

第一章

天上的动力学与地上的力学

17 世纪来临之际，哥白尼的天文学革命已过去了 50 多个年头。或许更确切的说法是，哥白尼的《天体运行论》（*De revolutionibus orbium coelestium*, 1543）一书已面世 50 余年。这本书是否引起了一场革命还有待确定，说它引起了一场革命，那是因为：在 1600 年刚刚度过了他们最初的一段科学生涯的两个人——开普勒和伽利略将成为这场革命的主要推动者。约翰尼斯·开普勒（Johannes Kepler, 1571—1630 年）和伽利略·伽利莱（Galileo Galilei, 1564—1642）都承认哥白尼是他们的导师，且都献身于巩固哥白尼开创的天文学理论革命。尽管他们在各自的贡献中都以哥白尼不大可能接受的方式修改了哥白尼主义，但他们都为巩固这场革命作出了实质性的贡献。哥白尼本人曾在亚里士多德科学之公认框架的范围内就行星理论作过有限的改革，但到开普勒和伽利略时，有限的改革成为激进的革命，而且，17 世纪里的那些奠定了现代科学结构基础的工作，就在于探求开普勒和伽利略开启的各种问题。理智史并非总能均匀地划分成与日历吻合的节目单，科学家们亦不关心把他们的工作划分为与学术科目相一致的一些单位。然而，17 世纪的曙光正好和科学新纪元的曙光同步。

开普勒最初登上其职业舞台还是在 4 年以前,即 1596 年,他出版了《宇宙的奥秘》(Cosmographic Mystery)。在 20 世纪人们眼中,这本书甚至比其书名所显示的更神秘,但当对它研究时,其神秘性正体现着开普勒工作的许多特征。它公开承认哥白尼学说,并从行星的数目入手证明日心说理论的正确性。在托勒密体系中月亮被看成是一颗行星,哥白尼体系则少一颗行星,即只有六颗而不是七颗行星。开普勒试图证明上帝何以选择创造一个有六颗行星的宇宙亦即日心说宇宙。上帝的选择,结果弄清楚是,存在五种、并且只有五种规则立方体。如果一个立方体与一个半径为土星半径的球体内接,那么与该立方体再内接的球体半径将是木星的半径,余者类推。五个规则立方体决定了六个球体之间的空间,并且因为只存在着五种规则的立方体,所以只可能存在六颗行星。《宇宙的奥秘》所探究的问题并不是现代科学所关注的那类问题。正因为此原因,这本书更清楚地揭示了开普勒赖以进行其天文学工作的基本假定。就像在他之前的哥白尼一样,开普勒深深地受惠于文艺复兴时期新柏拉图主义,并且吸纳了宇宙按几何原理建构的原理。开普勒比哥白尼出生晚两代,他有条件正确地看到哥白尼体系何以未能达到他们两人共同相信的几何简单性理想。按照新柏拉图主义原理,开普勒的工作可说是哥白尼天文学的完善化。

开普勒同样确信,天文学理论绝不仅仅是说明观察现象的一套数学方法,它也必须依赖于合理的物理学原理,从导致行星运动的原因推知行星的运动。他在其最杰出的著作上冠以《建基于原因之上的新天文学,或基于火星运动研究的天体物理学》(New Astronomy Founded on Causes, or Celestial Physics Expounded in a Commentary on the Movements of Mars)的标题。亚里士多德(Aristotle)时代以来,即在开普勒之前的两千年里,已有一致的看法,具体地讲天是由水晶球构成的。天界被认为是完美的并具有不易性,这必然要求有一种不同于组成尘世中易腐坏的万物之四种元素的物质,而且球体的绕轴旋

转，即天的被允许的一种运动，对应于完美的圆周运动，人们希望天文学家由这类圆周运动建构他们的理论。哥白尼著作标题所说的“天球”(Celestial Spheres)即是同样的水晶球。然而，开普勒确信水晶球根本不存在。第谷·布拉埃(Tycho Brahe, 1546—1601)和其他人对1572年的新星与1577年的彗星的仔细观察都证明这两者皆位于月界之外，而月界被认为是不易的。彗星的运动显然同水晶球体的存在是不相容的。“正如第谷·布拉埃已经证明的，这样的球体不存在”——通过开普勒的著作，这一句子就跟着广为流传。一旦水晶球体被击碎，那就必须建立一种新的天体物理学以说明稳定的、循环往复的行星运动。对开普勒来说，对物理原因的持续研究与对几何结构的研究结合进行，这两者不过是同一事物的不同方面而已。

