

文

科

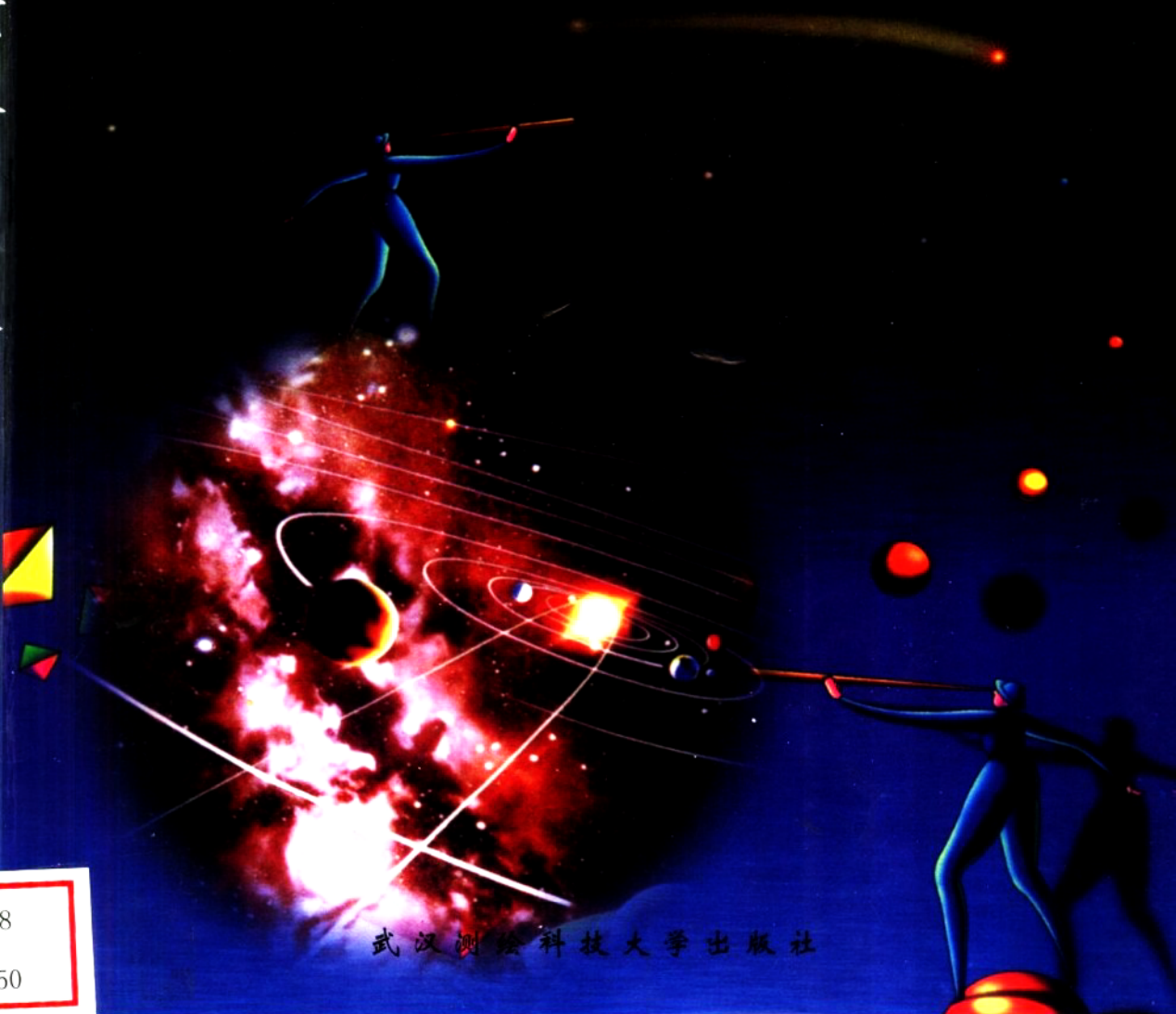
普

丛

书

敲开太阳系的大门

董挹英 编著



武汉测绘科技大学出版社

天文科普丛书

敲开太阳系的大门

董挹英 编著

武汉测绘科技大学出版社

(鄂)新登字 14 号

图书在版编目(CIP)数据

敲开太阳系的大门/董挹英编著. —武汉:武汉测绘科技大学出版社, 2001. 1
(天文科普丛书/董挹英主编)
ISBN 7-81030-800-9

I. 敲… II. 董… III. 太阳系-普及读物 IV. P18-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 87102 号

责任编辑:杨 华 封面设计:曾 兵 版式设计:冯 娟 李 宁
责任绘图:冯 娟 安 娜 责任校对:何丽娟 责任印制:刘永利

武汉测绘科技大学出版社出版发行

(武汉市珞喻路 129 号, 邮政编码:430079)

武汉理工大学出版社印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 彩插:1 印张:10.125 字数:207 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月第 1 次印刷

