

微小差异导致的伟大发现

刘大为



在太阳系中，地球同她的姊妹行星以椭圆轨道围绕太阳运动，太阳本身处于椭圆轨道的一个焦点上。这一规律是众所周知的。1609年，在《新天文学》一书中，约翰内斯·开普勒提出了这一被称为开普勒第一定律的行星轨道规律，同时也提出了行星运动的第二条定律，这条定律指出：“行星的向径在相等的时间内扫过相等的面积”。他指出，这两条定律同样适用于其他行星和月球的运动。后来，经过长期繁复的计算和无数次失败，开普勒又发现了行星运动的第三条定律：“行星公转周期的平方正比于轨道半长轴的立方”。这一结果发表在1619年出版的《宇宙和谐论》中。行星运动三定律的发现为经典天文学奠定了基石，并导致数十年后万有引力定律的发现。

在得到开普勒第一定律之前，人们（包括开普勒本人）都确信古希腊柏拉图的观点：所有天体都在做“优美而和谐”的匀速圆周运动，或者做由之组合而成的运动。

在开普勒所处年代，对于天体的运动存在两种学说，一种是公元2世纪，古希腊天文学的集大成者托勒密的“地心说”。另一种是公元16世纪，波兰科学家尼古拉·哥白尼提出的革命性学说“日心说”。

托勒密的著作《至大论》汇集了前辈的成果，并加上了他自己的观测记录，留给后人一种关于宇宙的权威注释，创立了以他的名字命名的地心宇宙体系——托勒密体系。托勒密设想宇宙有九重天，即九个旋转的同心晶莹球壳（图1）。地球位于宇宙的中心，远离各个天球，静止不动，一切重物都被吸引到地上。最低的一重天是月球天，其次是水星天和金星天；太阳居于第四重天上，以它的光辉照亮了宇宙；火星天、木星天和土星天是第五到第七重天；第八重天是恒星天，全部恒星像宝石一般镶嵌在这层天上；在恒星天外还有一重原动天，那里是神居住的地方。每个行星都沿着一个叫做“本

轮”的较小的圆做匀速运动；而本轮的中心又沿着一个大的圆绕地球做匀速运动，这个大圆叫“均轮”（图2）。再加上“偏心理论”来帮忙解释四季长短的变化，即太阳在本轮上匀速运动，而地球则不在大圆的中心，而是向旁边偏离了一点，太阳距离地球远近不同，地球的受热就不同，这样在地球上的观察者就感觉到了四季的变化。每一个天球的球壳都很厚，足以容纳星体的本轮。发源于对托勒密庞杂的本轮体系的不满，哥白尼认识到，如果把太阳放在中心，对行星运动的描述将会大大简化。1543年，哥白尼发表《天体运行论》，系统提出日心说（图3），推翻了长期以来居于统治地位的地心说，实现了天文学的根本变革。应该补充说明，实际上在公元前300多年的赫拉克里特和阿里斯塔克就已经提到过太阳是宇宙的中心，地球围绕太阳运动。但是，坚实的大地是运动的这一观点在古代是无法令人接受的，因而长期以来流行的是托勒密的地心说体系。

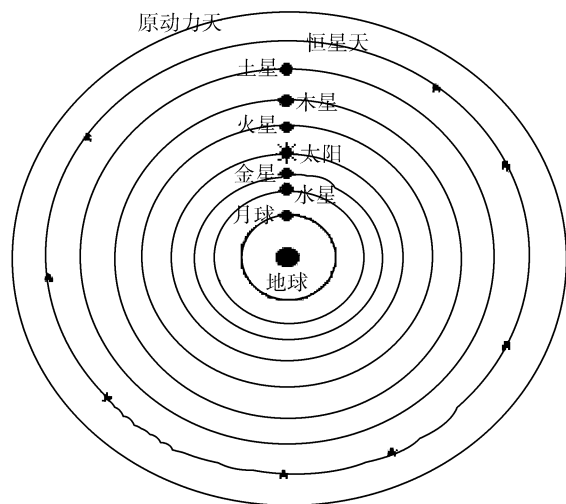


图1 托勒密的“地心说”宇宙的九重天

1609年伽利略发明了天文望远镜，以此发现了一些支持日心说的新的天文现象，这些天文现象主要是指：木卫体系的发现直接说明了地球不是宇宙的唯一中心，金星满盈的发现也暴露了托勒密体系的错误。

