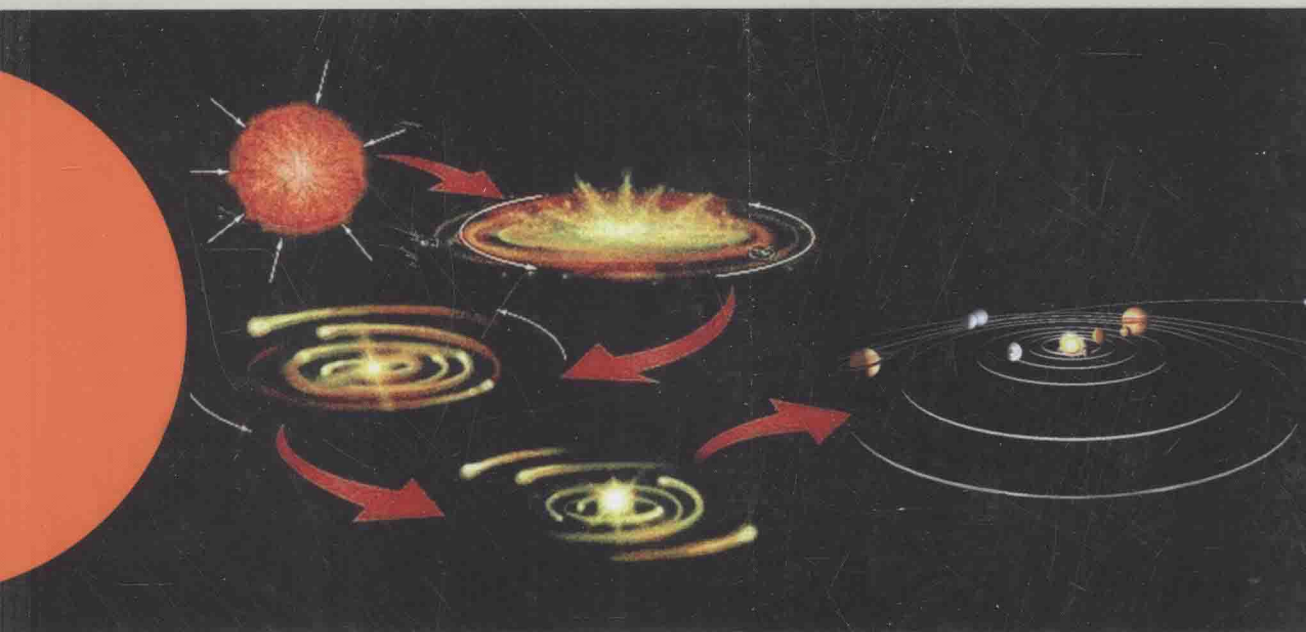


新编 太阳系演化学

◎ 胡中为 编著



上海科学技术出版社

新编太阳系演化学

胡中为 编著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

新编太阳系演化学/胡中为编著. —上海: 上海
科学技术出版社, 2014. 6

ISBN 978-7-5478-2083-4

I. ①新… II. ①胡… III. ①太阳系演化 IV.
①P181

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 269948 号

新编太阳系演化学
胡中为 编著

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.cc

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 插页 4

字数 330 千字

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-2083-4/P·19

定价: 78.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题, 请向工厂联系调换

2009年是联合国规定的国际天文年。400年前,伽利略首次制造望远镜用来观测天文,开辟了天文学的现代化道路,从此现代天文学突飞猛进地发展起来。通过观测,不仅精确测定了月亮绕地球的轨道运动,也精确测定了行星绕太阳的轨道运动。牛顿就从卫星(月亮)绕地球、行星绕太阳的轨道运动的研究中总结出了万有引力定律。今天,正是利用这个规律实现了太空之旅和“嫦娥奔月”。

天文学的发展还与物理学的发展相辅相成、相互促进。现在,天文学的发展已经远远超越了太阳系。从恒星、星系乃至宇宙的研究,人们已经取得了非常丰富的成果。比如,宇宙学的研究告诉我们,宇宙中的物质除了人们所熟知的普通物质以外,还有暗物质和暗能量。我们知道,普通物质,比如周期表中所有元素组成的物质,具有四种相互作用:强作用、电磁作用、弱作用和万有引力作用。但是暗物质没有电磁作用,也没有强作用,只有万有引力作用,也可以有弱作用;而暗能量则只有“斥力”作用。暗物质还可以说是由粒子组成的,只是人们至今还没有发现主要暗物质粒子。暗能量就更不清楚了。重要的是,普通物质约占宇宙总物质的4%,暗物质占23%,而暗能量占73%。就是说,宇宙中还有高达约96%的人们所未知物质。

