

[苏] 弗·格·杰明 著

太阳系的未来



太阳系的未来

弗·格·杰明 著

苏寿祁 方福娟 译

易 照 华 校

江苏人民出版社

太阳系的未来

弗·格·杰明 著

苏寿祁 方涵娟 译

易 照 坤 校

江苏人民出版社出版

江苏省新华书店发行

靖江印刷厂印刷

1980年3月第1版 1980年第1次印刷

印数：1—6500册

书号：13100·039 定价：0.63 元

内 容 介 绍

本书主要从力学观点讲述天文学中的一个基本问题——太阳系的未来。不仅天文学工作者，就是一般群众对它也是感兴趣的。作者并不是象写普通的科普书籍那样，只叙述所讨论问题的结论和看法，而是比较全面地分析了有关问题的资料，并用比较通俗的语言来阐明其中重要课题(主要是力学课题)的基本概念，例如行星系的稳定性，共振理论，天体形状的稳定性，小行星和彗星的来源等等。这样，不仅能使读者了解太阳系未来这个问题的情况，还能帮助读者进一步明确解决太阳系未来必须首先解决哪些重要课题。因此，这本书不只适合于具有中等以上文化水平的天文爱好者阅读，也适合于天文学、数学、力学工作者参考。

由于作者是一个天体力学家，因此他从自己的专业出发，提出了不少有关解决“太阳系未来”问题的看法。有些看法是有道理的，如必须用严格的数学和力学方法讨论天体运动等。但也有一些看法过分强调了力学的作用，带有一些幻想。这些看法只能供读者参考。

目 录

第一章 太阳系的结构 行星运动的规律

- 一、太阳系的数据…………… (1)
- 二、行星运动几何学…………… (18)
- 三、万有引力 二体问题…………… (24)
- 四、行星的相互摄动…………… (27)
- 五、“笔尖下的”海王星和冥王星…………… (32)
- 六、天体的作用范围…………… (37)
- 七、太阳系的边界在哪里? …… (41)
- 八、漫谈太阳系的过去…………… (43)

第二章 行星运动的稳定性问题

- 九、什么是运动的稳定性或巩固性? …… (55)
- 十、保守摄动 能量耗散…………… (61)
- 十一、天体共振…………… (66)
- 十二、长期差(摄动)和周期差(摄动)…………… (72)
- 十三、拉普拉斯—拉格朗日问题…………… (78)

第三章 小行星和彗星的未来

- 十四、小行星环…………… (95)
- 十五、法艾东存在吗? …… (99)
- 十六、“希腊人群”和“脱罗央群”…………… (101)

十七、小行星和行星的碰撞.....	(107)
十八、行星际尘埃的供应者.....	(111)

第四章 卫星运动的演化

十九、骆熙禁区.....	(127)
二十、土星光环.....	(133)
二十一、什么在等待着“惧怕”和“恐怖”.....	(140)
二十二、达尔文论月球的毁灭.....	(144)
二十三、卫星和太阳.....	(150)

第五章 大行星轨道和形状的演化

二十四、行星的形状.....	(157)
二十五、质量变化的效应.....	(163)
二十六、尘埃阻尼.....	(167)
二十七、俘获问题.....	(170)
二十八、KAM理论.....	(180)
二十九、重新怀疑！.....	(213)
三十、再谈共振.....	(227)
三十一、迈出新的一步.....	(230)
三十二、我们这个行星系不是唯一的.....	(234)

结束语

三十三、改造太阳系——这可能吗？.....	(243)
-----------------------	---------

第一章 太阳系的结构

行星运动的规律

一、太阳系的数据

人们认为包括我们地球在内的太阳系是由几个大天体和许多小天体组成的。这个系统的实际中心就是最重的天体太阳。它是一个平常的恒星，和其它恒星相比是极普通的。

太阳的随员数目繁多、形状不一。随员中最重的是大行星，它们沿着复杂的空间螺旋线绕太阳旋转，每一圈螺旋线都与圆周相差很少。严格地说，大行星不是绕太阳旋转，而是和太阳一道绕位于太阳内部的共同的质量中心旋转。这个共同的质量中心和太阳中心的距离是23500公里。

大行星有9个：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。上述行星的次序是按照它们和太阳距离的远近排列的。名列最后的冥王星是在1930年发现的。这些大行星几乎是球状的冷的固体，它们绕自己的轴旋转，其中大多数外围有气体外壳——大气。这些行星的大气化学组成是很不一样的。按照行星的物理性质，可把它们分为二类：类地行星和巨行星，即类木行星（行星大小的比较见图1）。属类地行星的除地球外，有水星、金星、火星，显然还有冥王星，但后者至今研究得还非常不够。

