



第一推动

第一推动丛书插图本

# 恒星与行星 的诞生

**The Birth of Stars and Planets**

[美]约翰·巴利 [美]波·瑞普斯 / 著 萧耐园 / 译

湖南科学技术出版社



CAMBRIDGE



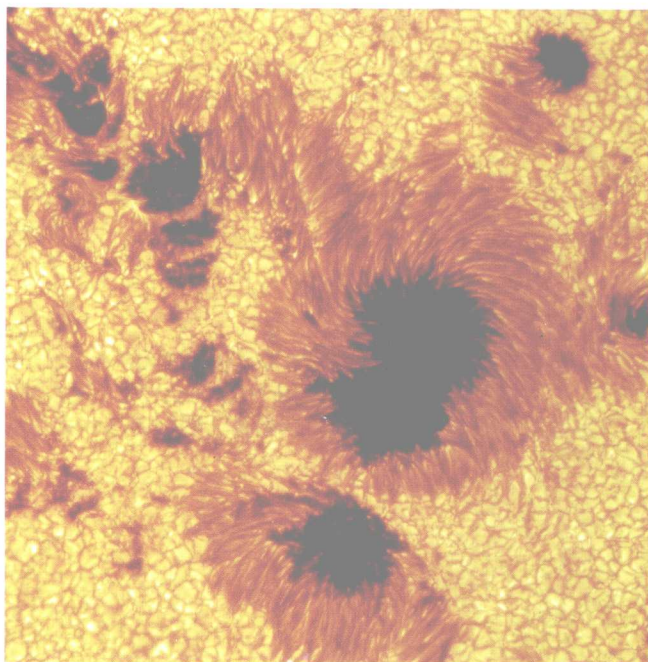
第一推动丛书插图本

# 恒星与行星 的诞生

**The Birth of Stars and Planets**

[美]约翰·巴利 [美]波·瑞普斯 / 著 萧耐园 / 译

湖南科学技术出版社



CAMBRIDGE

图书在版编目 (C I P) 数据

恒星与行星的诞生 / (美) 巴利, (美) 瑞普斯著; 萧耐园译. —长沙: 湖南科学技术出版社, 2009. 1  
(第一推动丛书: 插图本)

ISBN 978-7-5357-5524-7

I. 恒… II. ①巴…②瑞…③萧… III. ①恒星演化—普及读物②行星—普及读物 IV. P152-49  
P185-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2008) 第193637号

*The Birth of Stars and Planets* 2006 978-0-521-80105-8 by John Bally and Bo Reipurth,  
first published by Cambridge University Press 2006

All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by  
arrangement

with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & Hunan Science & Technology Press 2009

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written  
permission of Cambridge University Press or Hunan Science & Technology Press.

This edition is for sale in the mainland of China only, excluding Hong Kong SAR, Macao  
SAR

and Taiwan, and may not be bought for export therefrom.

此版本仅限中华人民共和国境内销售, 不包括香港、澳门特别行政区及中国台湾。不  
得出口。

著作权登记号: 18-2008-029

版权所有, 侵权必究

《第一推动丛书插图本》

## 恒星与行星的诞生

著 者: [美]约翰·巴利 [美]波·瑞普斯

译 者: 萧耐园

责任编辑: 吴 炜 戴 涛

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: 长沙化勘印刷有限公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 长沙市青园路 6 号

邮 编: 410004

出版日期: 2009 年 1 月第 1 版第 1 次

开 本: 710mm×970mm 1/16

印 张: 17.25

插 页: 4

书 号: ISBN 978-7-5357-5524-7

定 价: 48.00 元

(版权所有·侵权必究)

# 前言

恒星和星系是可观测宇宙中的基本单元。在往昔和当今的天文学家们冥思苦想的最深刻的问题之中，恒星和星系的起源问题赫然在列。虽然关于星系的形成，我们只瞥见了解决问题的一线曙光，可是关于恒星和与之相伴的行星的诞生，则正在迅速地揭秘。最近 25 年来的技术发展拓宽了波段范围，人们从而能深入探测暗星云的内部，直接探明恒星的孕育和诞生。新的高分辨率的观测技术正在发展，足以探测在自己怀中孕育行星的星周盘。在最近 10 年之内，揭示恒星和行星形成全过程中的主要图景，将是可能的，甚至很有希望。

