

天文面面观

——人人必备的天文学知识



天文面面观

——人人必备的天文学知识

João Retre (Institute of Astrophysics and Space Sciences, Portugal), Pedro Russo (Leiden University, the Netherlands), Hyunju Lee (Smithsonian Science Education Center, USA), Eduardo Penteado (Museu de Astronomia e Ciências Afins, Brazil), Saeed Salimpour (Deakin University, Australia), Michael Fitzgerald (Edith Cowan University, Australia), Jaya Ramchandani (The Story Of Foundation), Markus Pössel (Haus der Astronomie, Germany), Cecilia Scorza (Ludwig Maximilians University of Munich & Haus der Astronomie, Germany), Lars Lindberg Christensen (European Southern Observatory), Erik Arends (Leiden University, the Netherlands), Stephen Pompea (NOAO, USA) and Wouter Schrier (Leiden University, the Netherlands)

设计: Aneta Margraf-Druc (ScienceNow/Leiden University)

排版: Aneta Margraf-Druc (Science Now/Leiden University) & Carmen Müllerthann (Haus der Astronomie/Office of Astronomy for Education), Aniket Kadu (OAE Center India/TLC/IUCAA/Pune) & Kshitij Chavan (OAE Center India)

王思雨 (北京天文馆)。校对: 曹军 (北京天文馆)

2020年6月, 第二版DOI知识产权: 国际知识共享署名4.0 (CC BY 4.0)



感谢: Ismael Tereno (Institute of Astrophysics and Space Sciences), Pedro Figueira (European Southern Observatory), Sérgio Pereira (Institute of Astrophysics and Space Sciences), Monica Bobra (Stanford University), Piero Bienvenuti (Università di Padova) and Roy Bishop (Acadia University) 为此版本提供了建议。João Retre 感谢葡萄牙科学技术基金会提供的研究经费 IA2017-09-BGCT 和 UID/FIS/04434/2013。Pedro Russo 感谢 Hidehiko Agata 教授在 NAOJ Sokendai “Astronomy Literacy” 项目中提供的支持。NOAO 是由大学天文学研究协会(AURA)在与美国国家科学基金会的合作协议下运营的。我们亦感谢社会各界在讨论环节中对这份文件的建议与意见。感谢董宇 (莱顿大学) 在翻译过程中做出的贡献。

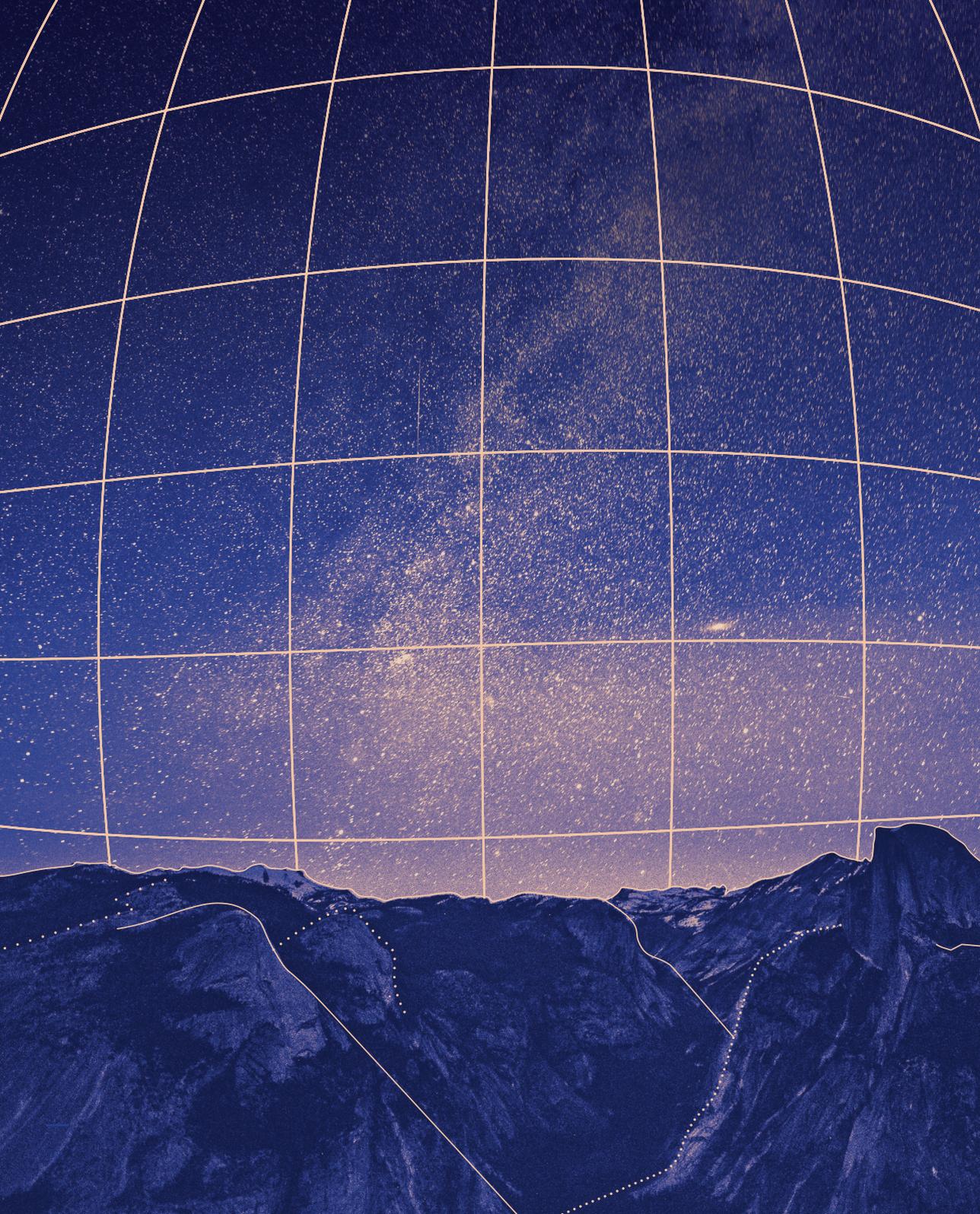
天文学教育纲要 是莱顿天文台、莱顿大学(荷兰)和天体物理和空间科学研究所(葡萄牙)在国际天文学联合会委员会C1:专业素养和课程开发工作组框架内的一个项目

国际天文学联合会C1委员会 天文学教育和发展的: 主席: Paulo Bretones

国际天文学联合会C1工作组天文学素养和课程开发:

天文面面观是国际天文学联合会天文学教育项目





目录

| | |
|----|------------------------|
| 06 | 天文面面观 |
| 08 | 简介 |
| 10 | 对部分天文“天文面面观”的简要介绍 |
| 12 | 纲要 |
| 18 | 天文学——人类历史上最古老的学科之一 |
| 22 | 生活中的天文学 |
| 26 | 丰富而动态的夜空 |
| 30 | 天文学是一门研究宇宙中的天体和天文现象的学科 |
| 34 | 天文学与科学技术相互促进 |
| 38 | 宇宙学是一门将宇宙作为整体进行研究的学科 |
| 44 | 我们生活在太阳系的一个行星上 |
| 48 | 我们由星尘组成 |
| 54 | 宇宙中有上亿个星系 |
| 60 | 我们在宇宙中并不孤单 |
| 64 | 我们必须保护宇宙中唯一的家园——地球 |

天文面面观

1

天文学——人类历史上最古老的学科之一

2

生活中的天文学

3

丰富而动态的夜空

4

天文学是一门研究宇宙中的天体和天文现象的学科

5

天文学与科学技术相互促进

6

宇宙学是一门将宇宙作为整体进行研究的学科

7

我们生活在太阳系的一个行星上

8

我们由星尘组成

9

宇宙中有上亿个星系

10

我们在宇宙中并不孤单

11

我们必须保护宇宙中唯一的家园——地球

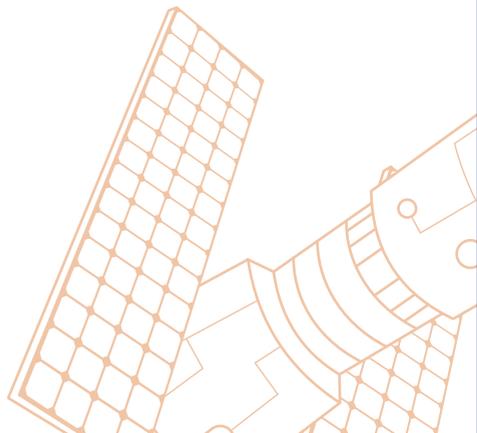
简介

“所有人的天文学” (Astronomy for All)

这是国际天文学联合会 (IAU) 天文宣传办公室的座右铭。如果“所有人”是一个对整个社会非常宽泛的称呼，那么“天文学”对于一个知识体系来讲也是同样宽泛的。这个名为“天文面面观 Big Ideas in Astronomy”的项目探讨了这个问题：

哪些是人人都应该懂的天文学？“天文面面观”提出了11个主要项目，并通过子项目及其他信息进行扩展延伸。本档是为天文教育者设计的指导性文件，用于确定他们在教学、培训、课外活动或资源开发中应涉及的主题。这是一个需要实时更新的文件，我们欢迎天文学界、天文学教育界和科学教育界的意见和建议。

在多次讨论、会议、研讨会、演讲、电话会议和协作撰稿之后，我们归纳了“天文面面观”这个文档，作为天文学素养的拟议定义。该文件确立了全球人民都应了解的天文学相关概念。



