

东南大学出版社

现代天文学简明教程

韩正忠

崔连贤

编

现代天文学简明教程

韩正忠 崔连坚 同编

东南大学出版社

内 容 提 要

本教程系统而简明地介绍了天文学的基础知识和理论，阐述太阳系内各种天体以及恒星、星系的研究方法和观测结果，论述了天体的起源和演化以及生命广泛存在于宇宙之中。

书中重点介绍近代天文学的新发现、新进展及最新研究成果，特别是发射人造卫星、宇宙飞船进行空间探测的近况。

本书可作为高等院校非天文专业的选修课教材和中专、中学教师的参考用书，也可供天文爱好者阅读。

责任编辑 徐步政

现代天文学简明教程

韩正忠 崔连坚 编

东南大学出版社出版

(南京四牌楼2号)

江苏省新华书店发行 南京炮院印刷厂印刷

开本 787×1092毫米 1/32 印张 10.5 字数 235千字

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数：1—3000册

ISBN 7-81023-127-8

P·1 定价：3.35元

前 言

在高等院校中，为了拓宽学生的知识面，普遍开设了一些选修课，“现代天文学”课程就是其中之一。

本教程是由编者在东南大学（原南京工学院）讲授的“现代天文学”课程讲稿的基础上修改而成。全书系统地介绍天文学的基础知识和理论，阐明对太阳系内各种天体以及恒星、星系的研究方法和观测结果，论述了生命存在于宇宙之中，天体演化等问题。

书中以较多的篇幅阐述近代天文学的新发现、新进展及其最新成果，包括黑洞、脉冲星、类星体和超新星等，特别是发射人造卫星、宇宙飞船进行空间探测的近况。

本教程配备了一套现代天文学电视录相片，约二小时，与课文内容密切配合。每次理论课加映部分录相，可增强学生的感性认识。

该书内容简明、通俗易懂，具有一定的知识性与趣味性，可以作为高等院校非天文专业的选修课教材和中专、中学教师的参考用书，也可供天文爱好者阅读。

书稿曾经过南京大学天文学系方成教授、许敖敖副教授的审阅，借此机会表示诚挚感谢。

由于水平所限，书中缺点与错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者 1988年3月

目 录

| | | |
|--------|-------------------|---------|
| 第一章 | 绪论 | (1) |
| 第二章 | 月球 | (21) |
| 第三章 | 太阳 | (43) |
| 第四章 | 时间和历法 | (73) |
| 第五章 | 行星运动 | (93) |
| 第六章 | 水星、金星和火星 | (106) |
| 第七章 | 木星和土星 | (123) |
| 第八章 | 太阳系中的小天体 | (141) |
| 第九章 | 恒星——遥远的太阳 | (160) |
| 第十章 | 特殊天体 | (180) |
| 第十一章 | 宇宙之岛——星系 | (203) |
| 第十二章 | 宇宙及宇宙论 | (232) |
| 第十三章 | 天体的起源和演化 | (252) |
| 第十四章 | 生命广泛存在于宇宙之中 | (271) |
| 第十五章 | 天文望远镜 | (287) |
| 参考文献 | | (315) |
| 附录 I | 常用天文单位 | (318) |
| 附录 II | 哥白尼以来天文学大事记 | (319) |
| 附录 III | 远日行星 | (323) |
| 附录 IV | 九大行星的一些物理参数 | (329) |

第一章 绪 论

天文学是一门古老的学科，其研究对象是茫茫宇宙中的天体。几千年来，人们通过目视或望远镜，测量天体的位置，研究天体的运动、物理状态和化学组成，以及它们的演化规律。从而不断地深化人类对广阔无垠的宇宙空间中物质世界的认识。

天文学与人类的生存密切相关。远在古代，天文学家就通过观测研究太阳、月亮、星星在天空的位置及其随时间变化的规律，来确定时间、节气和历法。随着科学的发展，天文学对人类的生活和人类社会的发展愈来愈显示出它的重要意义。尤其是在授时、导航、太阳活动预报、人造卫星运动、揭示宇宙奥秘和探索自然规律等方面具有极其重要的价值。