我们所看到的太阳系内物质当然只在这4%以内。然而,太阳系对于天文学却有独特的重要性,不仅因为它是宇宙的一个“细胞”,而且,我们人类就居住在它的一个行星(地球)上。人们自然要问,难道太阳系之外、别的恒星就没有行星了吗?如果有,那里有没有人类生存呢?当然,没有理由认为太阳系之外的行星上不能有人类或类似的高等动物生存。大家知道,太阳系的行星中只有地球上才有人类。可见,行星上适合于人类生存的条件是很苛刻的,比如,地球要是大一些,或者小一些,距离太阳近一些,或者远一些,都会导致地球上的温度、空气和水等产生很大变化,从而严重挑战人类生存的环境。可见,对于人类来讲,地球这个环境实在是真正的“天堂”!

然而,银河系内毕竟有几千亿个恒星,围绕恒星转动的行星非常多,总会有一些适合于人类生存环境的行星。不过,观测行星要比观测恒星困难

得多。因为恒星有核能源,自身发光,因而可以直接观测。但行星本身不发光,要靠它反射恒星光才能被看见。特别是,如果你要观测遥远恒星的行星,就如同你要看一个强光源旁边的小黑点,直接观测是极其困难的。现在已研制出几种精妙的技术方法,可以通过观测行星对恒星的摄动作用来研究行星。可喜的是,已经观测发现了好几百个太阳系之外的行星,从而使行星科学成为当今的热门学科。在这种情况下,研究太阳系外的行星,也必须非常倚重于太阳系本身的知识。

显然,认识太阳系是人类认识天文,认识宇宙的第一步。而近年来寻找太阳系外行星的浪潮,又将太阳系的研究直接连到了天文学研究的前沿。飞船探访太阳系天体又对太阳系起源与演化的研究提供了更为直接的途径。《新编太阳系演化学》的出版正是适应了这个需求。说到这一领域,人们总想到戴文赛先生,他为新中国天文事业的发展,尤其为太阳系起源的研究做出了重要贡献。20世纪70年代末,已在病重中的戴先生撰写完成了《太阳系演化学》的上册,并由上海科学技术出版社出版。在他去世以后,这本书的下册由他的学生和助手胡中为等人继续撰写完成,因此下册的作者是戴文赛、胡中为、阎林山和朱志祥。由于该书上下册是在二三十年以前出版的,这期间该领域已经有了很大发展。此次由胡中为撰写的《新编太阳系演化学》已删除了较旧的内容、增补了新的进展和研究成果,并在总体上做了精简,因而是一本新书。

中国科学院院士

陆 燮

2013年1月

前言

缅怀敬仰的导师戴文赛教授

在我国著名天文学家戴文赛教授(1911—1979)诞辰百年的日子,举行了隆重的纪念。戴教授毕生勤恳就业,带领大家兴教育、搞研究、传科普,为开拓和发展我国的天文事业做出了重要贡献。他的创业精神和高尚品德影响深远,带动和培养了一批天文界精英。

我有幸做过他晚年的助手,深受教诲,思绪万千,难以表达深切的缅怀。

老友杨克中先生的力作《虚生六记》扉页写着“谨以此书表达对恩师戴文赛先生的深深怀念!”。杨先生不是天文科班的,但他热衷于包括太阳系起源等天文课题的研究,受到戴老的赏识,他不忘知遇之恩,在坎坷中拼搏,在多方面研究都很有建树。可见戴老的影响之深远。

戴老的襟怀、气度、勤勉和道德风范,感人至深。就是在他晚年因绝症住院治疗期间,仍在策划我国的天文发展计划、组织编写研究生教材系列,带头撰写《太阳系演化学》,进行课题研究等方面做了大量工作。戴老去世后,无奈时过境迁,太阳系起源演化这一重大而困难的课题被取消,连他的研究生也被停止正在进行的太阳系起源研究,而转到新导师名下研究别的课题。还是上海科学技术出版社提出的要求和支持,由我牵头坚持续写和出版了《太阳系演化学(下册)》,并开设了这门选修课,但难以实现戴老的承前启后深入研究的嘱托。无岗退休后这十来年,虽然环境条件更艰难,但戴老的高尚精神品德仍激励着我,不甘安闲颐养天年,甚至可以更充分利用自由时间,力所能及地发挥余热,做些有益工作,出版了《普通天文学》、《天文学教程(上册)》、《行星科学》及天文科普书和文章。