后续

我们的下一步是通过开展研究项目来系统地验证此文件是否可以准确地表达专家们所认为的天文学素养，从而进一步开发该文件。此后，我们将致力于：

- 开发与“天文面面观”相关的课程
- 开发“天文面面观”评估工具
- 教材指南
- 教师专业发展资料
- 政策报告

IAU的2020-2030年战略计划将天文学教育置于全球天文学事业的核心。国际天文学联合会设定了目标，以促进在学校校园内将天文学用于教学和教育。

我们希望这份文件有助于实现这一目标，并为教育提供天文学素养目标的第一个分析和框架。

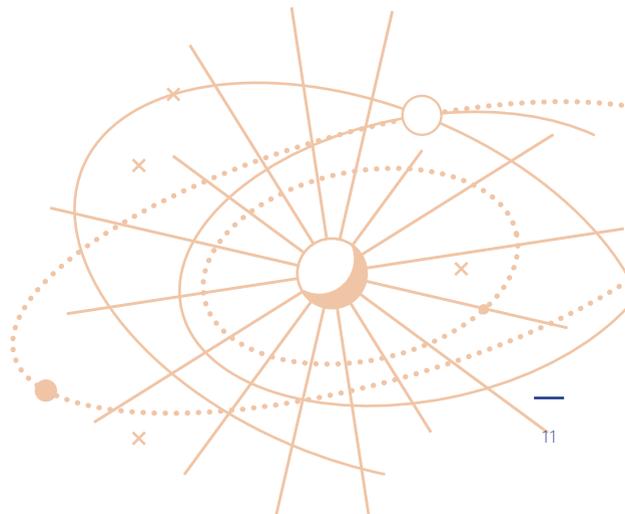


对部分天文“天文面面观”的简要介绍

——Pedro Russo

天文学是一门研究宇宙及万物起源和进化的科学。这个定义似乎很简单，但宇宙是一个巨大的地方，充满了各种大小、形状和年龄的迷人天体，以及令人惊叹的天文现象。作为人类文化和科学史的一部分，天文学多次改变了我们思考的方式、我们看待世界的方式以及对我们更大范围的宇宙中所处位置的认识。过去，天文学应用于时间测量或海洋导航。今天，天文学和相关领域的科学技术成果深入到了我们日常生活的方方面面：计算机、通信卫星、导航系统、太阳能电池板、无线互联网等等。像任何科学一样，天文学的进步是知识积累的结果。有时，技术和思想的突破会加速这种进程，比如革命性的太阳系日心说和宇宙大爆炸模型。大爆炸模型讲述了宇宙演化的故事。大约140亿年前，刚刚诞生的“宇宙”是无限小且极热的。突然而持续的膨胀和后来的冷却导致了原子和亚原子粒子的基本构造的形成，这使得星系、恒星、行星和生命的最终形成成为可能。根据目前的数据，天文学家认为，宇宙的膨胀主要是由一种神秘的能量形式——暗能量驱动的。如果我们在一个漆黑的夜晚观察夜空，我们会看到一条光带横跨天空，从地平线的一端到另一端。这条带和我们在天空中看到的所有星星都是我们居住的星系——银河系的一部分。星系通常呈纤维或团块状，就像被浩瀚无垠的宇宙海洋包围的一群群岛。我们的星系包含了数千亿颗恒星，太阳只是其中的一颗，就像沙滩上的一粒沙子一样默默无闻。这些恒星遵循着万有引力，稳定地围绕着星系中心的巨大黑洞旋转。这个“海洋”，也就是宇宙，包含了许多其他的岛屿。我们的星系只是数千亿星系中的一个。尽管太阳是一颗相对普通的恒星，但它对我们人类来说是特殊的：它曾是我们所知道的唯一一颗被行星环绕的恒星。如今，我们已知成千上万颗恒星拥有行星，它们被称为系外行星。据估计，在与太阳相似的恒星中，超过20%的恒星都有行星绕转，其中一些行星与地球很像。这些行星中有很多都很小，而且离其恒星的轨道距离适宜，这就使得液态水的存在成为可能，因此，生命也可能存在。但是宇宙是由什么组成的呢？我们能看到的東西——行星、恒星和星系——都是由质子、电子、中子和夸克（科学家们称之为“重子物质”）等物质组成的，但还有其他东西，一种巨大、奇怪和神秘的东西，没有人知道它是什么。人们认为恒星会围绕星系中心运行，就像太阳系里行星围绕太阳运行一样。离太阳最近的行星比最外层的行星运动得快。但这在星系中并没有发生：星系中的恒星或多或少都以相同的速度围绕星系中心运行。一定有某种我们看不见的东西，使恒星以这种方式运行。天文学家称之为“暗物质”。据估计，我们能够看到的只是宇宙中所有事物的一小部分。其他的一切还没有被很好地理解，也没有被直接观察到。天文学不仅仅是一门前沿科学或技术应用——它给了我们一个机会来拓宽我们有限的视野，发现宇宙的美丽和宏伟，探索我们在其中的位置。这种观点，通常被称为“宇宙观”，是天文学对人类最重要的贡献之一。

曾刊载于葡萄牙新闻刊物
Visão。



纲要

1

天文学——人类历史上最古老的学科之一

- 1.1 理解天空中日月星辰的运动是理解自然世界的第一步
- 1.2 早期文明将夜空中的星组合成想象中的图案
- 1.3 天文学启发了很多文明的文化艺术并根植于其中
- 1.4 人们利用天文现象确定时令节气，对古代农业至关重要
- 1.5 过去，天文学是航海家的重要工具
- 1.6 天文学和占星术是不同的
- 1.7 一些早期文化认为地球是宇宙的中心
- 1.8 长达一个世纪的哥白尼革命确定了太阳是太阳系的中心
- 1.9 400多年前，天文学家第一次用望远镜进行观测
- 1.10 地球在数世纪前就被不同的方法证实为椭球体

2

生活中的天文学



- 2.1 我们看到昼夜交替是因为地球在自转
- 2.2 我们感受到四季是因为地球在倾斜着围绕太阳公转
- 2.3 月亮按周期盈亏变化
- 2.4 日月食的发生是因为太阳、地球和月亮排列成直线
- 2.5 地球上的潮汐是由太阳和月亮的引力造成的
- 2.6 太阳光对地球上的绝大部分生物至关重要
- 2.7 极光是由太阳粒子进入地球造成的
- 2.8 天文学技术也是我们日常生活的一部分

3

丰富而动态的夜空



- 3.1 在晴朗黑暗的晚上我们可以用肉眼看到上千颗星星
- 3.2 夜空能够帮助人们识别方向
- 3.3 地轴在上千年中一直在摇摆（岁差）
- 3.4 太阳未落时只有少量明亮的天体能够被人眼看到
- 3.5 地球自转导致了天体东升西落
- 3.6 大气层导致了星体闪烁
- 3.7 每天有上百万颗流星进入地球大气层



光（电磁辐射）是天文研究中主要的信息来源

- 4.1 光（电磁辐射）是天文研究中主要的信息来源
- 4.2 大尺度结构下，引力是主导宇宙的相互作用力
- 4.3 引力波和亚原子粒子为研究宇宙提供了新的方向
- 4.4 天文学家利用观测及模拟数据为天文现象在当前理论框架下建模
- 4.5 天文学结合了物理、数学、化学、地理及生物等多学科知识
- 4.6 天文学含有多个分支
- 4.7 天文学中的时间和距离尺度比我们日常生活中使用的大得多
- 4.8 光谱学是探测遥远宇宙的重要技术



天文学与科学技术相互促进

- 5.1 望远镜和探测器对天文学至关重要
- 5.2 一些望远镜可以被组合，并当作一个大望远镜使用
- 5.3 地球上和太空中的天文台
- 5.4 地基天文台通常被设置在偏远地区
- 5.5 如今，天文学是“大科学”和“大数据”的一部分
- 5.6 复杂模拟及处理海量数据有赖于超级计算机的发展
- 5.7 天文学是一门多采用跨国合作的全球化学科，天文学数据和研究成果可以被无障碍共享
- 5.8 大量航天器被发送到太空以探索太阳系

6

宇宙学是一门将宇宙作为整体进行研究的学科

- 6.1 宇宙约138亿岁
- 6.2 宇宙在大尺度上是匀质且各向同性的
- 6.3 我们只能看到过去
- 6.4 我们只能直接观测到宇宙的一小部分
- 6.5 宇宙主要由暗能量和暗物质组成
- 6.6 宇宙在加速膨胀
- 6.7 宇宙的膨胀使远距离星系的光红移
- 6.8 自然法则（如重力）在地球和宇宙中是相同的
- 6.9 大宇宙的大尺度结构由纤维，片和巨洞组成
- 6.10 宇宙背景辐射让我们能够探索早期宇宙
- 6.11 大爆炸模型可以解释宇宙的演化

7

我们生活在太阳系的一个行星上

- 7.1 太阳系在约46亿年前形成
- 7.2 太阳系由太阳，行星，矮行星，卫星，彗星，小行星及流星体组成
- 7.3 太阳系的八大行星
- 7.4 太阳系的矮行星
- 7.5 行星分为类地行星（岩石）和类木行星（气体）
- 7.6 一些行星有许多天然卫星
- 7.7 地球是围绕太阳运行的第三个行星，有一个自然卫星——月球
- 7.8 在太阳系形成初期，有上百万个小行星被遗留下来
- 7.9 彗星是个脏雪球，在被太阳加热时会形成彗尾
- 7.10 太阳系的边界叫做日球层顶





我们由星尘组成

- 8.1 恒星通过内部核反应产生能量发光
- 8.2 恒星从包含大量尘埃和气体的星云中诞生
- 8.3 太阳是离地球最近的恒星
- 8.4 太阳是一个动态的恒星
- 8.5 恒星的顏色由它的表面温度决定
- 8.6 恒星之间的空间可能空旷无物，也可能存在能够孕育新恒星的气体云
- 8.7 恒星的生命循环很大程度上由其初始质量决定
- 8.8 超大质量恒星在生命结束后会形成黑洞
- 8.9 恒星死亡后留下的物质孕育新恒星与其行星系
- 8.10 人体中的部分原子来自早期恒星



宇宙中有上亿个星系

- 9.1 星系是一个包含了恒星、尘埃和气体的大系统
- 9.2 星系似乎包含了大量暗物质
- 9.3 星系的形成是一个演化的过程
- 9.4 三种主要星系类型为棒旋、椭圆及不规则星系
- 9.5 我们生活在一个叫银河系的棒旋星系中
- 9.6 星系的旋臂由气体和尘埃堆积而成
- 9.7 大多数星系中心都有一个超大质量黑洞
- 9.8 星系间距离可能极为遥远
- 9.9 星系群
- 9.10 星系间通过引力相互作用

10

我们在宇宙中并不孤单

- 10.1 有机分子已在地球外被探测到
- 10.2 地球上的某些生命体能够在极端环境下生存
- 10.3 潜在的液态水的痕迹证明火星上早期可能存在生命
- 10.4 太阳系中少量卫星拥有宜居环境
- 10.5 人们发现了大量围绕其他恒星运转的行星，我们称之为系外行星
- 10.6 系外行星多种多样，且多以行星系的形式存在
- 10.7 人们在寻找另一个地球的征程上已看到曙光
- 10.8 科学家正在寻找地外文明

11

我们必须保护宇宙中唯一的家园——地球

- 11.1 光污染影响人类及许多动植物
- 11.2 环绕地球的轨道上有许多人造物体残骸
- 11.3 人们监测着可能造成危险的太空物体
- 11.4 人类对地球环境有极大影响
- 11.5 气候和大气已被人类活动严重影响
- 11.6 保护我们的地球需要全球观
- 11.7 天文学提供了独特的宇宙学视角，促进地球居民的团结

1

天文学——人类历史上最古老的学科之一



拉斯科史前洞穴的壁画中，野牛背部上方有一簇类似于昴星团的圆点。

供图: Ministère de la Culture/
Centre National de la Préhistoire/
Norbert Aujoulat



1.1

理解天空中日月星辰的运动是理解自然世界的第一步

天文观测的第一笔记录来自史前人们创作的图画和人工制品，那里记录着他们在空中看到的東西。在古代文化中，天文学与宗教和神话信仰有关。人们利用天文学现象测量时间并建立日历，从而计划日常和季节性的活动。

1.2

早期文明将夜空中的星组合成想象中的图案

星座是夜空中的星星通过假想线连接而成的图案。最早的星座是由早期文化定义的。这些可识别的恒星群通常与希腊、玛雅、美洲原住民和中国等文明的文化故事和神话联系在一起。在现代天文学中，星座是天空中定义明确的区域，将古老的星座以及15、16、17和18世纪定义的星座结合在一起。一些例如澳大利亚土著和南美土著的文化，也使用银河光带中的阴影来识别图案。

1.3

天文学启发了很多文明的文化艺术并根植于其中

几个世纪以来，艺术家，诗人，作家和许多富有创造力的思想家都将夜空用作创作的灵感和/或主题。例如，我们可以在绘画，雕塑，音乐，电影和文学中看到天文学的身影。这些作品通过夜晚观察到的图案直接或间接地传达了夜空的本质、美丽和神秘。艺术的普遍性及其与文化的紧密联系可以让人们不仅欣赏到天体和天文现象本身之美，还能欣赏到我们已经获得的关于它们的知识。这在世界范围内提高了人们对天文学的兴趣，并促进了同一片天空下的跨文化理解。

1.4

人们利用天文现象确定时令节气，对古代农业至关重要

在许多古代文化中，天文学是为了提高耕作时间的准确性而发展的。例如，埃及人根据对天狼星的观测制定了日历，以确定尼罗河每年洪水的时间。

1.5

过去，天文学是航海家的重要工具

许多文明利用星星和其他天体的位置在陆地和海洋上导航。天体导航至今仍在被使用。

1.6

天文学和占星术是不同的

在近现代之前，天文学和占星术之间的区别还很模糊。如今，天文学和占星术已截然不同。天文学是一门科学，而占星术不是。占星术使用天体的位置来预测未来的事件。然而，对占星术的广泛研究表明，占星术的预测并不准确，且没有任何科学依据。

1.7

一些早期文化认为地球是宇宙的中心

除了活跃于公元前300年的一些希腊天文学家，大多数早期文化都认为地球是宇宙的中心。这种地心说在欧洲和亚洲文化中持续了两千多年，才在十六世纪所谓的哥白尼革命时被推翻。现代天文学家发现，宇宙似乎没有特定的空间中心。