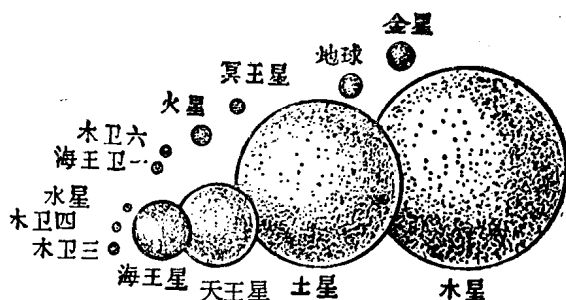


图1 太阳系大天体的大小比较

水星 离太阳最近的行星。它绕太阳旋转的周期是88日。水星和太阳的平均距离是 8900 万公里。水星的半径为 2425 公里，按大小在行星系统中占第十三位，是九大行星中最小的一个，比木星的卫星（木卫四和木卫三）、土星的卫星（土卫五）和海王星的卫星（海王卫一）还要小①。

近年来认为，水星的一昼夜相当于一年的，也就是说水星绕太阳公转的周期等于它绕轴的自转周期。水星总是按照这个周期，以相同的一面对着太阳绕转。然而不久前，新的观测资料以及对以前观测结果的重新处理，使人怀疑过去关于水星自转的习惯看法是否正确。

美国科学家戴斯、哥耳德、皮耳、夏皮罗等利用雷达测量，成功地测出水星绕轴自转周期是 59 ± 3 日，也就是比它沿轨道公转的周期少 $1/3$ 。渥基夫和科伦波的理论计算同样证实了这个从力学观点来看是极其有意义的结果。

1974年前，对水星的物理条件了解得很少，一部分结论是根据自转与公转运动的同步性的假说而作出的。因此在上面刚

①根据最近资料，冥王星最小，参看 11 页注。

刚提到的美国人的成果发表以后，这些结论就成了疑问。

1974年3月，美国的行星际自动站“水手—10”号^①对水星进行了近距离电视摄影。自动站和行星间的最短距离是720公里。

水星的表面在很多方面象月球的表面：同样有许多环形山（直径120—800公里），狭长的山谷，山脉。水星圆面的南部边缘露出很深的凹地。这个凹地的产生是由于水星和某个天体碰撞而形成的。

“水手—10”号所进行的研究表明，行星的表面温度在摄氏-185°到510°之间。它还发现主要由惰性气体组成的稀薄大气和微弱的磁场。

金星 人们称它是谜星或“云纱下”的行星，在夜空除月亮以外它是最亮的星。金星永远被一层厚云所覆盖。尽管近十年来科学家们试图用光学的、射电天文学的手段，用宇宙探测器去探测它的奥秘，简直在猛攻它，然而直到现在人们对它还了解得很不够。

金星的体积非常接近地球。它的直径（包括云层）是12300公里。根据美国行星际站“水手—2”号飞往金星时所获得的资料计算出它的质量是地球质量的0.815。金星绕太阳公转周期是225日。金星自转轴和轨道面所形成的倾角到目前还未加肯定，用间接的方法所得出的值约30°。根据雷达观测得出结论：金星不同于其它行星。它的自转方向是同它绕太阳运动的方向相反，其周期近243日。

金星大气延伸不超过200公里。根据雷达观测证实，云层

^① “水手—10”号本身的飞行是非常巧妙的。仪器装入通向金星的飞行轨道。在接近金星时，正如轨道学家所说，金星的引力场实现“摆动迂回”，结果引力场就把宇宙站转移到通往水星的飞行轨道上去。

的厚度约30公里，高度延伸到100公里左右。金星大气的密度稍微超过地球大气的密度。

研究金星的温度状况是有很大困难的。传统的天文方法往往得出自相矛盾的结果，因为它是对金星大气的不同层进行观测而得来的。苏联和美国进行射电天文研究后得出了较好的一致意见。研究的结果估计金星土壤的表层温度为 $300-400^{\circ}\text{C}$ 。

根据对自动行星际站所获得的材料的处理，金星表面最可能的温度值在 $400-500^{\circ}\text{C}$ 的范围内，而它的压力间隔是60—140个大气压。