回想跟戴老撰写《太阳系演化学》专著时,学识还相当浅薄,而近年来该领域研究在国外非常活跃,取得了很多进展。这些年,一直想完成戴老遗愿,追踪太阳系演化的研究进展,“与时俱进”地重编《太阳系演化学》,为推动我国此领域的研究尽微薄之力,略以告慰戴老在天之灵。

按照戴老的设计,《太阳系演化学》作为研究生的教材和具有一定大学数理、天文基础的同志研究有关问题的参考书。力求较全面、系统和有内在

联系地论述太阳系各类天体的起源和系统特征的起因,评述不同的学术观念和方法。

近年来,有关的学术文献极其广泛而散杂,限于条件和篇幅,必须作选择和取舍。根据教学体验,原版《太阳系演化学》篇幅过长,新版不再赘述较陈旧的内容,而需要增加的新内容又太多。再三考虑,不采用补充修改原版的方式,而重写较为简明的《新编太阳系演化学》,因为很多内容在原版中已论述,且有关的一些新资料可在《行星科学》中查到,故本书着重于太阳系演化研究的主要问题、天文—物理的重要理论基本“图像”原理和重要新成果,只概要评述研究新进展,更具体内容可查阅所列主要参考文献。

全书包括8章:第1章 绪论,阐述太阳系演化学研究的意义、主要问题、研究简史与研究方法;第2章 恒星的形成和演化;第3章 太阳系原始星云;第4章 行星的形成;第5章 行星之性质和特征的成因;第6章 矮行星和小天体的起源;第7章 行星之卫星和环系的起源;第8章 恒星之行星的起源。

蒙上海科学技术出版社的大力支持和编辑的辛苦,才使本书得以面世,谨致以深切感谢。

本书的内容,尤其是作者的评述,可能会有一定的缺点和错误,欢迎读者批评指正。

胡中为

2014年元月于南京

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 太阳系的结构和主要特征	2
1.1.1 太阳	2
1.1.2 三类行星体	2
1.1.3 行星的卫星和环系	6
§ 1.2 太阳系起源的研究意义和主要问题	7
1.2.1 太阳系起源的研究意义	7
1.2.2 太阳系起源研究的主要问题	9
§ 1.3 太阳系起源的研究简史	9
§ 1.4 太阳系演化学的研究方法	15
第 2 章 恒星的形成与早期演化	20
§ 2.1 分子云和恒星形成区	20
2.1.1 观测事例	21
2.1.2 理论研究	27
§ 2.2 原恒星	33
2.2.1 原恒星的形成演化时标	33
2.2.2 原恒星的形成与早期演化	34
§ 2.3 金牛 T 型星	37
§ 2.4 原行星盘	40
2.4.1 原行星盘的演化过程和现象	40
2.4.2 原行星盘的气体 and 尘埃	44
2.4.3 原行星盘的结构	45
第 3 章 太阳系原始星云	49
§ 3.1 太阳系原始星云的由来	49
3.1.1 陨石分析得到的线索	49
3.1.2 原始星云的性质	53
§ 3.2 原太阳及其星云盘	54
3.2.1 原太阳	54
3.2.2 星云盘	55
§ 3.3 角动量转移机制	57
3.3.1 湍流黏滞机制	58
3.3.2 超声湍动对流机制	59
3.3.3 磁耦合机制	60
3.3.4 沙兹曼机制	61
3.3.5 磁流波机制和双极扩散	62
3.3.6 太阳系角动量问题的简要评论	63

§ 3.4 星云盘的环和螺旋结构与引力不稳定性	65
§ 3.5 从固态颗粒到星子	68
§ 3.6 坡印亭-罗伯逊效应	72
第 4 章 行星的形成	76
§ 4.1 行星形成的基本物理过程	76
4.1.1 希尔球	77
4.1.2 碰撞率	78
4.1.3 速度的演变	79
4.1.4 质量和速度的演变: 总结与推广	82
§ 4.2 行星的增长	84
4.2.1 约束条件	84
4.2.2 演变方程的两群近似解	85
4.2.3 行星增长的三大阶段	89
4.2.4 原行星的轨道迁移	93
§ 4.3 类地行星的形成	100
4.3.1 原行星的吸积增长	100
4.3.2 从原行星到类地行星	101
4.3.3 地球和金星的形成	106
4.3.4 水星和火星的形成	107
§ 4.4 巨行星形成的星核吸积模型	109
4.4.1 木星和土星形成的星核吸积模型	110
4.4.2 天王星和海王星形成的星核吸积模型	113
§ 4.5 星云盘不稳定模型	116
第 5 章 行星之性质和特征的成因	121
§ 5.1 行星之轨道特征和物理特性的成因	121
5.1.1 行星之轨道特征和物理特性的成因	121
5.1.2 尼斯模型	123
5.1.3 行星主要物理性质的成因	124
§ 5.2 行星自转的起源与演化	125
5.2.1 行星自转的现状与演化问题	125
5.2.2 行星自转起源理论	127
5.2.3 行星自转及其起源研究展望	133
§ 5.3 行星磁场的起源	134
5.3.1 行星的磁场	135
5.3.2 行星磁场的起源	136
§ 5.4 行星大气的起源和演化	145
5.4.1 行星大气的主要现状	146
5.4.2 类木行星大气的起源和演化	149
5.4.3 类地行星大气的起源和演化	150