人类对宇宙的认识是从地球到“太阳系”，进而扩展到“太阳系”以外的恒星以及主要由恒星组成的“银河系”，现在又扩展到“河外星系”直到一百多亿光年的宇宙深处。可以预见，随着空间技术和探测仪器水平的进一步提高，更加遥远的宇宙，更加暗弱的新天体将展示在人类的面前。

按照研究方法的不同，天文学大体上分为三个分支：天体测量，天体力学和天体物理学。特别是以测定天体亮度和分析天体光谱为起点的天体物理学把天文学推进到一个新的阶段，标志着现代天文学的起点。研究天体的物理性质、化学组成、运动状态和演化规律，使人类对天体的认识深入到间

题的本质。

天文学同许多邻近学科是互相借鉴，互相渗透的。从应用光学、无线电电子学以及工程技术中创造独特的观测手段，借助于数学对观测结果进行分析和理论计算，物理学中的量子论、相对论、原子核物理和高能物理等各分支以及力学、化学均是天文学研究的理论基础。反之，天文学中的各种新发现、新进展又丰富了这些学科的内容与方法，并为其开辟新的研究前沿。古老的天文学也是当代科学前沿阵地非常活跃的一门科学。

一、天文学与人类的关系

人类在社会活动的实践中创立、发展了天文学，天文学推进了人类对自然界的认识，成为人类改造自然的强有力手段。天文学与人类有着密切的关系。

准确的时间不仅为人类日常生活和生产所必须，而且与测绘、航海、航天及尖端科学技术研究有密切关系。大地测量需要用精确的世界时确定各个地点的精确坐标；航海航空需要世界时进行天文导航；人造卫星和导弹的发射、飞行和跟踪，需要世界时和原子时的高精度时间同步，并需要用原子标准时间和频率进行控制。因此，提供标准时间是天文台的一项重要任务。

天文台的授时工作包括测时、守时和播时。所谓测时，就是应用常规测定方法及相应仪器（中天法——中星仪等；等高法——光电等高仪等），通过观测预选的恒星，再经归算处理，获得准确的世界时。世界时是以地球自转为基础的

时间计量系统，其基本单位是平太阳日，即通常所说的一天。目前综合世界一年的测时资料，经过处理所测得的世界时精度达0.001秒。最近应用甚长基线干涉仪测量和激光测距，使测时精度成数量级的提高。而守时则是利用天文摆钟、石英钟和原子钟计量时间。摆钟每天的误差为千分之几秒；石英钟误差是几十年不大于1秒；原子钟是现代最准确的时钟，每天误差不超过 10^{-9} 秒（三万年内误差不超过1秒）。最后，天文台将准确的世界时播送出去。

2. 天文导航，即通过观测天体来测定航行中的舰船或飞机所在的位置。天文导航测定的位置由这些天体在观测时刻所对应的位置来决定。为此，天文台预先测定所选定的恒星位置，通过大量计算，编制成年历和星表。天文导航中一般用六分仪观测天体，用记时仪记录观测时刻，再查阅星表，可以很快测算出航行位置。另外，天文导航对于确定宇宙飞船在空间的位置和航向也有相当重要的作用。

3. 太阳活动预报，太阳活动是指太阳大气里一切活动的总称，包括太阳黑子、耀斑、日珥等。当太阳活动剧烈时，日面上出现大耀斑时，会同时发射强烈的紫外线、X射线以及大量高能粒子流，使地球大气电离层的电离度增高，电波吸收加强，导致地面短波通讯中断。高能粒子流会严重破坏人造卫星上的某些仪器设备，对宇航员也有致命威胁。同时，地球高层大气的温度和密度发生很大变化，也使导弹、人造卫星等轨道发生偏移。此外，太阳活动对气象、水文和地震等也有一定影响。准确预报太阳活动可以保证空间飞行、通讯等工作正常进

