大众天文学

Astronomy For Everybody

[美]西蒙·纽康◎著
薛爱华◎译

by Simon Newcomb

吸引全球亿万读者的天文学科普读物



现代天文学奠基之作
畅销世界百余年

《大英百科全书》称
“纽康肯定是那个时代最显赫的天文学家之一”

民主与建设出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.co

©民主与建设出版社，2020

图书在版编目（CIP）数据

大众天文学 /（美）西蒙·纽康著，薛爱华译. --北京：民主与建设出版社，2020.7
ISBN 978-7-5139-3071-0

Ⅰ.①大… Ⅱ.①西… ②薛… Ⅲ.①天文学－普及读物 Ⅳ.①P1-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2020）第100448号

大众天文学
DAZHONG TIANWEN XUE

著　　者　［美］西蒙·纽康
译　　者　薛爱华
责任编辑　刘树民
封面设计　姜丽莎
出版发行　民主与建设出版社有限责任公司
电　　话　（010）59417747　59419778
社　　址　北京市海淀区西三环中路10号望海楼E座7层
邮　　编　100142
印　　刷　大厂回族自治县德诚印务有限公司
版　　次　2020年11月第1版
印　　次　2020年11月第1次印刷
开　　本　880毫米×1230毫米　1/32
印　　张　9
字　　数　268千字
书　　号　ISBN 978-7-5139-3071-0
定　　价　49.80元

注：如有印、装质量问题，请与出版社联系。

目　录

第一部分　宇宙体系的历史发展

第一章　哥白尼体系，或者天体的真实运动 …… 2
第二章　万有引力 …… 18

第二部分　实用天文学

第一章　望远镜 …… 42
第二章　望远镜在天体测量中的应用 …… 68
第三章　测量宇宙中的距离 …… 82

第三部分　太阳系

第一章　太阳 …… 114
第二章　内行星群 …… 145
第三章　外行星群 …… 179
第四章　彗星和流星 …… 204

第四部分　恒星宇宙

第一章　我们所看到的恒星 …… 224
第二章　宇宙的结构 …… 260

第一部分
宇宙体系的历史发展

第一章　哥白尼体系，或者天体的真实运动

1. 哥白尼

第一次向世界证明天体运动真正理论的荣耀几乎完全属于哥白尼。我们确实有理由相信毕达哥拉斯曾告诉我们，太阳，而不是地球，是天体运动的中心，因此，他是第一个解决这个伟大问题的人。但毕达哥拉斯并没有公开教授这一学说，流传下来的是他私人教导中关于这一点的非常模糊的陈述，这个陈述与希腊哲学家的自然观相结合的推测混合在一起，很难准确地说毕达哥拉斯是否已经完全掌握了天体运动的真相。毫无疑问，任何现代人要是没有给出比我们假定毕达哥拉斯向自己的门徒给出的推论更加令人信服的证据，去证明其观点的正确，他是不会得到这种荣誉的。

哥白尼的伟大功绩及这个主张的基础是他不满足于仅仅陈述他的观点，而是把他一生大部分的工作都贡献给了证明这个观点。因此他把这个观点公之于众，大力宣扬，直到最后所有人都接受了这个观点。除了所有关于他的理论是真是假的问题外，他阐述这个观点所写的著作《天体运行论》，应该被列为托勒密之后出现的最重要的天文学纲要。几乎没有哪本书能比这本书更完全地体现他一生的成果。哥白尼出生在普鲁士的托伦，那是 1473 年，发现美洲的二十年前。他在克拉科夫大学学习，后来他成为一个高级教士，一生中大部分时间都承担着教会职务，在这个职位上他有充足的闲暇时间去追求他最喜欢的研究。据说他早在 1507 年就提出了关于世界真正的运行体系的设想。他的中年岁月都花在了完善自己的体系所必须的观察和计算上，和一些朋友交流看法，但他长期拒绝发表自己的观点，害怕可能激起大众的偏见。1540 年，他的朋友雷蒂库斯发表了一篇关于这个体系的简短陈述，广受好评。后来哥白尼很快就同意出版他的伟大著作。1543 年 5 月，印刷出版的第一本书终于放到了哥白尼手里，几个小时后他就去世了。

