

天文面面觀

— 人人必備的天文學知識



天文面面觀

——人人必備的天文學知識

作者

João Retre (Institute of Astrophysics and Space Sciences, Portugal), Pedro Russo (Leiden University, the Netherlands), Hyunju Lee (Smithsonian Science Education Center, USA), Eduardo Penteadó (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)

設計: 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), Kshitij Chavan (IAU-OAE Center India, IUCAA, Pune)

翻譯

王思雨 (北京天文館)。校對: 曹軍 (北京天文館)

2020年6月·第二版知識產權: 國際知識共享署名4.0 (CC BY 4.0)



致謝

感謝 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) 為此版本提供了建議。João Retre 感謝葡萄牙科學技術基金會提供的研究經費IA2017-09-BGCT 和UID/FIS/04434/2013。Pedro Russo 感謝 Hidehiko Agata 教授在NAOJ Sokendai “Astronomy Literacy” 項目中提供的支持。NOAO是由大學天文學研究協會(AURA)在與美國國家科學基金會的合作協議下運營的。我們亦感謝社會各界在討論環節中對這份文件的建議與意見。感謝董宇 (萊頓大學) 在翻譯過程中做出的貢獻。

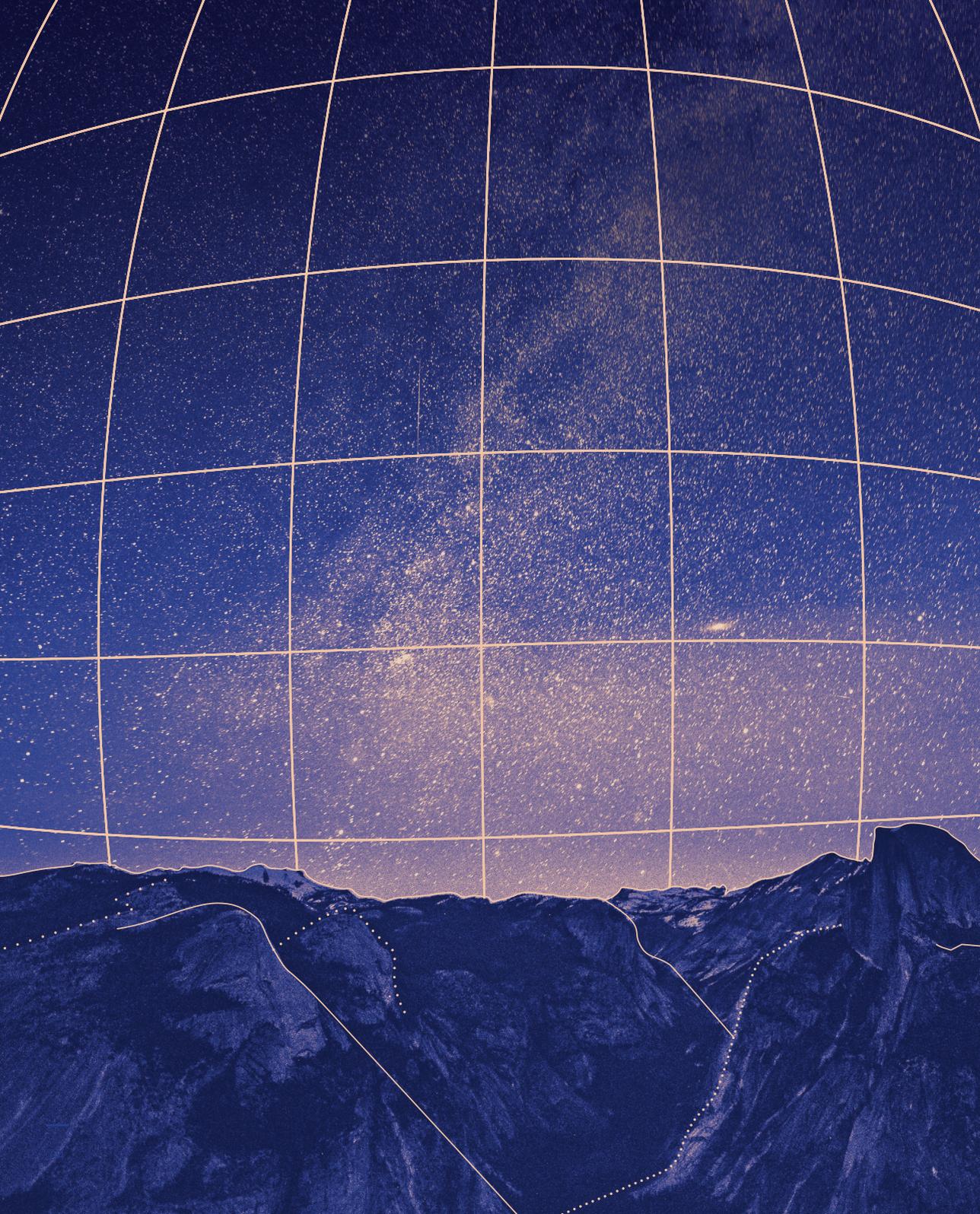
天文學教育綱要 是萊頓天文台、萊頓大學(荷蘭)和天體物理和空間科學研究所(葡萄牙)在國際天文學聯合會委員會C1:專業素養和課程開發工作組框架內的一個項目

國際天文學聯合會C1委員會天文學教育和發展: 主席: Paulo Bretones

國際天文學聯合會C1工作組天文學素養和課程開發:

天文面面觀是國際天文學聯合會天文學教育項目





目錄

06	天文面面觀
08	簡介
10	對部分天文“天文面面觀”的簡要介紹
12	綜述
18	天文學——人類歷史上最古老的學科之一
22	生活中的天文學
26	豐富而動態的夜空
30	天文學是一門研究宇宙中的天體和天文現象的學科
34	天文學與科學技術相互促進
38	宇宙學是一門將宇宙作為整體進行研究的學科
44	我們生活在太陽系的一個行星上
48	我們由星塵組成
54	宇宙中有上億個星系
60	我們在宇宙中並不孤單
64	我們必須保護宇宙中唯一的家園——地球