行。因此，太阳活动预报对宇宙航行、空间研究、国防和国民经济等具有极其重要的意义。目前的太阳活动预报工作，较为成功的是太阳活动短期预报，尤其是未来24小时内的预报。主要是预报耀斑和由耀斑引起的电离层扰动以及粒子能量不小于10兆电子伏的高能粒子流的到来。另外，预报太阳黑子周期的演变等较长期的太阳活动。

太阳活动预报需要国际间合作，全世界约有15个太阳活动预报中心。总的情况是预报水平不高，只有当太阳活动处于低年时，预报安全期才有较高的准确度，报准率可达90%；对大活动区预报大耀斑出现，报准率只约40%。目前还没有一种较为完善有效的方法。

4. 人造卫星运动研究

人造卫星正广泛应用在侦察、通讯、气象和资源探测等国防和国民经济领域中。然而，人造卫星轨道计算，人造卫星运动理论的研究是天体力学中的一个重要课题。

研究人造卫星的运动，必须考虑影响人造卫星运动的主要扰动因素，包括地球形状扰动、大气阻力扰动、太阳光压扰动以及日、月引力扰动等。同时，需要不断地对人造卫星进行跟踪观测，并提供有关资料。

人造卫星运动研究是发展空间事业的理论基础之一。利用卫星运动特征设计太阳同步轨道，能成功地用于气象卫星、地球资源卫星，使得照相观测获得有利的日照条件。利用人造卫星运动理论并结合实际观测，还可以精密测定地球引力场及高层大气密度等。

5. 揭示宇宙奥秘

人类认识宇宙经历了两次飞跃。哥白尼日心学说的创立，发展到17世纪达到高峰，牛顿把力学概念应用于行星运动研究，发展并验证了万有引力定律和力学定律，创立了天体力学这一天文学新的分支，使天文学从单纯描述天体的几何关系，进入到研究天体之间相互作用阶段。19世纪中期，物理学的重大发展把天文学研究又推进到一个新的阶段，诞生了天体物理学，从而对天体的认识深入到对天体本质的研究。随着观测仪器的迅速发展，人们已经能够接收到天体全波段辐射，包括天体的紫外、红外、无线电波、X射线、 γ 射线的辐射，使天文学家得以更深入地了解宇宙的结构和演化规律。天体物理学中一系列重大发现也对物理学、化学、生物学等学科发展作出了贡献。化学元素氦首先是在太阳光谱中发现的，经过25年后才在地球上得到证实；已经发现了几十种星际分子，其中一些是有机分子，这引起了生物学界和化学界的注意，迫使人们去探索生命的起源。特别是人造卫星上天，宇宙飞船飞抵月球、火星、金星考察，获得了大量的有关太阳系的形成及演化的新信息新成果，对除地球以外是否存在生命问题的探讨也取得一定的进展。

二、星空巡礼

人类对宇宙的认识是不断深化的。让我们由近至远共同环顾目前所认识的宇宙空间。

1. 太阳系

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所构成的天体系统。太阳是其中心天体，占太阳系总质量的99.86%，其它天体都在太阳的引力作

用下围绕太阳运动。

(1) 地球：是九大行星之一，是太阳系中的一个普通成员。哥白尼日心学说的创立，从根本上确定人类居住的地球不是宇宙的中心，地球同其它行星一样沿着椭圆轨道自西向东绕着太阳转动。地球近于球形，略扁，赤道半径为6378公里，与太阳的平均距离约1.5亿公里，其固体壳外面包围着一层厚度约为3000公里的大气。地球约有46亿年的历史，它有一个天然卫星——月球，二者构成一个地月系统。由于太阳和月球对地球的引力作用，使地球上海洋、大气产生潮汐现象。