第 6 章 矮行星和小天体的起源	157
§ 6.1 小行星起源研究的历史回顾	157
6.1.1 三类假说	157
6.1.2 我们的小行星起源研究	159
§ 6.2 小行星起源的计算机模拟	162
§ 6.3 彗星起源研究的历史回顾	165
§ 6.4 近年的彗星起源模拟研究	167
6.4.1 柯伊伯带和弥散盘的形成	168
6.4.2 奥尔特云的形成	170
6.4.3 类地行星形成的晚期严重陨击 (LHB) 起因与研究展望	175
6.4.4 彗星样品与彗星起源	176
§ 6.5 冥王星及其卫星的起源	178
第 7 章 行星之卫星和环系的起源	185
§ 7.1 月球的起源	185
7.1.1 模型的约束	186
7.1.2 地球吸积晚期的巨撞击	187
7.1.3 巨撞击模拟	187
7.1.4 撞击模拟示例	188
7.1.5 盘演化与月球吸积	191
7.1.6 月球轨道倾角问题	193
7.1.7 最新的巨撞击模拟	196
7.1.8 结论	200
§ 7.2 火星卫星的起源	201
§ 7.3 木星和土星之卫星和环系的起源	203
7.3.1 木星的卫星和环系	204
7.3.2 土星的环系和卫星	205
§ 7.4 巨行星的卫星系起源研究简要回顾	207
7.4.1 我们对巨行星之卫星和环系起源的研究	207
7.4.2 普伦蒂斯对巨行星的卫星和环系起源的研究	209
§ 7.5 木星和土星之卫星和环系起源的模拟	211
7.5.1 规则卫星的起源	211
7.5.2 不规则卫星的起源	217
7.5.3 木星和土星之环系的起源	219
§ 7.6 天王星之卫星和环系的起源	221
7.6.1 天王星的卫星和环系	221
7.6.2 天王星卫星的起源	223
7.6.3 天王星环系的起源	223
§ 7.7 海王星之卫星和环系的起源	224
7.7.1 海王星的卫星和环系	224
7.7.2 海卫一的起源	225
7.7.3 其他不规则卫星的起源	228

7.7.4 规则卫星和环系的起源	231
第8章 恒星之行星的起源	235
§8.1 环绕恒星的行星	235
§8.2 行星形成的基本理论模型	237
§8.3 行星轨道偏心率的起源理论	243
8.3.1 行星-行星弥散	243
8.3.2 行星-盘相互作用	243
8.3.3 Kozai 回旋	244
8.3.4 平均运动共振	244
8.3.5 恒星的相遇	245
8.3.6 类恒星的 N 体弛豫	245
8.3.7 恒星喷流导致的激发	245
8.3.8 结语	253
§8.4 行星轨道偏心率分布的起源	253
8.4.1 数值模拟的积分技术要求	254
8.4.2 数值模拟的初始条件	254
8.4.3 行星的平均数	255
8.4.4 行星轨道偏心率的分布	256
8.4.5 活动系综的行星轨道倾角	261
8.4.6 动力学活动的量度	262
8.4.7 总结与讨论	266

第1章

绪论

太阳系是由太阳、八颗行星(planet)和五颗矮行星(dwarf planet)及其卫星、众多的小天体(小行星、彗星和流星体)以及行星际物质组成的天体系统。在太阳系中,太阳是有内部热核反应能源而发出强烈辐射的典型主序恒星,质量占太阳系总质量的99.8%以上,其余成员的质量都比太阳质量小很多。在太阳的引力作用下,其余成员都绕太阳公转,这些成员可以统称为行星体,这个系统也常称为“我们的行星系”。

行星和矮行星所占的空间范围约100 AU(天文单位),奥尔特(彗星)云(Oort cloud)达10万 AU,太阳系的最大引力范围(希尔范围)为23万 AU,再往外就是恒星际空间了。离太阳最近的恒星是半人马(星)座的比邻星(proxima centauri),离太阳27万 AU或4.22光年。