需要全本请访问 www.ertongbook.co

哥白尼体系的基本原理包含在两个不同的主张里，各自要单独论证，并不相互依存，一个主张正确并不一定需要另一个主张也正确。具体内容如下：

1. 宇宙的周日旋转只是一个视运动，是由地球绕穿过中心的轴的周日旋转引起的。

2. 地球只是行星之一，所有的行星都以太阳为运动中心，绕它旋转。因此，天体运动的真正中心不是地球，而是太阳。由于这个原因，在历史讨论中，哥白尼体系常被称为“日心说”。

第一个主张是哥白尼提出的一个证明。他解释了人们看见的真实运动所形成的视运动，以及被观察的物体的真实运动所形成的视运动，因此表明周日运动可以用地球像天空中任一个行星的旋转来解释。对航行在平静的海面上的水手们来说，船和船上的所有东西似乎都是静止的，海岸是运动中的。那么，地球和外面的整个宇宙，哪个更有可能是处于运动中的呢？不论大小比例多少，宇宙总是比地球大的，在相同的比例下，它们的运动速度要更快才能在 24 小时里旋转一圈。托勒密自己表明，天空是如此巨大，与之相比，地球只是一个点，而且，众所周知，它们可以延伸到无穷远。那么我们应该需要一个无限的旋转速度。因此，更可能的是，这个相对点在旋转，而宇宙是固定不动的，而不是反过来。

哥白尼体系的第二个主张是太阳在恒星间的周年视运动，实际上是由于每年地球围绕着太阳旋转。这个主张以一个很好的相对运动定律为基础。地球的运动不仅解释了太阳的视旋转，也解释了托勒密体系中的行星的表观本轮运动。

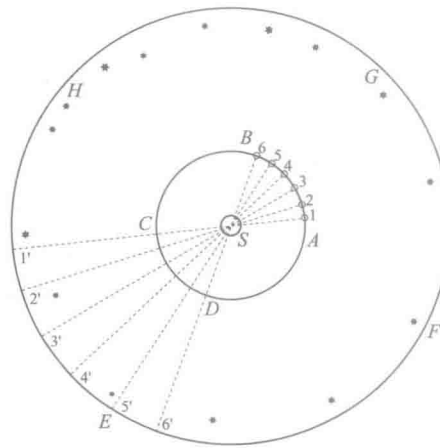


图 1

在图 1 中，S 代表太阳，ABCD 代表地球围绕太阳旋转的轨道，数字 1、2、3、4、5、

6 代表地球所在的六个连续的位置。这些位置之间大约相隔两个星期的时长。同时，EFGH 代表恒星天球。然后，1 号位置的观察者，在 1S 方向观察到太阳，他会觉得自己在天球上 1' 号的位置处，因为对实际距离没有概念，在他看来，太阳就像是在与他成一条直线的 1' 号位置处。当地球带着它的观察者旋转到 2 号位置时，他会在 2S2' 的方向上看到太阳，即他认为太阳在 2' 号位置处。也就是说，在这两个星期的时间间隔中，从视觉上看太阳在星星之间移动的角度等于地球绕太阳旋转的角度。因此，当地球沿着 3、4、5、6 的位置转动时，太阳就好像出现在 3'、4'、5'、6' 的位置上，地球继续绕着它的轨道运行，太阳就好像在沿着 EFGH 这个大圆在移动。因此，由于地球每年绕太阳的旋转运动，我们觉得太阳也在绕着天球每年进行旋转运动。

现在让我们来看看，同样的天体运动是如何驳斥古代天文学家解释行星运动所提出的复杂的本轮体系的。这个解释基于的原理是，如果处于无意识运动中的观察者看到一个静止的物体，那么他会觉得这个物体是以相同的速度与自己反向移动。一个常见的例子就是船上的乘客观察到的岸上物体的视运动。在图 2 中，让我们假设地球及其上的观察者绕着 S 太阳以 ABCDEF 的轨道运转，但是他觉得自己是静止在运动的中心 S 点上的。假设他观察到了行星 P 的视运动（其实行星 P 是静止不动的）。这颗行星看起来是如何运转的？为了展示这一点，我们用虚线来表示视方向和视运动。让我们从观察者处于 A 位置开始，在这个位置上观察者在 AP 方向上看到距离自己 AP 长度远的行星。但是，他认为自己在 S 点，觉得自己在 a 点看到了行星，Sa 的长度和方向与 AP 一样。当他无意识地从 A 点移动到 B 点，

