

天文学

物理新视野

[美] M·L·库特纳 著

萧耐园 胡方浩 译

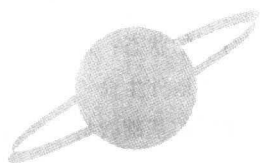
湖南科学技术出版社

天文学 物理新视野

[美] M·L·库特纳 著

萧耐园 胡方浩 译

K 湖南科学技术出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

天文学：物理新视野 / (美) 库特纳著；萧耐园，胡方浩译. —长沙：湖南科学技术出版社，2005.9
ISBN 7-5357-4416-8

I. 天... II. ①库...②萧...③胡... III. 天文学
IV. P1

中国版本图书馆CIP数据核字 (2005) 第113367号

Astronomy: A Physical Perspective

© Marc L. Kutner 2003

湖南科学技术出版社通过英国剑桥大学出版社独家获得本书中文简体版中国大陆地区出版发行权。

本书根据英国剑桥大学出版社 2003 年版本译出。

版权所有，不得侵犯

著作权合同登记号：2004-18-051

天文学 物理新视野

著 者：[美] M·L·库特纳

译 者：萧耐园 胡方浩

责任编辑：吴 炜

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系：本社直销科 0731-4375808

印 刷：衡阳博艺印务有限责任公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址：湖南省衡阳市黄茶岭光明路 21 号

邮 编：421008

出版日期：2005 年 11 月第 1 版第 1 次

开 本：700mm×1020mm 1/16

印 张：34.25

字 数：638000

书 号：ISBN 7-5357-4416-8/N·135

定 价：64.00 元

(版权所有·翻印必究)

用于插图提供单位的略语

插图提供单位列出于说明中。所用略语如下：

2MASS	Two Micron All Sky Survey	双微波全天巡天
AUI	Association Universities Inc.	大学联合公司
AURA	Association of Universities for Research in Astronomy	大学天文学研究协会
Caltech	California Institute of Technology	加州理工大学
CFA	Center for Astrophysics	天体物理中心
ESA	European Space Agency	欧洲空间局
ESO	European Southern Observatory	欧洲南方天文台
GSFC ADF	Goddard Space Flight Center Astrophysics Data Facility	戈达德航天中心天体物理资料库
HST	Hubble Space Telescope	哈勃空间望远镜
IFA	Institute for Astronomy	天文研究所
IRAM	Institut de Radioastronomie Millimétrique	毫米波射电天文研究所
ISO	Infrared Space Observatory	红外空间天文台
JCMT	James Clerk Maxwell Telescope	詹姆斯·克勒克·麦克斯韦望远镜
MIT	Massachusetts Institute of Technology	麻省理工学院
MPIFR	Max Planck Institut für Radioastronomie	马克斯·普朗克射电天文研究所
NASA	National Aeronautics and Space Administration	美国宇航局
NMTech	New Mexico Institute of Mining and	新墨西哥矿业和技术学院

	Technology	
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Observatory	美国海洋和大气观测台
NOAO	National Optical Astronomy Observatory (operated by AURA under contract with the NSF, all rights reserved)	美国光学天文台（由 AURA 管理，与 NSF 签约，保留一切权利）
NRAO	National Radio Astronomy Observatory (operated by AUI, under contract with the NSF)	美国射电天文台（由 AUI 管理，与 NSF 签约）
NSF	National Science Foundation	美国国家科学基金
ONR	Office of Naval Research	海军研究局
SCUBA	Submillimeter Common User Bolometer Array	亚毫米公共用户热辐射测量阵
STScI	Space Telescope Science Institute (operated by AURA under contract with NASA)	空间望远镜科学研究所（由 AURA 管理，与 NASA 签约）
UCLA	University of California at Los Angeles	加州大学洛杉矶分校
USGS	US Geological Survey	美国地质测量局

序 言

20 世纪最后 10 年天文学的研究达到了全面的繁荣。观测技术在电磁波的各个波段上都发生了革命。即使这些进展大部分在地面上实现，空间观测还是有其独特的贡献，这可从第二代和第三代升空的望远镜的成果看出。这些成果提供了空前的灵敏度和清晰度，从而革新了天文学的各分支学科，也开辟了一些新领域。这些技术的发展也伴随着计算能力的巨大改进，从而能处理大量天文数据，并进行结果的理论模拟。