我们希望通过本书与广大读者分享人类在理解宇宙起源的历程中取得的辉煌进展和睿智成就。在本书的写作过程中，我们必须作一系列选择。首先，我们面对着的是不具备天文学和物理学专门知识，但是希望探其堂奥的广大读者，本书应能适合他们。因此，当物理的、技术的和天文的概念不可避免地出现时，我们就写下了内容丰富的注释来解决疑难。同时，我们把方程式只放在脚注内，而不置于正文中，正文只用来讨论物理原理。其次，尽管本书不是仅供悦目的精美画册，但我们还是想把恒星和行星形成的壮丽景象呈现于世，所以我们还是尽力而为，选择这一范畴内许多最令人目炫神迷的图像。为了版式美观，本书只罗列了少量图表，而且大多数放入注释部分。最后，本书主题涉及相当广泛，各部分内容的深入描述不可能面面俱到，因此本书内容凸显了我们的观点和特定的研究兴趣。

本书刊载的大部分图像比人眼所见，甚至通过最大的望远镜观察，都远为详尽绚丽和纤毫毕现。某些图像展示的天体正在人眼完全不可见的波段发射“光线”。因此在展示天体图像时应用彩色，不同于普通照片的习惯。大多数电子图像传感器对颜色是不敏感的，实际上它们只是记录它们对之敏感的某个波长范围内光线的强度。为了获得彩色像，必须把使用不同颜色（如蓝色、绿色和红色）滤色镜曝光所得的像加以合成，结果是“天然色的”像。许多天文图像是用滤色镜和探测器记录下来的，它们允许通过和记录的波段根本上不同于人眼能见的波段。例如，第一张像能在射电波段记录，第二张像能在红外波段记录，而第三张像则能在紫外波段记录。这种像不能用记录它们的“颜色”表示。在这种情况下，最自然的方式是把长波段的像用红色



表示，中波段的像用绿色表示，而短波段的像用蓝色表示。虽然最终的彩色像并非“真实颜色”，但是色彩至少是以波长的顺序展现。一些特殊的滤色镜只允许特定的原子、离子或分子相应的狭窄波段通过，为了展现通过这些特殊的滤色镜所获取的资料，也普遍地应用色彩。在展示喷流、气流和星云像的各章节，许多图像是用这类窄波段滤色镜记录的，它们只允许氢原子、硫离子或其他元素的谱线通过。在这种情况下，颜色只是用于鉴别不同物理条件下的区域。尽管有种种这类局限，我们仍相信所得的图像显示了天体的美丽。

我们感谢我们的同事阿兰·博斯、乔治·赫比格、戴维·杰维特、萨拉·奈茨、纳森·史密斯和亨利·斯鲁普，他们在各章写作的各阶段，评论了某些或全部章节。我们也向为我们提供了图像复本的多位同事致以谢忱。他们是：奥弗斯、阿米特奇、阿斯频、马修·贝特、比塞尔、波芬、阿兰·博斯、布卡-拉森、居央德尔、托尼和达芙妮·达拉斯、戴姆·丹·杜尔达、杰克·伊斯特曼、英格利什、汉森、哈梯根、哈维、乔治·赫比格、黑斯特、琼斯顿、克利、拉达、但丁·拉乌列塔（我们使用了他和基尔哥合著的《陨星薄切片彩色图片集》一书中的图像）、刘、麦克柯林、麦克尼尔、莫克尔、本·莫尔、斯图加德·尼尔森、奥德尔、帕杰特、托马斯·普列比什、列克托、罗德里格斯、约翰尼斯·舍德勒、斯蒂凡·塞普（[www.astrometing.de](http://www.astrometing.de)）、纳森·史密斯、萨色兰、泰勒、戴维·汤普逊、瓦拉文德、王伟浩（音）和维特沃思。我们也感谢欧洲南方天文台、双子座望远镜、美国宇航局、美国光学天文台、美国射电天文台和日本昴星团望远镜准许我们使用图像。

我们感谢杰奎琳·加杰特和剑桥大学出版社，他们以极大的耐心等待我们数次延期交稿。

再次衷心感谢我们的夫人基姆和梅尔西娅在许多漫漫长夜里陪伴我们写作。

# 前言

恒星和星系是可观测宇宙中的基本单元。在往昔和当今的天文学家们冥思苦想的最深刻的问题之中，恒星和星系的起源问题赫然在列。虽然关于星系的形成，我们只瞥见了解决问题的一线曙光，可是关于恒星和与之相伴的行星的诞生，则正在迅速地揭秘。最近 25 年来的技术发展拓宽了波段范围，人们从而能深入探测暗星云的内部，直接探明恒星的孕育和诞生。新的高分辨率的观测技术正在发展，足以探测在自己怀中孕育行星的星周盘。在最近 10 年之内，揭示恒星和行星形成全过程中的主要图景，将是可能的，甚至很有希望。