根据行星际站测量资料，金星大气中主要是二氧化碳（93—97%）。在大气中同样发现氧气、氮气和水气。

指出另一个结论同样是有兴趣的。科学家们从“水手—2”号的飞行结果得出结论，金星的磁场为地球磁场的1/30以下，这意味着金星几乎完全不存在辐射带。

地球这个行星是一个半径约为6378公里的球形体。关于地球的资料人们很熟悉，我不在此引用。看来，地球在演化过程中，能对它起重大影响的主要因素是存在一个重的卫星——月球。月球是太阳系中特殊的卫星。月球的大小虽然在卫星中只占第六位，但是和地球相比——就是和它的中央行星相比是很不寻常的。月球的大小只有地球的1/4，而其它所有的卫星和“自己的”行星相比，是小得可以丢掉。月球的质量为地球的1/81.3。从上面所说的，以及月球绕地球和太阳运动的特点来看，与其说月球是地球的卫星，不如说是地球的伴星，它同地球一道构成了一个双行星。

月球运动有一个非常有趣的特点，就是它绕轴自转的周期和绕地球公转的周期相等，即27.6日①。由于两个周期的吻

①应为27.32日。——译者注

合，月球总是用同一面朝向地球。

关于月球表面的物理特性问题现在已经不是秘密了。不久前还引起过激烈的争论。在研究月球方面美国和苏联的自动行星际站起了重要作用。

月球的土壤原来是松土。在上面行走留下的痕迹深度达2.5厘米。在表层发现许多象玻璃样的黄色的、褐色的和暗褐色的小圆球。在月球的许多区域有月尘和沙粒。火成岩小块分布得很广。宇宙航空员在静海所采集的月岩包含有地球火山岩中所具有的矿物。这些矿物是铁、镁、铝、钙、硅等。也发现一些不认识的矿物。月岩的年龄约35亿年。

月球表面布满无数的环形山、裂痕、山岩和其它大小不同的崎岖区域。从美国一系列“别动队”号人造月球卫星在离月球几百米的上空拍摄的照片可以清楚地看出大小约为几米或更小的这些结构。绘制月球球面图的工作现已完成。这项工作是根据苏联“月球—3”号自动站拍回的月球背面照片和随后美国、苏联自动站相继拍摄的照片进行的。因为仅仅1—100公里大小的环形山就超过10万个，所以绘制月球球面图是一项极费力气的工作。

月球实际上没有大气。因为月球的质量小，所以它不能长久保持住大气。月球没有大气，所以产生的后果是恶劣的：日照面中心的温度达 120°C ，而处于夜间的那一面温度则降到 -150°C 。

在行星的序列中，地球的下一个宇宙邻居是神秘的火星。人们对火星寄予很大希望，想从它那里发现地球以外的最近的文明或者至少是火星上有生命。火星绕太阳一周要1年零322日。火星和太阳距离的变化范围从20600万公里到24900万公里。火星和地球的距离摆动于更大的范围，从5600万公里到

40000万公里。在15—17年的过程中要出现一次火星和地球接近到最短的距离。这种接近现象叫做火星的大冲。

火星的半径为地球的 $\frac{1}{2}$ ，质量为地球的 $\frac{1}{9}$ 。火星绕轴自转一周是24小时37分。几乎和地球一样，火星自转轴对轨道面的倾角为 $65^{\circ}12'$ 。所以，火星不同纬度也和地球一样，有一年四季的交替。

由于火星具有稀薄的和透明的大气这样有利的研究条件，所以天文学家对火星的物理条件研究得很充分。火星不同地区温度的变化范围从 -70°C 、 -100°C 到 25°C （根据某些数据赤道温度要达 50°C ），也就是说，火星某些地区的自然条件并不比生长有近200种植物的喜马拉雅山脉更严酷。火星的赤道区甚至在夏天温度一昼夜的变化也是很大的（从负到正）。

火星大气中发现有大量二氧化碳。大家知道二氧化碳是地球上的植物所必需的。有时观测到火星个别区域出现“烟雾”样的暂时混浊的现象，这种“烟雾”可能是轻云，也可能是尘暴。

清楚地观测到火星上有季节现象，夏季在相应的半球上广阔的区域内有颜色改变的现象（从褐色变成绿灰色），白色的极冠迅速地融化等等。

对火星上存在运河的猜测，一百多年来使学者们焦急不安。不过这个问题现在已解决了。关于运河的本质曾有许多假说：运河是植物带吗？是火星人的巨大建筑工程吗？最后仅仅是错觉吗？这种猜测已经平淡无奇了。1965年夏季，从美国宇宙站“水手—4”号船舷上拍摄的照片使有关火星运河的富于幻想的假说烟消云散。从离火星9000公里上空拍摄的照片上看出类似月球上的景色。显露出的也是环形山，而运河并未发