所有这些进展的最令人惊叹的方面是我们还能够理性地回答这个朴实的问题：“这一切究竟是怎样实现的？”随着天文学视野的扩展，我们还能用熟知的物理学解释大量现象。即使在运用某些物理定律作研究水平上的解释时，要求复杂的技巧，但一般来说还是存在用入门级的物理学知识理解现象的方法。也许正是基于这样的现实，即物理定律的数量不多，但应用极其普遍。有少数例外，即天文问题反而有助于推动物理学迈向前沿，但是这些能够以更广为人知的词语来说明。

有的大学生有学习远超乎简明天文学知识的要求，而不满足于罗列一些现象，本书就是为他们而写的。有的大学生想要了解有些现象为什么发生，天体的情况怎么样，本书也对他们有用。此外，本书也阐述我们如何收集和解释关于遥远天体的信息等问题。

本书的基本读者将是理科大学生，他们已经学过一年大学（经典）物理和微积分。因此我们认为他们已经掌握了学习天文学教程所需的经典物理学知识，但是还不具备“现代”物理学知识。本书是威利（Wiley）于 1986 年出版的《天文学：物理学透视》的后续本。我感谢该书业已拓展的忠实的读者群体和他们对本书新版工作的鼓励。

我感谢剑桥大学出版社的西蒙·米顿（Simon Mitton），他赞同我的观点，即一本“高水平”的书还应能在视觉上吸引人。我也感谢杰奎琳·加杰特（Jacqueline Garget），她对本书的出版计划充满信心，从最初的简单评论一直关注到它的完成。在每个阶段，她总是及时地回答我在电子邮件

里提出的问题，保证了我工作的顺利进行。

三位教授斯蒂芬·布根（Stephen Boughn）（海弗福德大学），詹姆斯·胡克（James Houck）（康奈尔大学）和丘迪思·皮弗（Judith Pipher）（罗切斯特大学）在课堂上试用了本书手稿的几个版本。我赞赏他们的耐心和他们反馈意见。我也赞赏他们的学生不惜花费时间使用这样一种未定型的“书本”，并且给予评述。

我要向我的朋友兼同事纳丁·丁肖（Nadine Dinshaw）致以特别的谢忱，她通读了早期的手稿。她的评述和支持在早期阶段极有帮助。

在每个阶段都有评述者阅读了全部或部分手稿，手稿的完善从他们的反馈意见中受益良多。有几位是不知名的，另外几位是：伊姆克·德·帕特（Imke DePater）（加州大学贝克莱分校）、德布拉·厄默格林（Debra Elmegreen）（伐瑟大学）、安德列阿·盖兹（Andrea Ghez）（加州大学洛杉矶分校）、斯蒂文·戈特斯曼（Steven Gottesman）（佛罗里达大学）、里查德·格里菲斯（Richard Griffiths）（卡内基·梅隆大学）、大卫·黑尔凡德（David Helfand）（哥伦比亚大学）、李·蒙迪（Lee Mundy）（马利兰大学），詹姆斯·那波利塔诺（James Napolitano）（任瑟莱尔综合技术学院）和黑迪·纽伯格（Heidi Newberg）（任瑟莱尔综合技术学院）。

许多天文学家和物理学家提供了资料和图片，我都直接采用了。人数众多，在此不及一一列举，不过在插图的说明里都予以注明。我要特别感谢那些为我搜寻最

新资料和最佳图片而不遗余力的人们。收集这些图片有时往往徒劳无功。然而，我从与许多人的广泛联系中得到益处。我也要感谢非凡的复制编辑伊莲娜·皮齐（Irene Pizzie），她总是对我说的话心领神会，感谢出品经理凯瑟琳·加兰（Catherine Garland），她总是推动我的计划不断向前，让我不敢丝毫松懈。

这个计划开始于我在图克森的国家射电天文台的三年逗留期间。我感谢保尔·范登·布特（Paul Vanden Bout）（NRAO台长）帮助我设置了那里的位置，也感谢图克森的每个人，他们为我营造了奋发向上的氛围，给了我圣塔·卡塔林那山的美丽景观。这个计划完成于我在奥斯汀的得克萨斯大学逗留期间。我感谢法兰克·巴什（Frank Bash）（麦克唐纳天文台台长）为我安排了这个位置，并总是为我敞开门扉。我感谢奥斯汀的同事们，因为他们所提供的积极进取的气氛。