我们希望通过本书与广大读者分享人类在理解宇宙起源的历程中取得的辉煌进展和睿智成就。在本书的写作过程中，我们必须作一系列选择。首先，我们面对着的是不具备天文学和物理学专门知识，但是希望探其堂奥的广大读者，本书应能适合他们。因此，当物理的、技术的和天文的概念不可避免地出现时，我们就写下了内容丰富的注释来解决疑难。同时，我们把方程式只放在脚注内，而不置于正文中，正文只用来讨论物理原理。其次，尽管本书不是仅供悦目的精美画册，但我们还是想把恒星和行星形成的壮丽景象呈现于世，所以我们还是尽力而为，选择这一范畴内许多最令人目炫神迷的图像。为了版式美观，本书只罗列了少量图表，而且大多数放入注释部分。最后，本书主题涉及相当广泛，各部分内容的深入描述不可能面面俱到，因此本书内容凸显了我们的观点和特定的研究兴趣。

本书刊载的大部分图像比人眼所见，甚至通过最大的望远镜观察，都远为详尽绚丽和纤毫毕现。某些图像展示的天体正在人眼完全不可见的波段发射“光线”。因此在展示天体图像时应用彩色，不同于普通照片的习惯。大多数电子图像传感器对颜色是不敏感的，实际上它们只是记录它们对之敏感的某个波长范围内光线的强度。为了获得彩色像，必须把使用不同颜色（如蓝色、绿色和红色）滤色镜曝光所得的像加以合成，结果是“天然色的”像。许多天文图像是用滤色镜和探测器记录下来的，它们允许通过和记录的波段根本上不同于人眼能见的波段。例如，第一张像能在射电波段记录，第二张像能在红外波段记录，而第三张像则能在紫外波段记录。这种像不能用记录它们的“颜色”表示。在这种情况下，最自然的方式是把长波段的像用红色





表示，中波段的像用绿色表示，而短波段的像用蓝色表示。虽然最终的彩色像并非“真实颜色”，但是色彩至少是以波长的顺序展现。一些特殊的滤色镜只允许特定的原子、离子或分子相应的狭窄波段通过，为了展现通过这些特殊的滤色镜所获取的资料，也普遍地应用色彩。在展示喷流、气流和星云像的各章节，许多图像是用这类窄波段滤色镜记录的，它们只允许氢原子、硫离子或其他元素的谱线通过。在这种情况下，颜色只是用于鉴别不同物理条件下的区域。尽管有种种这类局限，我们仍相信所得的图像显示了天体的美丽。

我们感谢我们的同事阿兰·博斯、乔治·赫比格、戴维·杰维特、萨拉·奈茨、纳森·史密斯和亨利·斯鲁普，他们在各章写作的各阶段，评论了某些或全部章节。我们也向为我们提供了图像复本的多位同事致以谢忱。他们是：奥弗斯、阿米特奇、阿斯频、马修·贝特、比塞尔、波芬、阿兰·博斯、布卡-拉森、居央德尔、托尼和达芙妮·达拉斯、戴姆、丹·杜尔达、杰克·伊斯特曼、英格利什、汉森、哈梯根、哈维、乔治·赫比格、黑斯特、琼斯顿、克利、拉达、但丁·拉乌列塔（我们使用了他和基尔哥合著的《陨星薄片彩色图片集》一书中的图像）、刘、麦克柯林、麦克尼尔、莫克尔、本·莫尔、斯图加德·尼尔森、奥德尔、帕杰特、托马斯·普列比什、列克托、罗德里格斯、约翰尼斯·舍德勒、斯蒂凡·塞普（[www.astromeeing.de](http://www.astromeeing.de)）、纳森·史密斯、萨色兰、泰勒、戴维·汤普逊、瓦拉文德、王伟浩（音）和维特沃思。我们也感谢欧洲南方天文台、双子座望远镜、美国宇航局、美国光学天文台、美国射电天文台和日本昴星团望远镜准许我们使用图像。