开普勒所运用的物理原理表达了亚里士多德动力学的基本命题，而17世纪又用完全不同的一套原理取代了它们。无论如何，开普勒是现代天体力学的奠基人。他第一个坚持认为：长期公认的天的水晶结构并不存在，并且认为关于天体运动的一组新问题必须用公式表示。由于确信自然的一致性，他试图通过运用地上力学中的相同原理来说明天上的各种现象。开普勒在这一方面而非其他方面的思想，使他成为现代科学早期历史上的一个富有创见的人物。在他那里，我们能看到一种基于地上力学原理建立起来的天上的力学开始取代对天的纯运动学处理。一种探求理解控制行星运动的力的天文学，代替了被认为是表达了一个遥远王国的完美与不朽的天体运转的轨道操作。即使开普勒的力学原理最终揭示了它们自身并不令人满意，然而，根据这些原理开普勒得出了今天仍被接受的行星运动定律。

当然，开普勒所寻求揭示的是真实的数学结构和真实的物理原因。这些东西必须同观察一致，开普勒拒绝将一些先验的理论不惜违背观察事实而强加于自然界之上。这里就提出了《宇宙的奥秘》

的问题。就水星与土星而言，理论与公认的观察背道而驰。然而，开普勒意识到那些已被接受的观察是不可靠的，而且一位当代观察者——第谷·布拉埃，正在收集迄当时为止更加精确的一批数据。在 1600 年，开普勒成为第谷的助手。在 1601 年第谷辞世，近水楼台，开普勒运用了这批宝贵的观察资料。作为不可替代的数据，开普勒的天才在于根据这些数据提出了行星运动定律。

火星是开普勒工作的主要对象。开普勒一贯坚信太阳系的结构统一性，他毫不迟疑将对火星得出的结论运用于其他行星。1609 年出版的《新天文学》（*Astronomia Nova*）收录了这些结论。但书中还包含了更多的内容，就像一份关于理智活动的自传，它详细描述了研究的每一步，以至于我们能跟踪开普勒思想的进展，而对于其他的科学家，我们很少能做到这一点。书中所揭示的思想进步过程分两方面：一方面，这是一个远离由过时的对圆着迷的思想转向承认非圆轨道的过程；另一方面，这是一个由远离泛灵论思想模式转向率直的机械论宇宙观的过程。

自从希腊科学繁荣以来，天文学一直试图通过匀速圆周运动的组合来说明天上的现象。由于圆是完美的图形，只有它适合于描述天体。开普勒也借助于圆开始他对火星的思考，但从一开始他的处理就不同于前人。在他以前的天文学家已经对圆进行了组合——即使用一个基本的均轮，此轨迹正如其名称所表示的那样，是由偏轮和本轮组合而成，而一个研究者可以选择多种方式进行组合——以说明观察到的行星的位置（见图 1.1）。将这些圆彼此衔接在一起，矢径方向上的半径的增减，就决定着将行星放置在观察发现它所在的位置上的过程。相反，开普勒确信新的物理学思考更为优越，确信水晶球体并不存在，确信行星仍然按照确定的轨道通过空旷的空间。因此，从一开始他所关注的就是轨道本身。以前的理论没有提出行星的轨道是一个圆。开普勒最先尝试使火星正好适合于这样一个圆轨道。然而，在使用这种圆轨道的过程中，开普勒通

开普勒在此理论上花了两年的努力，但这一理论最终还是未能取得成功。该理论有 $8'$ 偏差。在他之前的哥白尼已满足于 $10'$ 偏差的精度。然而，开普勒不会忘记，第谷的观察强调采用一个更高的标准。“由于神的仁慈赐给我们一个最勤奋的观察者——第谷·布拉埃，依据他的观察，火星运动的 $8'$ 计算误差的原因找到了，我们应该用一颗充满感激的心去认识和利用上帝的这个好礼物。”他对第谷的数据的第一次使用就使他否定了两年的劳动。

由于遇到暂时的挫折，开普勒从火星的轨道转向地球的轨道。援引他用于火星研究的原理，他得出如下结论：地球的速度与它到太阳的距离成反比。尽管牛顿（Newton）后来证明开普勒的“速度定律”是错误的，但当时开普勒把它作为他研究的灯塔。根据速度定律，他推导出了面积定律，今天我们还认为它是正确的并称之为开