然而，由于哥白尼的日心说所得的数据和托勒密体系的数据都不能与丹麦天文学家第谷的观测相

吻合，因此日心说仍不具优势。直至开普勒以椭圆轨道取代圆形轨道修正了日心说之后，日心说在与地心说的竞争中才取得了真正的胜利。

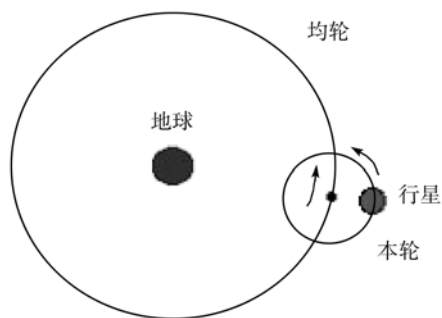


图2 托勒密的“地心说”行星的均轮和本轮

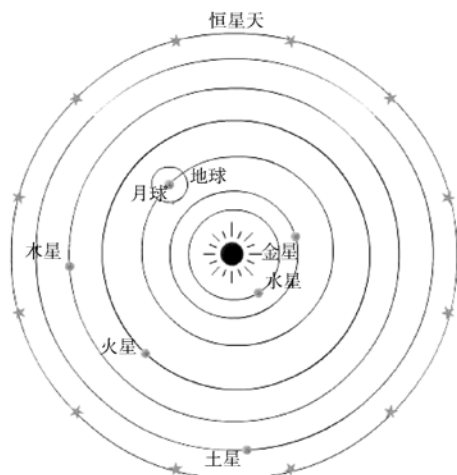


图3 哥白尼的日心说模型

开普勒的行星以椭圆轨道环绕太阳运行的理论是根据第谷精确的天文观察得出的。第谷的观测结果一般误差不超过 0.5 分（即 0.5'），最多为 2 分，比哥白尼的准确 20 倍，几乎达到望远镜出现前的肉眼观测极限。1600 年，第谷邀请开普勒当助手，去世前，他把毕生的观测材料（包括对 700 多颗恒星的观测）赠给开普勒，要开普勒完成编制 1000 颗星表（鲁道夫星表）的任务。第谷的观测为开普勒发现行星运动定律作了准备。对火星轨道的研究是开普勒重新研究天体运动的起点。因为在第谷遗留下来的数据资料中，火星的资料是最丰富的，而哥白尼的理论在火星轨道上的偏离最大。开始，开普勒用正圆编制火星的运行表，发现火星老是出轨。他便将正圆改为偏心圆。在进行了无数次的试验后，他找到了与事实较为符合的方案。可是，依照这个方法来预测卫星的位置，却跟第谷的数据不符，产生了 8 分的误差。这 8 分的误差相当于秒针 0.02 秒

瞬间转过的角度。‘会不会是第谷弄错了呢？或是寒冷的冬夜把第谷的手指冻僵了，以致观测失误了呢？不会！’开普勒完全信赖第谷观测的辛勤与精密，即使是这样微小的数值，第谷也是不会弄错的。他说：“上天给我们一位像第谷这样精通的观测者，应该感谢神灵的这个恩赐。一经认识这是我们使用的假说上的错误，便应竭尽全力去发现天体运动的真正规律，这 8 分是不允许忽略的，它使我走上改革整个天文学的道路。”开普勒知道第谷的实验数据是可信的，那错误出在什么地方呢？他敏感的意识火星的轨道并不是一个圆周。随后，在进行了多次实验后，开普勒将火星轨道确定为椭圆，并用三角定点法测出地球的轨道也是椭圆。

为了确定火星轨道的形状，开普勒首先研究了地球的轨道，因为生活在地球上的观察者对于某时刻地球在宇宙间的相对位置处于无知状态，也就无法确定其他行星的位置与轨道形状。在研究地球轨道的形状时，开普勒选择了当地球、火星和太阳位于宇宙间同一直线上时开始观察（图 4A），经过一个火星年（即 687 天）后，火星将回到它本身轨道上的同一点（图 4B），而地球却没有回到它本身轨道的同一点。但是，从地球上看到太阳和火星的方向，并以恒星作参照物，指向太阳和火星的视线的交点就是地球的位置。在研究了几组每隔一个火星年所作的观察数据以后发现，地球的轨道是近似于圆形，太阳稍微偏离圆心。

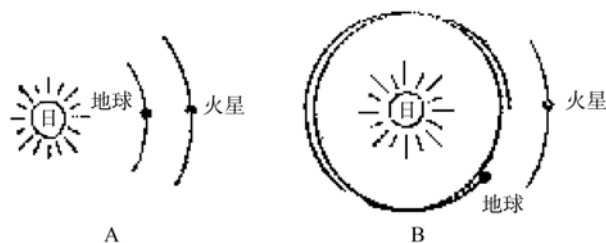


图4 地球轨道的确定

在确定了地球的轨道形状和运行周期以后，开普勒开始研究火星的轨道。他再次利用了每隔一个火星年的观察数据。

一个火星年比两个地球年的时间小（一个火星年是 687 天，两个地球年是 730 天），因此，在一个火星年的始末两个时刻，从地球指向火星的视线方向是不同的，这两条视线的交点正是火星在轨道上的一点（图 5）。根据这样的方法可以确定火星轨道的许多点，通过这许多点所描的曲线正是一个椭圆。

开普勒发现：太阳是在这个椭圆的一个焦点上，另一个焦点空着。开普勒综合这些研究终于发现了行星运动的一条规律——开普勒第一定律：所有的行星分别在大小不同的椭圆轨道上围绕太阳运动，太阳是在这些椭圆的一个焦点上。