我们感谢杰奎琳·加杰特和剑桥大学出版社，他们以极大的耐心等待我们数次延期交稿。

再次衷心感谢我们的夫人基姆和梅尔西娅在许多漫漫长夜里陪伴我们写作。

# 目 录

## 001 前 言

## 001 第 1 篇 恒星和星团

- 第 1 章 我们的宇宙后院 / 002
- 第 2 章 仰望夜空 / 014
- 第 3 章 银河系的暗星云 / 028
- 第 4 章 幼年恒星 / 044
- 第 5 章 产生中的伴星：双星 / 061
- 第 6 章 年轻恒星发出的外流 / 071
- 第 7 章 走向成年 / 092
- 第 8 章 恒星的社群生活：恒星群 / 108
- 第 9 章 巢穴内的混沌：大质量恒星短暂的一生 / 121

## 140 第 2 篇 行星系

- 第 10 章 太阳系的形成过程 / 141
- 第 11 章 来自远古的信息 / 159
- 第 12 章 行星形成中的偶然因素 / 170
- 第 13 章 环绕其他恒星的行星 / 183

## 194 第 3 篇 宇宙的组成

- 第 14 章 宇宙的循环 / 195
- 第 15 章 星系里的恒星形成 / 213
- 第 16 章 第一代恒星和星系 / 234
- 第 17 章 天体生物学、生命起源和 SETI 计划 / 242

## 250 注 释





第1篇

# 恒星和星团

## 第1章 | 我们的宇宙后院

### 一些值得质疑的问题

恒星是什么？它们为什么闪闪发光？地球、太阳、太阳系和恒星是怎样形成的？有行星环绕的恒星多不多？地球上的生命是如何产生的？生命在宇宙中普遍吗？我们的行星及其上的生命经历了怎样的沧桑？以上这些和诸如此类的问题，在有文字记载的历史中，激起了人们的思索、讨论和热烈的争辩。当代的科学研究正着手提供答案，我们身处这个时代。

人类对其所处的环境满怀好奇，并力图理解宇宙。每种文化都构筑了“世界景象”——对现实世界的描绘。从古老的游牧部落，到埃及、希腊和罗马文化，到伟大的中国和印度文明，到新大陆的土著和太平洋最偏远的岛屿，好奇的人类努力了解大自然。事实上，所有这些“世界景象”无不植根于神话、宗教或哲学的思辨。

最近 500 年以来，普遍的经验、观测和实验结果日益提升着我们对周围宇宙的认知。随着黑暗的中世纪欧洲的终结，文艺复兴催生了现代科学的发展。早期的欧洲学者，继承了阿拉伯天文学的传统，为了观测太阳、月亮和行星，又为了了解地球上物体的性状，开创用数学手段描述运动机制。伊萨克·牛顿（Isaac Newton）通过他的引力理论，把月亮的运动与落体的运动联系起来。借助于牛顿理论，人们对太阳系天体的运动有了总的理解。

由伽利略（Galileo）、开普勒（Kepler）和牛顿开创的科学革命为工业革命奠定了深厚的理性基础，而后者终于导致我们实现了当代的生活方式。它也促使天文学获得一系列深刻的发现，导致我们对宇宙有了目前的了解。

17 世纪第一个 10 年，望远镜发明出来了，比起单用肉眼观察，这为人们看清更远的天体和更详尽的细节创造了条件。这类早期的望远镜用来细看太阳、月亮和行星，由此人们发现了金星和水星的位相、木星和土星的卫星，

并研究了神秘的彗星。随着望远镜的光力增强，人们于1781年发现了一颗新行星——天王星。而且由于已能深入了解太阳系的运动，人们发现了这颗新行星运动的观测值与预报值有偏差，这导致人们预测存在另一个更大天体。1846年，在预报位置的近旁发现了海王星，这显示了牛顿引力理论及其在天体运动研究上的辉煌成功。

随着望远镜威力的增强，天文学家认识到天空中存在比肉眼所见多得多的恒星，而且这些恒星非常遥远。此外，天文学家发现，在恒星之间到处都有微微发亮的云雾状天体——“星云”，在20世纪之前，它们的本质一直没有明白。

工业革命为天文学的进一步发展提供了新的工具。在19世纪中叶之前，所有通过望远镜的天文观测都由人眼进行，我们对于宇宙的认知也仅限于目光的感觉。观测结果必须用手记录下来，包括被研究天体的草图，或者是与它们的亮度、位置、大小或其他可测性状有关的数据。此外，人眼不能像照相底片长时间曝光那样累积光线。当人眼充分适应黑暗之后，对落在视网膜上的光线的反应只及百分之几，而人眼的“曝光时间”只有约1/30秒。