太阳系是更大的天体系统——银河系的成员,太阳是银河系2 000多亿恒星之一,很多恒星也有自己的行星系。太阳位于银道面附近,离银河系中心(“银心”)约26 000光年,在银道面北约26光年,位于猎户臂附近。太阳带领行星系绕银心转动,速度约220 km/s,约2.5亿年(可称为“银河年”)转一大圈。

诸如盘古开天辟地的神话表明,自古以来人们就思索着天体的起源演化问题,首先是地球的起源演化。但直到公元1543年哥白尼在名著《天体运行论》中提出“宇宙日心体系(即日心说)”,论证了地球和行星依次在各自轨道上绕太阳公转(revolution,又有革命含义)之后,逐渐形成“太阳系”的概念。1644年,笛卡儿(R. Descartes)在《哲学原理》中提出太阳系起源的观念,向上帝创世观提出挑战。真正在僵化自然观上打开第一个缺口的是康德(I. Kant)和拉普拉斯(P. S. Laplace)分别于1755年和1796年各自独立地提出关于太阳系起源的星云假说——康德-拉普拉斯星云说(Kant - Laplace nebular theory),从此开始太阳系起源演化的科学研究。

太阳系演化学研究太阳系总体及其各类成员的起源(即形成)和演化的历史,即“关于现存世界是通过什么方式和方法产生的理论”^①。广义地说,天体演化(cosmogony)包括起源(origin)和(狭义)演化(evolution)。具体地说,天体的起源是指某天体在何时、从

① 恩格斯:《反杜林论》,人民出版社,1970年,53页。

什么形态的物质、通过什么方式和过程形成的。当原来状态的物质演变成新的天体形态时,就说天体形成了,例如,星际云中的气体-尘埃云核自吸引收缩变密而演变为独立发光天体——恒星。天体的演化是指天体形成后又经历怎样的演变,直到演变为另一新形态的天体,例如,恒星演化晚期剧烈爆发,抛出的稀疏物质形成星云。迄今,太阳系演化学主要研究它的起源问题,一般把太阳作为典型恒星放在恒星演化学中来研究。因此,太阳系起源主要研究环绕太阳公转各类“行星体”——行星、卫星、小行星、彗星等的形成及其轨道特征和物理-化学特征的成因。

§ 1.1 太阳系的结构和主要特征

太阳系起源研究的重要依据是其各类成员的性质及其系统的结构和主要特征。

1.1.1 太阳

太阳系的中心天体——太阳是一颗典型恒星,它现在处于演化的主序(中年)阶段,其中心区进行着氢聚变为氦(氢燃烧)的热核反应,所产生的能量以辐射方式向宇宙空间发射,其辐射的总功率——太阳光度($L_{\odot}$)为 3.845×10^{26} J/s。太阳质量($M_{\odot}$)为 1.989×10^{30} kg。人们看到的日面或日轮是它的大气底层——光球(厚度仅约 500 km),太阳半径($R_{\odot} = 695\,500$ km)就是指光球到日心的距离,太阳外层稀疏大气——日冕延伸到几个太阳半径甚至更远处。太阳物质是高温等离子体,进行着较差自转(differential rotation),自转轴对黄道面法线的倾角为 $7^{\circ}15'$,对太阳系不变平面法线(即太阳系总角动量矢量)的倾角为 $5^{\circ}56'$,对银河系自转轴的倾角为 61.7° 。

1.1.2 三类行星体

2006 年,国际天文学联合会(International Astronomical Union, IAU)第 26 届大会通过决议,太阳系直接绕太阳公转的成员(行星体)明确地定义为以下三类:

(1) 一颗行星是一个天体,它满足:① 在环绕太阳的轨道上运行;② 有足够大的质量,靠自身引力克服各种刚性体积力,以致呈现一种流体静力平衡(近于圆球)形状;③ 清除了其轨道附近的其他天体。在此定义下,太阳系仅有八颗行星:水星(Mercury)、金星(Venus)、地球(Earth)、火星(Mars)、木星(Jupiter)、土星(Saturn)、天王星(Uranus)和海王星(Neptune)。

(2) 一颗矮行星是一个天体,它满足:① 在环绕太阳的轨道上运行;② 有足够大的质量,靠自身引力克服各种刚性体积力,以致呈现一种流体静力平衡(近于圆球)形状;③ 没有清除其轨道附近的其他天体;④ 不是一颗卫星。在此定义下,太阳系有三颗矮行星:谷神星(Ceres)、冥王星(Pluto)、阋神星(Eris),到 2008 年又添加两颗矮行星:鸟神星(Makemake)和妊神星(Haumea),将来可能会有更多候选天体列入此类。