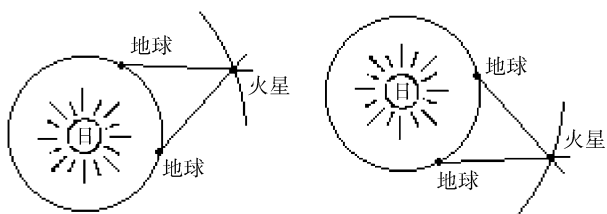


图 5 火星轨道的确定

8 分的误差！这仅仅相当于秒针 0.02 秒瞬间转过的角度，是多么的微小！然而，为了这一不可忽视的微小误差，开普勒勇敢地冲出了根深蒂固的由

圆周运动组合而成的天体运动轨道的包围圈；毅然地抛弃了自己经过 70 余次计算才得到的来之不易的成果。如果不是这样，人们对行星轨道的认识、对于天体运行规律的认识还不知要推迟多少年，特别是会迟滞牛顿对于万有引力定律的发现。这“8 分的误差”的结果向我们说明：相对原有科学理论所存在的不合乎预想的微小差异揭示着存在新的、未知的、重要的科学规律。大量科学研究的例证一再向我们说明：如果为了在形式上使人们感到自己完成了某项科学研究、取得了某项令人满意的无可挑剔的研究成果，将研究中出现的不简单解释的、与已有理论有微小差异的结果作为允许误差来处理，将失去新发现的机会、将不能取得有实质意义研究成果。

（甘肃兰州甘肃联合大学理工学院 730000）



科苑快讯

相同质量的矮星系

试想象一下：把 100 个块头各不相同的人放到秤上，却发现他们体重一模一样！在观测与银河系相邻的一群微型星系时，天文学家们发现了跟上述情况同样莫名其妙的现象：不管各星系包含多少恒星，每个星系的质量都是相同的。这项发现或许可以揭示有关星系的形成，甚至有关被称为“暗物质”的那种神秘物质的特性。

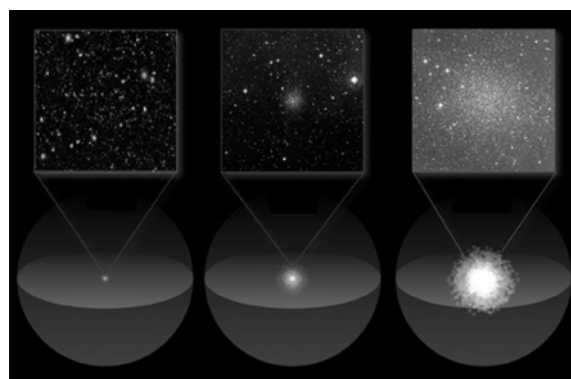
银河系由 23 个所谓的矮星系包围着，这些矮星系在已知星系中是最为暗淡的。加州大学尔湾分校的宇宙学家马诺·卡普林哈特及同事希望更多地了解一下这些由恒星构成的暗淡群体，他们测量了其中 18 个星系的质量，到目前为止这是一套最完善的计算资料。研究小组通过观测每个星系中一个代表性恒星的旋转速度，来估算星系的质量。该恒星的旋转速度越快，意味着其所在星系的质量就越大。

研究小组在不久前出版的《自然》杂志上报道：这些矮星系所包含的恒星在数量上差别很大，从几千个到一千多万个不等，尽管如此，它们中心区域的总质量都大约相当于一千万个太阳。这意味着这些看起来最小的星系比更为明亮的相邻星系所包含的不可见暗物质要多得多。

卡普林哈特说，很难解释为何存在这样的差异。另外一个奇怪的现象是，没有比这个质量更小的星系。“这好像是在告诉我们，当星系形成的时候有一个最低质量限度，”他说。这可能是由于小块物质引力太小，不足以形成恒星，因此对于我们来说永远都不可见。

一种更富于推测性质的可能是：原本就连小块

物质也从未形成。这与目前受欢迎的暗物质理论模型是互相冲突的。目前的理论认为，重粒子凝结成物质块，物质块最终成为星系的引力种源。由于这些重粒子是“冷”的——意味着它们移动很慢，所以它们可以凝结，形成大型物质块，也可以形成很小的物质块。然而，较轻的“温”暗物质粒子只会形成大型物质块，因此可以说明超出这个最低质量限度时就不存在星系。卡普林哈特指出，如果暗物质是温的，也许就需要运用不同的方法去研究，而不宜运用目前地下实验室的试验以及瑞士日内瓦的大型强子对撞机中正在使用的方法。



质量无差别：围绕在银河系周围的三个矮星系尽管在恒星数量上大相径庭，却拥有相同的质量。

“这是一项有趣的发现，”加州大学圣克鲁兹分校的宇宙学家皮埃罗·马导说。至于这项发现可能意味着什么，马导说：“我稍微倾向于不改变暗物质粒子的特性。”

（胡德良译自美国《科学》杂志网 2008 年 8 月）