至于我的个人经历，我开始涉足天文是在我母亲的鼓励之下，去听纽约海顿天文馆的课程。我也感谢我的两个儿子艾利克（Eric）和杰夫（Jeff），他们总是不停地向我提出问题。

在各种经历中最重要的是，如果没有我最好的同事和朋友卡特琳·米德（Kathryn Mead），本书将不可能面世。她鼓励我承担艰巨的任务，从跑马拉松赛到参加百英里自行车赛，从担任足球赛裁判到写字。她的活动和好奇心导致我们获得最重要的发现（银河系外围的分子云）。随即她就帮助本书刊登这些图像，这正是本书最需要的。

天文学：物理新视野

这是一本综合介绍天体和天文现象的书，经过了全面修订和更新。通过把一些基本的物理原理应用于各种情况，学生们将学到如何把日常的物理知识与天文世界联系起来。本书将从一些最基本的天体出发，透彻地解释天文现象如何发生，为什么发生，天文学家如何收集关于恒星、星系和太阳系的信息，并如何解释这些信息。本书将纵览恒星的性质、恒星的形成和演化；中子星和黑洞；星系的本质以及宇宙的结构。它要考察宇宙过去、现在和将来的状态；最后一章用已经展开的概念来研究太阳系和它的形成；发现其他行星系的可能性和搜寻地外生命。这本综合性的书还包含许多有用的公式和各种实例。它适合于在读大学生作为天文学的基础教材，并认为他们已具有物理学和微积分学的基本知识。

马克·L·库特纳（Marc L. Kutner）于1972年在哥伦比亚大学获物理学博士学位。从1998年起成为奥斯汀得克萨斯大学天文系的访问学者，此前他是纽约任瑟莱尔综合技术学院物理和天文系的教授和亚利桑那州图克森国家射电天文台的访问学者。他的主要研究领域涉及应用射电天文，研究银河系和其他星系内的恒星形成。他也作了一些宇宙学方面的研究。

库特纳教授出版了三本成功的教科书，发表了一百篇以上的研究论文。

目 录

用于插图提供单位的略语	1	3.4 谱线的形成	30
序言	1	3.5 赫茨普龙-罗素图	34
第1章 引言	1	第4章 望远镜	38
1.1 可以理解的宇宙	1	4.1 望远镜的作用	38
1.2 宇宙的尺度	3	4.2 折射望远镜	42
		4.3 反射望远镜	43
		4.4 天文台	51
		4.5 资料处理	55
		4.6 紫外波段的观测	61
		4.7 红外波段的观测	61
		4.8 射电天文学	66
		4.9 高能天文学	74
第 I 部分 普通恒星的性质		第5章 双星和恒星质量	78
第2章 恒星的连续辐射	9	5.1 双星	78
2.1 星光的亮度	9	5.2 多普勒位移	79
2.2 电磁波谱	10	5.3 双星和圆轨道	82
2.3 恒星的颜色	13	5.4 椭圆轨道	86
2.4 普朗克定律和光子	16	5.5 恒星质量	89
2.5 恒星色指数	18	5.6 恒星大小	92
2.6 恒星距离	19		
2.7 绝对星等	21		
第3章 恒星的谱线	23		
3.1 谱线	23		
3.2 光谱型	24		
3.3 谱线的起源	25		

第 6 章 太阳：一个典型的恒星	94	第 10 章 恒星的年龄	165
6.1 基本结构	94	10.1 脱离主序的演化	165
6.2 辐射转移理论基础	95	10.2 造父变星	167
6.3 光球	98	10.3 行星状星云	171
6.4 色球	103	10.4 白矮星	172
6.5 日冕	104		
6.6 太阳活动	106	第 11 章 高质量恒星的死亡	179
		11.1 超新星	179
第 II 部分 相对论		11.2 中子星	183
		11.3 脉冲星	186
第 7 章 狭义相对论	115	11.4 作为星际空间探测器的脉冲星	192
7.1 狭义相对论基础	115	11.5 恒星黑洞	193
7.2 时间变慢	118		
7.3 长度收缩	120	第 12 章 密近双星的演化	194
7.4 多普勒位移	121	12.1 密近双星	194
7.5 时空	123	12.2 包含白矮星的双星系	196
		12.3 密近双星系里的中子星	198
第 8 章 广义相对论	128	12.4 包含黑洞的双星系	201
8.1 弯曲的时空	128	12.5 一个不寻常的天体：SS433	204
8.2 等效原理	130		
8.3 广义相对论的验证	132	第 13 章 星团	206
8.4 黑洞	137	13.1 星团的类型	206
		13.2 移动星团的距离	206
第 III 部分 恒星演化		13.3 作为动力学实体的星团	209
		13.4 星团的 HR 图	217
第 9 章 主序星	145	13.5 星族的概念	218
9.1 恒星能源	145		
9.2 核物理学	147	第 IV 部分 银河	
9.3 恒星的核能	152		
9.4 恒星结构	156	第 14 章 星际介质的成分	223
9.5 恒星模型	160	14.1 概述	223
9.6 太阳的中微子	160	14.2 星际消光	223
		14.3 尘埃颗粒物理学	229

