才能体会出来。在万籁无声和感官安静的时候，不朽精神的潜在认识能力就会以一种神秘的语言，向我们暗示一些尚未展开的概念，这些概念只能意会，不能言传。

^① 上海外国自然科学哲学著作编译组译，《宇宙发展史概论》，上海人民出版社1972年版，第225页，同见上引《康德著作全集》，第1卷，342页。简单的介绍见戴文赛，《太阳系演化学》，上册，上海科技出版社1979年版，113—115页，原书全名从戴著，在113页。

对引用文献的附加说明

本书使用的文献常见的缩写和略写以字母顺序胪列说明如下,以方便读者进一步查阅:有中译的取第一字的拼音,依原文引用的,取西文。

- Add MS 3996, 3975 牛顿的笔记手稿,刊本见 *Certain Philosophical Questions*, Cambridge: Cambridge University Press, J. E. McGurire and Martin Tamny ed., 1983。
- Almagest* 或《至大论》 Ptolemy, *Almagest*, G. J. Toomer 据 J. L. Heiberg 的拉丁文本 (2 vols, Leipzig: Teubner, 1898) 英译, Princeton: Princeton University Press, 1998. 书名中译从李珣等译丹皮尔《科学史》,北京:人民大学出版社,2010。
- An Attempt to prove ...* Robert Hooke, *An Attempt to prove the Motion of the Earth from Observation*, London: T. R. for John Martyr, 1674, 有电子版;有些段落有张卜天中译,在柯瓦雷《牛顿研究》中。
- Baumgardt Carola Baumgardt, *Johannes Kepler: Life and Letters*, New York: Philosophical Library, 1951.
- Casper Max Caspar, *Kepler*, trans. ed. by Doris Hellman, London: Abelard-Schuman, 1959, 1993年再版, Owen Gingerich 序本,附书目, New York: Dover Publications。

对引用文献的附加说明

- Commentariolus* 或《提要》 *Nicolai Copernici de hypothesibus motuum caelestium a se constitutes commentariolus*, 原刊 *Mittheilungen des Copernicus-Vereins für Wissenschaft und Kunst zu Thorn*, i, 1878, 5—17, Maximilian Curtze ed.; 有 Edward Rosen 英译, *Osiris*, 3(1937) 123—141, 有 Noel M. Swerdlow 英译, “A Brief Description by Nicolas Copernicus concerning the Models of the Motions of the Heavens that He Invented,” *Proceedings of the American Philosophical Society*, 117(1973) 423—511。
- Conversation* (Kepler) Johannes Kepler, *Conversation with the Sideral messenger, recently sent to Mankind by Galileo Galilei*, trans. Edward Rosen, New York, Johnson Reprint Corp., 1965.
- Correspondence* (Newton) *The correspondence of Isaac Newton*, H. W. Turnbull ed., Cambridge: Published for the Royal Society at the University Press, 1959—1977.
- Discoveries and Opinions* Stillman Drake, *Discoveries and Opinions of Galileo*, New York: Doubleday, 1957, 包括《星际信使》节选和 1615 年伽利略给克瑞斯蒂安娜大公爵夫人的信, 1613 年关于太阳黑子的信, 以及 1623 年的《试金者》。
- DSB* *Dictionary of Scientific Biography*, Charles Gillispie ed., New York: Scribner & Sons, 1970—1980.

Maurice A. Finocchiaro

Galileo Affair: A Document History, Maurice A. Finocchiaro trans. and ed., Berkeley: University of California Press, 1989, 这是伽利略案的档案汇编。

《光学》

《牛顿光学》，周岳明等译，北京大学出版社2011年版，原书 *Optice sive de reflexionibus, refractionibus, inflexionibus & coloribus lucis libri tres*, Londini: impensis Sam. Smith & Benj. Walford, 1706, 有电子版，有英译 *Opticks or, a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light*, London: printed for Sam. Smith, and Benj. Walford, 1704, 但本书频频引用的“疑问”部分，后来迭有增补。

《两大世界体系》

伽利略《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》，周熙良中译，北京大学出版社，2007年；另有外国自然科学哲学著作编译组1971年译本，当为周译所本。原文意大利文，*Dialogo di Galileo Galilei Linceo matematico sopraordinario dello studio di Pisa. E filosofo, e matematico primario del serenissimo gr. duca di Toscan*, 1632。拉丁译本由德国人 Matthias Bernegger 在1635年完成，是为 *Systema cosmicum*。有 Thomas Salusbury 1661年英译本，*Dialogue on the great world systems*, Giorgio de Santillana 1953年据此一译本修订，Chicago: University of Chicago Press 出版；有 Stillman Drake 英译本，*Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*, Berkeley: University of California Press, 1967, 以后1981年，1991年，2001年迭有重印。