印数:0001—3000 册 定价:16.50 元

自序

兴乘儿时的遐想
飞向湛蓝的“天堂”
窥究星空的奥秘
是我童年的梦想

踏着求学的石阶
遨游知识的海洋
寻求宇宙的真谛
渡过了青春时光

迈着稳健的步伐
踏上大学的讲堂
向后代描述星空
是我多年的理想

整理数十年所得
只有日月星辰天象
不敢据其为已有
愿与读者们分享

董挹英

目 录

第一章	太阳系的家长	(1)
一	从毕达哥拉斯到哥白尼	(1)
二	谁主沉浮	(5)
三	绚丽多姿的太阳	(10)
四	太阳系的由来	(22)
第二章	蓝白色的星球	(30)
一	备受宠爱的地球	(30)
二	地球的年龄	(33)
三	天旋地转话地球	(33)
四	地球的伴侣——月球	(41)
五	潮起潮落	(48)
六	地球有几个月亮?	(49)
七	地球与太阳	(50)
第三章	地球的近邻——类地行星	(52)
一	酷似月球的白炽星球——水星	(52)
二	行星的视运动	(54)
三	地球的姐妹行星——金星	(57)
四	从火星上有无生命谈起	(61)
五	火红星球	(63)
六	火星的两个月亮	(66)
第四章	地球的远邻——外行星	(70)
一	巨行星——木星	(70)
二	木星的随从们	(74)
三	木星也有环	(77)
四	天王星与海王星	(84)
五	遥远的天体——冥王星	(90)
六	寻找冥外行星	(92)
第五章	调皮的小伙伴们——小行星	(94)
一	调皮的小伙伴	(96)
二	小行星分类	(98)
三	小行星也有卫星	(99)

四	木星的引力.....	(100)
五	小行星的命运.....	(100)
第六章	备受欢迎的使者——彗星.....	(103)
一	使者来自何方.....	(103)
二	牛顿的忠实朋友——哈雷.....	(107)
三	哈雷彗星.....	(109)
四	掠日彗星.....	(111)
五	几颗特殊的彗星.....	(113)
第七章	从天而降的天体.....	(117)
一	太阳系中的漂泊者.....	(117)
二	天女散花.....	(119)
三	飞来石——陨石.....	(122)
四	陨石撞击力.....	(127)
五	行星际尘埃.....	(130)
第八章	遨游太空.....	(133)
一	遨游太空史.....	(134)
二	遨游太空的各类工具.....	(137)
三	何时能去太空旅游.....	(142)
尾声		(146)
参考书目		(148)
附表 1		(149)
附表 2		(151)
附图目录		(156)

第一章

太阳系的家长



●从毕达哥拉斯到哥白尼

人类认识宇宙是从我们视野所能见到的太阳、月亮、行星和恒星开始的。观察它们的运动,思考它们的运动方式,研究它们的运动规律和变化,建立一系列运动理论。从古至今经历了近五千年的历史长河,发展成为今天的天文学。天文学,听说过,是关于日、月、星辰的,直观而又神秘,古老而又年轻。若想讲几段听听,那还得从远古说起。

约在公元前 600 年,古希腊就已经开始了对天体(太阳、月亮、行星等)的运动做系统研究。一开始是借助模型来表达他们对天体运动的看法。最先建立天体运动模型的是古希腊的毕达哥拉斯(Pythagoras 公元前 582~前 497 年),也许大家都还记得他!平面几何中的勾股定理就是毕达哥拉斯发现的,故又称毕达哥拉斯定理。他是古希腊的数学家、天文学家,又是一位唯心主义的哲学家。他具有独特的治学精神,主张以简单的几何图形或数学关系来表达宇宙中天体

运动的规律。他建立的天体运动模型基于这样一种信念:圆球是所有几何形体中最完美的图形。他认为各天体都是圆球形的,它们的运动都应是和谐的、均匀的圆周运动。在这种运动模型中,各种圆形天体都缀附在围绕静止不动的地球周围的一个更大的同心球上,并各自独立的旋转,这些天体的运动造就了天空的和谐,毕达哥拉斯称其为“圆球音乐”。据称这种音乐只能为那些有才能的人所欣赏。毕氏也曾用数学研究音乐,并指出弦长的比数愈简单,那么其音就愈和谐。由此可见,毕氏的这种用完美圆球来描述天体运动的理念,是建立在一种神秘的唯心概念基础上的。故在天文学上称其为思辨性宇宙论。这在当时形成了一种学派称毕达哥拉斯学派。尽管这一学派是唯心的,但在天文学的发展史上仍作出了不朽的贡献。

在毕达哥拉斯以前由希腊第一个著名自然哲学家泰勒所形成的爱奥尼亚学派(公元前 7 世纪~公元前 5 世纪)认为大地是浮在水面上的圆盘或圆筒。毕达

哥拉斯学派则认为大地是球形的,故称地球,之后,在亚里士多德(Aristotle,公元前384~前322年)的《论天》中也肯定了这一看法。但地球实际上是一稍扁的椭球体。不过,在研究天体运动时,为方便起见仍将地球视作球形来讨论。

