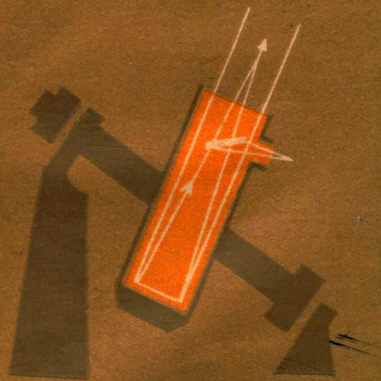




从哥白尼到牛顿

陈自悟 著



科学普及出版社

从哥白尼到牛顿

陈自悟 著

科学普及出版社

内 容 提 要

本书详细地介绍了从哥白尼提出“日心说”到牛顿总结出万有引力定律这一段时期的天文学发展史。作者以津津有味的笔法,写到了天文学怎样在同宗教斗争过程中得到发展,并叙述了哥白尼、布鲁诺、第谷、开普勒、伽利略、牛顿怎样为追求真理而奋斗,甚至献出他们毕生的精力和生命……。读者从中不仅可以了解哥白尼的天体运行论、布鲁诺的宇宙无限论、开普勒的三大定律、伽利略的“对话”以及牛顿的引力理论,而且可以从中了解到一种正确的科学理论是怎样经过实践——认识——实践这一辩证唯物主义的认识过程而建立起来的,从而加深对实践是检验真理的唯一标准的理解。本书内容深入浅出,文字通俗易懂,图文并茂,可供中等文化水平的读者阅读和参考。

封面设计:施 蔚

插 图:施 蔚、陈自悟

从哥白尼到牛顿

陈 自 悟 著

*

科学普及出版社 出版(北京西郊友谊宾馆)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 4 1/2 字数: 101 千字

1980年5月第一版 1980年5月第一次印刷

印数: 1—24,000 册 定价: 0.40 元

统一书号: 13051·1091 本社书号: 0100

前 言

天文学的发展经历了一段漫长而崎岖的道路。它的全部历史贯穿着唯物主义宇宙观与唯心主义或宗教宇宙观的不间断和不可调和的斗争。这一斗争在十六—十七世纪初,即欧洲“文艺复兴”时代,当天文学摆脱托勒玫的“地心”宇宙体系,创立哥白尼的“日心”宇宙体系时,表现得最为惊心动魄。斗争的焦点,是“天动”还是“地动”。

托勒玫主张“天动”。他的“地心”宇宙体系认为,地球静止在宇宙中心,日月行星以及整个恒星天穹都围绕大地作昼夜旋转。这样一个宇宙体系结构,既符合人们的直觉,又符合基督教“人类中心”的教义,成为中世纪欧洲维护神权统治的理论支柱。

哥白尼主张“地动”。他的“日心”宇宙体系认为,宇宙的中心是太阳,地球是不断自转并绕太阳运行的一颗普通行星!它推翻了延袭一千多年来地球中心和地球不动的谬见,与这个谬说连在一起的上帝创造世界的神话,也随之发生动摇。

十九世纪的著名俄国学者和诗人罗蒙诺索夫写下一首打油诗,对这场斗争作了精辟而诙谐的剖析。诗是这样写的:

“有一次,两个天文学家在席间相遇,

他们争论得脸红脖子粗。

一个说:‘地球一面自转,一面绕太阳运行。’

另一个说:‘太阳率领月球行星绕地球转。’

这两个人,前者是哥白尼,后者是托勒玫。

厨师站在一旁,用极妙的譬喻解决了这场

争端：

主人问：‘你懂得天体运行吗？’

告诉我，你对他们的争端意见如何？’

厨师回答说：‘我虽然没到太阳上去过，
也能证明哥白尼的话一点不错。

请问，叫炉灶绕烤肉转的厨师有谁见过！’”