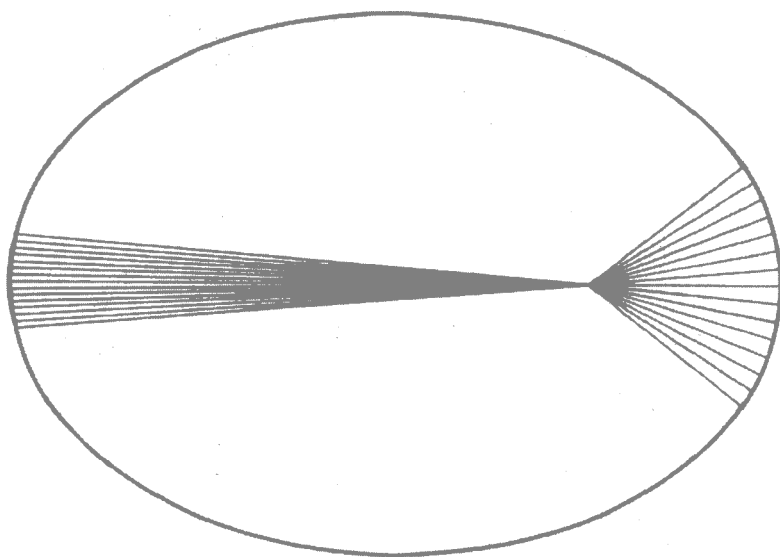


图 1.2 开普勒面积定律（椭圆的偏心率极大地被夸大，每一对线之间的面积表示一个时间单位）

普勒行星运动第二定律。如果速度与离太阳的距离成反比，那么轨道的每一小段到太阳的距离（或矢径）必定与行星穿过这段轨道所花的时间成正比。但矢径对轨道各小段要求和与行星移动时半径扫过的面积相等（见图 1.2）。那就是说，花费的时间与掠过的面积成正比。这里的数学推理是错的，用作为前提的速度定律也是不可靠的，但结论却被证明是正确的。面积定律可用来满足一种特殊的技术需要。在使用均轮和本轮的老天文学中，一个行星的位置可通过矢径相加来计算，因为每一个轮子都以匀速率转动。在天文学中，圆的主要功能就在于它的技术利用。由于抛弃了多重圆的机械装置而采用了行星绕一个圆作变速运动的见解，开普勒需要一个用于计算行星位置的公式。面积定律满足了这种需求。并且在提供公式时，面积定律也使得天文学上以前必不可少的圆得以省略。

开普勒从（错误的）速度定律推得了面积定律。速度定律也指明了其天体力学的基本要素，而这些要素依赖太阳的中心力学功能。开普勒深信太阳在宇宙中居于首要地位。太阳是所有光和热的源泉，也必定是所有运动的根源，是太阳系的动力学中心。开普勒设想某种动力从太阳辐射出来，就像一个车轮向四周辐射的辐条一样。当太阳绕其轴转动时，辐条将推动行星运转（见图 1.3）。在开普勒天体力学中，没有什么东西在发生作用，来使行星偏离其切线方向并将它保持在围绕太阳的轨道上。开普勒是天文学上摆脱了圆的限制的人，但在他的思想中，圆的持续的束缚也同样昭然若揭，一个事实是，开普勒从不怀疑，如果行星在运动，那么它们是在闭合轨道上围绕太阳运转。显然开普勒是在运用亚里士多德力学的基本命题，按照这一命题，物体保持其运动当且仅当某种东西持续地在移动它时，并且其移动速度与移动它的力成正比。因此，速度定律是作为太阳系基本动力学的显而易见的结果出现的。从太阳辐射出来的动力的效应随距离的增大而减小，而每个行星的速度应与它离太阳的距离成反比。