对引用文献的附加说明

Le monde 或《论世界》

Rene Decartes, *Le monde, ou traite de la lumiere*, 写于 1629—1633 年, 有 M. S. Mahoney 的法英对照本, *Le monde*, New York: Abaris, 1979; 另有 John Cottingham 等英译, 在 *The Philosophical Writings of Descartes*, trans. John Cottingham, Robert Stoothoff, and Dugald Murdoch, Cambridge: Cambridge University Press, 1985, v. 1; Stephen Gaukroger 的英译本 *The World and Other Writings*, New York: Cambridge University Press, 1998。本书引文常以 Mahoney 对照本为母本。

Mysterium Cosmographicum

Johannes Kepler, *Mysterium Cosmographicum*, 1621. 这本书的 1596 年原版 *Mysterium Cosmographicum, Prodromus dissertationvm cosmographicarvm, continens mysterivm cosmographicvm de admirabili proportione orbium coelestium*, 有电子版, 但开氏在再版时作了修订, 并添加了注, 所以学界常采用 1621 年版。这一版有 A. M. Duncan 的拉英对照注释本, New York: Abaris Books, 1981, 书前有 E. J. Aiton 的长篇导读。

Narratio Prima 或《初论》

原是 Joachim Rheticus 1539 年 9 月 23 日写给 John Schoner 的信, 又称作 *Narratio Prima*, 即《初论》; 英译在 Edward Rosen, *Three Copernican Treatises*, New York: Dover, 1939, rpt. 1959, pp. 107—196。

- New Astronomy* 或《新天文学》(Kepler) *Astronomia nova, seu, Physica coelestis microform: tradita commentariis de motibus stellae Martis, ex observationibus G. V. Tychoonis Brahe, jussu & sumptibus Rvdolphi II., plurimum annorum pertinaci studio elaborata Pragae, 1609*, 这本书有电子版, 引用页次从英译本 *Johannes Kepler New Astronomy*, trans. William H. Donahue, Cambridge: Cambridge University Press, 1992。
- Opere* (Galileo) *Le opere di Galileo Galilei*, Edizione nazionale, Firenze, Tip. di G. Barbèra, 1890—1909, 20 vols., 这就是所谓的“国家版”, 有1964年新版, Nuova ristampa。
- Pascal 或《巴斯卡物理论文集》 *The physical treatises of Pascal: the equilibrium of liquids and the weight of the mass of the air*, trans. I. H. B. and A. G. H. Spiers, New York: Columbia University Press, 1937.
- Posthumous Works* (Robert Hooke) Robert Hooke, *The Posthumous Works of Robert Hooke containing his Cutlerian Lectures, and Other Discourses*, London, Richard Waller, ed., Printed by S. Smith and B. Walford, 1705, 本书有电子版。
- Regesta* *Regesta Copernicana*, Marian Biskup ed., Wroclaw: Ossolineum, 1973, 这是哥白尼有关的资料, 特别是档案资料的汇编, 本书注释中常用这一汇编的编号系统标注所利用的档案, 必要时也加注原始馆藏信息。

Tycho Brahe, trans. Hans
Raeder

Tycho Brahe, *Astronomiae instrurate mechanica*, Wandesburgi, 1598, 这本书有现代英译本, *Tycho Brahe's description of his instruments and scientific work as given in Astronomiae instrurate mechanica*, trans. Hans Raeder, Elis Stromgren and Bengt Stromgren, København, I Kommission hos E. Munksgaard, 1946。

《星际信使》

Sidereus nuncius, 1610年3月出版, 这本书的1653年版, Londini: Typis Jacobi Flesher, prostat apud Cornelium Bee..., 1653, 有电子版; 早年 Stillman Drake 英译作 *Starry messenger*, 在上引 *Discoveries and Opinions of Galileo* 中; 同一译者后来又有重译笺注本, 是为 *Telescopes, Tides, and Tactics: a Galilean dialogue about the Starry Messenger and systems of the world*, Chicago: University of Chicago Press, 1983; 另有 Albert van Helden 译本, *Sidereus nuncius, or, The Sidereal messenger*, Chicago: University of Chicago Press, 1989; William R. Shea 译本 *Galileo's Sidereus nuncius, or, A sidereal message*, Sagamore Beach: Science History Publications, 2009。