毕达哥拉斯认为,月亮本身是不发亮的,月光是太阳光的反射;月亮的圆缺变化是由于月、地、日之间相互位置的变化所致。由此找出日、月食的成因和得出黄赤交角的大小。

毕达哥拉斯学派的上述论点为天文学的发展奠定了基础。但其还是以思辨性的宇宙论占主导地位,继毕达哥拉斯学派后,从柏拉图(Plato 前427~前347年)开始,才有了柏拉图学派(公元前4世纪~公元前3世纪),由此开始就有了希腊天文学的特色——用几何系统来表示天体的运动。为了解释当时所观察到的天象,创立了同心球宇宙地心模型。在该模型上,地球为中心,其他各天体所在的球壳位于各同心球上,离地球的距离由近到远,依次为:月、日、水、金、火、土,而所有恒星共处于一个同心球壳上,此球的半径最大。这些同心球都围绕着通过地心的轴线每日旋转一周。当观察资料不断积累后,又发现了新的现象,这一同心球体系不能完善地作出解释,故不得不对原体系进行改进以求解释新的现象。

实际上,当时的人们,包括创立这一系统的柏拉图的学生们,并不认为这些同心球是实际存在的,而只是用其作为一种解释实际观察现象的一种辅助工具。可以说,当时的希腊人把天体运动

的问题当作一种智力测验来进行探讨。

柏拉图的学生亚里士多德(Aristotle,公元前384~前322年)是一位颇具影响力的哲学家、科学家。他根据自己的观察结果,把上述同心球的宇宙模型变成实际存在的一种球壳层。为了解释实际天体运动,他认为一个物体的运动需要另一个物体作推动。因此,在恒星天(恒星同心球)之外,有一个原动力天层,被称为“宗动天”。宗动天的运动是由不动的神来推动的。这种神推动宗动天,然后宗动天就将运动逐一传递到各个同心球以推动各个天体的运动。由此开始,亚里士多德就把上帝是第一推动力的思想引进宇宙论中。

亚里士多德主张地球必须是球形的,在这方面他提出了合乎逻辑的证据:在月食期间投射在月亮表面的地球阴影的形状是圆形的,不论光从什么方向来,只有圆球的阴影是圆的;由一个向北或是向南旅行的人证明,他以前在地平线上看不到的恒星变得可以看见了,对这一现象的惟一解释是地球是球形的。

在同心球的理论中,其最根本的两个基点是:各天体之间永远保持固定不变的距离,从这一观点出发,就很难解释当时所观察到的事实。如金星和火星的亮度时时发生变化,发生日食时有全食、环食、偏食之分,行星存在着逆行。另一个基点是同心球的地心理论。亚里士多德是坚定否定地球是运动的观点的,其理由有①地球太重所以不能运动;②没有显示地球运动的迹象;③如果地球绕太阳运动,就能看到视差。恒星视差是地球绕太阳运动造成的恒星视运动。其

实恒星视差确实存在,只因恒星是如此的遥远,故不能用肉眼观察到它的移动。因而也影响了对日心说的认可。

并不是所有的古希腊天文学家都对地球运动的论点。提出真正宇宙日心模型的第一人是天文学家阿里斯塔恰斯(Aristarchos, 公元前 275 年前后)。他认为太阳位于宇宙中心,太阳与恒星一样是静止不动的。地球和其他行星一起围绕着太阳运行,同时绕自身轴自转。这在当时没有望远镜,仅靠肉眼观察加上理性的思维得出宇宙日心说,是颇具革命性的。恩格斯曾称他为“古代的哥白尼”。阿里斯塔恰斯用宇宙日心说清楚地解释了行星亮度变化、行星逆行等现象。但是在宇宙地心说盛行的年代,这一走在时代前面的日心说,无法被一般人所接受,从而被抛弃。

为了解释天体与地球之间距离的变化,古希腊天文学家阿波隆尼斯(Apollonius, 约公元前 3 世纪)研制出一架能令

人信服地解释太阳、月亮和行星围绕地球运动的“机械”。它由本轮和均轮组成,均轮是一个大圆,圆心为地球中心。本轮是一个较小的圆,它的圆心位于均轮圆周上。行星附着在本轮的圆周上。行星在本轮上作匀速圆周运动,而本轮的中心又在均轮上作圆周运动(图 1-1)。这样就得以解释行星与地球之间距离的变化。只要适当的选择本轮、均轮的半径和运动速度,天体的运动就可以在数量上得到解释。这个解答是很巧妙的,它用比较简单的机械说明了复杂的现象。这一说法被称为本轮均轮说。后来喜帕恰斯(L. Hipparchos, 公元前 2 世纪)继承并发展了这一学说,他用偏心轮来解释太阳的不均匀性运动。偏心轮即指地球不位于均轮的中心,稍偏差一些,而太阳仍然绕地球作均匀圆周运动,但从地球上看来太阳的运动就不是均匀的了,且距离也有变化,近地球时走得快,远地球时走得慢(图 1-2)。