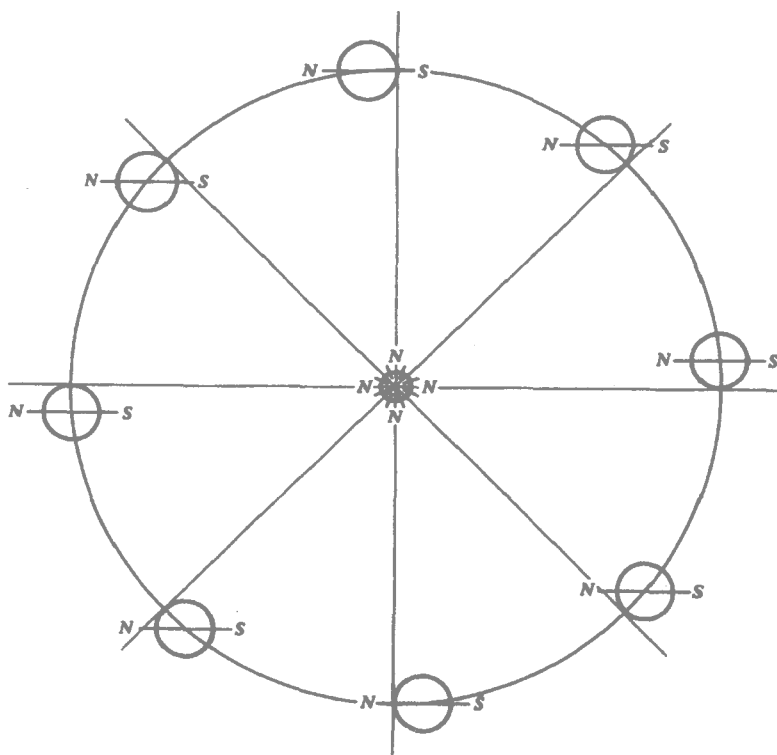


图 1.3 开普勒天体力学。当行星绕太阳转动时,行星的轴的取向保持不变。太阳是一个特殊的磁体,它的表面组成一极而它的中心是另一极,当行星通过它的一半轨道时,行星受太阳吸引 通过另一半时则受排斥

开普勒思考行星运动的动力学越深,由此给出的这种动力学的基本关系就越多。一个行星离太阳越远,能移动行星的太阳的动力就越少。当从太阳辐射出来的动力这一概念第一次出现在《宇宙的奥秘》中时,开普勒称之为“活的灵魂”(anima motrix 或 motive soul),这是一个弥漫着泛灵论气息的词。在 1621 年,当他准备出《宇宙的奥秘》第二版时,他加了一个脚注:“如果你用‘力’(force 或 vis)这个词代替‘灵魂’(soul 或 anima),你就懂得了在《论火星》(Commentary

on Mars 或 Astronomia Nova) 中所依据的天体物理学的原理。因为以前我由于接受 J·C·斯卡利格 (J. C. Scaliger) 关于运动的天使 (motive intelligences) 的教导, 完全相信移动行星的原因是灵魂。但是当我发现随着离太阳的距离增加, 这种动因正如太阳的光线被减弱一样越来越弱时, 我断定这种力必须看成是物质的。”从活的灵魂 (anima motrix) 到力 (vis), 从泛灵论 (animistic) 到机械论 (mechanistic) —— 开普勒的思想发展预示了 17 世纪科学的进程。

至此, 在他的天体动力学中仍有一个问题有待解决。是什么引起一个行星到太阳的距离发生变化? 开普勒对此问题的探索引导他从圆的轨道上前进了一步。天文学传统对距离的变化曾给出明确答案——在均轮上转动的本轮。最初开普勒试图通过一个本轮解释这种变化, 这又是圆的传统在开普勒身上产生的影响力的证明。然而, 本轮机制与他对物理实在的直觉相抵触。行星需要天使围绕着一个没有被物体占据的移动点来转动本轮。当他重新考虑火星时, 他发现如果假定轨道是椭圆形的并且用椭圆作近似轨道, 那么矢径在长度上一致地按照正弦函数变化。这种一致的变化标志着一种不需要天使管理的纯物理作用。本轮机制被彻底抛弃, 而且是被永远抛弃。开普勒说, 他意识到这一点, “正如一个人从睡梦中醒来, 以惊奇的目光注视一个新的光亮。”开普勒最后推断, 在行星的一半轨道内, 当一极朝向太阳时, 太阳的磁作用吸引行星, 在另一半轨道内当另一极朝向太阳时, 太阳的磁作用排斥行星 (见图 1.3)。同时圆的束缚已被冲破, 开普勒进一步得出结论说, 轨道不仅可近似地看作是一个椭圆, 而且它是这样一个椭圆, 即太阳居于其一个焦点上——这个结论我们称为开普勒行星运动第一定律。

尽管开普勒后来发现了所谓开普勒第三定律 (叙述每一个行星的周期 [T] 与它的平均半径 [R] 之间的关系, 对太阳系来说, $T^2/R^3 = \text{常数}$), 但在其著作中, 头两个定律更显得重要。差不多一个世纪以前, 哥白尼已经开始寻找满足几何简单性要求的行星系统。开