亚里士多德

亚里士多德著作通行用的 Bekker 标注, *Aristotelis Opera edidit Academia Regia Borussica*, Immanuel Bekker's Royal Prussian Academy edition, Berlin, 1831—1870; 中译据译者分别标注。

《原理》

牛顿《自然哲学的数学原理》，王克迪译，武汉出版社/陕西人民出版社2001年版，另有赵振江译，北京商务印书馆2006年版，但本书未及采用；初版 *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, Londoni: Jussu Societas Regiæ ac typis Josephi Streater, 1687, 有近代影印版，有电子版；有 Florian Cajori 英译 *Sir Isaac Newton's Mathematical principles of natural philosophy and his System of the world*, Berkeley: University of California press, 1934, 稍微细致一些的版本介绍见本书作者《牛顿》，台北东大图书公司2000年版，153—157页。

《运行论》或 *De rev.*

De revolutionibus orbium coelestium, libri VI: Nuremberg, 1543, commentary by Owen Gingerich, Palo Alto, CA: Octavo, 1999, 有电子版。英译有 Charles Glenn Wallis, Amherst, NY: Prometheus Books, 1995, 有 Edward Rosen, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1992, 本书常用叶式辉中译本，北京大学出版社2006年版；另有姚守国译本，南京：江苏人民出版社，2011；张卜天译本，台北：大块文化，2005，未及利用。

地名人名中译对照

A

Abano Lake	阿巴诺湖
Aesculapius	爱斯克拉里皮亚斯, 希腊神, 主医药和康复
al-Battani, Ibn Jabir	巴特尼, 约 869—929, 阿拉伯天文学家
al-Bitruji of Seville	比特鲁吉, 1150—1200, 阿拉伯天文学家
Alcinous	阿尔基诺斯, 二世纪希腊学者
Alfonso XI	阿方索十一世, 西班牙王, 1311—1350
al-Hajjaj ibn Matar	伊本马塔尔
al-Haytham	黑森, 965—1038, 阿拉伯天文学家
Allain(亦作 Alan)	阿兰, 1128—1203, 法国教父
al-Nayrizi	内瑞兹, 阿拉伯学者, 十世纪人
al-Urdi, Mu' ayyad al-Din	乌尔迪, d. 1266, 阿拉伯天文学家
Andreae, Johannes	约翰安德鲁, 1586—1654, 德国神学家
Anne Schilling	安娜西琳, 哥白尼的女佣
Antioch	安提阿, 西亚地名
Apiano, Peter	彼得阿皮阿诺, 1495—1552, 德国天文学家
Aristarchus of Samos	萨摩斯的阿里斯它喀斯, 前 310—前 230
Arzachel (Al-Zarqali, Ibn Zarqala)	阿扎克尔, 1029—1087, 阿拉伯天文学家
Augsburg	奥格斯堡, 德国地名
az-Zarqal	扎卡尔
B	
Bad Doberan	巴特德伯兰, 德国地名
Barberini, Maffeo	巴尔班瑞尼, 1568—1685, 即乌尔班八世
Baronius, Cesare	巴若尼斯, 1538—1607, 枢机
Bartsch, Jakob	巴兹克, 1600—1633, 天文学家, 开普勒的女婿

Basil	巴西尔, 330—379, 拉丁教父
Bedini	班蒂尼
Bellarmino, Robert	贝拉明, 1542—1621, 教廷枢机
Benatky	班纳特克, 地名, 在布拉格郊外
Bentley, Richard	本特利, 1662—1742, 英国学者
Bessarion, Basilios	巴萨瑞昂, 1403—1472
Birkenmajer, Ludwik A.	博肯马吉尔, 波兰学者, 1855—1929
Bodin, Jean	热昂鲍丁, 1529—1596, 法国政论家
Bologna	波罗纳, 意大利地名
Boyle, Robert	波义耳, 1627—1691, 英国科学家
Bradley, James	布拉德雷, 1693—1762, 英国天文学家
Brahe, Tycho	第谷, 1546—1600
Browne, Thomas	托玛斯布朗, 1605—1682, 英国学者
Brozek, John	布鲁扎克, 波兰学者
Brudzewski, Albert	布鲁泽夫斯基, 1445—1497
Bullialdus, Ismael	布里阿德, 1605—1694, 法国天文学家
Buonamici, Giovanfrancesco	布奥纳米奇, 1592—1669, 塔斯坎驻罗马大使的秘书
Burgi, Jost	伯奇, 1552—1632, 鲁道夫二世宫廷钟表匠
C	
Caccini, Tommaso	卡西尼, 1574—1648, 多米尼格会修士
Calippus	卡利普斯, 前 370—前 300, 希腊天文学家
Campanella, Tommaso	堪珀奈拉, 1568—1639
Campanus	坎帕纳斯
Carion, Johann	卡瑞昂, 1499—1537, 德国星象家
Casimir	卡西米尔, 波兰王
Caspar, Max	卡斯巴尔, 1880—1956, 开普勒研究者
Castelli, Benedetto	卡斯泰利, 1578—1643, 意大利天文学家
Charleton, Walter	查尔腾, 1619—1707, 英王御医