天文面面觀

1

天文學——人類歷史上最古老的學科之一

2

生活中的天文學

3

豐富而動態的夜空

4

天文學是一門研究宇宙中的天體和天文現象的學科

5

天文學與科學技術相互促進

6

宇宙學是一門將宇宙作為整體進行研究的學科

7

我們生活在太陽系的一個行星上

8

我們由星塵組成

9

宇宙中有上億個星系

10

我們在宇宙中並不孤單

11

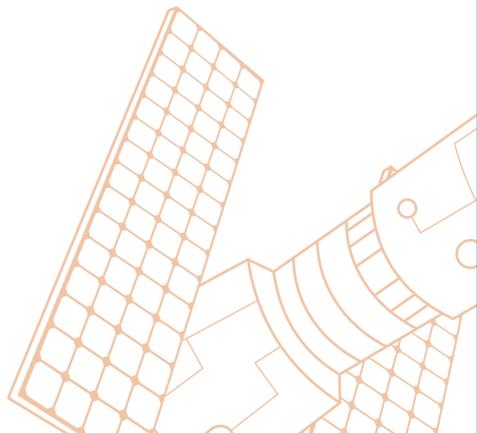
我們必須保護宇宙中唯一的家園——地球

簡介

“所有人的天文學” (Astronomy for All)

這是國際天文學聯合會 (IAU) 天文宣傳辦公室的座右銘。如果“所有人”是一個對整個社會非常寬泛的稱呼，那麼“天文學”對於一個知識體系來講也是同樣寬泛的。這個名為“天文面面觀 Big Ideas in Astronomy”的項目探討了這個問題：哪些是人人都應該懂的天文學？“天文面面觀”提出了11個主要項目，並通過子項目及其他信息進行擴展延伸。本文檔是為天文教育者設計的指導性文件，用於確定他們在教學、培訓、課外活動或資源開發中應涉及的主題。這是一個需要實時更新的文件，我們歡迎天文學界、天文學教育界和科學教育界的意見和建議。

在多次討論、會議、研討會、演講、電話會議和協作撰稿之後，我們歸納了“天文面面觀”這個文檔，作為天文學素養的擬議定義。該文件確立了全球人民都應了解的天文學相關概念。



後續

我們的下一步是通過開展研究項目來系統地驗證此文件是否可以準確地表達專家們所認為的天文學素養，從而進一步開發該文件。此後，我們將致力於：

- 開發與“天文面面觀”相關的課程
- 開發“天文面面觀”評估工具
- 教材指南
- 教師專業發展資料
- 政策報告

IAU的2020-2030年戰略計劃將天文學教育置於全球天文學事業的核心。國際天文學聯合會設定了目標，以促進在學校校園內將天文學用於教學和教育。

我們希望這份文件有助於實現這一目標，並為教育提供天文學素養目標的第一個分析和框架。

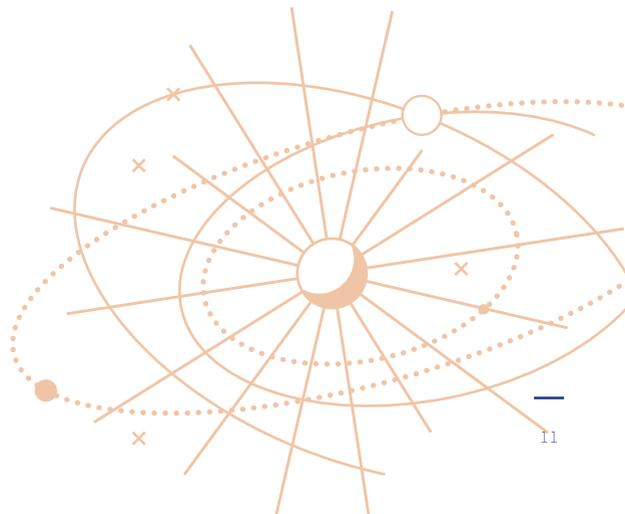


對部分天文“天文面面觀”的簡要介紹

—Pedro Russo

天文學是一門研究宇宙及萬物起源和進化的科學。這個定義似乎很簡單，但宇宙是一個巨大的地方，充滿了各種大小、形狀和年齡的迷人天體，以及令人驚嘆的天文現象。作為人類文化和科學史的一部分，天文學多次改變了我們思考的方式、我們看待世界的方式以及我們在更大範圍的宇宙中所處位置的認識。過去，天文學應用於時間測量或海洋導航。今天，天文學和相關領域的科學技術成果深入到了我們日常生活的方方面面：計算機、通信衛星、導航系統、太陽能電池板、無線互聯網等等。像任何科學一樣，天文學的進步是知識積累的結果。有時，技術和思想的突破會加速這種進程，比如革命性的太陽係日心說和宇宙大爆炸模型。大爆炸模型講述了宇宙演化的故事。大約140億年前，剛剛誕生的“宇宙”是無限小且極熱的。突然而持續的膨脹和後來的冷卻導致了原子和亞原子粒子的基本構造的形成，這使得星系、恆星、行星和生命的最終形成成為可能。根據目前的數據，天文學家認為，宇宙的膨脹主要是由一種神秘的能量形式——暗能量驅動的。如果我們在一個漆黑的夜晚觀察夜空，我們會看到一條光帶橫跨天空，從地平線的一端到另一端。這條帶和我們在天空中看到的所有星星都是我們居住的星系——銀河系的一部分。星系通常呈纖維或團塊狀，就像被浩瀚無垠的宇宙海洋包圍的一群群島嶼。我們的星系包含了數千億顆恆星，太陽只是其中的一顆，就像沙灘上的一粒沙子一樣默默無聞。這些恆星遵循著萬有引力，穩定地圍繞著星系中心的巨大黑洞旋轉。這個“海洋”，也就是宇宙，包含了許多其他的島嶼。我們的星系只是數千億星系中的一個。儘管太陽是一顆相對普通的恆星，但它對我們人類來說是很特殊的：它曾是我們所知道的唯一一顆被行星環繞的恆星。如今，我們已知成千上萬顆恆星擁有行星，它們被稱為系外行星。據估計，在與太陽相似的恆星中，超過20%的恆星都有行星繞轉，其中一些行星與地球很像。這些行星中有很多都很小，而且離其恆星的軌道距離適宜，這就使得液態水的存在成為可能；因此，生命也可能存在。但是宇宙是由什麼組成的呢？我們能看到的東西——行星、恆星和星系——都是由質子、電子、中子和夸克（科學家們稱之為“重子物質”）等物質組成的，但還有其他東西，一種巨大、奇怪和神秘的東西，沒有人知道它是什麼。人們認為恆星會圍繞星系中心運行，就像太陽系裡行星圍繞太陽運行一樣。離太陽最近的行星比最外層的行星運動得快。但這在星系中並沒有發生：星系中的恆星或多或少都以相同的速度圍繞星系中心運行。一定有某種我們看不見的東西，使恆星以這種方式運行。天文學家稱之為“暗物質”。據估計，我們能夠看到的只是宇宙中所有事物的一小部分。其他的一切還沒有被很好地理解，也沒有被直接觀察到。天文學不僅僅是一門前沿科學或技術應用——它給了我們一個機會來拓寬我們有限的視野，發現宇宙的美麗和宏偉，探索我們在其中的位置。這種觀點，通常被稱為“宇宙觀”，是天文學對人類最重要的貢獻之一。