1.8

长达一个世纪的哥白尼革命确定了太阳是太阳系的中心

在16世纪，哥白尼提出了日心说。在这种观点中，太阳是宇宙的中心，而地球围绕它运动。尽管我们现在知道太阳不是宇宙的中心，而仅是太阳系的中心，但是哥白尼日心说在当时是革命性的，为现代天文学的发展做出了贡献。

1.9

400多年前，天文学家第一次用望远镜进行观测

尽管伽利略没有发明望远镜，但他是第一个将其用于科学研究的人。他对折射望远镜的改进使他发现了金星位相、木星四个最大的卫星等，这些卫星仍被称为伽利略卫星。他的发现提供了令人信服的证据，支持了宇宙的日心说。

1.10

地球在数世纪前就被不同的方法证实为椭球体

世界许多地区的早期文化在描述宇宙时，将地球形容成平面状或盘状。而“地球是一个球体”的这种想法也已经存在了数千年，成为了许多文化的世界观的重要组成部分，并在1000多年前就成为主流思想。有许多经验方法可以验证地球大致为球形（事实上为扁球形）。最早的数学方法之一是埃拉托色尼Eratosthenes提出的（公元前3世纪），他通过分析埃及不同地点的木棍投射的阴影长度来测量地球的周长。

2

生活中的天文学

阿拉斯加荒野夜空中令人惊叹的灯光秀——极光。
供图: Jean Beaufort (Public Domain Pictures)



2.1 我们看到昼夜交替是因为地球在自转

地球面向太阳的一侧是白天，而背向的一侧则是夜间。地球在绕其自转轴旋转，太阳两次到达天空中同一位置所需的时间被定义为一（太阳）日，平均为24小时。

2.2 我们感受到四季是因为地球在倾斜着围绕太阳公转

地球的自转面（赤道面）与其绕太阳旋转的公转平面（黄道面）有 23.4° 的夹角。因此，在地球绕太阳运行的部分轨道上，北半球或南半球会向太阳倾斜，而另一半球则背向太阳倾斜。前者经历夏天，因为阳光更多地直射在这半球上，并且由于太阳所在的纬度更高，白天也会更长。相反，远离太阳的半球会经历冬天，因为阳光与地面的夹角更小，导致阳光被扩散到更大的区域。太阳在天空中的高度较低，因此白天变得更短。

2.3 月亮按周期盈亏变化

当月球绕地球旋转时，它相对于太阳和地球的位置会发生变化。月球表面被阳光照亮的区域也会发生变化，从而产生我们从地球上看到的不同相位——新月、上蛾眉月、满月和下蛾眉月，从满月到满月需要29.53天。虽然月球的相位对于地球上的任何观察者来说基本相同，但月亮形状的方向会有所不同，这取决于观察者所在的半球。例如，一观察者可能会看到新月开口向左，而其他人从不同的位置观察，可能会看到新月开口向右。

2.4 日月食的发生是因为太阳、地球和月亮排列成直线

有时，当月球刚好经过太阳和地球之间时，月球会挡住来自太阳的光线并在地球上投下阴影，从而形成日食。有时，地球会位于太阳和月球的连线之间，并在月球上投下阴影，遮住月球表面并造成月食。日食可以是部分的，即太阳的一部分被遮住，也可以是全部的，即整个太阳都被遮住。月食只在满月时发生，因此只能在夜间观察到。在地球上的任何位置，月食都比日食更为常见，持续时间也比日食长。

2.5 地球上的潮汐是由太阳和月亮的引力造成的

月球和太阳都会引起地球上的潮汐，但太阳的影响更弱。地球会在最靠近月球和最靠近太阳的一侧，以及远离它们的一侧轻微凸起，最明显的变化就是海洋潮汐。随着地球自转，海岸线转到了应该凸起的位置，那里的水位便会上升。当太阳、地球和月亮几乎在一条直线上时（满月和新月），我们会经历更高的“大潮”。而当太阳和月亮相对于地球彼此成直角（上弦月和下弦月）时，我们会经历较低的“小潮”。

2.6 太阳光对地球上的绝大部分生物至关重要

太阳是地球上生命形式的主要能量来源。例如，植物利用阳光进行光合作用，使它们生长并产生氧气分子。那些氧气被动物用于呼吸。人们相信，小行星撞上地球时对全球环境造成的破坏导致了不会飞的恐龙和地球上大多数物种的灭绝。撞击产生的爆炸将大量灰尘输送到大气中，阻挡了太阳的光线，造成了漫长的冬季。阳光也会影响我们的身心健康。当暴露在阳光下时，我们的皮肤会产生维生素D，维生素D在我们的生命活动中起着重要作用。一些研究表明，人类抑郁与缺乏阳光照射有关。

2.7 极光是由太阳粒子进入地球造成的

在太阳爆发期间，来自太阳的带电粒子（主要是电子和质子）会穿越1.5亿千米的距离到达地球。它们被地球磁场束缚住，流向磁极，并与大气中的粒子相互作用。这些粒子中最快的可以在大约半小时内从太阳传播到地球，最慢的大约需要五天。有时，这些粒子风暴会扰乱地球磁场，损坏卫星和电网。通常，来自太阳的粒子会与地球大气中的氧气和氮气相互作用。这种相互作用产生了变幻莫测的美丽光芒——极光，闪耀在北半球（北极光）和南半球（南极光）磁极周围的夜空之中。

2.8 天文学技术也是我们日常生活的一部分

用于研究天文数据的分析工具和方法已应用于我们日常的工业、医学和技术。最初为天文研究而开发的探测器现在也用于数码相机，就像我们手机中的相机。为天望远镜开发的特殊玻璃也用于制造LCD屏幕、计算机芯片以及陶瓷炉灶。天文学和医学之间的知识迁移促进了磁共振成像(MRI)和计算机断层扫描(CT扫描仪)以及其他设备的发展。

3

丰富而动态的夜空

这张长曝光照片拍摄于智利安第斯山脉的查南托高原，照片中可以看到因地球自转而产生的彗星轨迹。
供图: S. Otavola/ESO



x

x

x

3.1 在晴朗黑暗的晚上我们可以用肉眼看到上千颗星星

当我们远离城市的光污染，并在新月或无月夜观察天空时，我们可以用肉眼看到大约4000颗星星。我们用肉眼看到的所有恒星都属于我们的银河系。尽管在其他星系中有数十亿颗恒星，且在可观察到的宇宙中有数万亿个星系，但这些恒星距离太远，因此太微弱，以至于我们的眼睛无法区分出每个单独的光点。在合适的观测位置和时间，我们太阳系五个最亮的行星，银河系，银河系的两个伴星系（大小麦哲伦云）和仙女星系（一个大旋涡星系）也可以用肉眼看到。

3.2 夜空能够帮助人们识别方向

我们可以通过仰望夜空找到基本的方向。在北半球，找到北的最简单方法是寻找北极星（Polaris, North Star），它与北天极非常接近。查找北极星的最简单方法是通过大熊座和小熊座。在南半球，最接近南天极的恒星是Sigma Octantis（南极座 σ ），但是并不容易看到。找到南方的一种快速方法是通过南十字座和半人马座中两个最亮的恒星。

3.3 地轴在上千年中一直在摇摆（岁差）

地球像陀螺一样地自转着。它的自转轴方向以大约26,000年为一周期缓慢进动变化。这种运动使地轴随着时间指向不同的方向，因此，天球的北极和南极会随着时间缓慢改变位置。例如，当地轴转到另外的方向时，在正北方的将不再是北极星，而可能是另一颗星。尽管目前在地球南极附近没有明亮的恒星，但总有一天我们会拥有一个合适的“南极星”！

3.4 太阳未落时只有少量明亮的天体能够被人眼看到

星空中的大多数物体太暗，无法在明亮的阳光下被观察到。同样，在光污染较强的城市夜晚，由于人工照明使天空变亮，我们也只能看到一小部分星星。当太阳仍在地平线上方时，肉眼只能看到少数几颗足够明亮的天体。在合适的月相时期，白天可能会看到月亮。在某些时候，可以在早晨和傍晚看到金星，分别叫作启明星和长庚星。如果你知道往哪里看，甚至也可以在正午看到金星。极少数情况下，白天可能会看到特别明亮的彗星

3.5

地球自转导致了天体东升西落

由于地球绕着地轴自西向东旋转，所以地表的观察者看到整个天空从东向西朝相反的方向运动，似乎在围绕着我们的星球旋转。这种明显的天空相对地球的运动被称为周日视运动。这也就是我们看到天体从东方升起、西方落下的原因。

3.6

大气层导致了星体闪烁

当恒星的光进入地球大气并穿过不同温度和密度的圈层时，大气的折射率在不断变化着，导致光也在不断改变方向，其亮度及其到达地面的位置也不断变化。因此对于地球上的观察者来说，恒星似乎在闪烁。而对于行星而言，大气层来的影响要小得多（或无法察觉）。因为行星实际上可以被看成是小圆盘（面源），比如使用双筒望远镜观察时就能很容易看出来。而恒星在我们看来只是微小的光点（点源），由于所有的光都来自一个点，因此非常容易受到大气折射变化的影响。

3.7

每天有上百万颗流星进入地球大气层

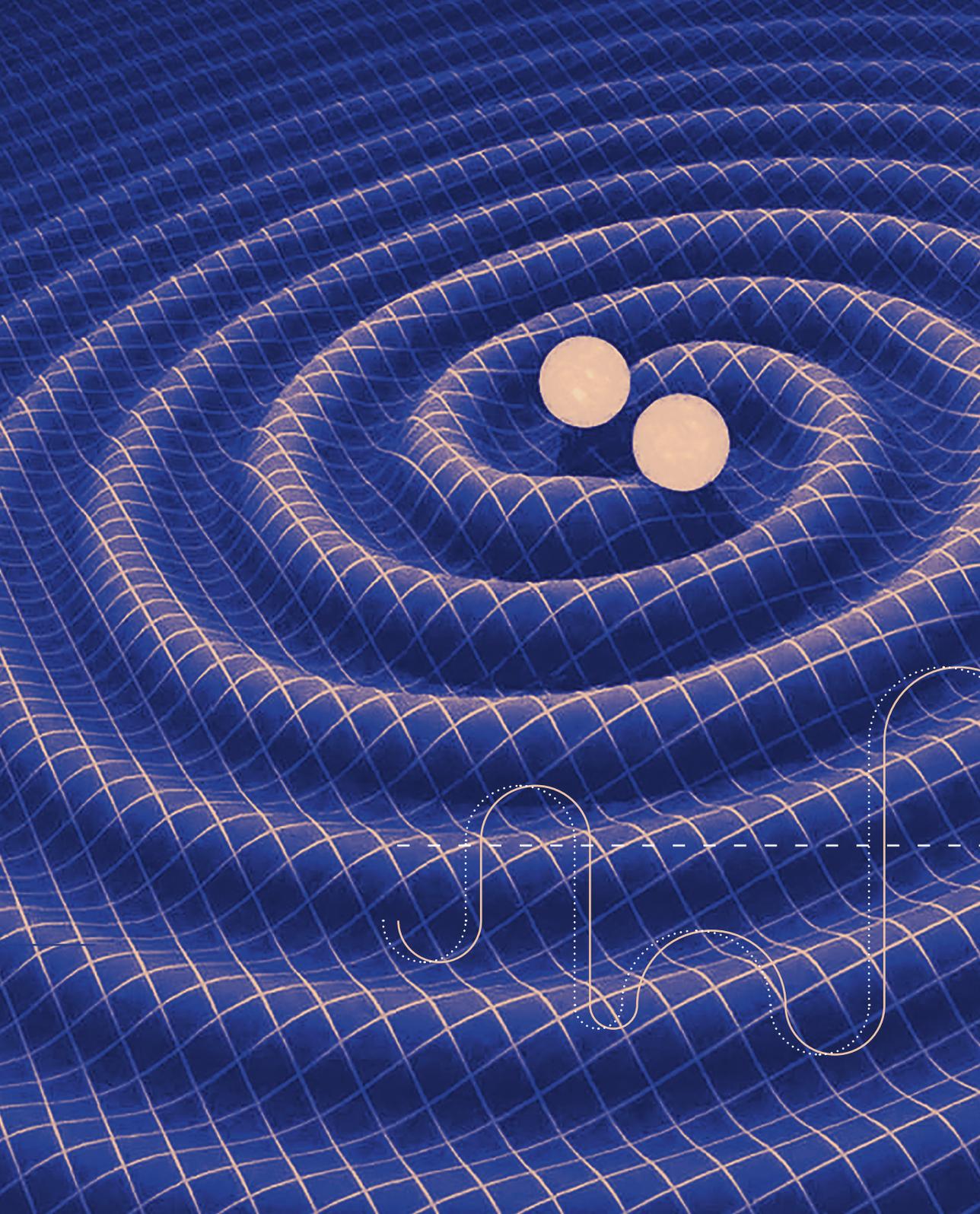
流星体是小石头或金属物体，大小从沙粒到一米不等。当它进入地球大气层时，会被气体压力加热，在夜空中产生一连串的光，这种现象被称为流星。当流星体在穿越地球大气层时幸存下来并降落在地面时，便称为陨石。尽管每天有数百万颗流星在地球大气中划过，但是大多数流星体在到达地面之前都被燃烧成了气体和尘埃。