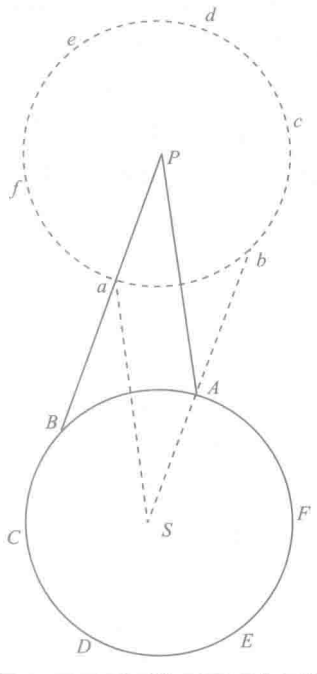


图 2　展示了地球绕日运动是如何说明行星的视本轮运动的。

他觉得行星好像以相反的方向从 a 点移到了 b 点；他依然觉得自己是在 S 点静止不动，他在 b 点看到行星，Sb 线与 BP 线两者平行，长度相同。在行星上看来，观察者好像在沿着 BCD 倒退；在观察者看来，行星好像沿着 bcd 在倒退。当他从左向右经过 DE 时，行星似乎从右向左经过了 de。最终，当他沿着 EFA 靠近行星时，行星看起来就像沿着 efa 靠近了观察者。当观察者回到 A 点时，他会像一开始的时候那样在 a 点看到行星。因此，观察者沿着 ABCDEF 进行的运动的结果就是，尽管行星是相对静止不动的，但在观察者看来，它是沿着一个相对的 abcdef 圆在运动的。如果有许多行星，它们都会看起来像是在描画相同大小对应的圆。

如果行星 P 不是静止的，而是处于运动中，这个圆周视运动就要和行星向前的运动结合起来，后者将描画出一个围绕着运动中的中心在旋转的圆。在这里，假想的行星（以外行星火星、木星和土星为例）的向前运动是真正的行星围绕太阳进行的运动，而所描述的真正的行星围绕运动中的中心旋转的运动，只是一个由站在绕日旋转的地球上的观察者所看到的视运动。

我们现在可以清楚地看到哥白尼体系解释了行星的逆行运动和行星的静止现象。地球和所有行星都在绕日运转，运转方向是朝向我们在天球上称为东方。当地球和外行星在太阳的同一侧时，它们是同向运动；但是地球的移动速度比外行星快。因此，对于地球上的观察者来说，外行星似乎是向西移动的，尽管它的真正运动方向是向东。当地球离开外行星移动到太阳的另一侧时，它的运动方向改变成与外行星方向相反，因此由于地球自身的运动[①]，外行星看起来向西的运动速度变快了。在这两个运动之间有一个点，外行星在这个点上看起来好像静止不动。这个点被称为静止点。如果我们考虑的行星不是一个外行星，而是一个内行星，比如水星或金星，当这个内行星位于地球和太阳之间时，我们看到它的运动与我们自己的运动是相反的，因为我们是从太阳对面的那边看到内行星的。因此它看起来似乎是向我们的西边逆行移动。其实地球与它的运动方向相同；但是内行