现。

苏联一系列“火星”号自动行星际站和美国一系列“水手”号宇宙站对火星的研究工作具有特殊的意义。现在已经可以有把握地说，火星大气中有氧、氢、臭氧、水气，在火星的某些区域这些气体形成达60微米的降水，并且还有微弱的磁场。从苏联行星际站最近拍摄的照片上发现有一些长度为几百公里、宽度为几十公里的山谷。这些山谷弯弯曲曲，象地球上带有支流的河道。这种弯曲的形状说明这些山谷是由水侵蚀而形成的。这些山谷象小链子一样，彼此把环形山连接起来，就象“运河”。在这些照片上可清楚地看到这些河道的“河口”。

有两个卫星绕火星运动，一个称为浮波斯（火卫一），另一个称为黛摩斯（火卫二）。这是已知的大行星卫星中的最小的卫星。

木星 是太阳系最大的行星——巨行星的典型代表。它的半径是71434公里，质量为地球的318倍，约为太阳的1/1000。木星有较大的扁率。扁率可用下式表示： $\alpha = (r_a - r_p) / r_a$ 。式中 r_a 为最大半径（赤道半径）， r_p 为最小半径（极半径）。则木星的扁率 $\alpha = 1/16$ ，而地球的扁率 $\alpha = 1/298.3$ 。木星的密度不大，即比水的密度稍大一些。必须注意到，它的平均密度由于固体行星半径的估计过高而很可能有些降低。木星也象其它巨行星一样，绕着几乎垂直于轨道面的轴迅速自转。木星一昼夜大约10小时。它的周围有延伸大气。大气的组成是甲烷、氨、氢。大气的厚度知道得还不确切，然而可以设想它的范围是从1000到20000公里。大气厚度的最大或然值是13000公里。行星自转的数据对云层而言，因此自转的周期在不同的纬度上是不一样的：从9小时50分到9小时55分。行星的固体部分以多大的角速自转不清楚，因为天文学家未能透过浓厚的云层观测

到哪怕是不大的一块表面。

木星大气高层的温度是 -120°C 到 -130°C 。如果这样的温度存在的话，则固体表面的温度，根据一些天文学家的看法是 20°C ，而另一些则认为不超过大气高层的温度。有一种假说认为，木星的固体核外围有一层很厚的凝结气体，它渐渐地转变为液体状态并形成海，海水同时也渐渐转变为大气。根据木星大气试验室的模拟实验，所获得的最新资料关于“凝结状木星”的假说是不能被接受的。

某些天文学家考虑到木星本身有无线电频率的辐射，倾向于认为它不是行星，而是一个小小的独立的恒星。正如估计表明，木星由于本身无线电频率的辐射，失去的能量比它从太阳获得的多2倍。显然，天文学家通过光学观测和射电天文观测还不能解释木星的本性，留下的只能是等待宇宙探测器飞向木星去观测。

举一个令人费解的木星特点。在它表面上清楚地看到6条平行于赤道的黄色的、橙黄色的、褐色的带状物和一个伸长的椭圆形红斑。这个斑点大小是 50000×20000 公里，并在木星赤道带慢慢地移动。

木星离太阳8亿公里，绕太阳一圈要11.9年。随木星绕太阳运动的有12个卫星^①，其中有4个是伽利略发现的。

木星后面的一个巨星是土星，它的大小仅次于木星。土星的视赤道半径是6万公里，它的质量为地球的95倍。土星象木星一样，平均密度是不大的，是水的密度的0.7。这种现象只有在这样条件下才有可能：土星视圆面大部分不是固体而是土星大气的下层。土星大气的厚度估计为25000—31000公里，因

^①1974年科瓦尔发现木卫十三，1975年沃瓦尔发现木卫十四，至此已发现的木星卫星共有14颗。——译者注

此土星真正的半径大约是32000公里。

土星是太阳系最扁的行星($\alpha=1/10$)：它的视极直径和赤道直径相差10%。土星迅速绕轴自转，周期约10小时。天文学家从土星上所观测到的正如木星一样，云层带的自转周期从10小时14分到10小时38分。土星自转轴对轨道面的倾角是 27° ，它表明星球上有一年四季的交替。

土星大气的化学组成类似木星：有氨、甲烷。甲烷在百分比上甚至比木星还要大些。显然这可用大气的热状况来解释。云层的温度接近 -160°C 。

绕土星公转的有10个卫星，其中土卫六的大小可以和类地大行星相比，它本身也有甲烷大气。

土星周围有一个色彩令人惊异的薄薄的光环系统。作为科学研究的对象，这些光环是非常有意义的。土星带着自己的随从光环和卫星绕太阳公转，它和太阳的平均距离几乎是15亿公里，为地球和太阳的平均距离的9.54倍。土星绕太阳公转周期是29.5年。