天文学是一门研究宇宙中的天体和天文现象的学科



双中子星产生的引力波的艺术想象图，它们在合并之前相互绕转并不断靠近。
供图: R. Hurt/Caltech-JPL



4.1 光（电磁辐射）是天文研究中主要的信息来源

由于大多数天体离我们太远，无法进行实地考察，我们必须依靠这些天体的电磁辐射（光）来研究它们。电磁波的不同波长提供了各种天文学机制和天体特征的信息。在现代天文学中，我们使用整个电磁光谱来研究宇宙：无线电，微波，红外线，可见光，紫外线，X射线和伽马射线。尽管在一般情况下，“光”这个字仅指可见光，但在天文学中，光指所有电磁辐射。

4.2 大尺度结构下，引力是主导宇宙的相互作用力

平均而言，天体不带净电荷。这些物体在长距离上相互作用的主要方式是引力。引力使行星绕太阳运行，使恒星绕星系中心运动，并使恒星炽热的等离子体保持球形。大多数天文现象都用牛顿的万有引力定律来描述，但是在最极端的情况下，需要爱因斯坦的广义相对论来提供准确的描述。

4.3 引力波和亚原子粒子为研究宇宙提供了新的方向

引力波——时空的涟漪——是20世纪初期根据广义相对论预测的。2015年首次实现了引力波的直接探测，科学家们现在可以将它们用作研究宇宙的新窗口。引力波是由强大的引力相互作用产生的，例如两个大质量黑洞或中子星的合并。天文学家还探测到了各种亚原子粒子，例如中微子，电子或质子，以了解我们的太阳内部以及宇宙中一些最活跃的过程。

4.4 天文学家利用观测及模拟数据为天文现象在当前理论框架下建模

天文学家为天体及其相关现象和演化建立了数学模型。这些模型的框架由物理和化学的基本理论搭建而成。一些模型包含了基本的数学关系，而更复杂的模型利用到了数值模拟。最复杂的模拟在世界上一些最大的超级计算机上运行。来自望远镜和探测器的观测数据可被用于测试和完善模型。观测证据与模型之间的相互论证是探索发现的重要方面。

4.5

天文学结合了物理、数学、化学、地理及生物等多学科知识

专业的天文研究结合了数学，物理学，化学，工程学，计算机科学以及其他领域的知识。事实证明，这种广阔的视野对于揭示和模拟天文物体和现象的本质至关重要。例如，要了解恒星内部发生的核反应，科学家需要核物理学；为了检测恒星大气中的元素，需要化学；工程技术对望远镜和探测器的制造至关重要；软件的定制开发对于分析这些仪器提供的数据不可或缺。

4.6

天文学含有多个分支

由于对天文物体和现象的准确描述建立在其他科学领域的基础之上，现代天文学通常根据其所涉及的主题按专业划分。包括：天体生物学，宇宙学，观测天文学，天体化学和行星科学。天文学家还可以选择仅研究某个特殊物体，例如白矮星。考虑到物理学在天文学中的重要作用，“天体物理学”和“天文学”这两个术语可以互换使用。

4.7

天文学中的时间和距离尺度比我们日常生活中使用的大得多

月球是距离地球最近的天体，距离约384,400千米。我们的太阳直径为139万千米，质量约为（1989thousandtrillion-trillion=198.9万亿亿亿?）198.9万亿亿亿千克，是距地球最近的恒星，距离约为1.5亿千米（这就是天文单位au的定义）。最接近太阳的恒星是半人马座比邻星ProximaCentauri，它离我们约4.25光年。一光年是光在真空中传播一年的距离，超过9万亿公里。我们星系的直径为100,000-120,000光年，而其他星系与我们的距离可能达到数十亿光年。天文学的单位比我们想象的要大得多。天文学的时间尺度很长，几百万或数十亿年的年龄是典型的。

4.8

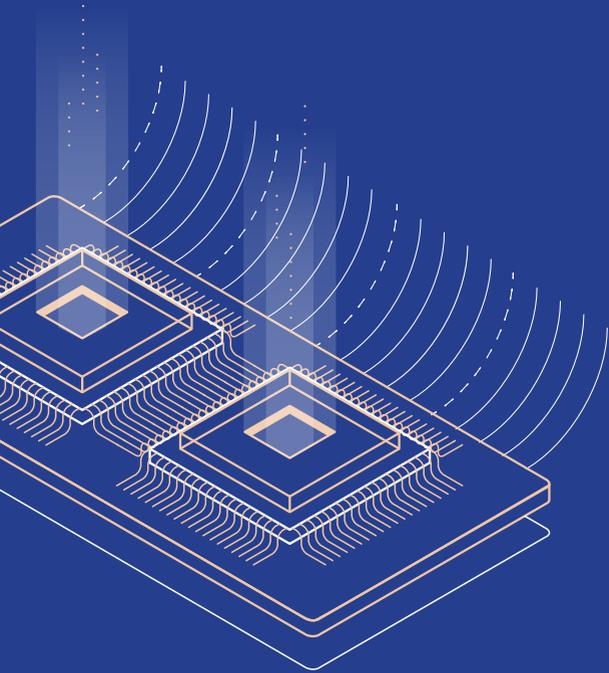
光谱学是探测遥远宇宙的重要技术

天体的某些特征只能通过它们的光谱来研究-它们的光像彩虹一样被分解成无数种不同的颜色，每种颜色都代表着光的一种波长。通过分析从这些物体收集的光，天文学家可以确定其元素组成，温度，压力，磁场，以及其他细节特征。



5

天文学与科学技术相互促进



组成甚大望远镜 (VLT) 的四个8米级望远镜中的两个，它们坐落在智利安第斯山脉的高处。
供图: ESO/P. Horálek



5.1 望远镜和探测器对天文学至关重要

由于电磁波是天文学的主要信息来源，因此在收集和分析这些波时，望远镜和探测器起着重要作用。较大的望远镜可以收集更多的光，使天文学家能够识别和分析非常暗弱的物体。较大的望远镜也具有更大的分辨能力，使天文学家可以更详细地研究其目标物体的细节。早期的天文观测是通过人员直接通过望远镜观察来进行，如今天文学家则使用探测器在许多不同的波长上客观地记录观测结果。

5.2 一些望远镜可以被组合，并当作一个大望远镜使用

天文学家可以通过一种被称为干涉测量的技术，将许多望远镜组合在一起，使它们像一台大望远镜一样工作。从分辨率上讲，组合出的望远镜直径将等同于小望远镜们之间最大的距离。这使天文学家可以看到天体中更小更精细的细节，并且可以区分诸如恒星及其行星系统之类的独立物体。

5.3 地球上和太空中的天文台

地球的大气层吸收了电磁波谱中的大部分辐射。它对可见光、一些紫外线、红外线以及短波射电是透明的，但在其他波段则大部分是不透明的。大多数紫外线波段和大部分红外线以及X射线无法穿透大气层。因此，若要收集除可见光，射电和少量其他波段以外的光，望远镜必须被放置在太空中。尽管可以在地表接收到可见光，但是地球大气的湍流会影响图像的质量，因此一些光学望远镜也被放置在太空中。

5.4 地基天文台通常被设置在偏远地区

地球上只有很少的地方拥有高海拔、无光污染、大气对某些波长透明的纯净天空。这些位置通常条件恶劣，难以到达，并且与大型人类居住地相距甚远。天文学家要么亲自前往这些地点进行观测，要么让经验丰富的当地望远镜操作员为他们提供帮助，要么使用可以远程操作的自动望远镜。

5.5

如今，天文学是“大科学”和“大数据”的一部分

天文巡天已经产生了大量的数据，并且在未来几年中将继续大大增加。这种进展被称为“大数据天文学”，其重点是寻找新颖的方法来存储、传输和分析这些数据。这促进了各种公众科学项目的发展，以利用人类敏锐的图案识别能力。另一方面，现代望远镜和仪器价格昂贵，并且建造它们需要各种技术技能。在这个“大科学”时代，它们通常由包含来自不同国家的众多天文研究机构的国际组织或联合体建造。

5.6

复杂模拟及处理海量数据有赖于超级计算机的发展

处理来自模拟和观测的大量数据需要计算机能够在短时间内执行复杂的模拟计算。目前超级计算机每秒可以执行的计算数量级为十的十七次方。这些超级计算机使天文学家可以创建模拟的宇宙，并将其与大规模巡天的观测结果进行比较。

5.7

天文学是一门多采用跨国合作的全球化学科，天文学数据和研究成果可以被无障碍共享

大多数专业天文台提供的数据是公开可用的。在职业生涯中，天文学家通常会在不同的国家工作。从望远镜和仪器的建造到协调观测，大型天文项目通常是在不同国家的研究人员和研究所之间合作完成的。天文学是全球化和国际化的，我们都是“地球飞船”的机组人员，在同一片天空下探索宇宙。

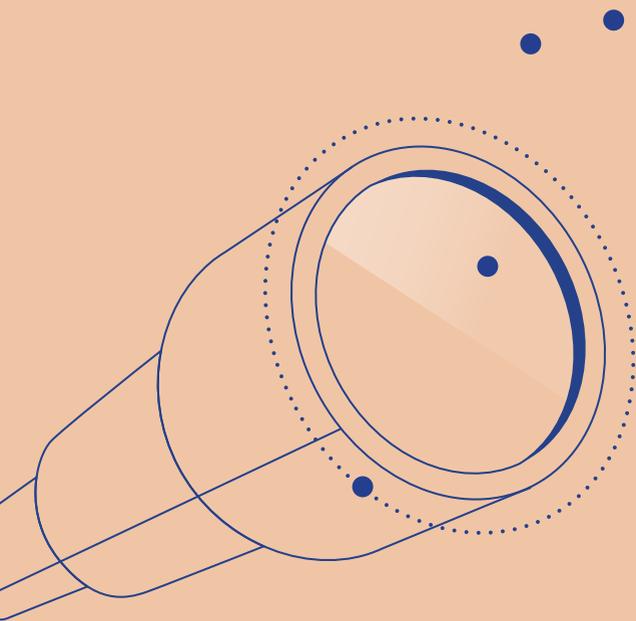
5.8

大量航天器被发送到太空以探索太阳系

为了探索 and 了解我们在宇宙中的位置，我们一直在向整个太阳系发送探测器。其中一些绕行星，卫星甚至是小行星运动，而另一些则降落在这些物体上。在太阳系中，探测器曾探访（着陆，绕行或飞越）过所有行星、矮行星冥王星和谷神星、我们的月亮以及木星和土星的其他卫星、彗星、小行星。