(3) 太阳系小天体,其他环绕太阳运行的天体(除卫星外),都属此类,包括小行星、彗星、流星体。

八颗行星和冥王星围绕太阳运转的轨道如图 1-1 所示。

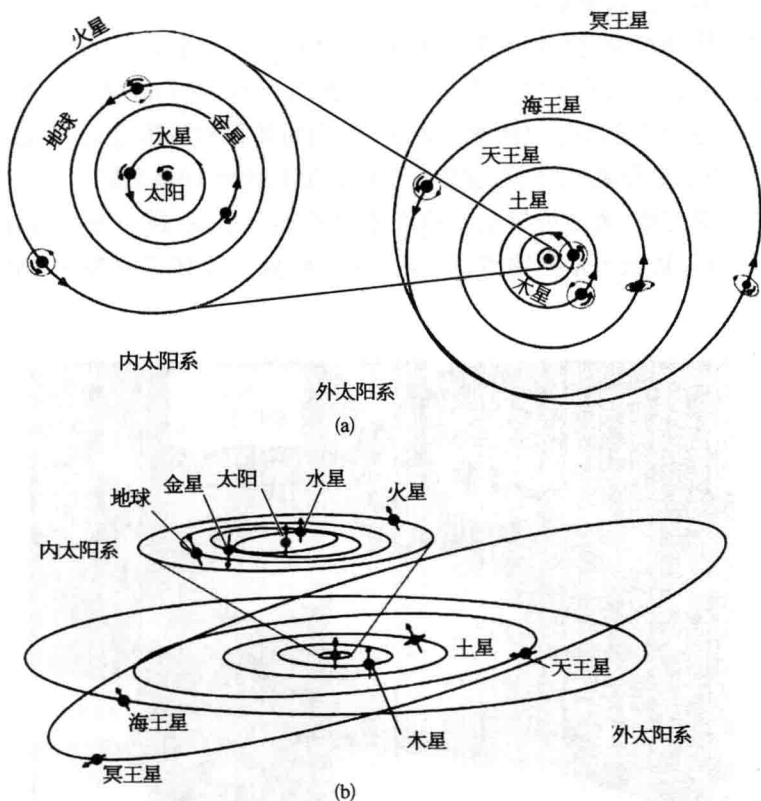


图 1-1 八颗行星和冥王星的轨道

(a) 黄道面投影;(b) 轨道倾角,箭头表示自转轴。

行星绕太阳的公转轨道,有以下的一般特征:

(1) 共面性。各行星的轨道面对黄道面的倾角 i 很小,且太阳赤道面对黄道面倾角也不大。

(2) 同向性。各行星的轨道运动方向都与地球公转同向,而且与太阳自转方向相同。

(3) 近圆性。各行星的轨道偏心率 e 都很小,轨道近于圆($e \approx 0$)。

(4) 提丢斯-波得定则(Titius Bode's law)或距离规律。行星轨道半长径近似满足提丢斯-波得定则,即

$$a_n = 0.4 + 0.3 \times 2^{n-2} \quad (\text{AU}) \quad (1-1)$$

式中, n 为行星的序号:水星 $n = -\infty$,金星 $n = 2$,地球 $n = 3$,火星 $n = 4$,木星 $n = 6$,土星 $n = 7$,天王星 $n = 8$,海王星 $n = 9$,但海王星的计算值 a_9 与观测值很不符合。距离规律

也可用其他经验公式表示,如 $a_{n+1}/a_n \approx 1.73$ (序号 $n = 1, 2, \dots, 8$)。

多数行星的自转轴大致垂直于其轨道面,顺向(与公转方向相同)自转。特殊的是金星逆向自转和天王星侧向自转,如图 1-1 所示,金星的赤道面对轨道面倾角为 177.36° ,天王星的赤道面对轨道面倾角为 97.77° 。

按照行星的物理特性,把体积和质量小、平均密度大的水星、金星、地球和火星称为类地行星。把木星、土星、天王星和海王星称为类木行星,它们的体积和质量大,但密度小。更好的分类是把木星和土星称为巨行星,它们的体积和质量最大,而密度最小;把天王星、海王星称为远日行星,它们的密度介于巨行星和类地行星之间。实际上,行星的平均密度反映其物质组成,类地行星主要由固态岩石物质组成,巨行星主要由氢氦气体物质组成,而远日行星还含大量冰物质(水、氨、甲烷冰等)。太阳系主要天体的大小对比如图 1-2 所示。