普勒解决了哥白尼的问题，他所达到的简单性在天文学史上超出了前人的梦想。如果承认哥白尼最初的假设，即太阳系的中心是太阳而不是地球，那么一种圆锥曲线就足以描述每一颗行星的轨道。偏心圆和本轮的全部复杂性已淹没在椭圆的简单性之中。当然，诱饵之中隐藏着钓钩。接受椭圆的简单性的代价是抛弃圆及其所拥有的完美无缺、不易性和有序性的古老内涵。开普勒仅仅是逐步地和不完全地从圆的威力对他的想象力的影响中解放他自己，并且从不忘记圆所拥有的诱惑力。在他的眼中，第二定律的主要价值是它提出了新的一致性来取代圆周运动的一致性。对一个反对椭圆的朋友，他曾把圆描述成一个诱使天文学家离开真正的自然的妖娆妓女。但他的老师哥白尼更喜欢荡妇。如果说开普勒完善了哥白尼的天文学是正确的，那么说他毁灭了它同样也是正确的。

开普勒的迷人之处与复杂性至少有一半在于这样一个事实，即我们称为开普勒三定律的那些定律都是隐藏在沉思的山下，这些沉思对于 20 世纪的智力来说几乎不会陌生——关于将音乐的和谐与行星运动关联在一起的思索、关于宇宙的几何结构的思索以及关于天体动力学正在使用的但旋即被取代的概念的思索。我们应如何解释我们认为是正确的定律却导源于我们所不能承认的原理？要解释这种反常现象，我们就必须将证明的方法与发现的方法区分开来。开普勒定律已经经受了时间的检验，因为它们与观察事实相符。从第谷的全部数据来看，他做过一系列可靠的观察，并且他拒绝接受与观察相矛盾的结论。他是如何得到结论的呢？观察给出的全部内容都是行星在固定的星系背景中的位置——即行星在不同观察时间下所处位置的排列。人们可以想象开普勒只要在图上画出它们就能认识到结果是椭圆，但这种想像却是不真实的。假如这种设想可能的话，那么天文学也不会等到开普勒才去发现椭圆轨道了。研究需要有原理来指导，但所有的旧原理显然都正在瓦解。在他关于水晶球体已经毁灭的断言中，已道出了世界的蕴涵。长期

公认的不容怀疑的宇宙结构，已经受到质疑并被抛弃。开普勒的原理提供了种种基础性的见解，没有这些原理就根本谈不上有研究，并且无论我们觉得这些基础认识多么奇怪，我们绝不能忽视它们所扮演的角色。如果说一种新的力学科学将很快取代他的物理学原理，我们也不要忘记是开普勒首先描绘了天文学中新的图景的蕴涵，并提出了天上动力学的问题。正如在科学的其他研究领域一样，正确地提出问题，比给出答案更重要，而且从此以后，科学一直将天体运动作为力学问题来处理。

一个具有正常智力的人对开普勒版本的日心说天文学会作出怎样的反应呢？作为一个几何假设，它的优点是显而易见的，但是是否有理由将它作为真实的宇宙系统呢？经考查各种理由，看来这一宇宙系统作为一种假设所具有的优点是接受它的主要理由。也就是说，撇开它的几何简单性，没有什么理由赞同它。确实，望远镜已被发明，在 1609 年伽利略已经把它用于观察天空，他已经观察到了一些有助于支持日心说体系的东西，但是几乎所有这些东西仅只是强化了在其他地方已经得到的证据。月亮上的陨石坑和太阳黑子显然与天体的完美性和不变性相抵触，但是 1572 年的新星和 1577 年的彗星早就做了同样的事情。或许，木星的卫星另有一种含义。在卫星被发现以前，月亮这颗围绕着一个行星运行的行星，已被认为是日心说系统的一个不能解释的反常物体，而且反对意见也随之而致。如果木星的卫星的发现不能解释这种现象，至少也破坏了月球的独一无二性，并且使月亮显得不那么反常。然而，木星的卫星对日心说系统并没有提供肯定的支持。金星的各种状态却支持日心说。在地心说系统中，金星总是介于太阳和地球之间并且看上去总是像一个月牙。在日心说系统中，它可运行到太阳的背后并且几乎能完全看到——当然，那是望远镜揭示的（见图 1.4）。然而，另一件远在哥白尼革命时就受到关注并且无法用望远镜揭示的事实，就是最令人困惑的望远镜观察。望远镜不能揭示恒星视差。