① 不可忘记的是，在天空中东方的方向是弯曲的，在太阳或天球的另一边时方向也是反过来的。例如，恒星上升时的运动和落下时的运动是方向相反的，但是都被认为是向西运动。

星的运动速度比地球快，它的逆行运动看起来就占主导地位。当内行星在它的轨道上运行时，它首先看起来是静止的，然后，经过太阳的另一边时，它看起来与地球同向。

现在让我们考虑一下，这将使我们能够公正地对待托勒密体系，看看它在宇宙真正理论的进化过程中是多么必要的一步。这个体系的最大优点在于将看似复杂的行星运动分析成两个圆周运动的组合，一个圆周运动是指假想的行星绕着天球旋转，另一个圆周运动是真正的行星围绕着假想的行星旋转。不这样拆分的话，行星的前后持续振荡就解读不出什么观点，除了说这个运动很复杂、不能用机械原理来解释，别无其他。但是当不考虑这个平均或假想的行星的规律向前运动时，注意力就只集中在了行星的本轮运动上，人们就发现不了本轮运动与太阳的周年视运动的显著对应。发现了这个，只需要一小步，就能发现是太阳，而不是地球，才是行星运动的中心。那么除了感觉的错觉之外，没有什么能阻止这个理论被接受，即地球本身是一个围绕太阳运转的行星，太阳的周年运动和行星的本轮运动都不是真的，而是由于地球自身运动造成的视运动；只有这样，日心说才能发展起来。

哥白尼体系提供了确定太阳系的比例的方法，或者说是精确度很高的几大行星之间的相对距离。也就是说，如果我们将地日距离作为我们的测量杆，尽管这个测量杆本身的长度可能仍然未知，但我们可以确定每个行星到太阳的距离是多少个测量杆的长度，或者是它的几分之几。这个测定基于以下原则：图 2 中行星所描述的视圆形轨道或本轮与地球绕太阳所描画的实际轨道的大小相同。因此，观察者离这个圆越近，它会显得越大。海王星的视本轮半径不到 2 度；也就是说，因为地球绕日公转的年度运动，真正的海王星在它的平均位置两边的振荡幅度不超过两度。这表明从海王星上看，地球的轨道与它形成的对向角度只有两度。另一方面，火星通常每边摆动幅度超过 40°；有时，实际上超过 45°。根据三角计算显示它与太阳的平均距离只有地日距离一半左右；而它的视振荡可变这个事实表明，在不同时期它与太阳的距离是不同的。

我们饶有兴趣地发现，哥白尼在确定行星距日距离上有多接近我们

现代的结果。我们在下表中列出了哥白尼的计算结果，和我们现在所知的真实数据放在一起比对。给出的数字是带有小数点的，显示了每个行星与太阳的最近距离和最远距离，以地日距离为单位[①]。

行星	最近距离		最远距离	
	哥白尼结果	现代结果	哥白尼结果	现代结果
水星	0.326	0.308	0.405	0.467
金星	0.709	0.718	0.730	0.728
火星	1.373	1.382	1.666	1.666
木星	5.453	5.454	4.980	4.952
土星	9.76	10.07	8.66	9.00

考虑到当时那个时代观测方法非常不完美，哥白尼的推算结果已经非常接近事实了。最大的比例偏差是水星的数据，它是所有行星中最难观测的，哪怕是现在也一样。据说哥白尼去世前都没有观测到这颗行星。

在当时只需要一个粗略近似值的时候，哥白尼用一种与现代公式完全相符的方式算出了轨道的偏心距。像托勒密一样，他假定行星轨道不是以太阳为中心的，而是稍微移动了一点距离，这个距离被称为偏心距。但是长久以来人们知道，偏心圆上的匀速运动理论，尽管它会使行星角运动的不规则性立马显现出来，但是它会使距离的变化变成真实数值的两倍。因此他将偏心距看成是既能满足黄经上的运动，又能提供变化的距离，在偏心距的三分之一处增加一个小本轮的平均值；并且，通过假定行星每绕太阳一周都在本轮上旋转两周，他把两个不规则率都描

① 这些数据是从《天体运行论》第五卷提供的表格中推断出来的。它们可能是哥白尼所能获得的最准确的数据了。

绘出来了。[1]

哥白尼的工作是天文学有史以来最伟大的一步。但他只迈出了一步，表明了天空中哪些视运动是真实的，哪些是由观察者的运动引起的。他工作的其他方面不仅仅是建立在托勒密体系的基础上，还吸收了古代哲学关于事物适宜性的许多观念。像托勒密一样，他认为天空和地球都是球形的，所有的天体运动轨道都是圆形的，或是由圆形组成的。他驳斥了托勒密反对地球运动理论的说法，称哲学家把地球运动当作一种强迫的或者是剧烈的运动，完全忘记了如果它存在，它必定是一种自然运动，其规律与那些激烈的运动完全不同。因此，他的部分论点虽然没有科学依据，但结论是对的。尽管如此，哥白尼完成了在当时那种条件下所能做到的几乎一切。他的关于偏心距的三分之一处有小本轮的假设，描绘了在当时允许的观测精度下呈现的行星绕太阳的运动，而在当时不知道运动定律的情况下，建立任何行星运动的动力学基础框架都是不可能的。