曾刊載於葡萄牙新聞刊物
Visão。



綜述

1

天文學——人類歷史上最古老的學科之一

- 1.1 理解天空中日月星辰的運動是理解自然世界的第一步
- 1.2 早期文明將夜空中的星組成想像中的圖案
- 1.3 天文學啟發了很多文明的文化藝術並根植於其中
- 1.4 人們利用天文現象確定時令節氣，對古代農業至關重要
- 1.5 過去，天文學是航海家的重要工具
- 1.6 天文學和占星術是不同的
- 1.7 一些早期文化認為地球是宇宙的中心
- 1.8 長達一個世紀的哥白尼革命確定了太陽是太陽系的中心
- 1.9 400多年前，天文學家第一次用望遠鏡進行觀測
- 1.10 地球在數世紀前就被不同的方法證實為橢球體

2

生活中的天文學



- 2.1 我們看到晝夜交替是因為地球在自轉
- 2.2 我們感受到四季是因為地球在傾斜著圍繞太陽公轉
- 2.3 月亮按週期盈虧變化
- 2.4 日月食的發生是因為太陽、地球和月亮排列成直線
- 2.5 地球上的潮汐是由太陽和月亮的引力造成的
- 2.6 太陽光對地球上的絕大部分生物至關重要
- 2.7 極光是由太陽粒子進入地球造成的
- 2.8 天文學技術也是我們日常生活的一部分

3

豐富而動態的夜空



- 3.1 在晴朗黑暗的晚上我們可以用肉眼看到上千顆星星
- 3.2 夜空能夠幫助人們識別方向
- 3.3 地軸在上千年中一直在搖擺(歲差)
- 3.4 太陽未落時只有少量明亮的天體能夠被人眼看到
- 3.5 地球自轉導致了天體東昇西落
- 3.6 大氣層導致了星體閃爍
- 3.7 每天有上百萬顆流星進入地球大氣層



光(電磁輻射)是天文研究中主要的信息來源

- 4.1 光(電磁輻射)是天文研究中主要的信息來源
- 4.2 大尺度結構下,引力是主導宇宙的相互作用力
- 4.3 引力波和亞原子粒子為研究宇宙提供了新的方向
- 4.4 天文學家利用觀測及模擬數據為天文現象在當前理論框架下建模
- 4.5 天文學結合了物理、數學、化學、地理及生物等多學科知識
- 4.6 天文學含有多個分支
- 4.7 天文學中的時間和距離尺度比我們日常生活中使用的大得多
- 4.8 光譜學是探測遙遠宇宙的重要技術



天文學與科學技術相互促進

- 5.1 望遠鏡和探測器對天文學至關重要
- 5.2 一些望遠鏡可以被組合,並當作一個大望遠鏡使用
- 5.3 地球上和太空中的天文台
- 5.4 地基天文台通常被設置在偏遠地區
- 5.5 如今,天文學是“大科學”和“大數據”的一部分
- 5.6 複雜模擬及處理海量數據有賴於超級計算機的發展
- 5.7 天文學是一門多採用跨國合作的全球化學科,天文學數據和研究成果可以被無障礙共享
- 5.8 大量航天器被發送到太空以探索太陽系

6

宇宙學是一門將宇宙作為整體進行研究的學科

- 6.1 宇宙約138億歲
- 6.2 宇宙在大尺度上是勻質且各向同性的
- 6.3 我們只能看到過去
- 6.4 我們只能直接觀測到宇宙的一小部分
- 6.5 宇宙主要由暗能量和暗物質組成
- 6.6 宇宙在加速膨脹
- 6.7 宇宙的膨脹使遠距離星系的光紅移
- 6.8 自然法則(如重力)在地球和宇宙中是相同的
- 6.9 大宇宙的大尺度結構由纖維、片和巨洞組成
- 6.10 宇宙背景輻射讓我們能夠探索早期宇宙
- 6.11 大爆炸模型可以解釋宇宙的演化

7

我們生活在太陽系的一個行星上

- 7.1 太陽系在約46億年前形成
- 7.2 太陽係由太陽、行星、矮行星、衛星、彗星、小行星及流星體組成
- 7.3 太陽系的八大行星
- 7.4 太陽系的矮行星
- 7.5 行星分為類地行星(岩石)和類木行星(氣體)
- 7.6 一些行星有許多天然衛星
- 7.7 地球是圍繞太陽運行的第三個行星，有一個自然衛星——月球
- 7.8 在太陽系形成初期，有上百萬個小行星被遺留下來
- 7.9 彗星是個臟雪球，在被太陽加熱時會形成彗尾
- 7.10 太陽系的邊界叫做日球層頂





我們由星塵組成

- 8.1 恆星通過內部核反應產生能量發光
- 8.2 恆星從包含大量塵埃和氣體的星雲中誕生
- 8.3 太陽是離地球最近的恆星
- 8.4 太陽是一個動態的恆星
- 8.5 恆星的顏色由它的表面溫度決定
- 8.6 恆星之間的空間可能空曠無物，也可能存在能夠孕育新恆星的氣體雲
- 8.7 恆星的生命循環很大程度上由其初始質量決定
- 8.8 超大質量恆星在生命結束後會形成黑洞
- 8.9 恆星死亡後留下的物質孕育新恆星與其行星系
- 8.10 人體中的部分原子來自早期恆星