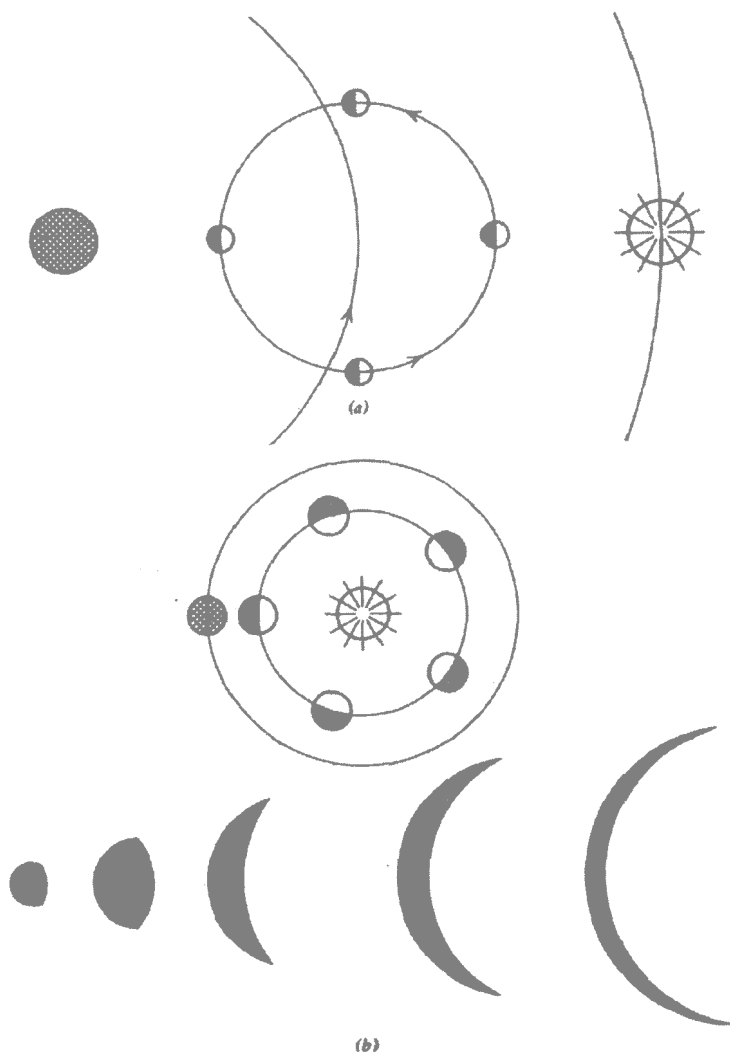


图 1.4 金星的状态。(a)托勒密体系,(b)哥白尼体系。在托勒密体系中,金星总是或多或少地显示月牙形;在哥白尼体系中,当它在太阳背面通过时,金星几乎能完整地显示,并且它的大小极大地变化

从哥白尼系统诞生的那一刻起，恒星视差的关键性关联已经是显而易见的。如果地球在一个巨大的轨道上围绕太阳运行，固定恒星的位置应随着观察者从轨道的一端到另一端的移动而改变（见图 1.5）。正如所说的，恒星视差在裸眼中没有得到显示。通过望远镜也不能显示恒星视差。正如今天我们知道的，固定的恒星离得是显