2. 黄赤交角；季节等；在哥白尼体系框架中

接下来我们要解释在哥白尼体系中黄道和赤道的关系。既然在这个体系中天球根本不旋转，那天球旋转所围绕的极点和轴还有什么意义呢？答案是，天球的极点是恒星中地球的自转轴所指向的方向。这里的恒星被假定为是无限远的，地球的自转轴可以延伸到无限远与它们相交。既然这个点在肉眼看来全年都是一样的，那么可以推出来，当地球围绕太阳旋转时，它的轴一直指向相同的绝对方向。但是我们也指出极

① 哥白尼理论的数学公式如下：设 e 为偏心距，g 为行星的平均不规则率，用如下公式列出它的直角坐标：

$$x = a\ (\cos.\ g - e + \frac{1}{3} e \cos.\ 2g),$$

$$y = a\ (\sin.\ g + \frac{1}{3} e \sin.\ 2g)。$$

而椭圆运动的现代近似公式如下

$$x = a\ (\cos.\ g - \frac{3}{2} e + \frac{1}{2} e \cos.\ 2g),$$

$$y = a\ (\sin.\ g + \frac{1}{2} e \sin.\ 2g)。$$

当 $e=\frac{3}{2} e$ 时，两个公式完全相等。

需要全本请访问 www.ertongbook.co

点在恒星中有一个缓慢但持续的位置变化，称为岁差，这是古代天文学家经过几个世纪的持续观测研究发现的。这表明在哥白尼体系中地球的轴也在缓慢地变化。

为了设想哥白尼体系中的天球赤道，我们必须想象，球状的地球被一个从它的赤道处横切的平面划分为两个半球，这个平面一直延伸，直到到达天球。这也许可以通过图 3 来更好地理解。如图 3 所描绘的，地球在假想的天球的中心处。从地球极点到 P 点和 S 点的虚线标出了这个假想的天球的极点。很明显，当地球绕轴自转时，这个天球，不管看起来有多大，看起来都像是在同一轴上以相反的方向转动。若假设 ep 为地球的赤道，它将地球分成了平等的两半，我们假设它延伸到天球上的 E 点和 Q 点，将假想的天球也分成平等的两半。

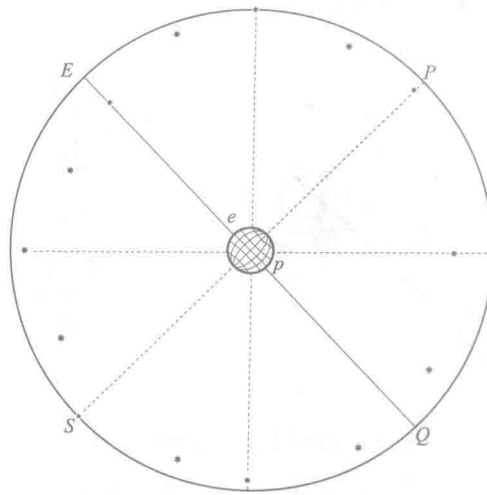


图 3

接下来让我们更仔细地研究一下地球与太阳的关系。我们已经证明，当地球围绕太阳转动时，太阳似乎在天球上转动，它所移动的圆形轨道被称为黄道。但是黄道和天球赤道相互倾斜，形成了一个大约 23.5° 的夹角。这表明地球的轴不是垂直于它的轨道的，而是与那个垂直方向形成一个 23.5° 的倾角，如图 4 所示。图 4 描绘了地球围绕太阳旋转一年的轨道。它必须以非常不协调的比例绘制，因为太阳离地球的距离几乎是后者直径的 12 000 倍，是太阳直径的 110 倍。如果在图中不放大，两个天体几乎都看不见。一个可能出现的困难是，现在的图表中描绘的是地球从它在天球中心的位置移开的情况。有两种方法可以解决这个问题。一种是假设观测者带着想象中的天球绕着太阳转；另一种是假设天球的直径几乎无穷大。后者可能是对普通读者来说