宇宙中有上億個星系

- 9.1 星係是一個包含了恆星、塵埃和氣體的大系統
- 9.2 星系似乎包含了大量暗物質
- 9.3 星系的形成是一個演化的過程
- 9.4 三種主要星系類型為棒旋、橢圓及不規則星系
- 9.5 我們生活在一個叫銀河系的棒旋星系中
- 9.6 星系的旋臂由氣體和塵埃堆積而成
- 9.7 大多數星系中心都有一個超大質量黑洞
- 9.8 星系間距離可能極為遙遠
- 9.9 星系群
- 9.10 星系間通過引力相互作用

10

我們在宇宙中並不孤單

- 10.1 有機分子已在地球外被探測到
- 10.2 地球上的某些生命體能夠在極端環境下生存
- 10.3 潛在的液態水的痕跡證明火星上早期可能存在生命
- 10.4 太陽系中少量衛星擁有宜居環境
- 10.5 人們發現了大量圍繞其他恆星運轉的行星，我們稱之為系外行星
- 10.6 系外行星多種多樣，且多以行星系的形式存在
- 10.7 人們在尋找另一個地球的征程上已看到曙光
- 10.8 科學家正在尋找地外文明

11

我們必須保護宇宙中唯一的家園——地球

- 11.1 光污染影響人類及許多動植物
- 11.2 環繞地球的軌道上有許多人造物體殘骸
- 11.3 人們監測著可能造成危險的太空物體
- 11.4 人類對地球環境有極大影響
- 11.5 氣候和大氣已被人類活動嚴重影響
- 11.6 保護我們的地球需要全球觀
- 11.7 天文學提供了獨特的宇宙學視角，促進地球居民的團結

1

天文學——人類歷史上最古老的學科之一



拉斯科史前洞穴的壁畫中，野牛背部上方有一簇類似於昴星團的圓點。
供圖：Ministère de la Culture/Centre National de la Préhistoire/Norbert Aujoulat



1.1

理解天空中日月星辰的運動是理解自然世界的第一步

天文觀測的第一筆記錄來自史前人們創作的圖畫和人工製品，那裡記錄著他們在空中看到的東西。在古代文化中，天文學與宗教和神話信仰有關。人們利用天文學現象測量時間並建立日曆，從而計劃日常和季節性的活動。

1.2

早期文明將夜空中的星組合成想像中的圖案

星座是夜空中的星星通過假想線連接而成的圖案。最早的星座是由早期文化定義的。這些可識別的恆星群通常與希臘、瑪雅、美洲原住民和中國等文明的文化故事和神話聯繫在一起。在現代天文學中，星座是天空中定義明確的區域，將古老的星座以及15、16、17和18世紀定義的星座結合在一起。一些例如澳大利亞土著和南美土著的文化，也使用銀河光帶中的陰影來識別圖案。

1.3

天文學啟發了很多文明的文化藝術並根植於其中

幾個世紀以來，藝術家、詩人、作家和許多富有創造力的思想家都將夜空用作創作的靈感和/或主題。例如，我們可以在繪畫、雕塑、音樂、電影和文學中看到天文學的身影。這些作品通過夜晚觀察到的圖案直接或間接地傳達了夜空的本質、美麗和神秘。藝術的普遍性及其與文化的緊密聯繫可以讓人們不僅欣賞到天體和天文現象本身之美，還能欣賞到我們已經獲得的關於它們的知識。這在世界範圍內提高了人們對天文學的興趣，並促進了同一片天空下的跨文化理解。

1.4

人們利用天文現象確定時令節氣，對古代農業至關重要

在許多古代文化中，天文學是為了提高耕作時間的準確性而發展的。例如，埃及人根據對天狼星的觀測制定了日曆，以確定尼羅河每年洪水的時間。

1.5

過去，天文學是航海家的重要工具

許多文明利用星星和其他天體的位置在陸地和海洋上導航。天體導航至今仍在被使用。

1.6 天文學和占星術是不同的

在近現代之前，天文學和占星術之間的區別還很模糊。如今，天文學和占星術已截然不同。天文學是一門科學，而占星術不是。占星術使用天體的位置來預測未來的事件。然而，對占星術的廣泛研究表明，占星術的預測並不準確，且沒有任何科學依據。

1.7 一些早期文化認為地球是宇宙的中心

除了活躍於公元前300年的一些希臘天文學家，大多數早期文化都認為地球是宇宙的中心。這種地心說在歐洲和亞洲文化中持續了兩千多年，才在十六世紀所謂的哥白尼革命時被推翻。現代天文學家發現，宇宙似乎沒有特定的空間中心。

1.8 長達一個世紀的哥白尼革命確定了太陽是太陽系的中心

在16世紀，哥白尼提出了日心說。在這種觀點中，太陽是宇宙的中心，而地球圍繞著它運動。儘管我們現在知道太陽不是宇宙的中心，而僅是太陽系的中心，但是哥白尼日心說在當時是革命性的，為現代天文學的發展做出了貢獻。