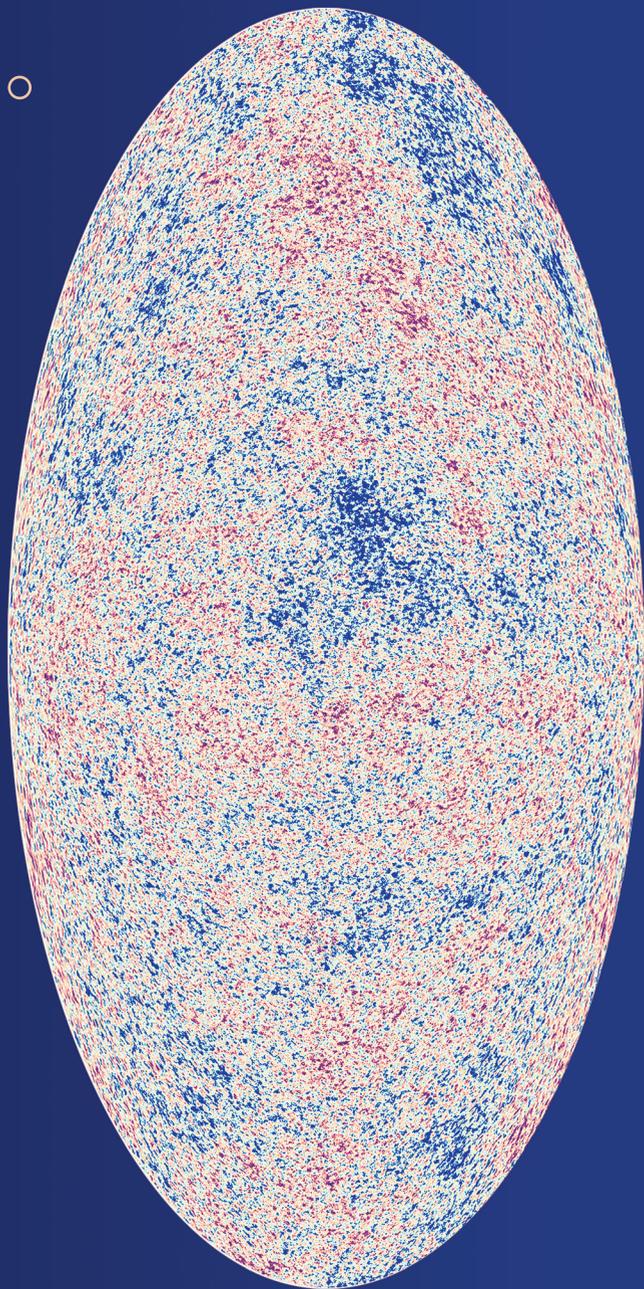
6

宇宙学是一门将宇宙作为整体进行研究的学科



一张宇宙微波背景辐射(CMB)的图像，这是宇宙38万岁时留下的遗迹。

供图: ESA and the Planck Collaboration



6.1 宇宙约138亿岁

根据现代观测和最新的宇宙早期演化模型，宇宙的年龄约为138亿年。宇宙学是研究宇宙的演化及其结构的研究领域。

6.2 宇宙在大尺度上是匀质且各向同性的

在最大尺度上（大约大于3亿光年），宇宙中的物质似乎是均匀分布的。由于其密度和结构几乎均匀，在任何位置（均匀）和每个方向（各向同性），宇宙的外观都几乎相同。

6.3 我们只能看到过去

由于光速有限，我们从不能看到物体现在的样子，而是只能看到物体过去的样子。我们只能看到大约八分钟前的太阳，因为来自太阳的光大约需要八分钟才能到达地球。我们看到的仙女座星系大约来自250万年前，因为它的光需要很长时间才能到达地球。就像这样，天文学家一直在观察过去，甚至可以追溯到138亿年前。也正因如此，观察各种距离的天体为我们提供了一个宇宙历史的横截面。而平均而言，宇宙在所有地方都具有相同的属性，因此该横截面提供了有关我们自己历史的宝贵线索。

6.4 我们只能直接观测到宇宙的一小部分

由于光在太空中以有限的速度传播，我们尚无法观测到宇宙的遥远区域。原因很简单，这些区域的光还没有足够的时间到达地球上的探测器。我们只能看到位于“可观测宇宙”内的物体，这个区域囊括了所有发出的光有足够时间到达我们的物体。十分有趣的是该区域边界附近的那些非常远的物体。我们现在看到的还是它们在宇宙诞生时的样子

6.5 宇宙主要由暗能量和暗物质组成

恒星、我们呼吸的空气、我们的身体以及我们周围看到的一切均由原子组成，而原子本身由质子，中子和电子组成。这些我们日常生活中接触到的东西被称为重子物质。观测证据表明，它们仅占宇宙总成分的5%。实际上，宇宙主要由未知的能量（称为“暗能量”，约68%）和不寻常的物质（称为“暗物质”，约27%）组成。科学家在积极研究这些所谓的“暗能量”和“暗物质”的性质，特别是观察它们与重子物质间的相互作用。

6.6 宇宙在加速膨胀

观测证据表明，由于暗能量的作用，宇宙正在加速膨胀。随着宇宙在大尺度上以相同的方式扩张，星系团们在彼此远离。在现代模型中，星系团之间距离的增长都与通用比例因子成一定比例。观测数据表明，一个星系离我们越远，它远离我们的速度就越快（哈勃-勒梅特定律）。在其他星系中的外星人（假如存在）看来，也是相同的结果。束缚系统（例如星系团、受自身引力约束的星系群、或星系本身）不受宇宙膨胀的影响。在星系团和星系群中，单个星系可以相互绕转，也可以彼此碰撞。银河系和仙女星系便是一个碰撞的例子。

6.7 宇宙的膨胀使远距离星系的光红移

宇宙膨胀影响着宇宙中光的性质。星系距离我们越远，我们接受到的光红移便越强。这种宇宙学红移可以直接理解为随着宇宙标度因子的增加，光的波长也会增加，就像被拉长了一样。这就是为什么我们只能在红外或无线电波段中观察到遥远的星系，以及只能在微波范围内探测到宇宙微波辐射。

6.8 自然法则（如重力）在地球和宇宙中是相同的

人们已经进行了许多测试来检验物理定律（例如，重力、热力学和电磁学的定律）在地球和遥远的宇宙中是否相同。到目前为止，所有这些测试都表明物理学的基本定律适用于整个宇宙。

6.9

大宇宙的大尺度结构由纤维，片和巨洞组成

对宇宙的大规模红移巡天显示，在大约几亿光年的大尺度上，宇宙类似于一个三维的由纤维和巨洞构成的海绵网，因此被天文学家称为“宇宙网”。宇宙网的丝状和片状结构中包含着数百万个星系。这些大型结构的宽度超过数亿光年，通常厚达数千万光年。丝状和片状结构在巨洞周围形成边界，直径约为一亿光年，仅包含非常少量的星系。

6.10

宇宙背景辐射让我们能够探索早期宇宙

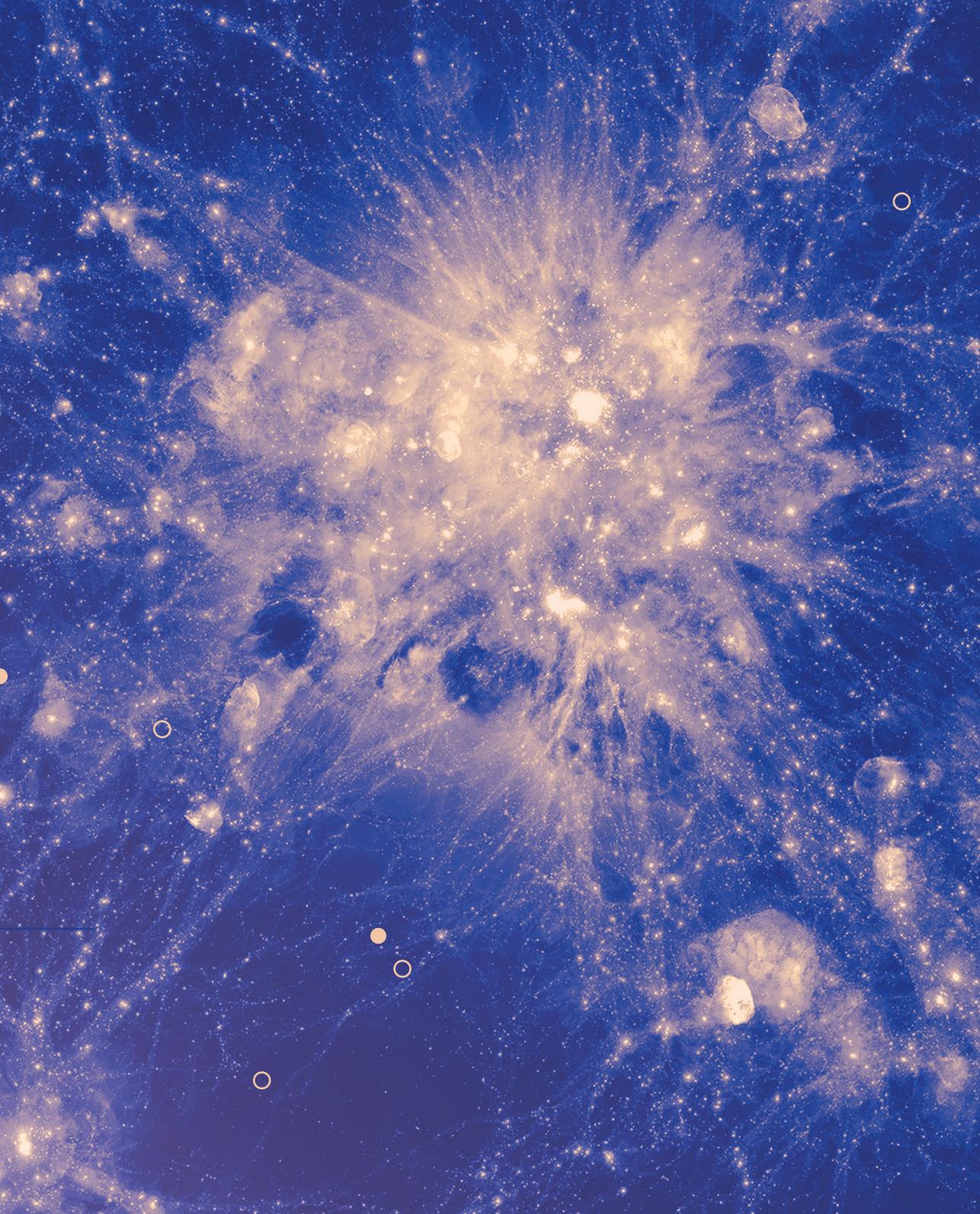
我们可以观察到的最古老的电磁辐射是从宇宙中最远的区域发出的，那就是宇宙微波背景辐射。它是炽热而稠密的早期宇宙遗留下来的痕迹，包含着宇宙仅有大约380,000岁时的信息。宇宙微波背景使我们能够测量整个宇宙的主要特征：暗物质、重子物质和暗能量的含量，宇宙的几何形状及其当前的膨胀率。宇宙微波背景表明宇宙几乎是各向同性的，因此也为其均匀性提供了间接证据。

6.11

大爆炸模型可以解释宇宙的演化

根据迄今为止最好的证据，我们周围看到的所有物质和能量在130亿年前都聚集在一个比原子还小的空间里。宇宙从这种密度、温度极高的阶段（大爆炸阶段）扩展到现在的状态。LambdaCDM是用于描述正在扩展的宇宙的模型，其中Lambda代表宇宙的暗能量部分，而CDM代表冷暗物质。宇宙大爆炸并不是像一个真正的爆炸一样将物质扔到之前就存在的空白空间。而是从一开始，所有的可用空间便都充满了物质，随着空间的扩大，平均物质密度一直在下降。自从星系们形成以来，它们之间的平均距离一直在增加。“大爆炸”模型对我们当前的宇宙做出了许多可检验的预测，其中大部分已通过观测数据得到证实。