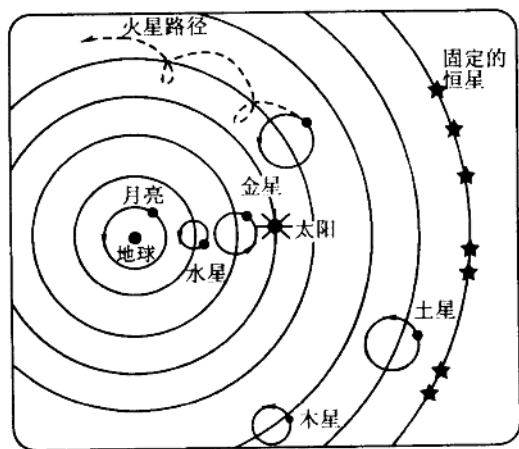


图 1-1 本轮均轮说

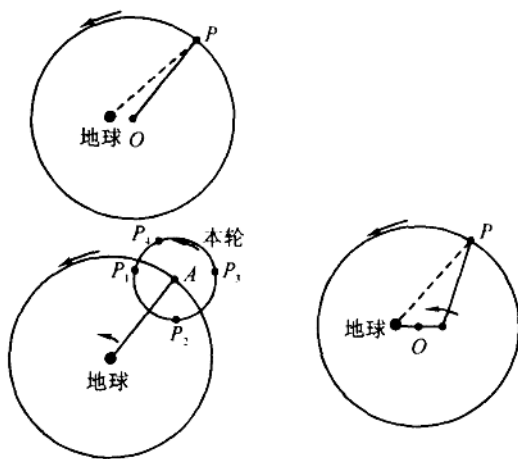


图 1-2 偏心轮

尽管本轮和均轮说对天体运动给出了一种非常近似的解释,但仍有许多需改进之处。本轮均轮说实质就是地心说。完善地心说的任务落在古希腊天文学家托勒玫(Claudius Ptolemaeus, 约 90~168)身上,他的名字现在已成为“主张地球不动”的同意语了。托勒玫在埃及亚历山大城做了大量的天文观测,结合古希腊天文学的成就,总结完善了本轮均轮说。成功地建立了一个以地球为中心的宇宙模型(图 1-1),这个模型极精确地说明了所有观测到的天体运动。此外,他的模型还能预测未来日、月和行星的位置,当时赢得了人们的喝彩。他的著作《天文学大成》可谓是当时的天文学百科全书,书中举出种种物理上的理由来反对日心说。后世就把这一完备的地心系统称为托勒玫体系。这一体系统治了天文学达一千四百多年,直到波兰天文学家哥白尼(Ni. Chalas Copernicus, 1473~1543)学说诞生,才逐渐被抛弃。

哥白尼是被普遍承认的日心说的创

立者,近代天文学的创始人。他 10 岁丧父,由舅父抚养。18 岁时就抱定献身天文事业的志向,前后往返意大利和波兰求学,学习教会法规,同时还研究法学、医学,尤其是酷爱数学和天文学。1497 年他 24 岁时,被选为意大利佛龙堡大教堂的僧正,1501 年由意大利回波兰后,正式宣誓参加神父团体。1503 年在意大利费拉拉大学获得教会法博士学位。1506 年返回波兰。作为僧正,工作比较轻松,他就将大部分时间用在天文学的研究上。在他工作的护卫大教堂的城墙上,他选了一座箭楼做宿舍,城墙上的平台就是他的天文台。后人称它为“哥白尼塔”,17 世纪以来一直被人们作为天文学圣地保存下来。

当时的欧洲正处于动荡的中世纪末,随着基督教的成长,地球被看作是上帝和魔鬼争夺人类灵魂的舞台,而托勒玫体系也被基督教会视为基督教义的支柱。此时的地心说已发展成要用 80 个左右的均轮和本轮才能获得与实际观测

比较相吻合的结果,而这些轮还有不断增加的可能。在实际应用上已极不方便。当时一些具有进步思想的哲学家和天文学家,对如此庞大的地心体系已极为不满。哥白尼赞同并接受了这些进步思想,他在意大利工作和学习期间,学习并研究了大量的古希腊哲学和天文学著作。他赞成并效仿毕达哥拉斯的治学精神:以简单的几何图形和数学关系来表达并说明宇宙间天体运动规律。特别是他研究了古希腊阿里斯塔克斯所提出的地球绕日运行的说法,从中获得很大的启示。结合研究托勒玫体系中所存在的问题和大量观测实践,他认为,如果将地心体系中行星存在的三种共同的周期:一日、一年和相当于岁差*的周期运动,都归纳到被托勒玫视为静止不动的地球上,就可消除该体系不必要的复杂性。由此,哥白尼建立起一个新的宇宙体系——太阳居中止静止不动,而地球与其他行星都绕太阳转动的日心体系,月球绕地球转动,恒星则位于离太阳非常遥远的一个天球面上不动。他用了近36年的时间来测算、校核、修订他的学说,为系统地、明晰地批判地球中心说做好了理论和实践上的准备,写下了阐述日心说的不朽著作——《天体运行论》,旧译《天旋论》,分六卷:第一卷总论太阳位于宇宙中心,地球与其他行星都围绕太阳运行;第二卷论地球的自转;第三卷论地球的公转、太阳的视运动、岁差和黄赤交角的测定;第四卷论月球的运行和日月食;第五、六卷论五大行星,作为僧正和神父团体成员的哥白尼,能与基督教义背道而驰,反对地心说,叛逆的胆识