14.4 星际气体	233	18.4 超星系团和巨洞	327
14.5 星际分子	238	18.5 所有这些结构是怎样形成的	330
14.6 星际介质的热动力学	245	18.6 哈勃深空区	332
第15章 恒星的形成	247	第19章 活动星系	333
15.1 引力束缚	247	19.1 星暴星系	333
15.2 恒星形成中的问题	250	19.2 射电星系	335
15.3 分子云和恒星形成	251	19.3 塞佛特星系	342
15.4 磁效应和恒星形成	254	19.4 类星体	343
15.5 原恒星	256	19.5 受引力透镜作用的类星体	349
15.6 新近恒星形成的区域	258	19.6 有活动星系的统一图像吗	351
15.7 恒星形成区的图像：猎户座	272		
第16章 银河系	275	第20章 宇宙学	355
16.1 概述	275	20.1 宇宙的尺度	355
16.2 银河系的较差自转	276	20.2 宇宙的膨胀	356
16.3 自转曲线的测定	282	20.3 宇宙学和牛顿引力	359
16.4 气体的平均分布	285	20.4 宇宙论和广义相对论	363
16.5 银河系的旋涡结构	287	20.5 宇宙是开放的还是闭合的	369
16.6 银心	288	第21章 大爆炸	372
第V部分 浩瀚的宇宙		21.1 宇宙背景辐射	372
第17章 正常星系	297	21.2 大爆炸核合成	384
17.1 星系的类型	297	21.3 基本粒子和基本力	387
17.2 星系内的恒星形成	304	21.4 大和小在物理学上的合并	395
17.3 旋涡结构的解释	308		
17.4 星系内的暗物质	312	第VI部分 太阳系	
第18章 星系团	316	第22章 太阳系概述	403
18.1 星系的分布	316	22.1 行星的运动	404
18.2 星系团动力学	317	22.2 月球的运动	409
18.3 宇宙膨胀	320	22.3 太阳系的研究	413
		22.4 游历太阳系	414

第 23 章 地球与月球	419	第 26 章 太阳系内小天体	491
23.1 地球的历史	419	26.1 冥王星	491
23.2 行星的温度	425	26.2 彗星	493
23.3 大气	426	26.3 流星体	499
23.4 磁层	438	26.4 小行星	501
23.5 潮汐	439		
23.6 月球	442	第 27 章 生命起源	503
第 24 章 内行星		27.1 太阳系起源	503
24.1 基本特征	449	27.2 早期地球的化学	507
24.2 表面	449	27.3 地球生命的起源	508
24.3 内部	453	27.4 太阳系其他地方有生命吗	509
24.4 大气	460	27.5 其他的行星系统	511
24.5 卫星	461	27.6 地外文明的搜寻	514
	464		
第 25 章 外行星		附录 A 符号总表	517
25.1 基本特征	466	附录 B 物理学常数和天文学常数	520
25.2 大气	466	附录 C 单位及其转换	522
25.3 内部	469	附录 D 行星和卫星的性质	523
25.4 环	475	附录 E 主序星的性质	527
25.5 卫星	476	附录 F 天文坐标和计时	528
	482	附录 G 元素的丰度	531
		译后记	535

引言

1.1 | 可以理解的宇宙

当我们骋目于茫茫夜空时，我们对于周围世界的好奇心表现得淋漓尽致。星空，如此引人入胜，自不必非用特别的仪器才会叩动我们的心扉。然而，只有用各种仪器装备起来，深入窥测，这些光点和衬托它们的夜空才会提供蕴含它们本性的线索。我们必须睿智地收集这些线索，并同样睿智地揭示其背后的奥秘。这就是我们称为天文学的全部研究内容。