一个对一部分宇宙演化的大尺度宇宙学模拟，同时显示了暗物质密度和气体速度
供图: The Illustris Collaboration





我们生活在太阳系的一个行星上

一些系外行星围绕恒星TRAPPIST-1转动的艺术想象图，这颗恒星周围至少有7颗地球大小的岩质行星。
供图: ESO/M. Kornmesser



7.1 太阳系在约46亿年前形成

我们可以通过陨石的放射性计年确定太阳系的年龄。这个年龄也与月球岩石样本和地球表面发现的最古老岩石的年龄一致。

7.2 太阳系由太阳，行星，矮行星，卫星，彗星，小行星及流星体组成

我们的太阳系由一颗被称为太阳的中央恒星，和在引力作用下绕太阳旋转的所有天体组成。这些天体包括行星及其天然卫星、矮行星、小行星、流星体和彗星。太阳占太阳系总质量的99.87%以上。

7.3 太阳系的八大行星

根据2006年国际天文学联合会的决议，一个物体要想成为行星，它必须满足三个标准。第一，它必须围绕太阳运行；第二，行星必须有足够的质量，使其能在自身引力作用下形成近似球形；最后，它的引力必须有能力清空其轨道邻域，并与其他物体分开。若不是卫星且仅符合前两条规则的物体被称为矮行星。从太阳的位置开始，我们太阳系中的行星是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星和海王星。

7.4 太阳系的矮行星

月球的直径约为3474公里，矮行星都小于这个尺寸。冥王星是目前最大的矮行星，其次是阋神星、妊神星、鸟神星和谷神星。他们都是固体星球，拥有冰冷的表面，并且具有相似的成分。谷神星位于火星和木星轨道之间，而其他四颗矮行星则位于海王星轨道之外的埃奇沃斯-柯伊伯带。

7.5 行星分为类地行星（岩石）和类木行星（气体）

离太阳最近的四颗行星被称为类地行星。这些行星都具有坚固的表面，并且主要由岩石组成。水星没有大气层，但与地球相比，金星的大气层最稠密，火星的大气层最稀薄。与较小的内行星相比，被称为气态巨行星的四颗外行星要大得多。这些行星主要是气态的（氢和氦），它们的大气非常稠密。所有的气态巨行星周围都有环。土星拥有迄今为止最令人印象深刻的光环系统，即使通过非常小的望远镜也能看到它。

7.6

一些行星有许多天然卫星

除水星和金星外，所有行星都至少有一颗天然卫星。地球是太阳系中唯一只有一颗卫星的行星，而火星有两颗卫星。与类地行星不同，所有的气态巨行星都有大量的物体围绕它们运行。木星和土星各有超过75颗已确认的卫星，是拥有最多天然卫星的行星，其次是天王星和海王星。

7.7

地球是围绕太阳运行的第三个行星，有一个自然卫星——月球

我们的地球家园是从太阳算起的第三颗行星，其轨道几乎是圆形的。地球的大气层主要由氮和氧组成，其表面70%以上被水覆盖，平均温度约为15摄氏度。月球是地球唯一的天然卫星，也是人类目前踏上过的唯一地外天体。

7.8

在太阳系形成初期，有上百万个小行星被遗留下来

太阳系形成初期的残余物主要存在于火星和木星轨道之间的小行星带，以及位于海王星轨道之外的埃奇沃思-柯伊伯带。这些小行星的大小从大约10米到1000千米不等，太阳系中所有小行星的质量总和比月球的质量还小。

7.9

彗星是个脏雪球，在被太阳加热时会形成彗尾

彗星主要由冰组成，但也含有尘埃和岩石物质。由于太阳风和辐射，当彗星接近太阳时，冰会挥发或蒸发。这会产生两条尾巴——一条绵延数百万公里，向彗星运动相反方向略微弯曲的尘埃尾巴，以及一条直的等离子尾巴，通常肉眼不可见。彗星的尾巴总是指向与太阳相反的方向，与彗星移动的方向无关。大多数彗星被认为来自两个特定区域：位于海王星轨道之外的埃奇沃思-柯伊伯带和位于太阳系边缘的奥尔特云。

7.10

太阳系的边界叫做日球层顶

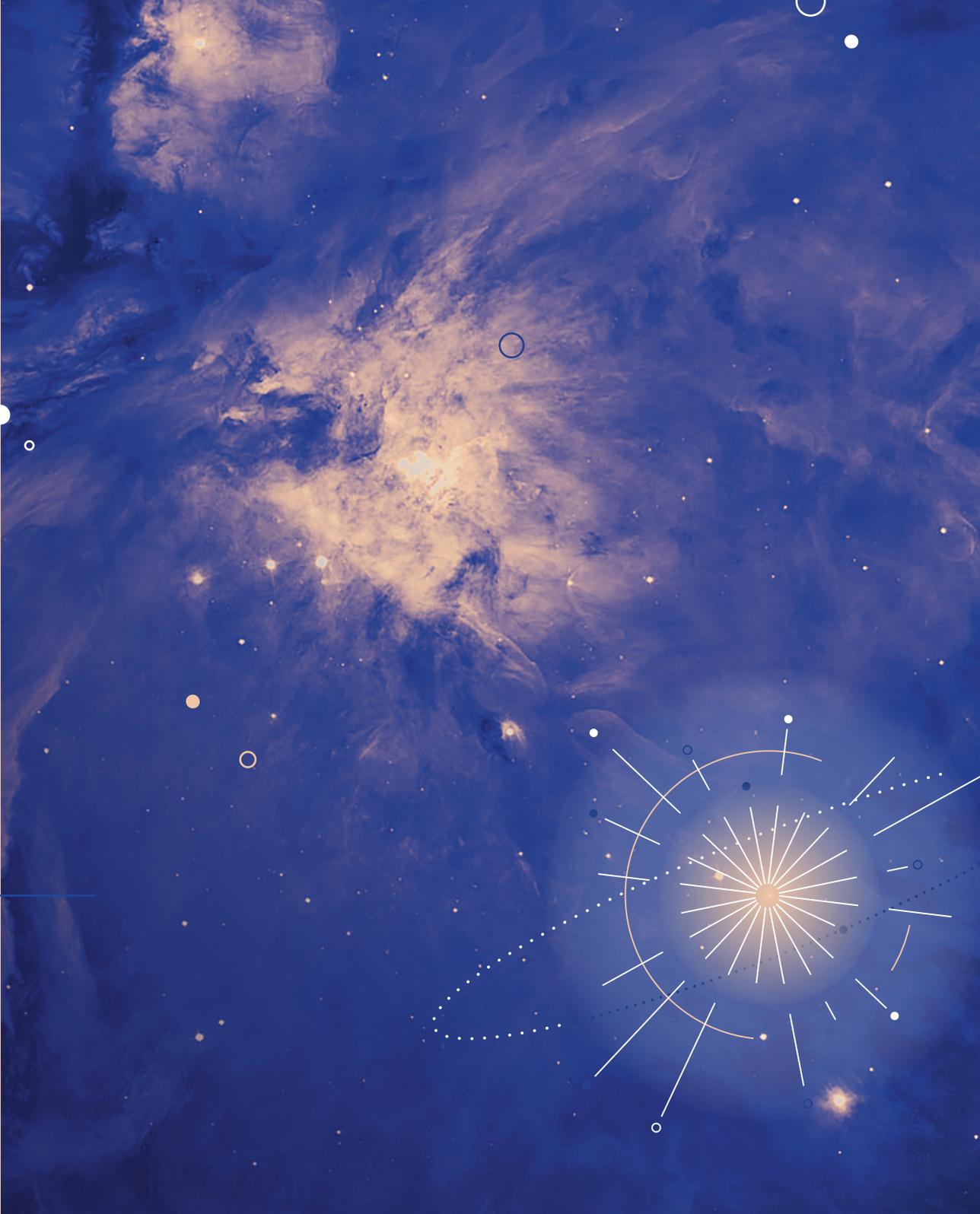
太阳的磁场远远超出其表面，产生了一个包围整个太阳系的磁场泡泡。太阳磁场与其他恒星磁场相互作用的区域被称为日球层鞘。这个过渡区域扰动不定的外边界称为日球层顶。在日球层顶之外是星际空间。2012年，旅行者1号航天器成为了第一个穿越日球层顶的人造物体。



我们由星尘组成

猎户座星云(M42)，距离地球最近
(约1500光年)的大质量恒星形
成区域。

供图: NASA, ESA, M. Robberto
(Space Telescope Science Institute/
ESA) and the Hubble Space
Telescope Orion Treasury Project
Team



8.1 恒星通过内部核反应产生能量发光

恒星由非常热的等离子体组成（等离子体是一种气体，其大部分的电子和原子核是分离开的）。这些等离子体被自身的引力束缚在一起，形成恒星。恒星中心的核反应持续输出能量。核反应最初通过质子-质子链（更大质量的恒星会进行碳-氮-氧CNO循环）将氢聚合成氦，进而再聚合成更重的元素。恒星中心的核聚变释放的能量产生了巨大的辐射压，这些压力抵消了恒星在自身引力作用下坍塌的趋势，使恒星得以保持稳定。通过这种方式，大多数质量与太阳相似或更少的恒星可以保持数十亿甚至数百亿年的稳定。

8.2 恒星从包含大量尘埃和气体的星云中诞生

巨大的冷分子云的引力坍塌催生了恒星。云团坍塌时会分裂成多个核，这些核的中心区域变得越来越致密和炎热。当温度和压力超过临界值时，核聚变就被点燃了，标志着一颗恒星的诞生。这颗年轻的恒星最初被一个由尘埃和气体组成的原行星盘所包围。在数百万年的时间里，这个圆盘分化为行星和更小的天体。

8.3 太阳是离地球最近的恒星

太阳是距离地球最近的恒星，赤道直径约为140万千米。其体积之大，可以容纳大约130万个地球。尽管与地球相比，太阳是巨大的，但宇宙中还有更大的恒星。超巨星大犬座VY的直径约为太阳直径的1400倍，这是迄今为止已知的最大恒星。假如将其放置在太阳系的中心，大犬座VY的表面将延伸到木星的轨道之外。也有比太阳小得多的恒星。最近的恒星——比邻星是一颗直径约20万千米的红矮星，仅仅是地球直径的16倍。

8.4 太阳是一个动态的恒星

虽然太阳看起来很均匀，但它的表面可能会存在一些黑斑，被称为黑子。这些太阳黑子磁场强，温度低，因此看起来很暗。太阳产生的黑子时多时少，约11年为变化周期。有时，太阳的磁场会被扭曲，产生大量能量，并以光和粒子爆发的形式释放这些能量。这些爆发被称为耀斑或日冕物质抛射。但即使在太阳平静的时候，它也会不断地向太空喷射热磁化气体，大约每秒15亿千克。这些太阳风弥漫在太阳系中并与行星相互作用。其他恒星也会产生耀斑和星风。

8.5 恒星的顏色由它的表面溫度決定

恒星表面的溫度可以在幾千攝氏度到五萬攝氏度之間。熾熱恒星的輻射大部分在電磁波譜的藍色和紫外線區域（短波長），因此看起來是藍色的。較冷的恒星看起來偏紅，因為它們在電磁光譜的紅色和紅外區域（長波長）輻射掉了大部分能量。

8.6 恒星之間的空间可能空曠無物，也可能存在能夠孕育新恒星的气体云

恒星之間的空间存在着微量物質，包含氣體、塵埃和高能粒子（“宇宙射線”）。這些物質被稱為星際介質。這種介質在星系的各個位置密度不同。然而，即使是在星際介質密度最高的區域，其密度仍然比實驗室中能製造的最佳真空的密度小一千倍。

8.7 恒星的壽命循環很大程度上由其初始質量決定

計算機模擬告訴我們第一批恒星的壽命可達數百萬年。相比之下，類似於太陽的恒星的平均壽命約為100億年。低質量的紅矮星可以存活數萬億年。一顆質量與太陽相似的恒星最終會演化成一顆紅巨星，然後將其大部分質量拋向太空，留下一顆被行星狀星云包圍的致密白矮星。一顆至少8倍太陽質量的恒星會演化成一顆紅超巨星，然後在超新星爆炸中，留下一顆中子星或一個恒星级黑洞。