今天，地球绕太阳公转是一个连小学生也能回答的基本科学常识，但当时却是自然科学和哲学思想上的一个尖端课题。它的确立是天文史上一场“翻天覆地”的大革命。在历时达一个半世纪之久的斗争历程中波澜起伏，才人辈出，它的胜利主要归功于这样几个人：哥白尼、布鲁诺、第谷、开普勒、伽利略和牛顿。

哥白尼是近代天文学的奠基人，他积近四十年的探索和观测，首创以太阳为中心的“日心”宇宙体系，迈出人类认识宇宙历程上最困难、最重要的一步，向自然科学与宗教神学最敏感的这个问题上首先发难。他那不朽巨著《天体运行论》的出版，“给神学写了挑战书^①”。

布鲁诺勇敢地叛逆宗教，以火焰般的热情宣传哥白尼学说，大胆提出宇宙无限论，最后以身殉难，宁愿受火刑，决不向教会屈服。

第谷在没有望远镜的条件下以非凡的技巧，长期对行星的位置进行了准确测定；开普勒则以惊人毅力对第谷的观测数据进行了令人叹为观止的严密分析。

如同现代科学家们总希望用简单数学定律解释实验数据一样，开普勒把第谷的庞大数据表融合成三条简单的行星运动定律，大大修正和发展了哥白尼学说。开普勒证明，哥白尼

① 恩格斯《自然辩证法》第11页，人民出版社1971年第1版。

认为太阳是行星系的中心是正确的;同时他发现,哥白尼认为行星沿圆形轨道匀速运行是错了。他被后世学者尊称为“天空立法者”。

伽利略是实验自然科学的创始人。他首创了动力学,促成天文学发生根本的进展;他又是第一个使用望远镜观测天体的人,获得一系列惊人的发现,因而得到“天空的哥伦布”的美誉。他观测到金星的位相变化和木卫星绕行,这两项发现直观地证实了“日心”体系的正确性。伽利略因他的成就而遭到天主教会的残酷迫害。尽管他晚年在教会的淫威下被迫声称放弃哥白尼学说,但从森严的宗教法庭上还是传出激励人心的战斗口号——“地球仍在转动!”

最后,牛顿把哥白尼、开普勒、伽利略和其他学者在天文学和动力学上的发现汇集起来,加上他自己在数学和力学上的创见,概括成一个迄今仍站得住脚的经典力学体系,运用他的运动定律和万有引力定律对极其广泛的自然现象,从天体运行、潮汐涨落到物体坠地,作出统一的解释,成为科学史上最伟大的成就之一。

文艺复兴时代的这些“在思维能力、热情和性格方面,在多才多艺和学识渊博方面的巨人^①”,顺应历史发展的潮流,不畏强暴,敢于创新,在近代科学思想史上谱写了光辉的一页。本书叙述的就是这段“天文大发现”历史及其代表人物的科学业绩的几个片断。

从哥白尼到牛顿所建立的“日心”宇宙体系,就是今日的太阳系,它只是无限宇宙的小小一隅。今天,人类的视野早已越出太阳系(很快就越过银河系),深入到近一百亿光年的遥远星系;宇宙飞船遨游太空,结束人类的“坐地观天”而进入星

① 恩格斯《自然辩证法》第7页,人民出版社1971年第1版。

际航行；今天我们所认识的宇宙早已不是那种一颗颗镶嵌在黑色天幕上的似乎永恒不变的宝石，而是相互联系着、发展着、经历不断的物质能量交换和新陈代谢过程的各种天体的集合。对照现代天文学的飞跃进展，当我们重温几百年前科学家们所取得的成就，感到古人的智慧同样光彩夺目，同样令人赞叹！人们将永远怀着豪情和敬意，纪念这些在天文学发展道路上留下不可磨灭的足迹的人。