完全在于科学的精神。但他也很清楚,若他的书一经上市,将会引起来自维护地心说的顽固哲学家们的疯狂围攻和无端地责难,更会被教会视为离经叛道的邪说,故他迟迟不愿将《天体运行论》付诸出版,直至1543年5月24日,当他濒临死亡之际,在病榻上才看到了他的刚印好的《天体运行论》。《天体运行论》的出版立即引起宗教势力的仇视,被列为禁书。主张日心说的学者也受到了残酷迫害,如意大利杰出的思想家、唯物主义者布鲁诺(Giordano Bruno, 1548~1600)被宗教裁判活活烧死;意大利物理学家和天文学家,近代实验科学的奠基者之一伽利略(Galileo, 1564~1642)被教会软禁。但真理是不可战胜的,这部著作还是很快为人们所接受,从而改变了几千年来人类的宇宙观,最终从根本上动摇了欧洲中世纪宗教神学的统治。哥白尼对天文学的贡献是巨大的,他所创立的日心说,不仅是天文学一次突破性的发展,而且是一次重大革命。

●谁主沉浮

1543年哥白尼日心说确立之后,人们认为围绕太阳运行的是日、月、五行(水星、金星、火星、木星、土星),土星是离太阳最远的行星。1781年发现了天王星,以后又陆续发现了海王星、冥王星、小行星等,逐步形成了现在所认识的太阳系理论。那么,太阳系有多大?它包容了哪些成员?太阳系中谁主沉浮?现在就让我们走进这个大家庭去看个究竟

* 地轴运动引起春分点向西缓慢运行的现象称岁差,其速度为每年 $50.2''$,约25800年运行一周。

竟。

要想知道宇宙有多大,银河系有多大,太阳系有多大,就一定要有一把尺子去量度。可想而知,这样一把量天的尺子,决不是一把厘米尺或皮卷尺,一定是一个非常的尺度。那么怎样选择这个非常尺度呢?

在太阳系中,采用的尺度是以地球到太阳的距离——一亿五千万千米(149 597 870千米)作为一个量度单位。天文学上称为1天文单位,以A表示。用它来量测太阳系内天体之间的距离。

那么,太阳系有多大呢?目前九大行星所占宇宙空间范围,它的直径不到100A,也就是说有一百个一亿五千万千米,这数字够大的吧!但是,即使在离太阳10万~15万天文单位(A)处还存在有太阳系物质——彗星云。以此作为太阳系的半径,这样的太阳系也只是更大的天体系统——银河系的极微小的一部分。银河系中离我们最近的恒星——半人马座比邻星,距离达20万A余。银河系的直径为77亿亿千米。用天文单位来表示为5.15亿A。由此看出,长为1.5亿千米的尺度,用于量测银河系又显得太小了。再用A来量测银河系中天体间的距离就显得极不方便,这样还得寻找新的更大的度量单位。

光年就是其中的一种,即将光在一年中所走过的距离作为一个量测单位。大家都知道,光速 $c=299\,792.58$ 千米/秒,那么1光年 $=94\,605$ 亿千米 $=63\,240$ 天文单位(A)。用光年表示银河系直径是8.15亿光年。似乎这一尺度用于银河系也小了些,于是又有一种天

文学上的量度单位——秒差距(pc)。天体的周年视差为1角秒时,该天体到太阳的距离称为1秒差距。(周年视差:地球绕太阳公转的平均轨道半径 a 对天体所张的角。也就是以太阳到某一天体的距离 r 为弦,以 a 为最小边所组成的

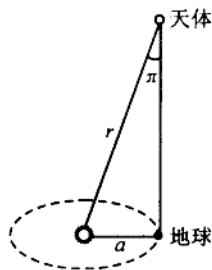


图 1-3

直角三角形的最小角 π ,如图1-3所示)。1秒差距(pc) $=3.261\,6$ 光年(ly) $=206\,265A=3\,085\,68\times 10^{13}$ 千米。用秒差距来度量银河系,则其直径为25 000秒差距(pc)。更长的距离单位有千秒差距(kpc)和百万秒差距(Mpc)。前面我们提到的离地球最近恒星(半人马座比邻星)的距离为1.33秒差距(pc) $=4.33$ 光年(ly),这就是说光以299 792.58千米/秒的速度从地球到比邻星要花费4.33年的时间。由此可见宇宙有多大,真是深不可测。目前人类观测到宇宙的深度已达150亿光年。

太阳系是由太阳、九大行星及其卫星、小行星、彗星、流星体和行星际物质构成的。太阳是中心天体,它的质量占太阳系总质量的99.8%,其他天体质量总和只有太阳系质量的0.2%。太阳的引力控制整个太阳系,使得其他太阳系成员都围绕着太阳转。除太阳外,太阳系的主要成员是水星、金星、地球、火星、

木星、土星、天王星、海王星和冥王星等九大行星,以及自1801年开始陆续发现的诸多小行星。由此可知太阳系是行星系。

九大行星就像亲密的兄弟,它们有着诸多共同的规律。它们都在接近同一平面,一个近圆形的轨道上,朝着同一方向绕太阳转动(通称公转)。除公转外,各自都有自身的转动(通称为自转)。多数行星的自转方向与公转方向相同,但金星相反。它们中除水星和金星外,其他行星都有卫星围绕转动而构成卫星系,到目前(1999年)共发现太阳系中有72颗卫星。