8.8 超大質量恒星在生命結束後會形成黑洞

一旦有東西穿過黑洞的事件視界，黑洞極強的引力場會阻止其逃逸，甚至包括光。事件視界是包裹着黑洞的邊界面，在那裡，逃離黑洞引力場所需的速率將大於光速。理論模型預測，黑洞的中心是一個奇點，物質密度和時空曲率接近無窮大。恒星级黑洞的質量相當於幾十個太陽的質量，其半徑從幾千米到幾十千米（取決於質量）不等。



8.9

恒星死亡后留下的物质孕育新恒星与其行星系

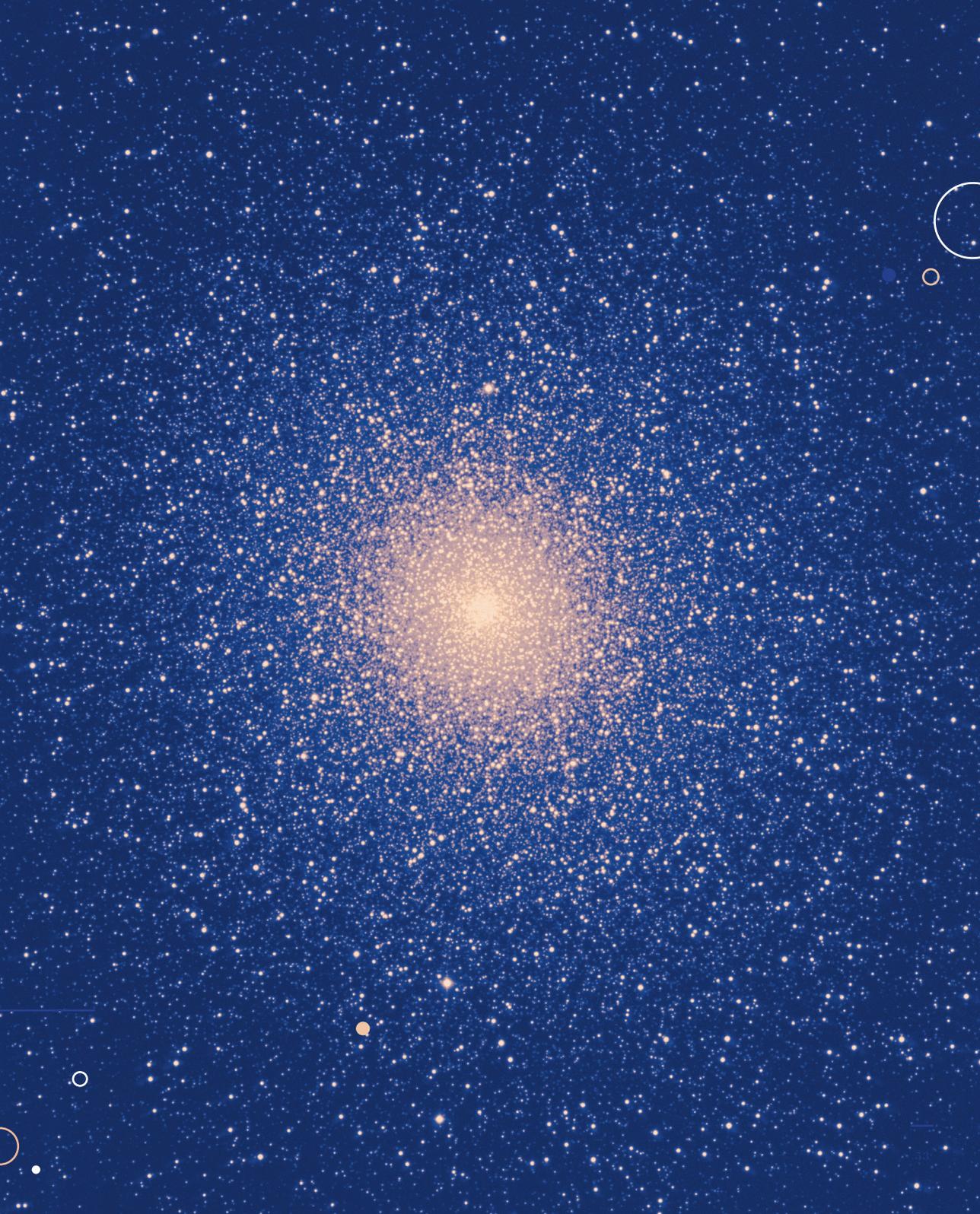
除了氢、大部分的氦和少量的锂，目前宇宙中的所有元素都是通过恒星内部的核聚变产生的。类似太阳的低质量恒星会产生重达氧气的元素，而大质量恒星可以产生比氧重、甚至重达铁的元素。比铁重的元素，如金和铀，是在高能超新星爆炸和中子星碰撞的过程中产生的。当恒星死亡时，它们将大部分质量释放到星际介质中。从这些物质中又会诞生新的恒星，形成了宇宙的循环往复。

8.10

人体中的部分原子来自早期恒星

除了氢、氦和少量锂以外，各种元素主要在恒星内部产生，并在恒星生命的最后阶段被释放到太空中。这是构成我们身体的大部分元素的起源，例如骨骼中的钙、血液中的铁和DNA中的氮。同样，那些构成其他动物、植物以及我们周围大部分事物的元素都是在数十亿年前由恒星产生的。

从地球看到的第二大且第二明亮的球状星团，或密集星团。它叫做NGC 104或47 Tucanae。
供图: ESO

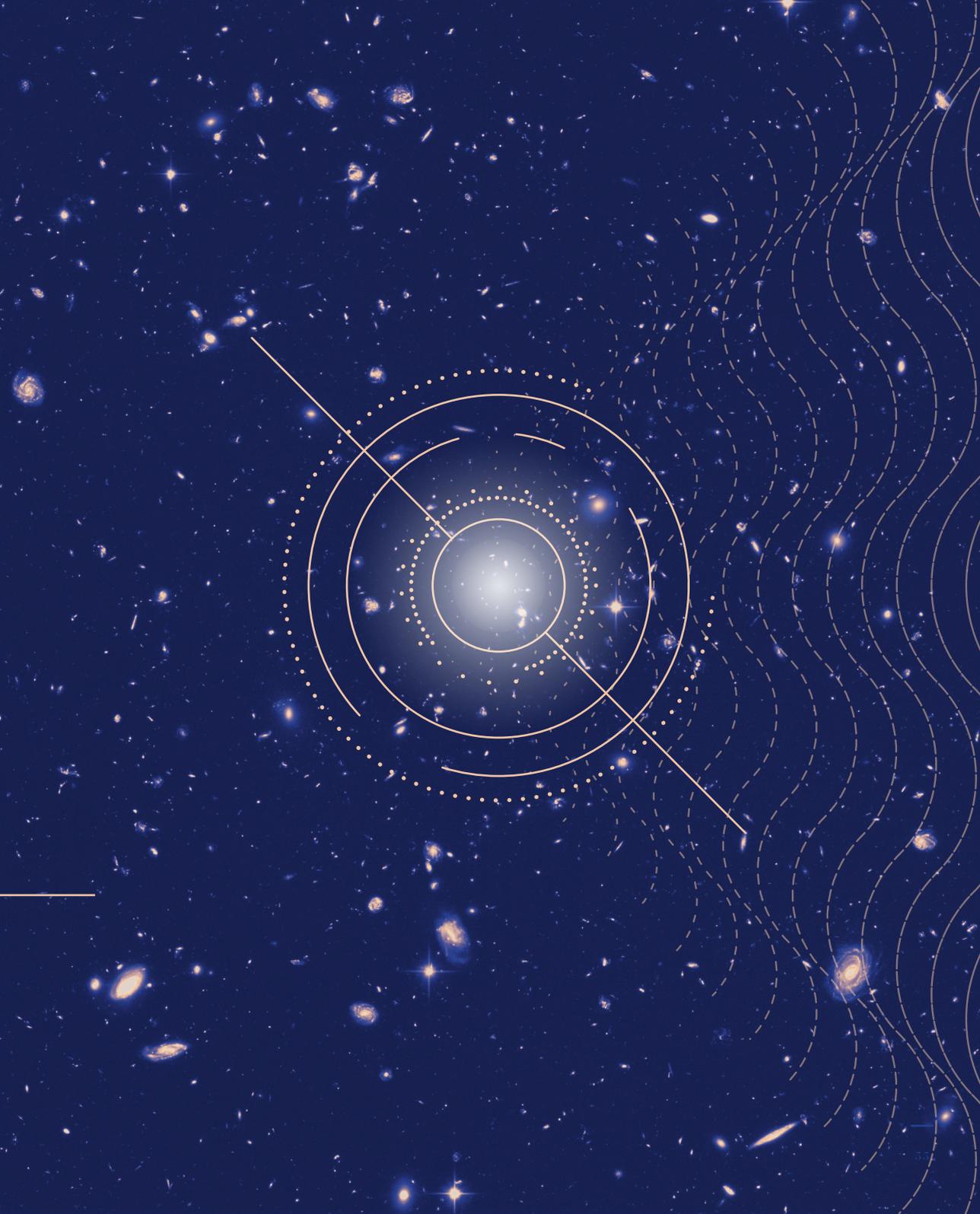


9

宇宙中有上亿个星系

哈勃极深场，宇宙的一个小区域(约为满月直径的1/10)的快照，包含了近10000个星系。

供图: NASA, ESA, and S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team



9.1 星系是一个包含了恒星、尘埃和气体的大系统

一个星系包含几百万到几千亿颗恒星，通过引力束缚在一起。一个星系的恒星可以是星团的一部分，也可以是遍布整个星系的大量离散的恒星的一部分。此外，星系还包含恒星残骸、尘埃、气体和暗物质。许多星系的中心都有一个超大质量黑洞。

9.2 星系似乎包含了大量暗物质

暗物质是一种不发射电磁辐射的物质，也不与电磁辐射相互作用，因此无法通过直接观察看到。虽然暗物质是看不见的，但它有质量，它的存在是从它对可见物体产生的引力作用推断出来的。这些引力的作用包括对可见物体的运动的影响，或由于引力透镜导致的可见物体图像扭曲。星系被一个更大的暗物质晕包围——从某种意义上说，我们所看到的星系只是冰山一角。

9.3 星系的形成是一个演化的过程

在宇宙历史的最初几亿年里，暗物质演化成许多大而密集的区域，称为暗物质晕。当氢气和氦气落到这些晕上时，第一批星系和第一批恒星就形成了。更大的旋涡星系，如银河系，通过吸引、合并许多较小的星系进行演化。当更多大质量星系碰撞合并时，就会形成大的椭圆星系。根据它们的气体储量，以及通过恒星爆炸或星系中心运动产生的热量的不同，这些星系以或快或慢的速度形成新的恒星。

9.4 三种主要星系类型为棒旋、椭圆及不规则星系

根据视觉外观，星系被分为旋涡星系、椭圆星系和不规则星系。这些类型的星系不仅外形不同，其内在物质也不同。旋涡星系的旋臂是平的，主要由明亮的年轻恒星和大量气体、尘埃形成。相比之下，椭圆星系包含的气体较少。它们的恒星大多年老，呈卵形或球形分布。包括大多数矮星系在内的一些星系没有标准的形状，因而被称为不规则星系。

9.5 我们生活在一个叫银河系的棒旋星系中

我们的银河系是一个螺旋星系，中心呈棒状结构。太阳系位于距银河系中心约25,000光年的旋臂上。银河系的可见部分是由直径约100,000至120,000光年、厚度仅约2,000光年的圆盘状恒星集合而成。在这个圆盘中，年轻的恒星和尘埃形成了旋臂。在漆黑的夜晚，从一个合适的黑暗位置，我们可以看到银河盘内1000多亿颗恒星中的一小部分，就像一个在天空中拱起的巨大的朦胧光带。这是我们从银河系内部看到的景象。

9.6 星系的旋臂由气体和尘埃堆积而成

一个被广泛接受的理论是，旋臂是由星系盘内运动的密度波形成的，这导致恒星、气体和尘埃堆积在一起，就像繁忙高速公路上的交通堵塞一样。星系盘中更密集的区域就是旋臂。这些高密度区域包含了大量气体和尘埃，对新恒星的形成至关重要。因此，旋臂包含许多年轻的明亮恒星，表明这些区域恒星的形成率很高。