最简单的概念模式。因此，在上一个图表中，必须假设天球向外延伸直到恒星。这些恒星如此遥远，以至于整个地球轨道与之相比只是一个点；地球两极所指向的两点，以及地球赤道所指向的各点，在地球绕太阳运动过程中，看起来非常远，因而总是保持同样距离。现在只需要一个基本的球面几何的概念，以确保这两个天球上的圆——一个是黄道，即太阳在天球中运转的轨道，另一个是与地球的轴和天球相交的点各处都距离相等的天球赤道——两者之间倾斜的夹角和地球的轴与黄道垂直线形成的夹角相同。

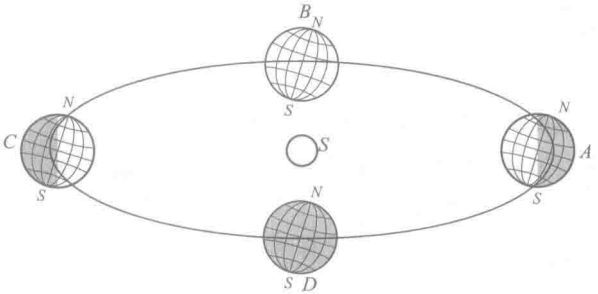


图 4：哥白尼体系中四季变化的原因

接下来，我们要看看在哥白尼体系中四季的变化、春分等是如何解释的。在上图中描画出了地球在绕太阳运行的轨道上的四个不同的位置。在 A 位置，地球的南极向太阳方向倾斜 23.5°，而北极，以及整个北极圈内，被黑暗包围。因此，在这个位置，太阳既不在北极圈内升起，也不在南极圈内落下。在这两个圈之外，太阳既会升起，也会落下，任何地方昼夜的相对长度，都可以通过研究那个地方在地球绕轴自转的周日运动时所形成的圆圈来估算出来。为了证实这一点，我们在下一页呈现了一幅地球在 A 位置时的放大图，更充分地显示了白天的半球和夜晚的半球。地球上七条水平的线正是我们正在讨论的圆圈的范例。我们看到北极圈上的一个点正好擦着白天黑夜的分界线，每次旋转或每天一次经过这个分界线；也就是说，太阳在这个水平线上一天只出现一次。在它的下方，南边的另一个圆圈有约三分之二位于黑暗中，三分之一在光明中。这表明白天长度几乎是黑夜的两倍。这个圆圈位于地

球绕轴做周日运行时伦敦所处的附近。当我们继续向南，我们发现白天在周日运行圆圈上的比例一直在增加，而黑夜的比例在减小，一直到赤道处，白天与黑夜比例相等。当我们进入南半球时，我们发现白天在每个圆圈上的比例都超过一半，白天的比例一直在增加，增加的速度与向北时黑夜比例增加的速度一致。当我们到达南极圈时，整个圈都处于白天的半球中，观察者在午夜时正好擦着白天黑夜的分界线。在南极圈内观察者一直处于白天中，太阳一直不会落下。这样我们就知道在赤道位置，白天黑夜总是长度相等，当我们向两极靠近时，白天黑夜的差距会增加。

现在我们向前移动三个月到达 B 位置，这是地球在三月份时所处的位置。在这里地球赤道的平面继续延伸，直接穿过太阳；因此太阳看起来就好像是在赤道上。在这个位置上，所有昼行圆圈都是一半被照亮，一半没有光，没有光的那一半在地球背面，图上是看不见的。因此，整个地球上的白天和黑夜都是相等的，太阳在几何学意义上位于地平线之下，我们就称为黑夜。在地球六月份所在的位置 C，情况与在位置 A 时相同，除了两个半球的效果是相反的。北半球现在有最长的白天，而南半球的夜晚最长。当地球在九月到达位置 D，白天和夜晚再次相等，与在位置 B 的原因相同。因此，所有在日常观察时看似复杂的现象在这个新体系里都以最简单的方式得到了充分的解释。接下来我们将看到哥白尼的后继者是如何给这个体系补充细节的。