天王星 是1781年一位英国天文学家（出生在德国）赫歇耳（1738—1822年）发现的。天王星也是一个典型的类木行星。它的质量为地球的15倍，半径为4.2倍。它的大气和土星、木星相似，但是大气中主要是甲烷。天文学家认为，既然所观测的天王星的温度接近 -180°C ，不论是氨或是甲烷，都部分地处于固态。根据理论计算，天王星的大气厚度小于以上两个行星，是3000—5000公里。

观察天王星的公转移动和自转运动可以看到它那奇异的特征。天王星在和太阳相隔几乎30亿公里的距离上移动，要84年才能绕太阳一圈。它“侧身”躺着绕太阳旋转。这是因为它的自转轴和轨道面法线所形成的角是 98° ，就是说它的轴几乎躺

在自己轨道的平面上，它所指的方向同太阳系所有其它行星自转轴通常的方向相反（图2）。天王星绕轴自转周期也不长，是10小时49分。不过这个周期本身还不能决定昼夜的长短，因为天王星绕太阳运动的这一特性在这方面也起重要的作用。

如让天王星的轴在某个时刻指向太阳，那么它的北极和极区在几年期间内要被太阳照耀，而南半球此时则处于长久的黑夜。过了21年，自转轴定向不改变，天王星在轨道上要向前移动 $1/4$ 圈，并把自己的赤道置于太阳光直射下，在这样位置，白日和黑夜的长短只能取决于天王星的昼夜长度：无论在北半球或南半球，白日和黑夜都相等，是5.5小时。天王星再沿轨道绕 $1/4$ 圈，将重新出现最初的情景，所不同的只是南北极变换了方向。不仅天王星本身自转不寻常，就连大家所知道的它的5个卫星围绕它公转也是很异常的，这些卫星和其它大行星的卫星相比是以相反的方向运动的。

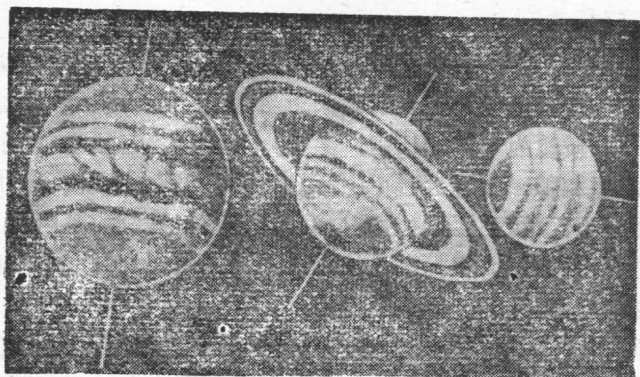


图2 大行星自转轴的倾角

上面所指出的天王星系统运动的“古怪现象”，其原因在

目前还说不清。而且在人们所提出的太阳系起源的任何一个假说中对天王星的这些特性也弄不明白。

巨行星群的最后一个代表是海王星。它的物理特点是：直径几乎是地球的4倍，质量为它的17倍。它和太阳的平均距离是45亿公里，公转周期略少于165年，一昼夜是15小时36分。它的大气是由氨和甲烷组成的，云层温度约 -180°C ，从行星的圆面上几乎无法看到任何细节。

人们只知道海王星有两个卫星，但是不能排除还有现代望远镜暂时不能观测到的其它卫星。

最后一个大行星是冥王星①，人们常常把它归入类地行星。冥王星离太阳的平均距离约60亿公里，即为地球到太阳距离的40倍。冥王星的公转周期是248年。它在轨道上运行极慢，速度是每秒4.5公里，而地球每秒是30公里。冥王星比海王星离太阳平均距离要远14亿公里。但是从1969年至2009年冥王星是在海王星轨道里面运行，并深入到2500万公里以内。1989年它将通过离太阳44亿公里的近日点。冥王星一昼夜相当于地球6昼夜零9小时。

冥王星的体积和质量都很小。半径为2900公里，质量实际上等于火星的质量。亮度为18等星。只有非常大的望远镜才能观测到。对冥王星的物理特征作出估计是非常没有把握的，我们不准引用它的资料。

现在谈谈大行星的卫星。

现在已知大行星卫星总数是32个②。人们认为水星、金星

①由于冥王星卫星的发现，冥王星的质量和直径，可以得到更精确的测量。现在已经确定，冥王星的直径是2400公里，从而使冥王星成为太阳系中最小的行星，改变了过去认为太阳系中最小的行星是水星（直径4800公里）的概念。——译者注

②总数是35个。——译者注