9.7 大多数星系中心都有一个超大质量黑洞

一个典型的星系中有大约1亿个恒星级质量的黑洞。这类黑洞是大质量恒星在结束生命时的超新星爆炸中形成的。大多数星系的中心存在着超大质量黑洞，他们是质量最大的黑洞类型，其质量在几百万到十亿太阳质量之间。银河系中心有一个超大质量黑洞，其质量约为四百万个太阳质量。第一张直接拍到的黑洞事件视界轮廓的图像是在2019年通过结合来自世界各地的八台射电望远镜的数据获得的。该黑洞位于巨大的椭圆星系M87中心。



9.8 星系间距离可能极为遥远

距离银河系最近的星系是大犬矮星系，距离约25,000光年。那些遥远的星系在我们看来显得非常模糊，因此很难被观察到。若想获得遥远星系的图像，需要使用具有高分辨率的大型望远镜，并进行长时间曝光以收集足够的从这些物体发出的光线。

9.9 星系群

星系并非随机散布在整个宇宙中，通常的星系都是星系团的一部分。这些星系团由数百个甚至数千个星系组成，通过引力束缚在一起。星系团本身也被束缚在被称为超星系团的更大结构中。银河系是本星系群的一部分，其中包括超过54个星系。本星系群是室女座星系团的外围成员，也是室女座超星系团的一部分，而室女座超星系团又是拉尼亚凯亚超星系团的一部分。

9.10 星系间通过引力相互作用

星系之间的相互作用会影响它们的外观和演化。过去人们认为一种类型的星系可以在其整个生命周期内演化为不同的类型，但目前的科学知识表明，引力作用才是某些类型星系形成的原因。例如，椭圆星系可能是由多个大型前身星系合并而产生，合并还可能会在相互作用的星系中诱发猛烈的恒星产生过程。。

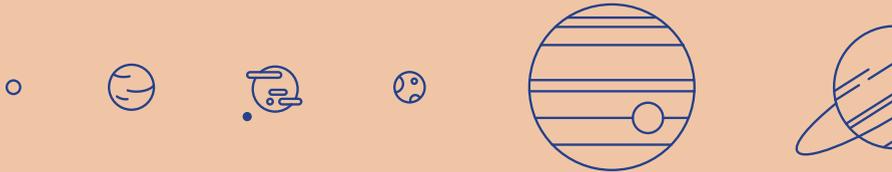
半人马座A的彩色合成图像，揭示了星系中心黑洞周围的喷流和瓣。
供图: ESO/WFI (Optical); MPlfR/ESO/APEX/A.Weiss et al. (Submillimetre); NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al. (X-ray)





10

我们在宇宙中并不孤单



这是卡西尼号宇宙飞船拍摄的一张
照片，显示了从15亿千米外的土星
上看到的地球和月球。
供图：NASA/JPL-Caltech/ Space
Science Institute



10.1 有机分子已在地球外被探测到

碳元素是组成生命的基本成分，有机分子都离不开它。对星际介质的观察表明，太空中存在着有机分子，例如简单氨基酸的前身。在彗星和陨石中也发现了包括氨基酸在内的有机分子。这些分子很可能早已存在于形成太阳系的气体和尘埃中了。

10.2 地球上的某些生命体能够在极端环境下生存

虽然地球上的大多数生命对环境条件都很敏感，但在极端环境中也生活着一些生物体，即极端微生物。这表明生命可以存在于最意想不到的地方。这些生物体对极端温度、压力、酸碱度和辐射具有很强的抵抗力。有些生活在沙漠、极地、深海、地壳内部甚至火山中。已知的最有适应能力的生物之一可以在真空条件下生存。当谈到其他具有相当恶劣的环境的行星或卫星上是否存在生命的可能性时，这些事实是使得人们保持谨慎乐观的理由。

10.3 潜在的液态水的痕迹证明火星上早期可能存在生命

正如我们所知，液态水是生命发展的关键因素。因此，在其他行星及其卫星上寻找液态水一直是寻找外星生命的重要环节。近年来，在火星表面发现了可能属于液态水的痕迹，使得长期以来关于火星上是否存在过水的争论更加激烈。尽管目前火星上存在液态水的证据存在激烈的争议，但这些痕迹表明火星上可能曾经存在过简单的生命形式。如果目前火星地表深处存在液态水，那么就有可能存在生命。

10.4 太阳系中少量卫星拥有宜居环境

在围绕着太阳系行星运行的众多卫星中，有些与类地行星具有相同的特征，例如浓密的大气和火山活动。木卫二是木星最大的卫星之一，它的冰冻表面下可能是液态海洋。科学家们认为，这片海洋可能为简单的生命形式提供了合适的生存条件。另一个可能存在简单生命的卫星是土星的最大卫星土卫六。土卫六富含复杂的有机化合物，有浓密的大气层，表面有液态甲烷，还可能拥有地下海洋。

10.5 人们发现了大量围绕其他恒星运转的行星，我们称之为系外行星

人类已经发现了数千颗围绕着除太阳外的恒星运行的行星，称为系外行星。已发现的系外行星数量在越来越快地增加着，并且我们现在已经能够描述太阳附近的系外行星的特征。

10.6 系外行星多种多样，且多以行星系的形式存在

系外行星的物理和轨道特性差异很大。质量从水星质量到数倍木星质量不等，半径范围为数百公里到数倍于木星的半径。系外行星的轨道周期可以短至几个小时，其轨道偏心率可以与太阳系彗星轨道的偏心率一样高。大多数系外行星都是由围绕同一颗恒星运动的数颗行星组成的行星系的成员。

10.7 人们在寻找另一个地球的征程上已看到曙光

通过提高探测方法的精度，我们现在能够找到质量和半径与地球相当的行星。虽然我们的探索有限，但目前已发现太阳附近有很多系外行星。其中一些行星正好处在围绕主星的被称之为宜居带的区域内。根据定义，那些在宜居带内运转的行星从其恒星接收的辐射适量，以允许其表面存在液态水。

10.8 科学家正在寻找地外文明

一种寻找外星文明的方法是寻找任何已知天文现象都无法自然产生的信号。对此类信号的系统性搜索被称为地外文明探索（SETI）。到目前为止，还没有发现这样的信号，但SETI依旧在持续扫描天空，以寻找来自地球以外的高级生命的任何线索。

11

光污染影响人类及许多动植物

从国际空间站拍摄的地球夜景，展示了来自韩国和日本的人造灯光。
供图：NASA



11.1

光污染影响人类及许多动植物

数百万年来，地球上的生命都在没有人造光的环境中发展演化，大多数物种都适应了昼夜活动。自从电被发明以来，人类越来越多地在夜晚使用人造灯，造成了严重的光污染，对地球环境、动物行为和人类健康产生了影响。大多数动物种群依赖于昼夜模式。从生理和繁殖到定位和捕食，人造光能够扰乱全球的野生动物种群。我们也正在失去我们祖先曾享受过的黑暗天空。现在在许多城市和郊区，晚上几乎不可能看到银河。

11.2

环绕地球的轨道上有许多人造物体残骸

随着太空技术的发展，人类已经能够使用火箭将无数物体送入太空。自从进入太空探索时代以来，人类制造的太空碎片数量急剧增加，例如火箭部件或旧卫星。目前估计有500,000块碎片在围绕地球飞行，它们也被称为太空垃圾。因为太空垃圾在高速飞行，它们与航天器或卫星的任何碰撞都可能造成严重损坏。这对于国际空间站和其他载人航天器来说尤其危险。空间碎片的监测和卫星、碎片的收集技术是一个活跃的研发领域。

11.3

人们监测着可能造成危险的太空物体

在太阳系形成的早期阶段，新形成的行星经常被小行星等较小的天体撞击。地球表面的一些陨石坑和月亮表面的所有陨石坑都直接证明了那些撞击是非常危险的。尽管它仍然只是一个研究和辩论的主题，但人们认为那些不会飞的恐龙和大量其他物种的灭绝可能是由于一次大约发生在6500万年前的行星撞地球事件。虽然现在发生这种规模的撞击的可能性非常低，但监测所有可能对地球上的生命构成潜在威胁的天体是非常重要的。在未来几年时间里，航天局、天文台和其他机构应当有能力识别出所有对地球有潜在威胁的一千米大小或更大的小行星。目前已知的小行星都不会与地球发生碰撞。

11.4 人类对地球环境有极大影响

尽管工业化给社会带来了许多好处，但也造成了地球上的一些环境问题。通过砍伐森林，污染河流、海洋和大气，我们正在破坏地球上生命所必需的清洁空气、食物和水的重要源头。人类已经导致无数物种的灭绝，并继续不断开采濒危环境中的矿物和能源。人为引起的气候变化（全球变暖）正在对我们的环境产生巨大的影响，这使得人类和许多物种处于危险之中。

11.5 气候和大气已被人类活动严重影响

如果地球没有大气层，它将是一个冰冷的世界，平均温度为 -18°C 。然而，大气中的温室气体部分吸收了从地面散发的热辐射并将其辐射回地球表面，这使地球变得适合居住。人类活动已经大大增加了地球大气中主要温室气体的含量，这造成了地球能量收支的不平衡。这些温室气体的增加导致更多的热量被困在地球上，使平均温度升高。地球无法通过其自然系统将多余的能量辐射出去，因此对能源不平衡非常敏感的全球气候模式被迫改变。

11.6 保护我们的地球需要全球观

每个人都是地球的居民。全球共同管理、共担责任的理念有助于我们理解，每个人都可以通过团体或个人行为去解决全球性的问题。为我们的子孙后代保护地球是非常必要的。目前，地球是宇宙中唯一已知的可以存在生命的行星。

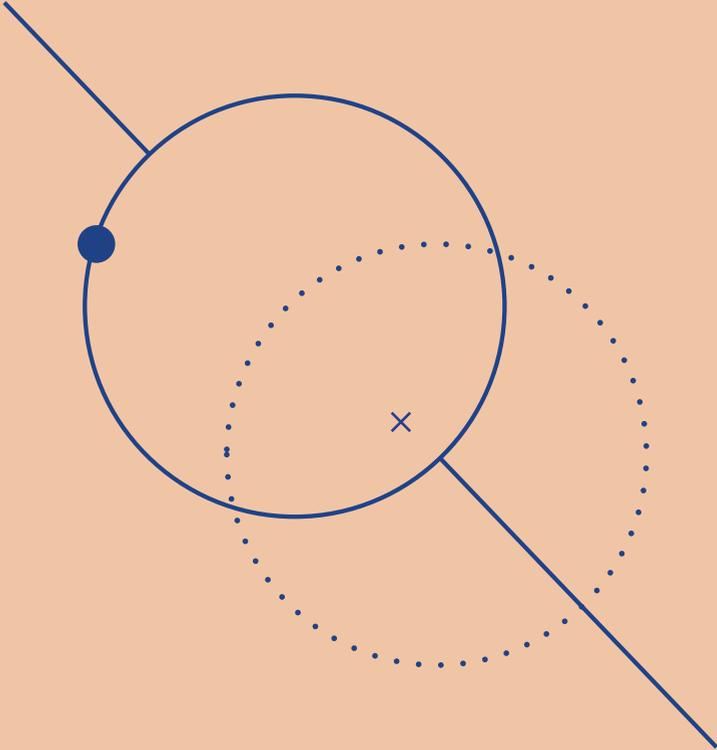
11.7 天文学提供了独特的宇宙学视角，促进地球居民的团结

地球上所有的人都生活在同一片天空下，并共同分享着宇宙深处的景色。在从太空拍下的照片中，地球像个“蓝色大理石”，这让我们对我们共同乘坐的这艘宇宙飞船有了更深的认识。从地球之外看，各个国家之间的边界都消失了。来自旅行者2号和卡西尼号等航天器拍摄到的图像让我们意识到这个“淡蓝点”仅仅是浩瀚宇宙中的一粒尘埃。

x

x

x



x

x

x

x

x



Universiteit
Leiden
The Netherlands