在火星和木星的公转轨道之间,有着许多小行星,它们的质量总和是地球质量的万分之四,而且质量越小的行星越多。除小行星外,目前已发现约3000颗彗星,它们绕太阳运行的轨道除椭圆外,还有抛物线和双曲线,有些彗星的公转方向像金星一样是逆向的。彗星在太阳中运行时,它们的形状会展现十分奇特的变化,在不大的彗核周围有雾状的彗发,靠近太阳时会生出长长的尾巴,非常美丽壮观。太阳系中还有着数量众多的小流星体,有些流星体成群地出现,这时称流星群或流星雨。现已证实有些流星雨是彗星解体而生成的。大流星体落到地面即成为陨石。另外,在行星之间(天文学上称为行星际)还存在有稀疏的微尘粒和气体,集中在行星公转轨道面附近。

太阳是太阳系的中心,独一无二,岿然不动,够神气的。但太阳系在宇宙中又处于什么位置呢?太阳是一颗极普通

的恒星,这样的恒星在银河系中有上千亿个。太阳距银河系中心约1万秒差距。在银河中,太阳要带领整个太阳系以250千米/秒的速度绕银河系中心转动,转动一圈历时2.5亿年。除此之外,太阳系还以20千米/秒的速度向武仙座运动(图1-4)。太阳系不在银河系中心,更不在宇宙中心。宇宙是无限的,太阳系在宇宙中的地位真是微乎其微的。(附图1)

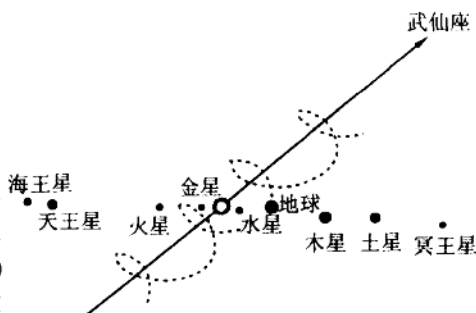


图1-4 太阳系的运动

宇宙无边无际,还是回到人们关心的太阳系中来。在太阳系中,首要的问题是主沉浮。这个问题想必读者都能回答:太阳。那么为什么是太阳,除去它质量大以外,还有什么其他的“本领”使得它能“控制”太阳系中各天体各自所在的位置、公转的轨道和运行的速度呢?要回答这一问题,先得回顾一下历史。

哥白尼竭尽毕生精力,经过艰苦的观测和数学计算,以严格的科学理论建立了日心体系。但限于当时科学发展水平,哥白尼的日心说也存在着缺点和错误,他视太阳为宇宙中心,并认为行星是按圆形轨道围绕太阳作匀速运动。之后

布鲁诺提出:太阳不是宇宙中心,也并不存在“恒星天”这一层空间,宇宙是无限的,根本不存在中心的说法。到17世纪初,德国天文学家开普勒(Johannes Kepler, 1571~1630)明确指出行星绕日运动轨道是椭圆,太阳位于椭圆的一个焦点上,并在1619年出版的《宇宙和谐论》中发表了行星运动三大定律——开普勒定律。

开普勒用了很长的时间,对他的导师——丹麦天文学家第谷(Jycho Brahe, 1546~1601)所遗留下来的大量观测资料进行分析研究。起初他沿用哥白尼的“行星作匀速圆周运动”的观念,可经过反复推算和校核发现:对火星来说怎么也算不出与第谷观测相符合的结果。尽管相差只有8分(这在当时,已算是够精确了),但他坚信第谷的观测结果。这时他想到火星可能不是作匀速圆周运动,于是他改用各种不同的几何曲线来研究火星的运动轨道,最终发现“火星沿椭圆轨道绕日运行,太阳位于椭圆的一个焦

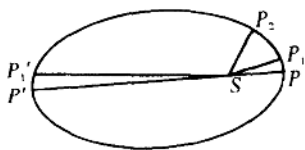


图 1-5 开普勒第一、二定律

点上。(图 1-5)这个发现把哥白尼的学说向前推进了一大步。开普勒说“就凭这 8 分之差的发现,引起了天文学界的又一次轰动,引起了日心说认识上的一次深刻变革。这就是著名的关于行星运动的第一定律的诞生。接着他又发现,虽然火星的运行速度是不均匀的,靠近

太阳时(近日点)快,远离太阳时(远日点)慢,但从任何一点开始“在单位时间内,向径所扫过的面积相等。”(图 1-5)。这两条定律发表在 1609 年出版的《新天文学》一书中。该书指出:这两条定律同样也适用于其他行星和月亮的运动。此后,开普勒继续深入探索各行星之间的关系。经过长期繁杂的计算,并经历了无数次的失败,终于发现了行星运动的第三定律:行星公转周期的平方与它们的轨道半长轴的立方成正比。此定律连同第一、二定律发表在 1619 年出版的《宇宙和谐论》中。这三大定律的发现奠定了经典天文学的基础,并导致数十年后“万有引力”定律的发现。