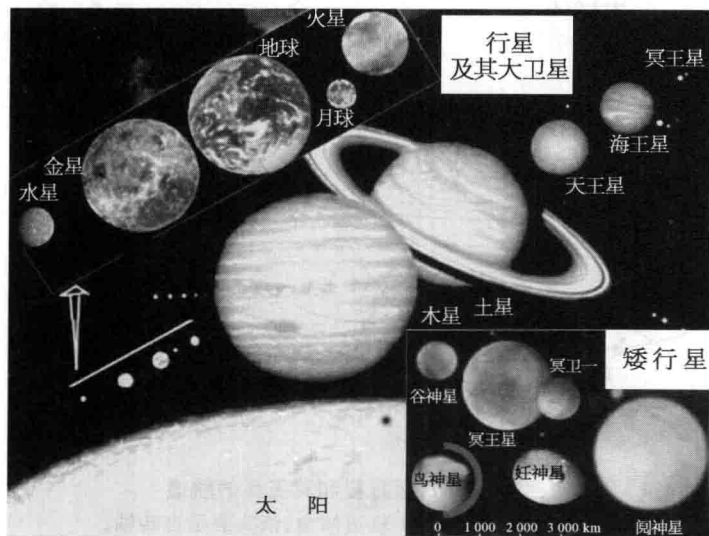


图 1-2 太阳系主要天体的大小对比

在矮行星中,谷神星是相当于提丢斯-波得定则式(1-1)中那颗 $n = 5$ 的行星,其轨道特征与八颗行星类似,自转也跟多数行星相似,只因它比其余行星小得多而原先称为小行星;冥王星是相当于提丢斯-波得定则式(1-1)中那颗 $n = 10$ 的行星,其轨道倾角(7.14°)和偏心率(0.249)都比八颗行星的大很多,而质量则小很多,自转也很特殊(自转轴倾角为 119.59° ,逆向自转,自转周期长达 6.39 天)。阋神星的轨道半长径为 67.67 AU,其轨道倾角(44.19°)和偏心率(0.442)更大。鸟神星和妊神星的轨道半长径分别为 45.79 AU 和 43.34 AU,它们的轨道倾角和偏心率也较大。

在太阳系小天体中,一般把直径 10 m (也有取 50 m) 以下的称为流星体(meteoroid),微小的流星体又称为行星际尘埃(IPDs);小行星与彗星的主要差别在于,彗星本体——

彗核含冰物质多而受太阳辐射作用就可以升华,形成显著的彗星大气——彗发以及彗尾,而小行星则总是岩体的。

已发现的小行星有 46 万多颗,已测定出轨道而给予编号的有 22 万多颗,其中正式命名的有 15 000 多颗,大多在火星与木星的轨道之间(轨道半长径 2.17~3.64 AU)的小行星主带,如图 1-3 所示。轨道半长径相近的一些小行星构成“小行星群(group)”,例如,希尔达(Hildas)群由轨道半长径 $a \approx 3.95$ AU 的几十颗小行星组成,很有趣的是两个特洛伊(Trojan)群——希腊(Greeks)群和(纯)特洛伊群处于木星轨道的前、后拉格朗日点(Lagrangian point)附近(图 1-3),类似地,也有处于海王星轨道附近的特洛伊小行星。不仅轨道半长径,而且偏心率和倾角也相近的组成“小行星族(family)”,近半数的小行星分属于 100 多族,最大的是 Eos 族、Kronos 族和 Themis 族。越小的小行星,数目越多,小行星的质量谱——质量 m 的小行星数目为 $N(m) = Cm^{-5/3}$, 其中 C 是常数。