1.9 400多年前，天文學家第一次用望遠鏡進行觀測

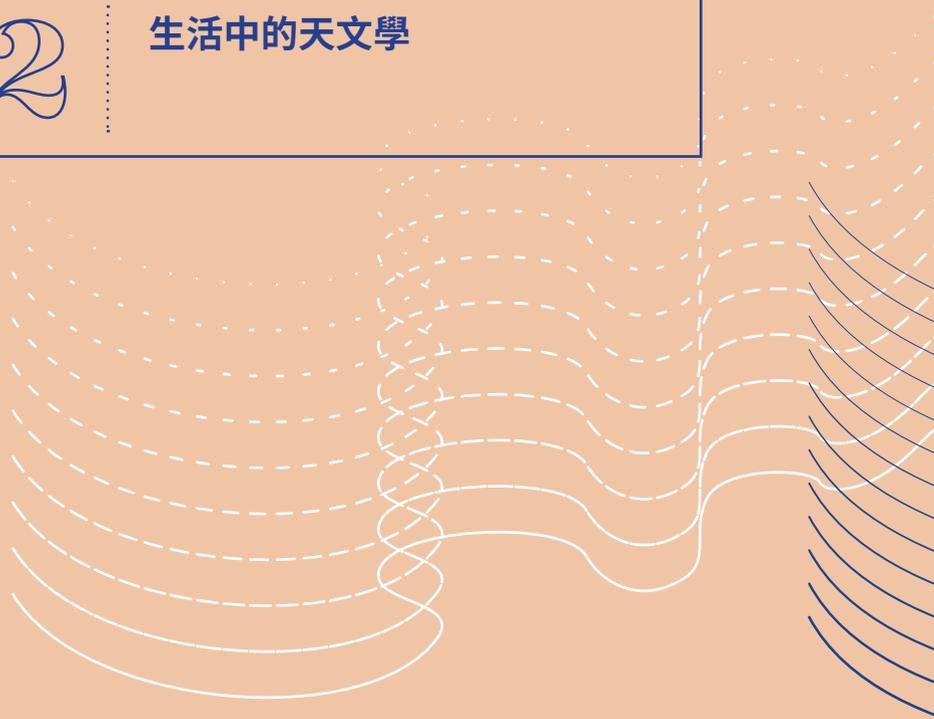
儘管伽利略沒有發明望遠鏡，但他是第一個將其用於科學研究的人。他對折射望遠鏡的改進使他發現了金星位相、木星的四個最大的衛星等，這些衛星仍被稱為伽利略衛星。他的發現提供了令人信服的證據，支持了宇宙的日心說。

1.10 地球在數世紀前就被不同的方法證實為橢球體

世界許多地區的早期文化在描述宇宙時，將地球形容成平面狀或盤狀。而“地球是一個球體”的這種想法也已經存在了數千年，成為了許多文化的世界觀的重要組成部分，並在1000多年前就成為主流思想。有許多經驗方法可以驗證地球大致為球形（事實上為扁球形）。最早的數學方法之一是埃拉托色尼Eratosthenes提出的（公元前3世紀），他通過分析古埃及不同地點的木棍投射的陰影長度來測量地球的周長。

2

生活中的天文學



阿拉斯加荒野夜空中令人驚嘆的燈光秀——北極光。
供圖: Jean Beaufort (Public Domain Pictures)



2.1 我們看到晝夜交替是因為地球在自轉

地球面向太陽的一側是白天，而背向的一側則是夜間。地球在繞其自轉軸旋轉，太陽兩次到達天空中同一位置所需的時間被定義為一（太陽）日，平均為24小時。

2.2 我們感受到四季是因為地球在傾斜著圍繞太陽公轉

地球的自轉面（赤道面）與其繞太陽旋轉的公轉平面（黃道面）有 23.4° 的夾角。因此，在地球繞太陽運行的部分軌道上，北半球或南半球會向太陽傾斜，而另一半球則背向太陽傾斜。前者經歷夏天，因為陽光更多地直射在這半球上，並且由於太陽所在的緯度更高，白天也會更長。相反，遠離太陽的半球會經歷冬天，因為陽光與地面的夾角更小，導致陽光被擴散到更大的區域。太陽在天空中的高度較低，因此白天變得更短。

2.3 月亮按週期盈虧變化

當月球繞地球旋轉時，它相對於太陽和地球的位置會發生變化。月球表面被陽光照亮的區域也會發生變化，從而產生我們從地球上看到的不同相位——新月、上蛾眉月、滿月和下蛾眉月，從滿月到滿月需要29.53天。雖然月球的相位對於地球上的任何觀察者來說基本相同，但月亮形狀的方向會有所不同，這取決於觀察者所在的半球。例如，一觀察者可能會看到新月開口向左，而其他人從不同的位置觀察，可能會看到新月開口向右。

2.4 日月食的發生是因為太陽、地球和月亮排列成直線

有時，當月球剛好經過太陽和地球之間時，月球會擋住來自太陽的光線並在地球上投下陰影，從而形成日食。有時，地球會位於太陽和月球的連線之間，並在月球上投下陰影，遮住月球表面並造成月食。日食可以是部分的，即太陽的一部分被遮住，也可以是全部的，即整個太陽都被遮住。月食只在滿月時發生，因此只能在夜間觀察到。在地球上的任何位置，月食都比日食更為常見，持續時間也比日食長。

2.5

地球上的潮汐是由太陽和月亮的引力造成的

月球和太陽都會引起地球上的潮汐，但太陽的影響更弱。地球會在最靠近月球和最靠近太陽的一側，以及遠離它們的一側輕微凸起，最明顯的變化就是海洋潮汐。隨著地球自轉，海岸線轉到了應該凸起的位置，那裡的水位便會上升。當太陽、地球和月亮幾乎在一條直線上時（滿月和新月），我們會經歷更高的“大潮”。而當太陽和月亮相對於地球彼此成直角（上弦月和下弦月）時，我們會經歷較低的“小潮”。

2.6

太陽光對地球上的絕大部分生物至關重要

太陽是地球上生命形式的主要能量來源。例如，植物利用陽光進行光合作用，使它們生長並產生氧氣分子。那些氧氣被動物用於呼吸。人們相信，小行星撞上地球時對全球環境造成的破壞導致了不會飛的恐龍和地球上大多數物種的滅絕。撞擊產生的爆炸將大量灰塵輸送到大氣中，阻擋了太陽的光線，造成了漫長的冬季。陽光也會影響我們的身心健康。當暴露在陽光下時，我們的皮膚會產生維生素D，維生素D在我們的生命活動中起著重要作用。一些研究表明，人類抑鬱與缺乏陽光照射有關。

2.7

極光是由太陽粒子進入地球造成的

在太陽爆發期間，來自太陽的帶電粒子（主要是電子和質子）會穿越1.5億千米的距離到達地球。它們被地球磁場束縛住，流向磁極，並與大氣中的粒子相互作用。這些粒子中最快的可以在大約半小時內從太陽傳播到地球，最慢的大約需要五天。有時，這些粒子風暴會擾亂地球磁場，損壞衛星和電網。通常，來自太陽的粒子會與地球大氣中的氧氣和氮氣相互作用。這種相互作用產生了變幻莫測的美麗光芒——極光，閃耀在北半球（北極光）和南半球（南極光）磁極周圍的夜空之中。