人眼敏感的颜色范围只相当于非常狭窄的波段。在阳光明亮的白天，人眼中对颜色敏感的称为视锥的细胞很活跃。可是视锥细胞是很不敏感的。若要在夜晚感觉微光，只能仰仗人眼中的视杆细胞。然而，视杆细胞对颜色是根本不敏感的。天空最亮恒星刚刚处于视锥细胞敏感的极限上。因此某些人，特别是年轻人，能够识别最亮的恒星的色彩。

化学为“看清”开辟了新的道路。在19世纪下半叶，照相术发明了。涂有含银化合物乳胶的玻璃底片把所研究的天体永久记录下来。此外，这类底片能够积累入射光线，即使借助望远镜也不能用肉眼看清的天体由此得显真容。通过许多小时的曝光，本来极其暗淡、人眼无法看清的恒星和星云能够记录下来（图1.1）。

天文学家也采用化学家的另一种手段去研究天文现象：“分光术”<sup>1</sup>。让天体的光线通过棱镜或衍射光栅，星光被分解为各种颜色的组分。然后，把由分光术产生的图像用照相底片或其他类型的光记录设备记录下来，这样的“光谱”就能用于分析天体的温度、运动和化学成分。这种分析用于确定发射或吸收光线的物质的性状。照相术与分光术的结合开创了对天体的物理性质和化学性质的研究，这就是今天所称的“天体物理学”的主题。