目 录

前言

一、古代人对宇宙的认识	1
“流浪者”之星——行星	1
天球、本轮和偏心圆	6
托勒玫体系	11
过早萌发的种子	14
产生巨人的时代	17
二、近代天文学奠基人——哥白尼	23
地心体系一片混乱	25
要研究天,最好先懂得地	27
掀翻天地重扶起	30
《天体运行论》	35
自然科学从神学中解放出来	37
三、布鲁诺和第谷	40
不屈的战士	40
第谷和他的折衷体系	44
四、实验自然科学的创始人——伽利略	50
落体研究	51
运动毋需力来维持	53
抛射体运动	58
“天空的哥伦布”	60
《关于托勒玫和哥白尼两大世界体系的对话》	66
地球仍在转动	72

五、天空立法者——开普勒	77
神秘的宇宙模型	78
巧夺天工	82
从8分的误差改革整个天文学	86
奇妙的“2”和“3”	90
“天空立法者”	93
天体力学的萌芽	95
六、牛顿和万有引力	99
“苹果落地”的故事	99
站在巨人的肩上	100
万有引力定律	104
天壤“无别”	108
创立科学的天文学	110
行星为什么不沿圆周运动?	115
七、扫除最后一个障碍	118
恒星周年视差	118
一个意外的发现	121
天文学家的“测深锤”第一次到达“海底”	124
八、科学上的一桩勋业	126
天王星何以“越轨”行动	128
“笔尖上的发现”	131
附录 天文大发现年表	135

一、古代人对宇宙的认识

宇宙的结构问题,对世界任一民族来说,无疑是很早就进行探索的问题。

古人“坐地观天”,根据“眼见的事实”,认为宇宙是一个有限的球体,分为天和地两大部分:地球处于宇宙中心,天上的日月星辰都围绕地球运转。人们对宇宙的认识,就是从观察天空中的日月星辰的运行开始的。

“流浪者”之星——行星

晚上,晴空无云,繁星满天,一幅壮丽的宇宙图景展现在人们眼前。无数星星,像一颗颗闪光的宝石,镶嵌在黝黑的天幕上,构成一片茫茫星海。

说来令人难以置信,一眼望去,不胜枚计的浩瀚繁星,其实并不算多,就人们肉眼所见全天总共只有六千多颗。

这许多明暗不等的星,总是各处其所,保持固定的相对位置。譬如,人们素来称颂的北斗七星虽然不停地“斗转星移”,却始终保持熨斗或水杓的样子。其余的众星列宿,无不永远保持各自独特的几何图形。因为这个特征,自古以来就有“恒星”之称。只要你有兴趣观察星空,借助于星图,费不了多大力气,就能熟悉这些星座图形,并且容易记住其中主要亮星的名字。一旦你同它们交上朋友,便会经久难忘。

如果你经常仰望星空,留神察看,有时还会在天空的特定区域里(按天文学术语叫做“黄道带”)发现一颗陌生的亮星

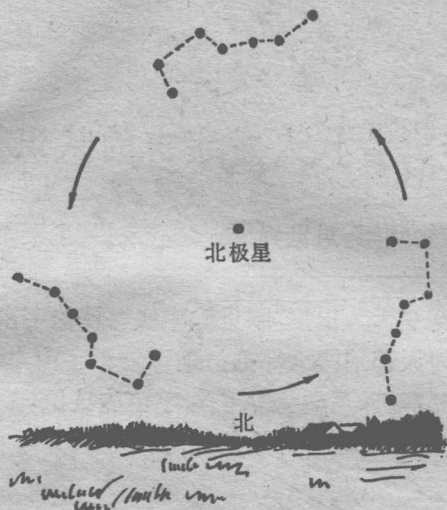


图1 斗转星移,星斗的形状保持不变。正是这样的圆运动,启发了古人以为恒星是附着在一个绕地球转动的天球内壁上

(说它陌生,是因为星图上找不到它),它也许比周围别的星都亮,有时甚至盖过全天最亮的天狼星。识别这种星的一个标志是:在“大星光相射,小星闹如沸”的天幕上群星闪烁不停,唯有它光芒稳定,仪态万方,显得非常娴静。如果你进一步注意它和邻近恒星的相对位置,耐心地观测它几个星期,便会看出,它不像别的星那样固定,而是悠然自得地漫步游荡在众星间,不断改变位置。