地名人名中译对照

Christina of Lorraine	克瑞斯蒂安娜, 1565—1637, 大公爵夫人
Chrysostom, John	约翰克里索斯敦, 347—407, 希腊教父
Chytraeus, David	1530—1600
Citeaux Abby	西铎修道院
Clavius, Christopher	克拉维乌斯, 1538—1612, 耶稣会教士
Constantinople	康斯坦丁那普尔, 西亚地名
Copernicus, Nicolaus	哥白尼, 1476—1543
Cosimo II, de Medici	考斯莫麦迪奇, 1590—1621
Cracow	科拉科夫, 波兰地名
Cremonini, Cesare	克兰默尼尼, 1550—1631, 意大利哲学家
Cureus, Joachim	科瑞乌斯, 1532—1573
Curtze, Maximilian	柯泽, 德国学者
D	
Dancey, Charles	查理丹瑟, 法国驻丹麦大使, 第谷的密友
Dantiscus, John	旦梯斯库斯, 1485—1548, Warmia 和 Culm 地方的主教
Dee, John	江迪, 1529—1609, 隐秘术士
Digges, Thomas	迪格斯, 1546—1595, 英国学者
Dijkesterhuis, E.J.	戴克斯特霍伊斯, 1892—1965, 科学史家
Dominico Maria di Novara	多米尼柯马力亚, 1454—1504
Dreyer, John L. Emil	椎伊尔, 1852—1926, 英国天文学史家
Duhem, Pierre	迪昂, 1861—1916, 科学史家
E	
Elblag	埃尔布隆格, 波兰地名
Erasmus of Rotterdam	伊拉斯谟, 1466—1536
Eudoxus of Cnidos	欧多克索, 前 408—前 355, 希腊数学家
F	
Fabricius, David	大卫法布里西乌斯, 1564—1617
Ferber, Maurice	弗伯尔

Ferdinand II	斐迪南二世, 1578—1637
Flamsteed, John	佛莱姆斯提德, 1646—1719, 英国天文学家
Fontana, Valentine	冯塔纳
Frauenburg	弗隆堡, 波兰地名
Frederick II	菲特烈二世, 1534—1588, 丹麦王
Freundt, Achatius	弗恩德特, 哥白尼的友人
Fugger, Anthony	傅格尔, 奥斯堡的一个富商
G	
Galilei, Galileo	伽利略, 1564—1642
Gassendi, Pierre	伽桑狄, 1592—1655, 法国哲学家
Gasser, Achilles Pirminius	加瑟, 1505—1577
Gemma, Cornelius	考纳利乌斯吉玛, 1535—1578, Frisius 之子
Gemma, Frisius	吉玛, 1508—1555, 天文学家
Genoa	热那亚, 意大利地名
George of Trebizond	崔比宗德的乔治
Gian Galeazzo	江伽莱阿佐
Giese, Tiedemann	提埃德曼盖尔斯, 1480—1550
Gingerich, Owen	金格里奇, 科学史家, 1930—
Giovanni	乔瓦尼, 意大利人名, 多处
Giovannidegli Organi	奥尔伽尼, 1360—1426
Grassi, Horatio	格拉西, 1583—1654, 罗马学院数学教授
H	
Hafenreffer, Matthias	哈芬瑞富尔, 1561—1619, 图宾根大学教授, 路德派教士
Hagecius	海奇西乌斯, 1525—1600
Hall, A. Rupert	霍尔, 英国科学史家, 1920—2009
Halley, Edmond	哈雷, 1656—1742, 英国天文学家
Harriot, Thomas	托马斯哈瑞特, 1560—1621, 英国学者
Herberstein,	赫博斯坦, 1594—1663
Sigismund von	