天体物理测量揭示了恒星大多数是由轻化学元素氢和氦构成的。大多数

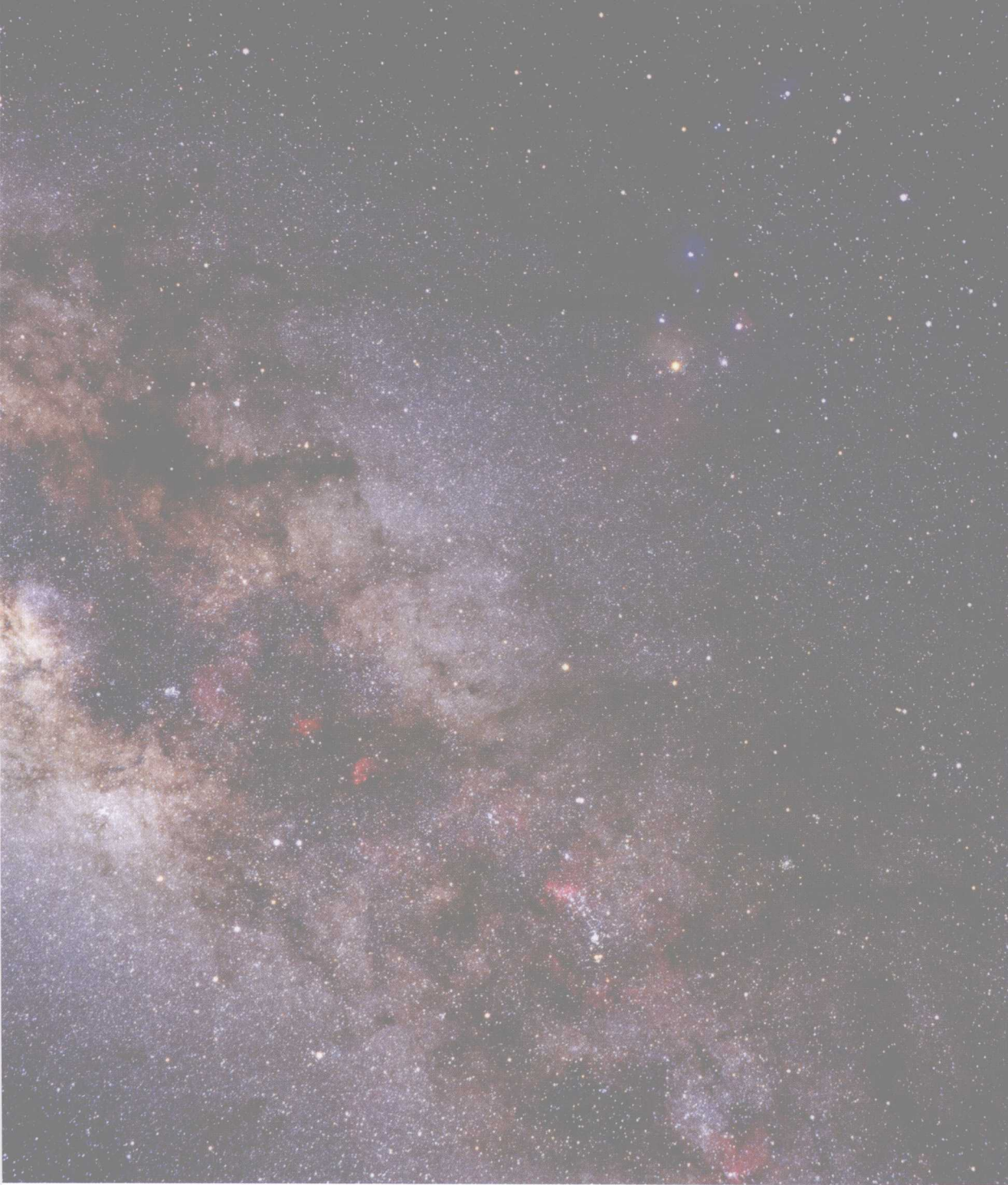


图 1.1 银河系中心的广角图像 (Wei-Hao Wang)

恒星约 70% 的物质由氢组成，约 28% 的物质由氦组成。其余 90 种已知的稳定元素只占一个典型恒星质量的 1%~2%。这与地球形成了鲜明对比，地球大部分由铁、硅、铝和氧等较重的元素构成。

## 恒星：灯塔和建筑材料

恒星是宇宙的可见组元，它们在天文学中所起的作用类似于化学中的原子。恒星产生光和能，激发并加热空间的气体 and 尘埃，并使得在地球这类行星上可能产生生命。此外，恒星是元素制造工厂。今天存在于宇宙中的大多数比氦更重的化学元素是在恒星内部通过热核聚变反应熔炼出来的，原材料则是大爆炸之后产生的氢和氦。确实，生命和地球的大部分物质是由从死亡恒星中心迸发出来的尘埃在反复循环中形成的。如果没有元素在恒星核心的热核反应，就不可能有我们所熟悉的地球和生命。

恒星的尺度、质量和温度各不相同。有些比太阳更热或更重，而大部分恒星则稍冷且较小。

一个天体要成为一颗恒星，至少必须具有  $1/10$  太阳质量。质量小于此值的任何星云，不可能在自引力的作用下形成恒星，因为永远不可能达到启动恒星发光的核反应所需的内部压力和温度。质量较小的天体确实存在。然而，它们不能持久地维持稳定的光芒。它们能在产生后的几百万年内像正常恒星一样发光，消耗着由自身形成和收缩所释放的引力能。但是，由于它们无从使用其内部的长效能源，它们就会收缩，在几十亿年内逐渐暗淡到几乎不复可见。这类消亡的恒星称为褐矮星。老的褐矮星已经冷却，它们与木星这类气态巨行星相似。

质量最大的恒星比太阳重约 100 倍，明亮 100 万倍。因此，它们仅在几百万年里就把可使用的燃料消耗殆尽，并在灾变性的爆炸中死亡。质量更大的恒星显然是不能存在的。超过 100 太阳质量的更大的恒星将在其核心产生极其巨大的能量，相应的辐射压力将把它的表面层吹向空间。迅猛的产能率将摧毁这样一个假想的特大质量恒星<sup>2</sup>。正如我们将在第 9 章所见，恒星的辐射压也影响确实存在的最大质量恒星的演化。大质量恒星在它们比较短暂而辉煌的一生中，向周围吹送了猛烈的星风。在恒星消耗其核燃料直至死亡的过程中，这种星风耗散了大质量恒星的大部分质量。

太阳在其形成之后将生存约 100 亿年，然而大质量恒星在几百万年内便会耗尽其所有氢燃料。因此，所有的大质量恒星一定是年轻的。就今天闪耀

于天空的这类恒星而言，恒星诞生的过程看来就在眼前展现。

恒星的形成决定着宇宙中普通物质<sup>3</sup>的演化，因而是宇宙的基本过程。此外，行星的产生看来是恒星形成的直接副产品。因此为了明白我们的起源，我们必须考察恒星。我们必须理解恒星如何发光和产能，它们如何制造化学元素，它们如何死亡并进行自身“轮回”，最重要的是，恒星和行星形成是怎样进行的。最后一个问题正是本书的主题。

恒星是极其遥远的太阳。如果我们假设恒星的光度与太阳相当，通过将它们的视亮度与太阳比较，就能估计它们的距离<sup>1</sup>。这种粗略的估计表明，即使最近的恒星也要比太阳远数十万倍。天文学家把日地距离作为计量的单位，称为天文单位，简记为 AU<sup>4</sup>。