我们非常幸运，正生活在前所未有的天文大发现的年代。有人甚至称这为“天文学的黄金时代”。多少世纪以来，天文学家一直局限于在地面对天体的可见光观测。现在我们已经能够探测来自天体的任何种类的辐射，从无线电波到 γ 射线。一旦需要，我们能够把天文台放上太空。在太阳系范围内，我们甚至能够直接访问所要研究的天体。

就所有这些能力来说，还是存在不足。我们不能对遥远的天体做传统的实验。我们不能改变它们所处的条件看看它们的反

应。我们只能被动地研究它们发出的辐射。就因为这样，我们称天文学为观测的科学而不是实验的科学。也由于这种差别，我们必须千方百计地利用我们接收到的信息。在本书里，我们将会看到我们能够获得什么样的信息，它们蕴含的意义是什么。我们还将看到，尽管天体那么遥远，好在有各种条件下的大量天体供我们研究。

天文学有一个最引人入胜的特点，就是许多现象能够通过比较简单的物理学定律去理解。这并不是说我们能够解释一切细节。不过，我们能够解释基本现象。在本书中，我们强调应用一些物理学原理去说明各种情况。为了这个目的，需要一些物理学的背景知识。我们设想读者已经学习过经典物理学（力学、电磁学、热力学）的入门课程。我们也将运用少许现代物理学（相对论、原子和核物理学）。在需要的时候我们将适当介绍现代物理学的知识。此外，我们还认为读者已经熟悉微积分。虽然大部分材料不必实际进行微分和积分运算就可掌握，但以求导表示变化和以积分表示求和的概念需要用到。读者也会注

意到不同类型的天体，对数学水平的要求不同。这是因为撰写本书的目的只是对每种天体提出最低水平的描述，以便读者能顺畅地理解。

编写天文学教程时的一个重要问题是把太阳系的内容放在哪里。传统的方法是把太阳系放在前面。这样可以使学生首先从熟悉的、邻近的天体起步学习。缺点是我们用以研究太阳系的方法不能用于更远的天体。本书中我们把太阳系放在书末。这样能使学生对于天文学如何处理遥远的天体形成更好的思路。我们也能够应用在学习恒星和其他天体时所展开的物理学知识去更好地了解太阳系内的过程。最后，把太阳系放在末尾也有助于应用关于恒星形成的知识来讨论太阳系的形成。

我们从恒星开始，它们是夜空中的一些光点。这要求我们展开物理概念（辐射、引力等等），它们也将贯穿于全书。我们将看到如何获取关于恒星的基本性质的信息：温度、大小、质量、化学成分等等。这样，太阳将被看作为一个典型恒星的例证。然后，我们将把恒星的这些性质归纳起来，描绘出恒星活动过程的理论图像。在第二部分，我们将介绍狭义相对论和广义相对论，以便我们更好地理解恒星死亡时达到的非同寻常的状态。在第三部分我们将讨论恒星的正常寿命和恒星的老年和死亡。在恒星的死亡阶段，我们将会遇到种种奇特的天体，包括中子星和黑洞。

在第四部分我们将看到关于我们的星系——银河系的内容。我们将首先着眼于星际介质。然后探究恒星形成。最后考察

恒星、气体和尘埃怎样构成星系。

在第五部分，我们将放眼于整个宇宙的结构，包括星系位于何处、怎样运动。我们将从考察其他星系着手。我们也将研究活动星系，它们释放出远大于银河系的能量。我们将从星暴星系到类星体去追寻活动星系的行踪。宇宙的早期历史（大爆炸）也将展现，我们将会看到如何搜寻关于过去和终极命运的线索。在谈及早期宇宙时，我们将会遇到一个最激动人心的新进展，即关于最大和最小尺度在物理学上的并合。这涉及关于物质的终极结构理论与关于宇宙的整体结构理论的结合。

在作为最后一部分的第六部分，我们将研究太阳系。我们将会看到太阳系的形成怎样与我们已经学过的恒星形成理论相符合。我们会遇到各种各样的表面形态、大气和行星环，它们也能用我们已经学习过的物理理论来说明。我们也将考察地球上生命的起源并探寻太阳系和银河系中其他地方的生命。

尽管本书材料的组织是环绕各种天体，可是题材的展现则在于强调应用已经掌握的物理学规律。几乎所有的物理手段将应用于种种课题。大量的物理理论被广泛应用。例如，轨道力学用来计算双星的质量，或者帮助我们规划对火星的探测。辐射转移理论帮助我们认识太阳的形态、星际云中的物理条件或者行星大气的温度。潮汐效应帮助我们解释某些星系的形态、环绕某些行星的环和木卫一的内部加热机制。