Hertfordshire	赫福特郡, 英格兰地名
Hevelius, Johann	赫菲利乌兹, 1611—1687, 波兰学者
Hilfstein, Erna	希尔夫斯坦, 1924—2003, 哥白尼研究者
Hipparchus	伊巴谷, 前 161—前 126, 希腊天文学家
Hooke, Robert	胡克, 1635—1703, 英国科学家
Huygens, Christiaan	惠更斯, 1629—1695, 荷兰科学家
I	
Ibn Aflah al-Maghribi	玛格瑞比
Ibn al-Shatir	伊本萨蒂尔, d. 1375, 阿拉伯天文学家
Ibn Tusi	伊本图西, d. 1214, 阿拉伯天文学家
Ignatius	伊格内修斯, 40—107?, 希腊神父
Inchofer, Melchior	英考弗, 1584—1648, 罗马天主教耶稣会员
Irenaeus	爱任纽, 130—202, 教父
Ishaq ibn Hunayn	伊本胡纳因
J	
Jabir ibn Aflah	阿弗拉, 1100—1150
Jabir ibn Haiyan, 又作Geber	扎贝尔, 约 721—815, 阿拉伯数学家
Jacopo de' Dondi	雅高保德东蒂, 1290—1359
Jagiello	雅吉埃洛, 波兰王朝
Johannes Pratensis	普拉坦西斯, d. 1567, 哥本哈根大学教授
K	
Kelly, Edward	凯利, 1555—1597, 隐秘术士
Kepler, Johannes	开普勒, 1571—1630
Koestler, Arthur	考埃斯特勒, 1905—1983, 作家
Kurz, Schastian	库兹
L	
Lateran Palace	拉特朗宫, 罗马教廷的一座重要的宫殿
Libri, Giulio	利卜瑞
Limnaeus, Georg	林纳乌斯

Lipperhey, Hans	利普瑞，生于 1570 年前后，荷兰眼镜工匠
Longberg, Christen Sorensen, aka. Longomontanus	朗格蒙塔纳，1562—1647，第谷的学生和助手
Lund	伦德，瑞典地名
M	
Maculano, Vincenzo	马库拉诺，1578—1667，耶稣会神父，枢机
Marlowe, Christopher	马娄，1564—1593，英国诗人
Mastlin, Michael	梅斯特林，1550—1631，开普勒的老师
Matthew of Miechow	马修，1457—1523
Melanchthon, Philip	菲利普马兰克顿，1497—1560，德国人文学者
Milich, Jacob	米利奇，1501—1559，维腾堡大学教授
N	
Nikolaus von Kadan	尼克拉斯
O	
Oresme, Nicole	奥瑞姆，1320—1382
Origgi, Agostino	奥瑞奇，教廷神学家，教皇的顾问
Osiander, Andreas	奥西安德，1498—1552，德国新教教士
Otho, L. Valentine	瓦伦廷奥多，1550—1605
P	
Padua	帕多瓦，意大利地名
Palitzsch, Johann Georg	帕利奇，1723—1788，德国天文学家
Paracelsus	帕拉塞尔苏斯，1493—1541，隐秘科学学者
Pascal, Blaise	巴斯卡，1623—1662
Pasqualigo, Zaccaria	帕斯夸利高，1600—1664，罗马大学教授
Perier, Florin	比里埃，巴斯卡的姐夫
Petrarch, Francesco	佩特拉克，1304—1374，意大利人文学者
Petreius, John	佩特里乌斯，纽伦堡出版商
Peucer, Casper	卡斯珀波瑟，1525—1602
Peurbach, Georg von	波尔巴赫，1423—1461