为了使读者对行星运动三大定律——开普勒三大定律有一总的印象,现将它们概述如下:

1. 所有行星的运动轨道都是椭圆,太阳位于椭圆的一个焦点上;

2. 行星的向径(太阳中心到行星中心的连线)在相等时间内所扫过的面积相等。即图 1-5 中扇形 P_1SP_2 面积等于扇形 $P'SP'_1$ 面积,由图中也可得出行星在近日点附近的速度比远日点附近的速度要快;

3. 行星围绕太阳运动的公转周期 T 的平方与它们的轨道半长径 a 的立方成正比。

写成数学公式为:

$$\frac{a^3}{T^2} = \text{常数}$$

有了这三条定律就可以从数学上圆满解决太阳系中各行星的实际运动轨迹。但如何从力学上解释太阳系中行星

运动的动力机制,这就要求助著名的万有引力帮忙了。

一提到万有引力,读者立刻就会联想到牛顿(Isaac Newton, 1642~1727)。牛顿是英国物理学家、天文学家和数学家。他在科学上的贡献是巨大的。从天文学这个角度看,主要成就有两个方面,一是天文光学的研究,一是万有引力的发现,特别是后者。

一颗行星为什么会绕太阳运行,并且还遵守开普勒三大定律,究竟是什么

在起作用?在提出日心说的初期直到牛顿以前,没有人想到要有一种力的存在才能说明这种运动。1666年,牛顿在家乡躲避瘟疫时,躺在苹果树下休息,见到苹果从树上落下来,启发了对引力的思考。思考后的结论是:物体都相互吸引,地球上所有物质对苹果吸引力的合力是向着地心的,所以苹果才向着地心落下,这种力叫做向心力。他认为也正是这种吸引力使月球和行星保持在绕地球和绕日的轨道上运行(图1-6)。

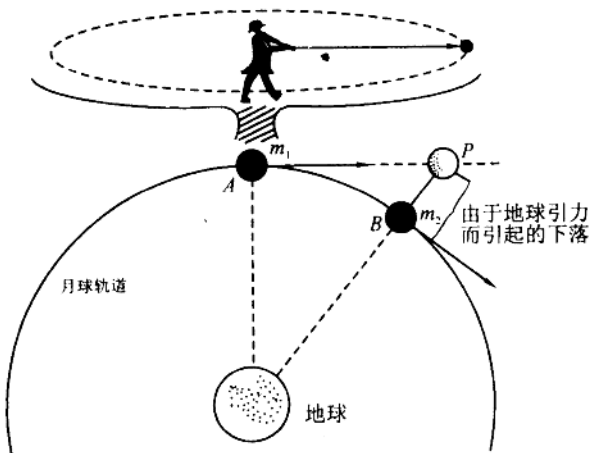


图1-6 引力作用

牛顿进一步从数学上分析产生月球绕地运行和行星绕日运行的这种力。他在开普勒第一、第二定律的基础上,推导出使行星作轨道运动的那个力一定是指向轨道面上的某一点,而太阳就位于这一点上,也就是说这个力必定是向心力。根据开普勒第三定律,牛顿又进一步计算出这一向心力的大小。这一向心力应与行星到太阳的距离平方成反比,也就是说两物体之间的引力是随它们之间的

距离而变化。

为了对上述理论进行验证,牛顿对月球绕地运行轨道作了精确计算。根据上述理论,月球离地球中心的距离约是地球半径的60倍,那么月球所受到的引力加速度就应该是地面附近引力加速度(重力加速度)值的 $(\frac{1}{60})^2 = \frac{1}{3600}$,地面的重力加速度是980厘米/秒²,除以3600,得出月球所受到的引力加速度是0.272厘米/秒²。然后牛顿再计算月球

为保持轨道运动所受到的向心加速度,结果是 0.274 厘米/秒^2 。两个结果非常一致,这就非常好地证明了牛顿关于引力的发现。以后牛顿又进一步证明,这个力还依赖于相互吸引两物体的质量。正是由于地球和太阳具有巨大的质量,它们才能产生强大的引力使月球和行星分别围绕着它们运转。为了搞清楚质量与引力的内在关系,牛顿应用了前人伽利略的发现:对于地球表面的一切物体,重力加速度是常数,以及他自己发现的运动三大定律*的第二定律:作用在一个物体上的力等于该物体的质量和它所经受的加速度的乘积。若以 w 代表引力, m 为物体质量, a_g 为重力加速度,则第二定律可写为:

$$w = ma_g$$

因为 a_g 是一个常数,所以一个物体所受到的引力 w 必定与它的质量成正比。把这一结果与距离平方反比定律结合起来,就可得出:引力与两个物体的质量乘积成正比,而与它们之间的距离平方成反比。若以 m_1, m_2 代表两物体的质量, r 表示它们之间的距离,那么两物体间的吸引力

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

式中 G 称为万有引力常数。这就是著名的牛顿万有引力定律。他把这一定律连同他许多其他的发现都收集在他的不朽著作《自然哲学的数学原理》一书中,此书于1687年出版。牛顿利用万有引力定律不仅说明了行星的运行规律,并指出此定律同样也适用行星的卫星。后人就是在万有引力定律的基础上,陆续