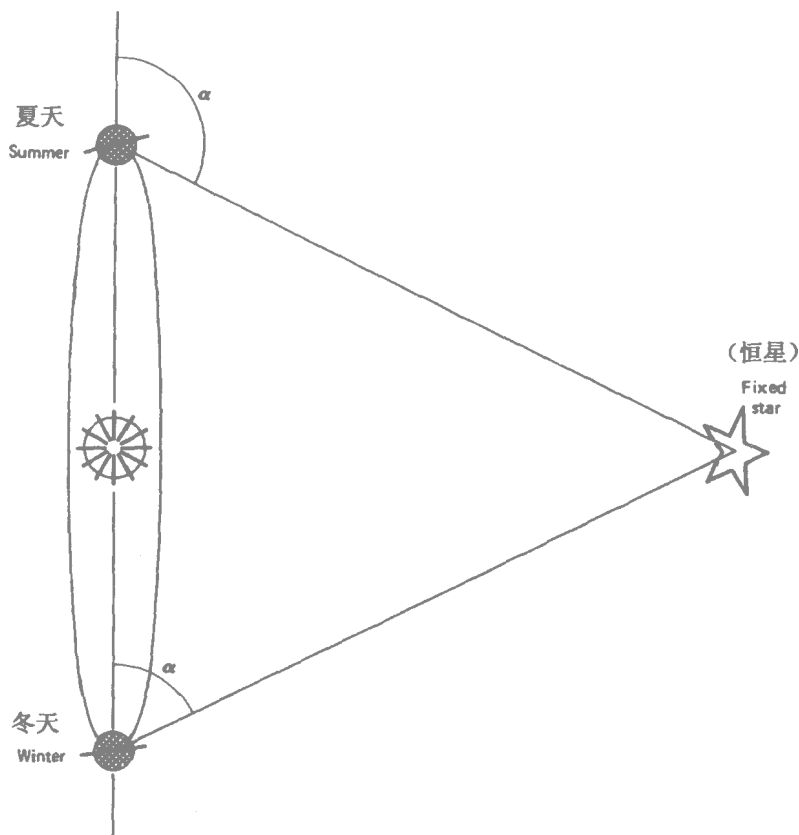


图 1.5 恒星视差（地球的轨道从旁边显示。就地球的位置而言，6 个月互换一次。如果地球事实上是围绕太阳运行，从固定的恒星观察的两个角 α 应该是不同的）

这样的遥远，以致要辨别非常小的角度必需使用相当放大倍数的望远镜，而直到 19 世纪这种望远镜尚未开发出来。伽利略的望远镜无法分辨这种视差，于是恒星视差的隐而不现至少能抵消由金星的各种状态所提供的肯定性证据。对哥白尼-开普勒系统的论辩，是基于几何的和谐和简单性的证据来进行的。由于注重简单性而非别的东西，要求人们推翻这样一个宇宙概念，即一个囊括自然界的物理学的、哲学的、心理学的和宗教的种种问题无所不包的宇宙概念。也许这样一种重负绝非几何简单性所能承受。

在追求简单性的名义下，并不要求常识本身作出任何牺牲。人们常常谈到，现代科学需要常识的再教育。什么可能比地心宇宙更具常识性呢？我们至今还在谈论太阳升起，谈论实心的地球。日心说宇宙要求在这类问题上将感觉中平白无误的证据作为纯粹的错觉来加以否定。无疑，接受新天文学的主要障碍是每天都在嘲弄它的常识。况且，常识已在流行的运动学说中找到了一种精致的表述。正如辛普利丘（Simplicius）在伽利略的对话中说的，“关键的事情是能够使得地球运动而又不引起千种不便。”这里提到的不便主要是关于运动的。按照公认的运动观念，地球每天绕着它的轴旋转这样的主张是荒谬的。在日心说系统能够被普遍接受以前，首先必须通过解释来消除这些不便，而正在这样做的人是将这些话放进辛普利丘的嘴里的人——伽利略·伽利莱。

从一开始，伽利略的事业集中在运动科学上。其最早的重要著作是《论运动》（*De motu*），它写于 1590 年代早期，大约是开普勒的第一部著作的出版时期。《论运动》揭示出伽利略是作为力学冲力（*impetus*）学派的信徒开始其职业生涯的。原动力的概念曾在中世纪后期作为对解决亚里士多德力学最困惑的一个问题而提出来的解答。亚里士多德已把他的力学建立在这样的原理上——这一原理本身，就如同地球的稳定性一样对常识而言是显而易见的——即每种运动需要一个原因，一个物体只要有而且仅只要有某物在移动

它，它就会运动。从牛拉车或通过桨手推动大帆船的运动来考虑（如果人们不对之作极为严格的检验），这一原理显得如此明显以致被当作旧概念。希腊人也扔铁饼，然而，随着像铁饼这样的抛射物的投掷出，困难也出现了。一旦抛射物已经与投射器分离，是什么保持抛射物继续运动？亚里士多德通过把原因归于抛射物运动所通过的媒介来回答。另一个方面，原动力的概念可传递连续运动的原因——一种必要的、凭运动本性所必需的原因——从媒介传递到抛射物。处于运动之中的物体获得了冲力，冲力在物体同投射器分离后继续推动该物体。从 14 世纪到 16 世纪，冲力概念一直是力学上创造性思想的先锋，因此伽利略在青年时期信奉它一点也不令人吃惊。他将阿基米德（Archimedes）的影响与冲力概念连接起来，以便寻找一种利用流体静力学方式描述冲力的方法，并试图通过这种方法建构一种精确的定量动力学去补充阿基米德的静力学。尽管他在 10 年内抛弃了冲力的概念，但《论运动》确立了伽利略科学工作的基调。纵观他的一生，他追求一种定量的运动科学的理想，并且正是在伽利略提供的基础上科学革命才建立了它的最辉煌的成就，即它的力学。

当《论运动》的力学证明自身不能解决伽利略本人提出的基本问题时，他抛弃了这种力学。这个基本问题就是在我们身边观察到的运动现象和地球每天绕着它的轴旋转的论断之间存在着明显的矛盾。假设一个球从一座塔上下落，按照哥白尼系统，塔正在以巨大的速度自西向东运行。一旦球被释放，那么握着它同塔一起移动的手的力停止作用，它向东的运动应该停止；并且由于它将以一个重物的自然运动下落到地球上，它似乎应掉落在塔的西边。当然，事实上我们都知道球在与塔平行的侧面垂直下落，因此地球不可能是正在绕着它的轴旋转的。由一个运动的地球引出的不便（inconvenience），亦即在伽利略对话中辛普利丘所坚持的那些不便，可以用许多方式表达，而垂直落体问题则是所有这些问题的合理概括。