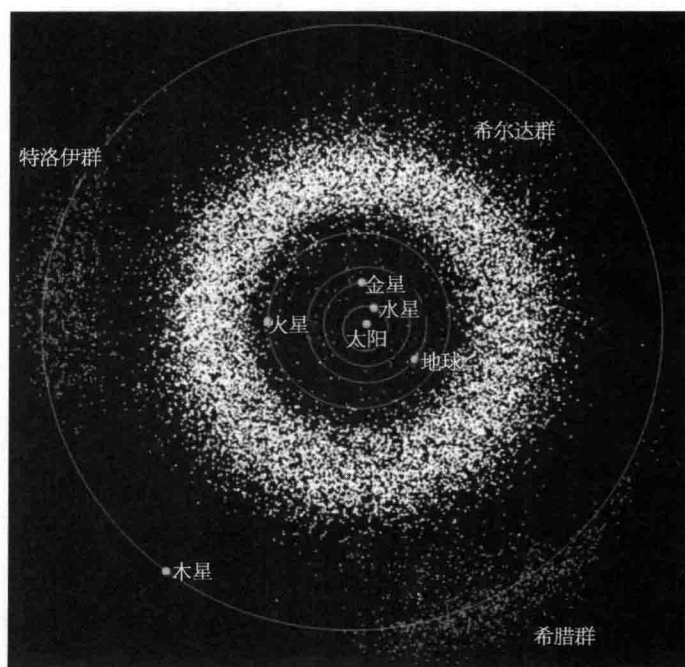


图 1-3 小行星主带及希尔达群和特洛伊群

到 2009 年 5 月,已知的彗星有 3 648 颗,约 400 颗是短周期(轨道周期小于 200 年)的,其中有编号的 232 颗;有 1 500 多颗掠日彗星(sungrazing comet),其轨道近日距小于 0.01 AU,可以穿过外日冕,大多是 SOHO 卫星上的日冕仪拍摄发现的,故称为 SOHO 彗星。大多数彗星的轨道是偏心率较大的扁长椭圆。有 80 多颗短周期彗星的远日距接近木星轨道,称为木星族彗星,它们可能是木星的引力摄动改变了原来轨道而“俘获”的。

还有些彗星分别跟土星、天王星、海王星有类似关系,分别称为土星族彗星、天王星族彗星、海王星族彗星,但这些彗星族的彗星数目少,它们的俘获是可疑的。

1950年,奥尔特(J. H. Oort)从彗星轨道统计研究推断,离太阳3万~10万AU有近于均匀球层式的彗星储库,称为奥尔特(彗星)云(图1-4),有的彗星被路过的恒星摄动而改变轨道,进入太阳系内区,成为观测到的新彗星。近年新的统计研究表明,奥尔特云分为内外两部分:盘形的内奥尔特云或希耳斯云(Hills cloud),离太阳3000~2万AU,有1万亿~10万亿颗彗星;球形的外奥尔特云,离太阳2万~5万AU,有1万亿~2万亿颗彗星。1961年,柯伊伯(G. P. Kuiper)提出,在海王星轨道外存在有彗星的环带,称为柯伊伯带(Kuiper belt),而称那里的天体为柯伊伯带天体(KBO)。近年研究表明,柯伊伯带离太阳30~55AU,有1亿~1万亿颗柯伊伯带天体,它们大多数是轨道面对黄道面的倾角较小的。在柯伊伯带外还存在弥散盘(scattered disk)。冥王星、鸟神星和妊神星就是最大的柯伊伯带天体,而阋神星是弥散盘的最大天体。木星族彗星主要来自柯伊伯带和弥散盘。

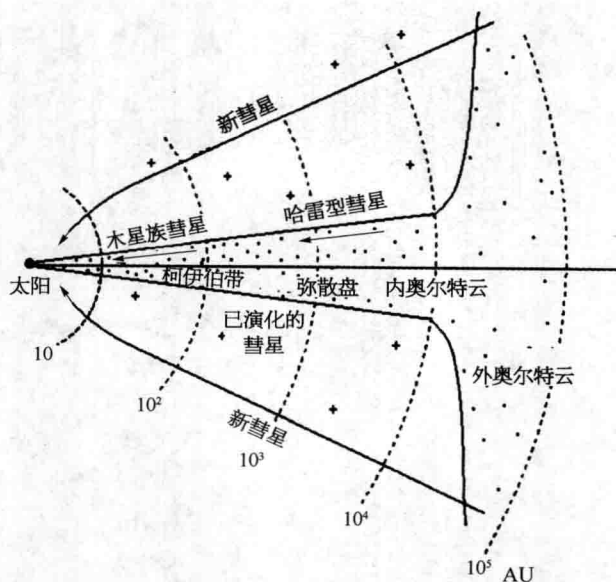


图1-4 奥尔特云和柯伊伯带(截面示意)

1.1.3 行星的卫星和环系

就轨道运动特征来说,某行星的卫星和环系在绕该行星运动的同时,又随该行星绕太阳做公转轨道运动。但就物理性质来说,卫星与行星没有根本的差别,木卫三和土卫六比水星还大,而小卫星只不过是形状不规则的岩/冰块体。

在八颗行星中,水星和金星没有卫星,地球有1颗卫星——月球,火星有2颗卫星,木星有67颗卫星,土星有62颗卫星,天王星有27颗卫星,海王星有14颗卫星,总计173