18 世纪中叶，人们对几颗最近恒星的视位置作了历经 1 年的仔细测量<sup>5</sup>，证实了这个推测。随着地球环绕太阳运动，天空中近距恒星的位置相对于远距恒星不断改变。这种“视差”的测量极其困难，但仍是测定恒星距离的最可靠方法。

恒星为什么发光？是什么产生了星光？恒星能生存多久？我们看到的星光是由恒星表面的炽热气体发射的。这些气体向空间发出辐射，本身随之冷却。为了能持续发光，恒星表面必须保持炽热，一定要有能量从恒星内部的深处上升到表面，来补充以星光的形式散逸到空间的能量。

在 20 世纪中叶之前，诸如太阳这类恒星能发光几十亿年所需的能量来源，尚不为人所知。19 世纪曾有人作了计算，如果太阳依靠消耗煤之类的化学燃料发光，那么它将在 10 万年之内熄灭。另一方面，不难设想太阳会从引力提取能量。正如一个水力发电站利用下落的水流发电，太阳也会从引力收缩取得能量。如果太阳能够收缩，将会释放引力能。为了补充由阳光辐射到空间的能量，太阳必须在 100 万年内收缩过半。但是，在 20 世纪初，地质学家发现证据，表明地球上许多岩石的年龄已达几亿年。他们的结论是太阳的寿命比化学能或引力能所能够提供的长得多。20 世纪 30 年代人类发现了核力和核能，在此之前，太阳能源一直是个谜。

恒星是宇宙中数得上的庞然大物，为了一探能源的究竟，我们不得不深入到微观世界的原子内部去，这未免令人莞尔。在 19 世纪与 20 世纪之交，人们已经了解原子由电子和原子核<sup>6</sup>构成。前者质量较低，带有电荷，急速地环绕后者飞行；后者密度甚高，质量是前者的数千倍。原子核与本已极其细微的原子<sup>6</sup>相比更要微小得多，它们包含带正电荷的质子和不带电的中子。但

是，电子的电荷是负的，而相反的电荷相互吸引。于是电子便束缚于带正电的质子的电力吸引之中。

氢是最简单的原子，它由一个质子和绕其旋转的单个电子组成。其他元素的原子核包含两个或更多的质子，周围环绕着一层由同样数量的电子形成的云。每当在原子核中加上一个质子（通常还会加上一个或多个中子），便生成了新元素的原子核。由此而得的原子核所增加的电荷会束缚住新的电子，从而形成电中性的原子，每一种原子的化学性质和物理性质都各不相同。这一切说明了宇宙中有 92 种不同的稳定元素。

为什么原子核包含着中子？并且不像电荷的吸引，而像电荷的排斥。必须有一种比电力强大得多的力去克服束缚于比氢更重的原子核内的质子之间的巨大的电斥力。中子负载着这种力，它的作用是把带正电的核内相互排斥的质子胶结在一起。这种“粘胶”称为“强核力”<sup>7</sup>。在核“裂变”反应中，当像铀这样的重核破碎成为较轻的元素时，其中束缚着的能量会释放出来，这正是当前所有核电站的反应堆里进行的过程。但是，在核“聚变”反应<sup>8</sup>中，当像氢这样的轻核结合形成像氦这样更重的核时，会有更多的能量释放出来。

1948 年实现了由氢聚变成氦的热核反应，这正是太阳和大多数其他恒星的能源。氢转化为氦的核聚变反应能在约 100 亿 ( $10^{10}$ ) 年期间为太阳维持惊人的能量输出，这一时期比太阳系当前年龄 45 亿年的两倍还长。

恒星的颜色与它们的表面温度有关，而后者又与它们的质量和演化状态有关。太阳的表面温度约  $6000^{\circ}\text{C}$ <sup>9</sup>，它是黄色的。比太阳更热的恒星偏蓝，而更冷的恒星则偏红。但是在 20 世纪的前几十年里，发现了一种意外的景象。大多数蓝星都比太阳更亮更重。另一方面，大多数红星则更暗更轻。这些“正常”星，构成了所有恒星的大多数（约 90%），在热核聚变反应中，正在把氢燃烧成为氦。

排除在这些“正常”星之外的主要有红巨星和超巨星。由于它们耗尽了氢燃料，星核变得更加致密和炽热。同时这类恒星的外层膨胀并冷却。因此，当它们逐步迈向死亡的时候，便变得越发明亮和偏红。质量较大的恒星在超巨星阶段通过燃烧重元素的后续聚变反应，可以略为延长寿命，这将在下一章讨论。