(2) 月球：是离地球最近的一个天体，月地距离约为38万4千4百公里。其直径为3476公里，约为地球直径的 $\frac{3}{11}$ ，可算是太阳系里的一个大型天然卫星。月球在环绕地球作椭圆运动的同时，也伴随地球围绕太阳公转，每年一周。由于月球同时受到地球引力和太阳引力的作用，具有十分复杂的轨道运动。月球上不存在任何形态的水，完全没有大气，几乎接近真空状态，这是因为月心引力只有地心引力的 $\frac{1}{6}$ ，不能吸引住大气。月面上最明显的特征是环形山，几个最大的，直径可达2~3百公里。月球没有大气，加上月面物质热容量和导热率又很低，导至月面昼夜温差很大，白天阳光垂直照射，温度高达130—140℃，夜晚降低到-183℃。

(3) 太阳：是太阳系的中心天体，是银河系中离地球最近的一颗普通恒星，其半径为地球的109倍，质量约为地球的33万倍。太阳是一个巨大而炽热的气体球，是太阳系中唯一的光热之源，其中心处温度高达1500万度，表面温度是

6000度。由于内部高温高压而致热核聚变，每秒钟释放的能量可供地球使用1000万年，这种能量经历千万年才能传到太阳表面，再辐射到周围空间。人们直接观测到的是太阳的大气层，从里向外分为光球、色球和日冕三层。大气层处于局部剧烈运动之中，经常出现的黑子群以及剧烈时发生的耀斑爆发事件是天文学中极为重要、极其复杂的能量聚变、存储、引发和释放过程。太阳大气中氢和氦占绝大部分，氢约占71%，氦约占27%，其余是一些较重元素。太阳所含氢估计足够燃烧100亿年，而太阳现在的年龄约50亿岁，目前正处在中年时期。

(4) 行星：九大行星离太阳的距离符合提丢斯-波得定则，由近到远依次是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。它们沿椭圆轨道自西向东围绕太阳运动，大多数行星轨道平面大致在同一平面上。冥王星离太阳最远，轨道直径约为120亿公里。行星按性质可分为三类：平均密度较大的类地行星（水星、金星、地球和火星），质量和体积较大的巨行星（土星、木星）以及远日行星（天王星、海王星和冥王星）。除了水星和金星，其它行星都有卫星绕转，构成卫星系统。此外，木星、土星和天王星都有光环。近年来，随着空间技术的发展，多次向水星、金星、火星和木星发射探测器，发现木星和水星存在磁场和磁层，水星和火星也有环形山。

(5) 小行星：是太阳系中较小的天体。目前已发现并正式命名的小行星有2000多颗，大多数分布在火星和木星的轨道之间，其中最大的是谷神星，直径约为1000公里。所有小行星沿椭圆轨道绕太阳运行，其轨道倾角与偏心率彼此相

差较大。按其性质可分为石质和碳质的两类。另外，在地球轨道附近以及土星和天王星轨道之间也发现有小行星，同时还发现有几颗小行星也带有卫星。

(6) 彗星：是绕太阳运行中呈现出奇特形状变化的小天体。在彗核周围有雾状彗发，走近太阳时十分明亮地生出长长的扫帚形彗尾。大多数轨道很扁，是一个偏心率很大的椭圆，有些彗星的轨道是抛物线，甚至是双曲线。迄今所观测到的彗星约有1600颗，其中最为著名的是哈雷彗星，每隔76年再现一次。中国是世界上记录彗星资料最早最丰富的国家，尤其关于哈雷彗星有世界公认的最早最完整的记载。

(7) 流星体：是太阳系中更小的天体，大多数还没有豌豆那样大，其质量不到一克。流星体的尘粒和固体块围绕太阳运动，当经过地球附近时，受到地球引力的扰动，便改变轨道，向地球接近，以很高的速度闯入地球大气且与大气分子摩擦产生明亮的光迹，这就是通常人们看到的流星。有些流星体进入地球大气时化为气体，但有些较大或特别大的流星体在大气中没有耗尽，落到地球表面上，就是陨石。陨石可分石陨石、铁陨石和石铁陨石三大类。陨石中含有许多种矿物岩石，还发现了有机分子。