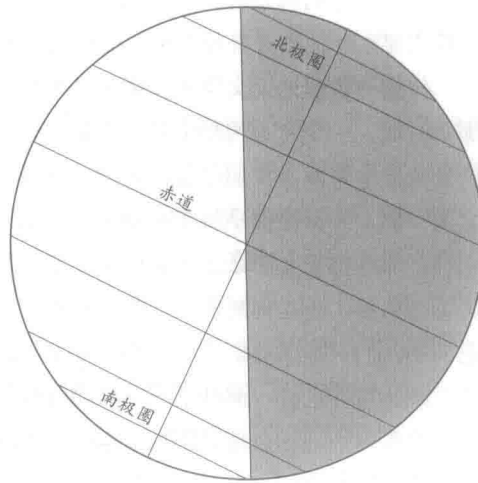


图 5：前一幅图中位于 A 位置的地球的放大图，表明北半球处于冬天，南半球处于夏天。

3. 第谷·布拉赫

我说过，没有更好的运动定律知识或者没有对天体位置更精确的观

测，哥白尼体系是不会有什么大的进展的。第一个进展正是在天体观测方面获得的。这个方面的引领人是第谷·布拉赫。他生于1546年，哥白尼去世三年后。他首次注意到天文学的研究是由于1560年8月21日发生的一次日食，这次日食在欧洲部分地区是日全食。惊讶于这样的现象可以预测，他开始致力于研究观测方法以及进行预测的计算方法。1576年，他在丹麦王国建立了著名的天堡天文台。第谷在这个地方待了二十年，孜孜不倦地用当时所能制造出来的最好仪器来观测天体的位置。那时望远镜还没有被发明出来，天文学家还无法利用这个强大的设备。因此，他的观察被接下来几个世纪的改良者所取代，他的名气和重要性主要在于他给开普勒提供了发现他著名的行星运动定律的方法。

作为一名理论天文学家，第谷是不幸的。他反对哥白尼体系，在他那个时代，一个有力的理由是，如果要接受这个体系，必须推算出恒星所处位置的距离。我们已经说明了，在哥白尼体系中，因为地球每年绕太阳一周，外行星似乎每年描画了一个本轮的旋转轨道。如果这个体系正确，那些位于太阳系之外的恒星必定看起来是以同样方式动转的。但无论是第谷，还是他的前人，都没有观察到此类运动。关于这个，哥白尼的朋友们只能回答恒星的距离是如此之远，以至于它们的运动观察不到。既然第谷也许观测到了三到四角分的摇摆，那么可以推定这些星星形成的天球距地球是地日距离最起码一千倍，是地球与当时所知的最远的行星土星距离的一百倍。土星轨道和固定恒星轨道之间有那么大的空间似乎是完全不可能的：对于当时的哲学家来说有一个自明之理，那就是大自然不会允许浪费这么大的空间。与此同时，哥白尼所提供的证据证明太阳是行星运动的中心，这个证据很强大无法推翻。因此，第谷提出了一种介于托勒密体系和哥白尼体系之间的体系；他假定那五颗行星以太阳为中心进行运转，而太阳本身也在运动中，绕着地球每年运转一周，而地球在宇宙的中心保持静止。

也许对哥白尼体系后来的推广接受来说，第谷的天文学仪器与19世纪初的那些不一样（没有那么精确）是一件幸事。如果他发现星星之间只有不到一秒的周年视差，如果哥白尼是对的，那么，那些星星与地球的距离一定是地日距离的200 000倍，天文界也许会对这个想法感到

惊骇，因而可能认为，托勒密一定是对的，而哥白尼错了。

第谷从来没有详细阐述过他的体系，很难说他会如何回答众多的反对意见。除了教会里的支持者，他从没有任何有名望的门徒；事实上，在一个新的体系有时间获得立足点之前，望远镜的发明去除了对于哥白尼体系正确性的最后一些怀疑。