虽然理解天体的活动机制是我们的目的，但是天文学的基础是观测。我们将会

看到观测如何不断地提出问题——发现新现象。观测总是对已经提出的理论提供验证。因而在本书中我们将强调观测与物理解释的相互作用。我们将会看到有些观测以极高的精度提供数据，而另一些观测只给出数量级的估计，但是这两种类型的观测对于在两种理论间决定取舍同样重要。

我们必须非常重视当代天文发现上的进展。你若阅读一篇介绍经典物理学的文章，你接触的是一个世纪前人们总结出来并验证过的理论。关于这些理论的正确性没有人提出质疑。在天文学里，新思想和新观测总是不断地改变着人们对于各种问题的看法。本书中讨论的许多课题还远远没有解决。有时候，对于某一给定的现象会给出不止一个解释。之所以这样做，或者是由于我们还不知道哪一个是正确的，或者是为了表明一种理论对于另一种理论更加合理，从而排除后者。仅仅为了说明这是一种“检验”，而并不意味着就是最后的结论。如果你明白问题之所在，并且洞察推理过程，那么你将有可能作进一步的展开，就像在科学杂志或学报里所见一般。

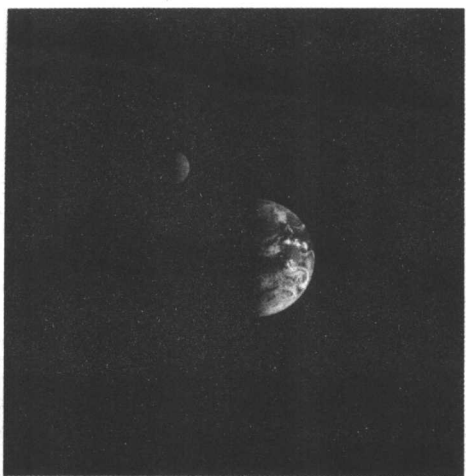
那么，就是这么一幅蓝图。当你学习本书逐步展开的材料时，用你已具备的若干物理学知识，怀着强烈的好奇心并发挥你的聪明才智，请关注你能在这领域里深入多远。

1.2 | 宇宙的尺度

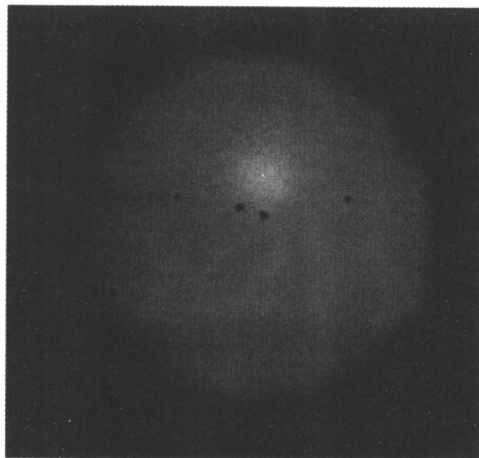
我们在天文学里遇见的天体，大多数场合非常巨大且无比遥远，以致很难设想它们的大小和距离。在我们研究各种天体

时，我们将对所涉及的距离作简要的一瞥。当我们在本书的有关部分谈到天体时，将更深入地讨论它们的大小。图 1.1 中我们选择了几个天体来展示不同的尺度。

让我们从观察地球和月球着眼（图 1.1a）。地球的半径约 6000km，它的质量

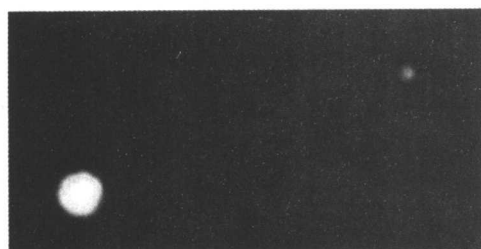


(a)

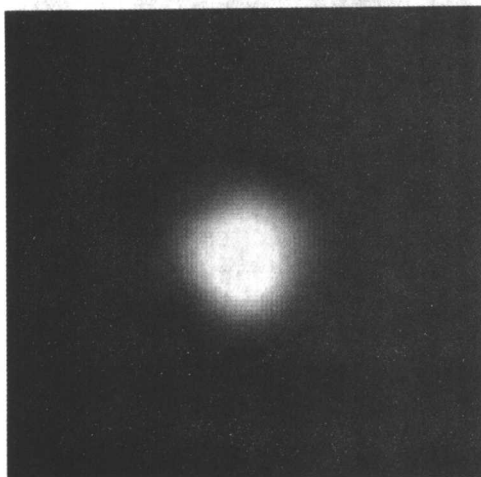


(b)