整个太阳系有多大呢？九大行星所占空间范围，其半径不到50天文单位，如果以离太阳10~15万天文单位处存在的“彗星云”作为太阳系的半径，整个太阳系也只是更大的天体系统——银河系的极微小部分。太阳只是银河系中上千亿个恒星中的一个，离银河系中心约3万光年。整个太阳系围绕银河系中心转动。显然，太阳系既不是宇宙中心，也不是银河系中心。

2. 恒星世界。恒星是由炽热气体组成的、能自己发光的球状或类球状天体。晴朗的夜晚，一般人用肉眼大约可以看到四千颗左右的恒星，使用望远镜，则可以看到几十万乃至几百万颗以上的恒星。银河系中的恒星估计约有一、二千亿颗，太阳只是其中的一颗，而且是离地球最近的一颗恒星，因而看上去呈现出明亮的圆面。而其它恒星，即便使用现代最大的望远镜，看上去也只是一个发光点，这是因为恒星离地球要比太阳远得多。例如半人马座比邻星是仅次于太阳离地球最近的一颗恒星，它发出的光到达地球需要4.27年，而太阳光到达地球只需8分钟。应用光谱分析的方法研究恒星，结果表明其化学组成大同小异，质量差别也不很大，最小的质量约为太阳的百分之八，最大的约为太阳的65倍。

(2) 巨星、矮星：不同的恒星呈现出不同的颜色和光度，光度大的是巨星，更有甚者，光度可达太阳的200万倍的是超巨星；光度小的是矮星，白矮星的光度只有太阳的几十万分之一。我们用肉眼观测恒星，其亮度差别很大，这种视亮度与光度和距离有关，光度相同的恒星距离远的其视亮度就弱，反之亦是。

(3) 变星、新星：人们通过探测器包括人眼、望远镜和辐射接收器的检测，能够发现某些恒星的亮度呈周期性的变化，周期从一小时到几百天不等，有的长达两三年，这类恒星称之为变星。目前已发现并编入《变星总表》中的有26000颗左右。有些恒星的亮度突然激烈增强，其亮度在几天之内增加9个星等以上，尔后在几个月到若干年内有起伏

地下降到爆发前状态，这类星称之为新星。当爆发规模超过新星，增亮千万倍至上亿倍的称为超新星。这是恒星世界中最激烈的爆发现象。

(4) 双星、聚星和星团：恒星在空间的视位置比较靠近的两颗星，或者由于彼此引力作用沿着轨道互相环绕运动，或者远看彼此很靠近而实际相距很远的两颗星统称为双星。前者称为物理双星，后者为光学双星。双星是恒星世界的普遍现象，占全部恒星的 $1/3$ 左右。由三、五个互相有物理联系的恒星组成的多重恒星系统，称之为聚星。而由十个以上的恒星组成的、并被恒星之间的引力束缚在一起的恒星群，称之为星团。星团可以分为球状星团和疏散星团两种。

(5) 星云、星际物质：恒星之间的空间并不是真空，而是充满了各种物质，包括星际气体、尘埃、各种星际云、星际磁场和宇宙线等星际物质。星际物质分布是不均匀的，有的地方物质密度较大，其中应用望远镜可以观测到由气体和尘埃微粒组成的，呈现出云雾状斑点的天体，称之为星云。星云和恒星是天文世界中两种互相转化的实体，星云是构成恒星的原料，而恒星向空间抛射的物质也成为星云的一部分原料。星际空间除了恒星和星云之外充满着比星云更稀薄的弥漫物质。特别是近年来发现星际有机分子，如氰基、氨、甲醛、甲醇等，大大开阔了人们的眼界。1973年，发现陨石中有氨基酸，表明星际中存在着由无机物到有机物，由非生命到生命的演化。显然，研究星际分子对生命起源问题具有一定的价值。