2.8

天文學技術也是我們日常生活的一部分

用於研究天文數據的分析工具和方法已應用於我們日常的工業、醫學和技術。最初為天文研究而開發的探測器現在也用於數碼相機，就如我們手機中的相機。為天文望遠鏡開發的特殊玻璃也用於製造LCD屏幕、計算機芯片以及陶瓷爐灶。天文學和醫學之間的知識遷移促進了磁共振成像(MRI)和計算機斷層掃描(CT掃描儀)以及其他設備的發展。

3

豐富而動態的夜空

這張長曝光照片拍攝於智利安第斯山脈的查南托高原，照片中可以看到因地球自轉而產生的恆星軌跡。
供圖：S. Otavola/ESO



X

X

X

3.1 在晴朗黑暗的晚上我們可以用肉眼看到上千顆星星

當我們遠離城市的光污染，並在新月或無月夜觀察天空時，我們可以用肉眼看到大約4000顆星星。我們用肉眼看到的所有恆星都屬於我們的銀河系。儘管在其他星系中有數十億顆恆星，且在可觀察到的宇宙中有數萬億個星系，但這些恆星距離太遠，因此太微弱，以至於我們的眼睛無法區分出每個單獨的光點。在合適的觀測位置和時間，我們太陽系五個最亮的行星，銀河系，銀河系的兩個伴星系（大小麥哲倫雲）和仙女星系（一個大旋渦星系）也可以用肉眼看到。

3.2 夜空能夠幫助人們識別方向

我們可以通過仰望夜空找到基本的方向。在北半球，找到北的最簡單方法是尋找北極星（Polaris，North Star），它與北天極非常接近。查找北極星的最簡單方法是通過大熊座和小熊座。在南半球，最接近南天極的恆星是Sigma Octantis（南極座 σ ），但是並不容易被看到。找到南方的一種快速方法是通過南十字座和半人馬座中兩個最亮的恆星。

3.3 地軸在上千年中一直在搖擺（歲差）

地球像陀螺一樣地自轉著。它的自轉軸方向以大約26,000年為一周期緩慢運動變化。這種運動使地軸隨著時間指向不同的方向，因此，地球的北極和南極會隨著時間緩慢改變位置。例如，當地軸轉到另外的方向時，在正北方的將不再是北極星，而可能是另一顆星。儘管目前在天球南極附近沒有明亮的恆星，但總有一天我們會擁有一個合適的“南極星”！

3.4 太陽未落時只有少量明亮的天體能夠被人眼看到

星空中的大多數物體太暗，無法在明亮的陽光下被觀察到。同樣，在光污染較強的城市夜晚，由於人工照明使天空變亮，我們也只能看到一小部分星星。當太陽仍在地平線上方時，肉眼只能看到少數幾顆足夠明亮的天體。在合適的月相時期，白天可能會看到月亮。在某些時候，可以在早晨和傍晚看到金星，分別叫作啟明星和長庚星。如果你知道往哪裡看，甚至也可以在正午看到金星。極少數情況下，白天可能會看到特別明亮的彗星

3.5 地球自轉導致了天體東昇西落

由於地球繞著地軸自西向東旋轉，所以地表的觀察者看到整個天空從東向西朝相反的方向運動，似乎在圍繞著我們的星球旋轉。這種明顯的天空相對地球的運動被稱為周日視運動。這也就是我們看到天體從東方升起、西方落下的原因。

3.6 大氣層導致了星體閃爍

當恆星的光進入地球大氣並穿過不同溫度和密度的圈層時，大氣的折射率在不斷變化著，導致光也在不斷改變方向，其亮度及其到達地面的位置也不斷變化。因此對於地球上的觀察者來說，恆星似乎在閃爍。而對於行星而言，大氣層來的影響要小得多（或無法察覺）。因為行星實際上可以被看成是小圓盤（面源），比如使用雙筒望遠鏡觀察時就能很容易看出來。而恆星在我們看來只是微小的光點（點源），由於所有的光都來自一個點，因此非常容易受到大氣折射變化的影響。

3.7 每天有上百萬顆流星進入地球大氣層

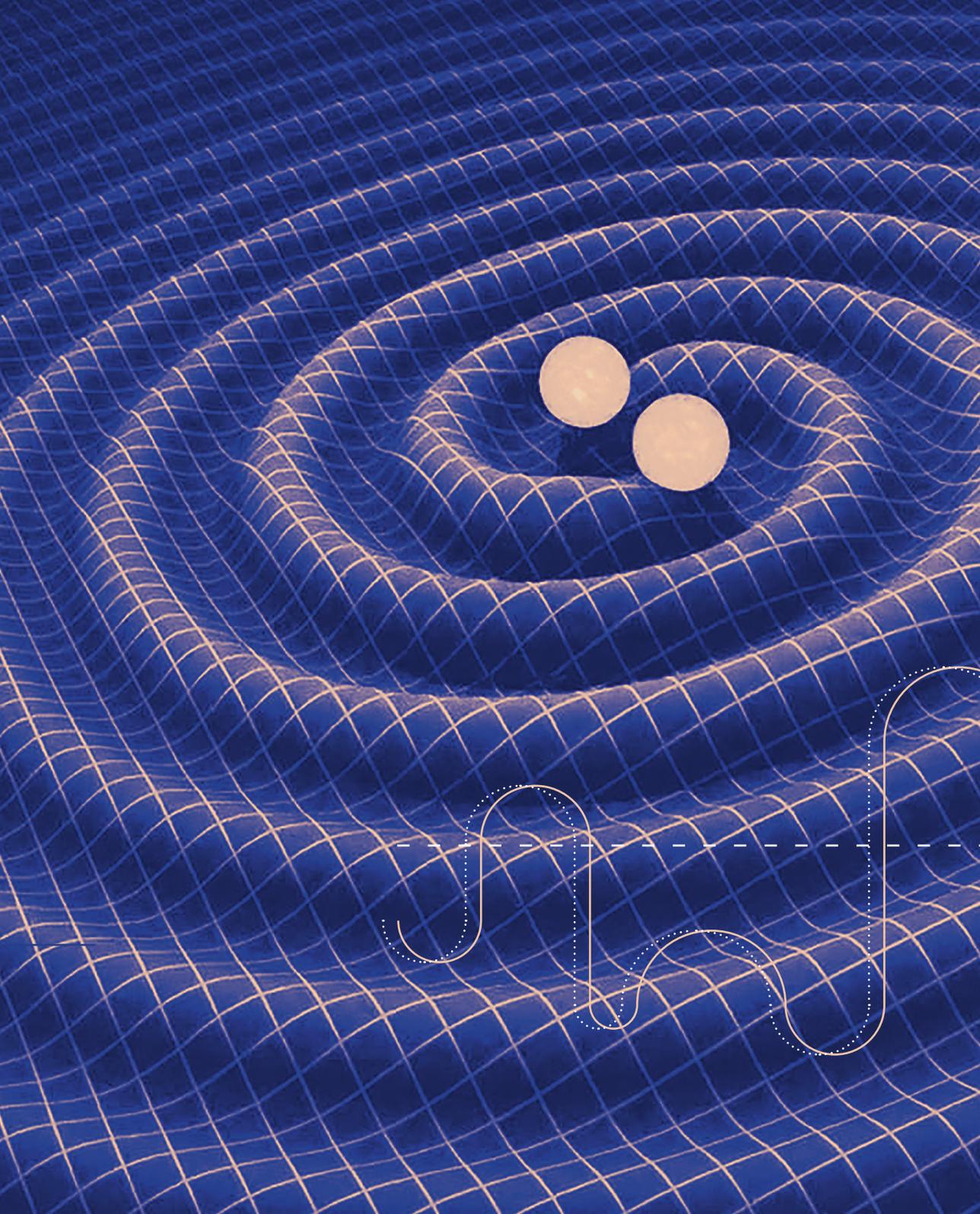
流星體是小石頭或金屬物體，大小從沙粒到一米不等。當它進入地球大氣層時，會被氣體壓力加熱，在夜空中產生一連串的光，這種現象被稱為流星。當流星體在穿越地球大氣層時倖存下來並降落在地面時，便稱為隕石。儘管每天有數百萬顆流星在地球大氣中劃過，但是大多數流星體在到達地面之前都被燃燒成了氣體和塵埃。