图 1.1 显示天体不同尺度的照片。(a) 从太空看到的地球和月球。[NASA] (b) 太阳。[NOAO/AURA/NSF]



(c)



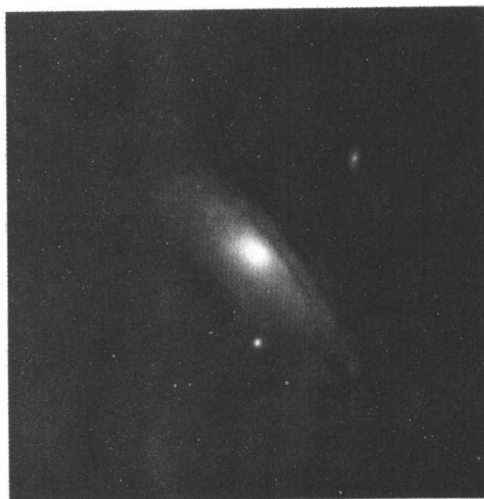
(d)



(e)

约 $6 \times 10^{27} \text{ g}$ 。月球与地球相距约 $4 \times 10^5 \text{ km}$ 。光线从月球到达地球约需时 1 s 。

下面我们来看太阳（图 1.1b）。它与地球的距离是 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ ，这就是说来自



(f)



(g)

图 1.1（续）(c) 冥王星和它的卫星冥卫一。[STScI/NASA] (d) 参宿四。[STScI/NASA] (e) 球状星团。[NOAO/AURA/NSF] (f) 仙女星系。[NOAO/AURA/NSF] (g) 星系团。[NOAO/AURA/NSF] 太阳的光线到达我们这里要花 8 min 。我们

称这个距离为天文单位。它的质量为 $2 \times 10^{33} \text{g}$ 。它只是一个中等大小的恒星，我们甚至习惯上拿它作为计量其他恒星的单位。它的半径是 $6.96 \times 10^5 \text{km}$ （原文为 $6 \times 10^5 \text{km}$ ，过于粗略——译者注）。

通过观测冥王星我们可以领会到行星有多么远（图 1.1c）。它距太阳约 40 天文单位，这就是说来自冥王星的光几乎要走 6h 到达我们这里。

至于我们到达最近恒星所需的时间，它们实在太远了，连光线都要走上好几年。所以我们用 ly（光年，约 10^{13}km ）或 pc（秒差距，1pc 约 3ly）来计量它们的距离。图 1.1（d）显示的一颗星还不算远，我们可以直接拍摄到它的圆面像。这是在猎户星座的巨星参宿四，距离约 500pc，这就是说为了这张照片光线走了大约 1500 年才到达地球。

下一个较大的尺度是称为星团的恒星集团，例如图 1.1（e）的球状星团。这类天体可以包含 10^5 颗恒星，并可延展几十秒差距。由于恒星的累积光度，我们可以在很远处，甚至在银河系的另一端看到它

们。事实上，正是它们透露了我们离开银河系中心 8500pc。这就是说来自银河中心的光到达我们这里要花 25000 年。

在图 1.1（f），我们离开银河系注目于一个近邻——仙女星系，它的外貌就像我们从外边来观看自己的星系。它实在太远，我们要用 kpc（千秒差距）来计量它的距离。它在 700kpc 的远处，意味着光要走 210 万年（原文误为 2100 年——译者注）才能抵达我们这里。它的直径约 50kpc（原文误为 20kpc——译者注）。它的质量超过了 10^{11} 太阳。当我们在大尺度上考察时，我们将把星系看作宇宙的分子。

最后到达的一站是星系团，例如室女星系团，如图 1.1（g）。这些星系团聚集着数千星系，典型的大小是数百万秒差距。我们探测到某些星系团极其遥远，它们的光线到达我们这里的时间占了宇宙年龄（现在认为约 $14 \times 10^9 \text{yr}$ ）的很大一部分。

正如我们已经说过，这些描述只是给你关于各种尺度的一个观念。各种具体类型的天体将在本书后面的篇章中详细讨论。