3. 银河系与河外星系

银河系(1) 银河系：夏天，晴朗的夜晚，人们仰望天空，肉眼可以观测到天空上有一条明亮的光带，这就是传说中的天空银河。使用望远镜观测，银河光带实际上是由千千万万颗恒星和星云所组成，呈现出一个圆盘状的庞大恒星系统，称之为银河系。银河系约有1000亿颗以上恒星，大部分集中分布在一个扁球状的空间范围内，其直径约为十万光年，中心厚约为一万光年。银河系的质量为 1.4×10^{11} 太阳质量，其中恒星约占90%，气体和尘埃组成的星际物质占10%。整个银河系围绕银心旋转，我们的太阳系只是银河系中的一个成员，太阳距银心约为3万光年，靠近银河系的边缘，我们居住的地球同太阳系的其它天体一样，都跟着太阳以每秒250公里的速度绕银河系中心转动，运行一周约需要两亿五千万年。银河系的总体结构是：银河系物质的主要部分构成一个圆盘，称为银盘，银盘中心隆起近似于球形的部分称为核球。在核球区域恒星高度密集，其中心有一个很小的致密区，称银核。银盘外面是一个范围更大，近于球状分布、密度很低的银晕。银晕外面是呈球形分布的银冕。星团类恒星系

河外星系(2) 河外星系：在银河系之外还有许许多多与银河系类似的庞大天体系统，称为河外星系，简称为星系。早在1612年就发现了第一个离银河系较近的星系——仙女座大星云，星系呈云雾状的天体，也称为星云。随着望远镜口径的增大，目前用最天望远镜可以观测到约10亿个星系，其中离我们最远的估计达150亿光年。每个星系都是由几十亿至几千亿颗恒星及星际气体、尘埃物质等构成，占据几千光年至几十万光年的空间天体系统。我们的银河系只是一个普通的星系。星系按其形态可以分为椭圆星系、旋涡星系、透镜星系、棒旋星系

及不规则星系五个类型。六十年代以来，又发现了许多特殊星系，包括类星体、各种射电星系、塞佛特星系等，它们都是一些正经历着爆炸过程或抛射巨量物质的变化之中，因而统称为活动星系。星系内部的恒星有两种运动方式，一种是围绕星系核心的旋转运动；另一种是弥散运动。而星系本身作为一个整体也在进行旋转运动，成对出现的星系即双重星系彼此围绕公共质心转动。

(3) 星系团、总星系：星系团是相互之间有一定力学联系的十几个、几十个以至成百上千个星系聚集在一起所组成的星系集团。由三五个、十来个组成的是多重星系，不超过100个的星系团称为星系群。目前已发现有上万个星系团，距离远达70亿光年之外。小的星系团如本星系群是由银河系以及包括仙女星系在内的30个左右大小不等的星系所组成，大的星系团如后发星系团包含有上千个比较明亮的星系。星系团按形态可分为规则星系团和不规则星系团两类，规则的具有球对称外形，有点象球状星团，而不规则星系团是各种类型星系的混合体。星系团的运动特征包括整个星系团的视向运动和团内各成员星系间的随机性相对运动两个方面。就目前人类所拥有的最大望远镜而言，我们所能观测到的所有星系和星系际物质的总体称为总星系。确切地说，总星系就是目前我们所观测到的宇宙部分。总星系是有限的，有边界的，其典型尺度约100亿光年，年龄为100亿年量级。总星系物质含量最多的是氢，其次是氦。人们发现星系谱线有系统的红移，按照红移的径向多普勒效应解释，表明星系之间距离在逐渐加大，总星系在均匀地膨胀着，这就是宇宙膨胀运动。宇宙在时间和空间上都是无限的，人类认识宇宙也