4. 开普勒

开普勒出生于 1571 年的符腾堡。他曾为第谷·布拉赫在他的计算中当过一段时间的助手，但是他很有远见，不同意他的导师的奇特体系。理解了哥白尼体系的真相之后，他开始研究确定行星绕太阳运动的真实规律。我们已经看到，甚至是哥白尼也采用了古代的理论，所有的天体运动都是由匀速圆周运动合成的，因此必须引入一个小的本轮来解释运动的不规则性。第谷的观察结果比他的前辈们准确得多，这些结果向开普勒表明了哥白尼的理论还不足以描述行星绕太阳的真实运动情况。这个研究最喜欢观测的行星是火星，因为它是离地球最近的行星，同时它的轨道也是最具有偏心率的。开普勒唯一能够开展研究的办法是提出各种关于行星运行轨道、轨道上不同的点的速度的假设。通过这些假设来计算地球上能看到的这颗行星的位置和运动，然后与实际观测结果进行比对，看看观察位置与计算位置是否一致。我们现在有对数表，可以大大减少此类的计算量，可当时并没有，每一个假设的试验都要耗费开普勒大量的劳动量。当他发现那个轨道的形状肯定不是圆形的，而是椭圆形的时候，他被引导去尝试把太阳放在椭圆的焦点上。然后，行星的运动就满足了这个条件，即轨道上的运行速度是可变的，离太阳越近，速度越大。因此他终于推出了他著名的行星运动三大定律的前两条，如下所示：

1. 每个行星的运行轨道都是椭圆形的，太阳是其中的一个焦点。

2. 当行星绕太阳运转时，其半径矢量（或者它与太阳之间的连线）在相同的时间里通过的面积相同。

为了解释这些定律，假设 PA（图 6）为行星运动的椭圆。太阳不是椭圆的中心，而是它的一个焦点 S 点，另一个焦点为空。当行星位于 P 点时，它离太阳最近，因此这个点被称为近日点。当它运转到太阳的另

一边，离太阳越来越远，一直到 A 点时，它距离太阳最远。这个点被称为远日点。然后它又开始靠近太阳，越来越近直到再次到达 P 点，然后再次重复同样的运行轨迹，绕着这个椭圆一次又一次地运转。

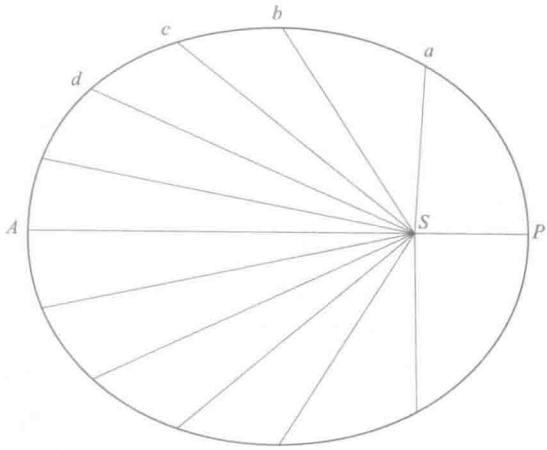


图 6：说明了开普勒行星运动的前两个定律

现在，假设从 P 点开始，我们在轨道上标记下任何相同的时间段行星的位置，比如 30 天、60 天、90 天、120 天等等。假定 a、b、c、d 是行星每运转 30 天后所在的前四个位置。从 P 点开始，将这五个点与太阳所在的 S 点用直线连起来。这样，我们将有四个三角形空间，每一个都是行星的半径矢量 30 天内扫过的区域。开普勒定律的第一条表明所有这些空间的面积都是相等的。

旧有的理论认为天体的运动必须呈匀速圆周运动，或至少是由匀速圆周运动组成的。这个理论现在就被彻底排除了。椭圆轨道替代了圆形轨道，变速运动替代了匀速运动。

与前两条同等重要的行星运动定律的第三条，后来也被开普勒发现了。哥白尼知道，古代的天文学家所推测的，行星越远，它围绕太阳的轨道运行一周所花的时间越长，这不仅仅是因为它有更长的路程要走，还因为它的运动速度会慢一些。例如，土星距太阳的距离是地日距离的

需要全本请访问 www.ertongbook.co