Philippe de Maisieres	菲力普梅西埃
Pisa	比萨, 意大利地名
Poliziano, Angelo	波利兹亚诺, 1454—1494
Polycarp	波利卡普, 69—155
Praetorius, Johannes	普瑞多瑞乌斯, 1537—1616, 波希米亚数学家, 天文学家
Prowe, Leopold	普瓦, 1821—1887, 哥白尼传作者
R	
Ramus, Petrus	佩德鲁拉摩斯, 1515—1572
Regiomontanus, aka. Johannes Müller von Königsberg	拉哲蒙坦那, 1436—1476, 天文学家
Reich, Felix	芮克, 哥白尼所在教区的教士, d. 1539
Reinhold, Erasmus	瑞因霍德, 1511—1553, 维腾堡天文学家
Rheticus, Joachim	雷蒂库斯, 1514—1574, 哥白尼的学生
Riccioli, Giovanni Battista	瑞奇欧里, 1598—1671, 意大利学者
Richard of Wallingford	沃林福特的理查德, 1292—1336
River Arno	阿诺河, 意大利地名
Roberts, Victor	罗伯兹, 科学史家
Rosen, Edward	罗森, 1906—1985, 科学史家
Rosenkrantz, Friedrich	罗森科冉兹, 第谷的远亲
Rostock	罗斯托克, 德国地名
Rothmann, Christopher	茹斯曼, 约 1550—1600, 德国数学家
Rozmberk, Peter Vok	茹兹穆伯克, 1539—1611, 第谷的朋友
r-Rijal, Ali ibn abi	拉贾
Rudolph	鲁道夫, 罗马帝国皇帝
S	
Sacrobosco	萨克罗博斯科, 1195—1256, 13 世纪学者
Saliba, George	萨里巴, 1940— , 科学史家
Sandivogius of Czechel	山迪弗吉斯, 1410—1476, 捷克学者

Sascerides, Gellius	萨斯塞瑞蒂斯, 1562—1612, 第谷的学生
Scaliger, Julius Caesar	斯卡利吉尔, 1484—1558
Scheiner, Christopher	夏纳, 1573—1650, 耶稣会教士, 天文学家
Schonberg, Nicholas	施翁伯格, 1472—1537, 天主教枢机
Schoner, Johannes	舒纳, 1477—1547, 德国数学家
Schooten, Frans van, fils	斯库腾, 1615—1660, 法国数学家
Schultz, Bartholomaeus	舒尔兹, 1540—1614, 第谷的同学
Scultetus	
Sculteti, Alessandro	斯库尔特梯, 哥白尼的同事
Shirazi	西拉兹, 13 世纪波斯天文学家
Sigismund I	西格蒙德一世, 1467—1548, 波兰国王
Simocatta, Theophylactus	西门卡塔, 7 世纪拜占庭诗人, 历史学者
Spengler, Lazarus	斯班格勒, 1479—1534, 新教领袖
Spina, Bartolomeo	斯比纳, 教廷检查官, 1475—1546
Stantini, Antonio	斯坦蒂尼, 1577 年生, 意大利望远镜制作者
Starowolski, Szymon	斯塔若夫尔斯基, 1588—1656, 波兰作家
Stralsund	施特拉尔松德, 德国地名
Strigel, Victorinus	斯椎格尔, 1524—1569, 路德派教士
Swerdlow, Neol	斯瓦德娄, 1943—, 科学史家
T	
Talon, Omer	塔隆, 1510—1562
Tengnagel, Franz	田纳吉尔, 1576—1622, 第谷的女婿和助手
Tertullian, Quintus	德尔图良, 160—220, 罗马教会神父
Thabit ibn Qurra	夸拉, 836—901, 阿拉伯天文学家
Theophilus	西奥弗勒斯
Thierry de Chartres	坦瑞, ? —1155?, 法国哲学家
Thorndike, Lynn	桑达克, 1882—1965, 科学史家
Timocharis of Alexandria	铁木卡瑞斯, 前 320—前 260
Tolosani, Giovanni Maria	托洛萨尼, 教廷检查官, 1471—1549

地名人名中译对照

Tolun	土伦，波兰城市
Torricelli, Evangelista	托利切里，1608—1647，意大利物理学家
Tusi	图西，1201—1274，阿拉伯数学家
U	
Uppsala	乌普萨拉，地名，在今日瑞典
Uraniborg	尤瑞尼堡，第谷的观象台
Ursus, Nicolaus Reymers,	乌尔瑟斯，1551—1600，丹麦天文学家，原名 Nicolaus Reimers Bär
V	
Vedel, Ander Sorensen	凡德尔，1542—1616，第谷的私人教师
Visconti	维斯孔蒂，米兰的一个家族
Vistula	维斯图拉河，波兰地名
W	
Wackher, Johann Matthaus	瓦克，1550—1619，开普勒的友人
Wapowski, Bernard	瓦珀夫斯基，1450—1535
Warmia	瓦米亚，波兰地名，哥白尼所在的教区
Watzenrode, Lucas	卢卡斯瓦臣罗德，1447—1512
Werner, John	约翰瓦纳，1468—1528
Witelo	维提罗，约 1230—1314，波兰学者
Wittenberg	维腾堡，德国地名
Wren, Christopher	瑞恩，1632—1723，英国学者
Z	
Zelandino, Guglielmo	泽兰蒂诺，意大利钟表匠