天文學是一門研究宇宙中的天體和天文現象的學科



雙中子星產生的引力波的藝術想像圖，它們在合併之前相互繞轉並不斷靠近。
供圖: R. Hurt/Caltech-JPL



4.1 光(電磁輻射)是天文研究中主要的信息來源

由於大多數天體離我們太遠，無法進行實地考察，我們必須依靠這些天體的電磁輻射(光)來研究它們。電磁波的不同波長提供了各種天文學機制和天體特徵的信息。在現代天文學中，我們使用整個電磁光譜來研究宇宙：無線電，微波，紅外線，可見光，紫外線，X射線和伽馬射線。儘管在一般情況下，“光”這個字僅指可見光，但在天文學中，光指所有電磁輻射。

4.2 大尺度結構下，引力是主導宇宙的相互作用力

平均而言，天體不帶淨電荷。這些物體在長距離上相互作用的主要方式是引力。引力使行星繞太陽運行，使恆星繞星系中心運動，並使恆星熾熱的等離子保持球形。大多數天文現象都用牛頓的萬有引力定律來描述，但是在最極端的情況下，需要愛因斯坦的廣義相對論來提供準確的描述。

4.3 引力波和亞原子粒子為研究宇宙提供了新的方向

引力波——時空的漣漪——是20世紀初期根據廣義相對論預測的。2015年首次實現了引力波的直接探測，科學家們現在可以將它們用作研究宇宙的新窗口。引力波是由強大的引力相互作用產生的，例如兩個大質量黑洞或中子星的合併。天文學家還探測到了各種亞原子粒子，例如中微子，電子或質子，以了解我們的太陽內部以及宇宙中一些最活躍的過程。

4.4 天文學家利用觀測及模擬數據為天文現象在當前理論框架下建模

天文學家為天體及其相關現象和演化建立了數學模型。這些模型的框架由物理和化學的基本理論搭建而成。一些模型包含了基本的數學關係，而更複雜的模型利用到了數值模擬。最複雜的模擬在世界上一些最大的超級計算機上運行。來自望遠鏡和探測器的觀測數據可被用於測試和完善模型。觀測證據與模型之間的相互論證是探索發現的重要方面。

4.5

天文學結合了物理、數學、化學、地理及生物等多學科知識

專業的天文研究結合了數學、物理學、化學、工程學、計算機科學以及其他領域的知識。事實證明，這種廣闊的視野對於揭示和模擬天文物體和現象的本質至關重要。例如，要了解恆星內部發生的核反應，科學家需要核物理學；為了檢測恆星大氣中的元素，需要化學；工程技術對望遠鏡和探測器的製造至關重要；軟件的定制開發對於分析這些儀器提供的數據不可或缺。

4.6

天文學含有多個分支

由於對天文物體和現象的準確描述建立在其他科學領域的基礎之上，現代天文學通常根據其所涉及的主題按專業劃分。包括：天體生物學，宇宙學，觀測天文學，天體化學和行星科學。天文學家還可以選擇僅研究某個特殊物體，例如白矮星。考慮到物理學在天文學中的重要作用，“天體物理學”和“天文學”這兩個術語可以互換使用。

4.7

天文學中的時間和距離尺度比我們日常生活中使用的大得多

月球是距離地球最近的天體，距離約384,400千米。我們的太陽直徑為139萬千米，質量約為(1989thousandtrilliontrillion=198.9萬億億億?) 198.9萬億億億克，是距地球最近的恆星，距離約為1.5億千米(這就是天文單位au的定義)。最接近太陽的恆星是半人馬座比鄰星ProximaCentauri，它離我們約4.25光年。一光年是光在真空中傳播一年的距離，超過9萬億公里。我們星系的直徑為100,000-120,000光年，而其他星係與我們的距離可能達到數十億光年。天文學的單位比我們想像的要大得多。天文學的時間尺度很長，幾百萬或數十億年的年齡是典型的。