这些是最早的天空探索者——古代草原牧人在天文学的萌芽时期首先注意到的天象。那些变幻莫测、行踪不定的亮星,后来被称为“行星”(用以区别恒星),它的希腊语原义是“流浪者”。

行星的数目一点也不多,肉眼能见的只有寥寥五颗。对天文学完全陌生的人也都熟悉它们的名字。它们就是人们常

说的金星、木星、水星、火星和土星。

行星虽少,然而在天空舞台上扮演的角色却很重要。它们在整个天文史上占有十分烜赫的地位。这是因为它们“行迹可疑”,早就引人注目。人类正是从行星神秘运动所暴露的蛛丝马迹中经过漫长曲折的探索,才逐渐寻得宇宙结构的真面目。

我们的祖先不会想到在星空中游荡的这些“明星”,都是“天上的地球”。它们本身不发光,同月亮一样,是“借”太阳的光芒耀辉于天空。论远近,在广漠无垠的宇宙空间,它们可算是地球的“近邻”;论个儿和我们居住的世界大小相差“无几”(虽然有的要大一千多倍),可比作是“兄弟”。它们都和地球一起,以太阳为中心组成一个天体家族——太阳系。

现在,我们继续回到行星运动的讨论中来。

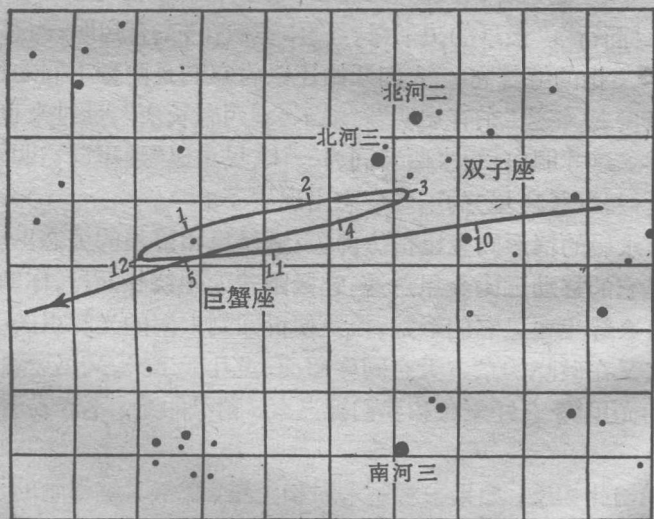


图2 火星的“兜圈子”运动。图中数字表示月份。从1977年12月14日至1978年3月3日,火星在巨蟹座运行

如果你在一段较长的日子里细心注视火星的行踪，将发现它在恒星际缓慢向东移动(这叫顺行)，过一段时间，它停滞不前(叫做留)，然后扭头向西移动(叫做逆行)；隔不多久，再作短暂停留，接着又转身向东前进，在星空中兜上一个圈子(图2)。这种情形每年发生一次。

金星的行踪又是另一姿态。这颗“孤出照一方”的晖晖长庚星，是天空中最灿烂的头等明星。在某个晴朗的傍晚，金星在靠近西方地平线的苍茫暮色中露脸，它在以后几个月内会不断离开太阳，在傍晚的西方天空里愈升愈高，亮度也愈来愈大，在日落后二小时、二小时半以至三个多小时才沉入地平。在这以后，它再也不肯升高了。跟着来个向后转，慢慢向太阳靠拢，亮度逐渐减弱，最后淹没在落日余辉里。可是，几个星期后，它却在黎明前的东方放射光芒，赶在太阳前面东升了……。像这样，人们总是看到它在太阳的东西两侧徘徊，“附日而行”。最早的史书《诗经》中记载：“东有启明，西有长庚”^①，指的就是它。人们开始还以为它们是两颗不同的星。后来发现，每当“东有启明”时就不会“西有长庚”，反过来也是一样。这才明白，原来两者同为一体，只是以“晨星”(启明星)和“昏星”(长庚星)的不同姿态出现罢了。