在 20 世纪，天文学家理解了恒星的结构及其生命历程。在 50 年代，他们明白了恒星如何通过核反应产能；在 60 年代，他们阐明了恒星如何演化；在 80 年代，他们开始了解恒星的老年和死亡；在 90 年代，他们迈出了重大的步伐去洞悉恒星的产生。本书阐述恒星产生的短暂历程以及与恒星起源相

关的惊人剧烈的过程。

## 140 亿年的膨胀宇宙

当天文学家在 20 世纪的前数十年刚刚明了恒星的性质之时，他们也揭示了宇宙出乎意料的特性。当我们用巨型望远镜把目光投向银河系之外的太空深处之际，我们看到银河系只不过是无数星系中的一员，而每个星系都包含成百上千亿个恒星。有些星系形态偏平，呈明显的旋涡图像，它们是由恒星和气体构成的旋转系统。另一些星系是椭球形或球形的恒星集团，包含较少气体。还有一些星系属不规则形状。星系是一些庞然大物。若以光速（每秒 30 万千米）穿行一个具有典型尺度的星系，要花费 10 万年。因此可以说这类巨大系统的直径约 10 万光年。

星系有结团的倾向，各处的星系团的成员从数十个到数千个，形成巨型的纤维状壁毯，像庞大的蛛网张挂在太空。我们所见的来自这些结构的大部分光线，源自恒星。

在 20 世纪 20 年代晚期，天文学家爱德温·哈勃（Edwin Hubble）揭示了星系在相互远离，退行速度正比于它们的距离——一个离我们的距离两倍远的星系，以两倍的速度离去。

宇宙的“年龄”能从膨胀速率决定。但是，这个“年龄”是什么意思呢？星系正在彼此离开，似乎它们附着在一个正在充气的气球表面<sup>10</sup>。那么这个假想的气球膨胀了多长时间？答案正是宇宙的“年龄”。最近 10 年之内，宇宙的膨胀率已经以百分之几的精度测定，测量表明宇宙的年龄约 137 亿年（有几亿年的误差）。

随着宇宙的膨胀，宇宙中的物质变得越来越稀薄和越来越冷。因此，宇宙早先是更加稠密和炽热的。20 世纪中叶发现了远古时期极其稠密和炽热条件的直接证据。宇宙内氢的丰度远高于恒星赖以发光而进行核聚变反应所能产生的量。1948 年，拉尔夫·阿尔弗（Ralph Alpher）、汉斯·贝特（Hans Bethe）和乔治·伽莫夫（George Gamov）提出氢的超量丰度是宇宙创生之际，在波澜壮阔的爆发（后来这被称为大爆炸）之后数分钟内产生的，当时的平均温度比当前太阳中心的温度还高。这个关于氢产生的理论曾经预言，今天必定能观测到过去炽热状态的遗迹，即从天空的四面八方发射微波辐射的微光。

1965 年，美国新泽西州贝尔实验室的阿尔诺·彭齐亚斯（Arno Penzias）和罗伯特·威尔逊（Robert Wilson）发现了这种射电波段的辉光。这种辐射不



久之后就被称为“宇宙微波背景”，是膨胀宇宙在其年龄只有 30 万年时发射的光。为了理解这一举世瞩目的发现，我们必须记住光是以有限速度传播的。

我们眺望遥远的天体，眼前的它们并不是它们当前的状态，而是光线离开它们之际的模样。当我们用望远镜观看距离更远的星系，我们正在回溯更久远的过去。望远镜是时间机器。我们看到的月亮，是它大约 1 秒钟之前的模样。我们看到的太阳，是它大约 8 分钟之前的模样。我们看肉眼能见的最近的恒星半人马座  $\alpha$  (图 1.2)，看到的是它大约 4 年前的模样。我们去看 1500 光年之遥的猎户星云，看到的是它在罗马帝国灭亡之际的模样。我们用红外望远镜去探测银河系中心，看到的是它大约 3 万年之前的模样，那时地球正处于最后一个冰河期的中期。裸眼能辨认的最遥远的天体是仙女星系，它是大小与银河系相当的最近星系。当你望着它忽隐忽现的淡淡光辉时，射入眼帘的光线已经过约 200 万年的长途跋涉！哈勃空间望远镜为我们传来了宇宙

图 1.2 银河系南段，可以看到最近的恒星半人马座  $\alpha$  (图左最亮的黄色星) 和南十字座 (图中) (Wei-Hao Wang)