人们必须理解，反对并不是荒谬的。按照亚里士多德的运动概念，即按照当时每个人都接受的力学系统，提出地球在运动是荒谬的。这种反对要求人们创造一个新的力学系统，这正是亟待回答的问题。

简单地说，对哥白尼天文学提出的问题的解答和新力学的基础是惯性的概念。一个运动着的物体保持匀速运动，直到某种外部作用改变它为止。在回答落球问题时，伽利略说：“同地球保持一致是这个球作为地球上的物体无法摆脱且不可分离地参与了的基本的、永恒的运动，物体凭其本性具有这种运动并且将永远拥有这种运动。”当球从塔上下落到地球上时，由于没有原因促使球自西向东的运动停止，所以它与塔保持一致。在萨尔维阿蒂同辛普利丘的苏格拉底式的一次交流中，萨尔维阿蒂（Salviati）（伽利略为哥白尼体系作辩护的著作《关于两大世界体系的对话》中的人物，为伽利略的代言人）问，假如一个球被放置在一个倾斜的平面上，将会发生什么。它将以恒定地增加的速度滚下平面。它能在平面上向上滚动吗？不能，除非它被给予一个初始的原动力，然后才能朝上作减速运动。假如它被放置在一个水平面上，并且在某一方向上给一个推力，那将会发生什么呢？辛普利丘同意，如没有加速或减速的原因，那么球将随着表面的延伸而不断运动下去。“然而假如这样的一个表面是无界的，那么其上的这种运动同样也是无界的吗？也就是说，它是永恒的吗？”“在我看来似乎是这样”，这个最固执的亚里士多德主义者这样回答。按照笛卡尔（Descartes）后来对这个问题的总结，人们是在问一个关于运动的错误问题。他们只问了运动物体为何保持运动的问题，而恰当的问题应该是：究竟是什么原因引起运动停止。

伽利略没有使用“惯性”（inertia）这个词。就此而言，无论他采用什么措辞，他没有使用我们今天持有的、形式精确的惯性概念。没有人能完全地摆脱过去，即使是伽利略这样的巨人也不例外，在

他形成一个新的运动概念的过程中，受到了旧宇宙论因素的束缚。他的宇宙（universe）不是一个不受个人情感影响的机械论定律和处于运动中的物质的宇宙。相反，它是一个由无限的智慧组织起来的宇宙（cosmos）。正因为是这样，宇宙就不可避免地按完美的图形——圆，确定其秩序。遵循旧传统，伽利略认为是圆周运动，并且只有圆周运动，才能同一个有序的宇宙相匹配。只有在一个圆上，一个物体才能在其固有位置上永远运动下去，距同一点总是保持相同的距离，并且只有在圆周运动中，宇宙中的种种物体才能永远保持它们的基本关系。直线运动意味着无序；从其固有位置上移走了的一个物体须沿着一条直线才能返回原处。既然如此，物体将通过恢复一种固有的圆周运动来保持在其本来的位置上。

因此，《对话》中的天文学是职业天文学家所不能接受的一种天文学。在开普勒的《新天文学》（*Astronomia Nova*）出版 20 年以后，旨在支持日心说体系的《对话》忽视了开普勒的结论，就像它忽视了早期理论对本轮的技术需求一样。它讨论哥白尼体系，就好像每一颗行星都在一个简单的圆周轨道上运行一样。伽利略与开普勒的关系充满了讽刺意味。开普勒以机械论方式处理太阳系并寻求理解支配太阳系运动的物理力，但他使用的力学系统却是基于伽利略所推翻的原理。伽利略建立了新力学的基本概念，但他忽视了开普勒的天体力学对自身提出的种种问题，并且认为行星原本就在圆周轨道上运动。

在面临一个旋转着的地球上的运动问题时，伽利略也以类似的方式进行思考，并且他提出的惯性概念反映了问题本身在他面前呈现的方式。正如我们在上面已经看到的，萨尔维阿蒂引导辛普利丘承认，在一个水平面上滚动的球，在没有任何原因使其加速或减速时将永远继续滚动下去。这是什么样的水平面呢？当然它是处处都“离中心等距离的”平面。惯性运动被构想为匀速圆周运动，即一个物体在一个十分有序的宇宙中在其固有位置上的固有运动。