水星的情形同金星相仿佛，也以晨星和昏星的姿态出现，只是它的移动远比金星急速，它紧跟着太阳绕膝而行，你刚在落日余辉里窥见它的形踪，很快便折回到太阳的光辉里去了；不久又在破晓的东方天空同你照面，没几天工夫，又迅速融合在阳光里。它好象在和我们捉迷藏，稍纵即逝，不容易看到它。

与此相反，如果去观测木星和土星，那就真够你瞧的了。

① 金星于黎明前出现在东天时，叫做启明星，启者，开也，先日而出也；黄昏后出现在西天时，叫做长庚星，庚者，继也，继日而入也。

即使你耐心伺候上几个月，它还是莲步轻移，缓慢地在恒星间挪动很小一点距离。

行星的明亮光辉和神秘行踪，使古人感到迷惑不解，把它们当作神灵崇敬。我国古时以木、火、土、金、水为五行；以岁星(木星)、荧惑(火星)、填星(土星)、太白(金星)、辰星(水星)为五神。这是把地上的五元素和天上的五行星对应起来。古希腊人便赋予它们以不同的性格、权力和称号：金星最明亮，无上美丽，是司爱美神；木星仪态万方，为众神之父，号称大神；火星放射出火焰般的红色光芒，是象征战争之神；土星的行动最迟缓，是象征时间和命运之神；水星行动敏捷迅速，为众神的使者，是商人和小偷的保护神……。

行星的神秘运动还助长一门伪科学——占星术（也叫星占学）的流行和发展。古代的星相术士们以观察行星的运行来预卜人事祸福。

自古以来，人们就知道行星同太阳和月亮一起，走的是同一条“空中大道”（即黄道带），所以把五大行星同日、月并提，号称“七曜”，即七颗明亮且移动的天体。以七天为一星期的计时和工作制度源出于此，七天的定名就是根据这七个天体来的。假如古人已经认识后来发现的天王星、海王星和冥王星的话，也许现在的一个星期不是七天，而是十天了。

大约在四千年前，人们就测定了日、月和五星周天运行的周期：

月亮	1 月
太阳、金星、水星	1 年
火星	2 年
木星	12 年
土星	30 年

后来根据同一理由，古人推断日、月和五星大概属

于一家。

天球、本轮和偏心圆

探求行星奇特运动的合理解释，成了古代天文学家们最关注的问题，也是所有宇宙论者无法回避的暗礁。古希腊人认为圆是最完美的曲线，物体只有作圆运动才能周期性地回到原来位置，天体自然应该沿完美的路线运行。他们就联想到用几个圆运动的合成来描述行星的复杂运动。



图3 欧多克斯对太阳周年视行的解释：外球是恒星天球，它带动内球每24小时自东向西绕天轴一周；太阳固定在内球上，内球的轴固定在外层球的两个相对点上，与天轴成 23.5° 的交角。这个球每年自西向东转动一周