成功地预言并发现了天王星、海王星。万有引力定律出现后,才正式把天体的运动建立在力学理论的基础上,从而创立了天文学的一个新的学科分支——天体力学。

有了开普勒行星运动三大定律和牛顿的万有引力定律,读者就可清楚地看出,在太阳系中谁主沉浮!太阳,它的质量是整个太阳系总质量的99.8%,它以强大的引力作用于周围的行星,构建了一个庞大的太阳系、九大行星以及它们的卫星、数以万计的小行星,各式各样的彗星,无数的流星体和尘埃物质,无一例外都围绕着太阳转动,永不停息。

自此,太阳是太阳系的“家长”地位为全人类所公认。

●绚丽多姿的太阳

太阳,从地球上望去,生机勃勃、明亮、美丽而又光辉灿烂,给人们以既伟大庄严又热烈奔腾的形象。它是地球上生命和能量的源泉,又是太阳系的主宰。其实,从整个宇宙来看,太阳只不过是一颗极为平常的恒星,无论是亮度、大小和温度都属于中等。如果我们能把太阳从太阳系中拖走,把它放置在猎户座 β 星(参宿七)的近旁,那么它立即显得暗淡无光了。猎户座 β 星比太阳亮约15 000倍。如果把太阳放在天蝎座 α 星(心宿二)旁边,心宿二大到足以容纳360亿个太阳。太阳是距我们最近的恒星,对于地球上的观测者来说,那么遥远的“太阳”即使在最大的望远镜中看去也仅仅

* 第一定律为惯性定律;第三定律为作用力与反作用力定律。

是一个小亮点,它们的视亮度是太阳视亮度的 $1/(100\text{亿})$ 。正由于太阳距离我们最近,所以它是天文学家认识宇宙中其它亿万颗恒星的主要媒介——利用研究太阳的资料去认识和验证关于一般恒星的理论。目前而言,人类对恒星的了解大多是来自太阳。现在就让我们来认识一下太阳这位繁星世界的代表者吧。

读者们都知道,太阳是一个炽热的气体球。那么,为什么它是气体球而不是液体球或固体球呢?表 1-1 列出的是太阳的基本数据。从表中看出,太阳的质量非常大,前面已提到过,它的质量是整个太阳系质量的 99.8%,是地球质量的 300 000 倍。根据万有引力定律,太阳就具有非常强大的引力。正是组成太阳的各粒子之间相互引力的吸引,使太阳聚集在一起。但是,又是什么保证太阳在如此强大的引力下不致坍缩呢?答案只有一个:太阳是炽热的气体,因为只有炽热的气体才能产生出巨大的压力以抗衡强大的引力作用。所以太阳与其他恒星一样,是一个用引力维系在一起的气体球。表 1-1 中列出了太阳中心强度高达 16 000 000K,比已知的所有物质蒸发时的温度(沸点)要高出几百万度。在这样的高温下,我们无法窥视太阳中心,无法用现代技术去直接研究太阳的内部,也很难设想有朝一日出现直接研究太阳内部的情况。目前对这颗恒星的研究,一方面是通过各种观测手段获取观测太阳的资料,另一方面应用物理学各有关定律来分析研究观测资料,从而建立一个完整的太阳模型,随着太阳内部物理化学性质的不断变化,新的太阳模

型也不断地产生。

表 1-1 太阳数据

质量	2×10^{33} 克
半径	7×10^5 千米
密度	1.4 克/厘米 ³
光度	4×10^{33} 尔格
温度	6 000K* (表面) 16 000 000K(中心)
自转周期	25~30 日

* K 为热力学温标, $0^{\circ}\text{C} = 273.15\text{K}$

根据 80 年代中期的太阳资料建立的模型如图 1-7 所示。在此模型中假定太阳的原始组成约为:74%的氢和 25%的氦(按重量计)。为研究方便,天文工

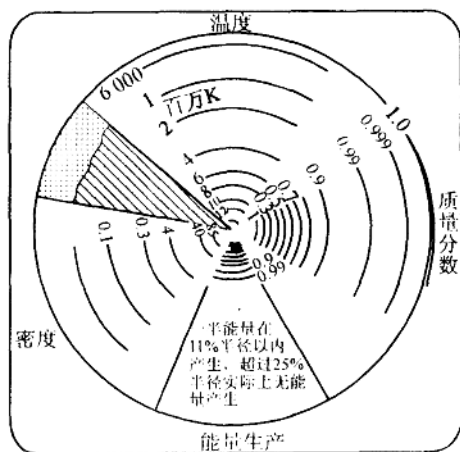


图 1-7 太阳模型

作者习惯于将恒星内部划为一系列假想的同心球壳。从模型中看出,温度从地球表面的绝对温度数千度向内急剧上升到一百万度,以后温度平缓上升,到达中心时约为 16 000 000 万度;密度开始上升缓慢,然后随着趋向太阳中心而急剧增大;太阳质量的 90% 集中在体积仅为 10% 的中心部分;能量的产生随深度增