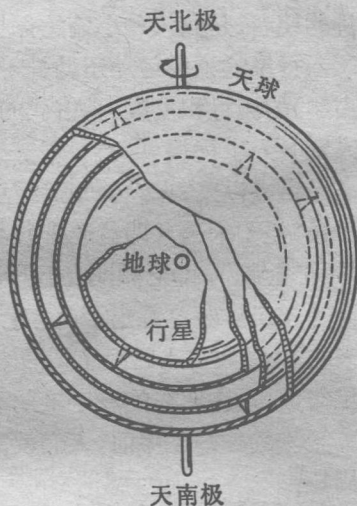


图4 欧多克斯对行星逆行的解释：行星固定在最内层球面上，把各个球的旋转轴调整到适当角度，就能够复现出在地球上所观测到的行星的复杂运动，达到很好的近似

希腊学者欧多克斯(公元前409—356)大概是最早试图用几何方法解释行星运动的人。他设想地球是万物的中心,日、月、行星都在同心的透明球体上绕地球转动。每个行星附在一层天球的表面上,这个球绕轴均匀转动;轴的两端固定在另一层较大的球面上(图3、4),当内球绕轴均匀转动时,轴本身则被外球带动作均匀转动,外球的轴又可以被另外一个更大的外球带动,最后,全部行星球层都被恒星天球带动,每一个球层说明一种特殊运动。按照这种球套球的方式,欧多克斯用了足够多的球,并把各球的转动轴调整到适当角度,对行星的复杂运动作出很好的描述!

欧多克斯设计的模型成了引导后世天文学家制定更周密的地心宇宙体系的基础。

古希腊最著名的哲学家亚里斯多德(公元前384—322)在欧多克斯模型的基础上创立自己的学说。欧多克斯的天球不是什么实有的东西,只不过是为了说明那时所知的天体视运动而设计的一种几何结构而已。亚里斯多德认为运行的天球是物质的实体,一个个都是透明的“水晶球”。随着观测资料的积累,新的周期变化被发现,亚里斯多德把球层从原来的二十七个增加到五十六个。

照亚里斯多德设想,宇宙边缘有一层“原动天”(或者叫不动的推动者),统率整个宇宙,推动恒星天球自东向西作周日运转,恒星天球和每一层天球都把这种运动传给它下面的一层天球,使所有天球和球层上所载的天体都随着它作周日运转。每一层天球又都有一个次一级的推动者,执掌各该球层的特殊运动。推动者具有灵性,它和天体的关系犹如灵魂和躯体的关系。行星的推动者和原动天的作用相反,各个行星(以及太阳和月球)都有同周日运动相反的自西向东的运动。最外面的土星因抵抗原动天的推动受到最大阻力,运行最慢,

周期最长。最里面的月球，运行周期最短。亚里斯多德按照天体运行周期长短安排它们离地球的序列：月球最近，依次为太阳、金星、水星、火星、木星和土星。

这是古代西方第一个明确的地心体系。

亚里斯多德还在天与地之间划上一条鸿沟，认为天体和地球是由迥然不同的材料构成，地球上的物质是由土、水、气和火四种元素组成，天体则是由第五种圣洁的元素“精英”组成，它们比地球上的物体要高贵和完善，因而它们的运动也是最完美的匀速圆周运动。天体永远固定在各自的天球上；地上物体则不然，一旦离开原位，就要争取回去：气元素和火元素要上升，土元素和水元素要往下落。总之，天“尊”地“卑”，天体是永恒不朽的，地上的物体是有生有灭和不断变幻的。

可是，欧多克斯和亚里斯多德体系一开始就招致困难，按照这个设计，行星和地球应当永远保持固定距离。然而，行星在它们的运行周期中其亮度会发生明显变化，这意味着行星有时离开地球近些，有时远些。人们在观测日食时还注意到，有时发生日全食，有时发生日环食，这说明太阳和月球的距离也会发生变化。

为了同时解释行星的逆行和亮度变化这两件观测所得事实，古希腊几何学家阿波罗尼（公元前260—170）提出他的“本轮”理论。按照这个理论，每个行星都沿着一个叫本轮的较小的圆周匀速运动；本轮的中心又沿着一个大的圆周绕地球匀速运动，这个大圆周叫均轮（图5）。行星沿本轮运行的周期是一年；本轮中心沿均轮运行一周所需的时间等于各该行星的恒星周期，如火星约2年，木星12年，土星30年。金星和水星是例外，它们是太阳的一双伴侣。

在这样的假设下，能够说明行星与地球的距离可有相当大的变化，而当它们在接近地球的时候，行星在本轮上运行的