4.8

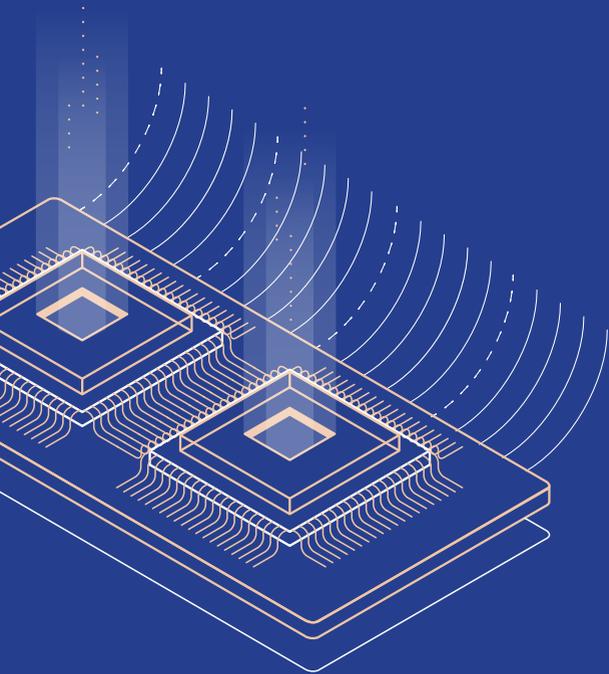
光譜學是探測遙遠宇宙的重要技術

天體的某些特徵只能通過它們的光譜來研究-它們的光像彩虹一樣被分解成無數種不同的顏色，每種顏色都代表著光的一種波長。通過分析從這些物體收集的光，天文學家可以確定其元素組成，溫度，壓力，磁場，以及其他細節特徵。



5

天文學與科學技術相互促進



組成甚大望遠鏡 (VLT) 的四個8米級望遠鏡中的兩個，它們坐落在智利安第斯山脈的高處。
供圖: ESO/P. Horálek



5.1 望遠鏡和探測器對天文學至關重要

由於電磁波是天文學的主要信息來源，因此在收集和分析這些波時，望遠鏡和探測器起着重要作用。較大的望遠鏡可以收集更多的光，使天文學家能夠識別和分析非常暗弱的物體。較大的望遠鏡也具有更大的分辨能力，使天文學家可以更詳細地研究其目標物體的細節。早期的天文觀測是通過人員直接通過望遠鏡觀察來進行，如今天文學家則使用探測器在許多不同的波長上客觀地記錄觀測結果。

5.2 一些望遠鏡可以被組合，並當作一個大望遠鏡使用

天文學家可以通過一種被稱為干涉測量的技術，將許多望遠鏡組合在一起，使它們像一台大望遠鏡一樣工作。從分辨率上講，組合出的望遠鏡直徑將等同於小望遠鏡之間最大的距離。這使天文學家可以看到天體中更小更精細的細節，並且可以區分諸如恆星及其行星系統之類的獨立物體。

5.3 地球上和太空中的天文台

地球的大氣層吸收了電磁波譜中的大部分輻射。它對可見光、一些紫外線、紅外線以及短波射電是透明的，但在其他波段則大部分是不透明的。大多數紫外線波段和大部分紅外線以及X射線無法穿透大氣層。因此，若要收集除可見光、射電和少量其他波段以外的光，望遠鏡必須被放置在太空中。儘管可以在地表接收到可見光，但是地球大氣的湍流會影響圖像的質量，因此一些光學望遠鏡也被放置在太空中。

5.4 地基天文台通常被設置在偏遠地區

地球上只有很少的地方擁有高海拔、無光污染、大氣對某些波長透明的純淨天空。這些位置通常條件惡劣，難以到達，並且與大型人類居住地相距甚遠。天文學家要么親自前往這些地點進行觀測，要么讓經驗豐富的當地望遠鏡操作員為他們提供幫助，要么使用可以遠程操作的自動望遠鏡。

5.5

如今，天文學是“大科學”和“大數據”的一部分

天文巡天已經產生了大量的數據，並且在未來幾年中將繼續大大增加。這種進展被稱為“大數據天文學”，其重點是尋找新穎的方法來存儲、傳輸和分析這些數據。這促進了各種公眾科學項目的發展，以利用人類敏銳的圖案識別能力。另一方面，現代望遠鏡和儀器價格昂貴，並且建造它們需要各種技術技能。在這個“大科學”時代，它們通常由包含來自不同國家的眾多天文研究機構的國際組織或聯合體建造。

5.6

複雜模擬及處理海量數據有賴於超級計算機的發展

處理來自模擬和觀測的大量數據需要計算機能夠在短時間內執行複雜的模擬計算。目前超級計算機每秒可以執行的計算數量級為十的十七次方。這些超級計算機使天文學家可以創建模擬的宇宙，並將其與大規模巡天的觀測結果進行比較。

5.7

天文學是一門多采用跨國合作的全球化學科，天文學數據和研究成果可以被無障礙共享

大多數專業天文台提供的數據是公開可用的。在職業生涯中，天文學家通常會在不同的國家工作。從望遠鏡和儀器的建造到協調觀測，大型天文項目通常是在不同國家的研究人員和研究所之間合作完成的。天文學是全球化和國際化的，我們都是“地球飛船”的機組人員，在同一片天空下探索宇宙。

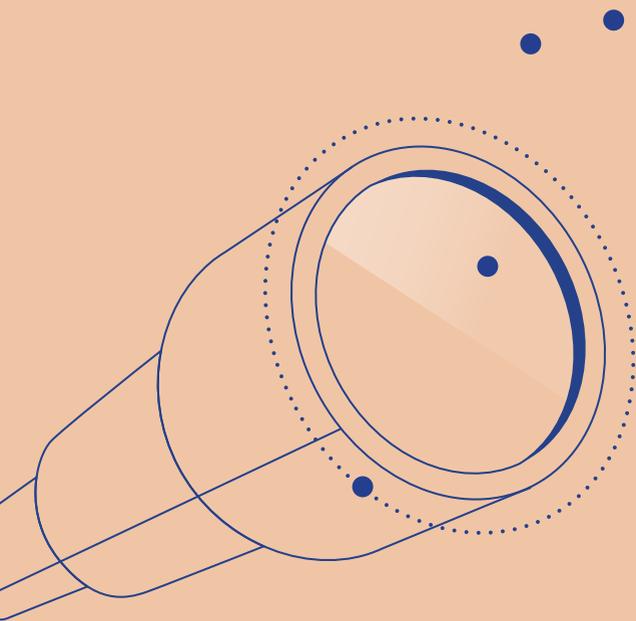
5.8

大量航天器被發送到太空以探索太陽系

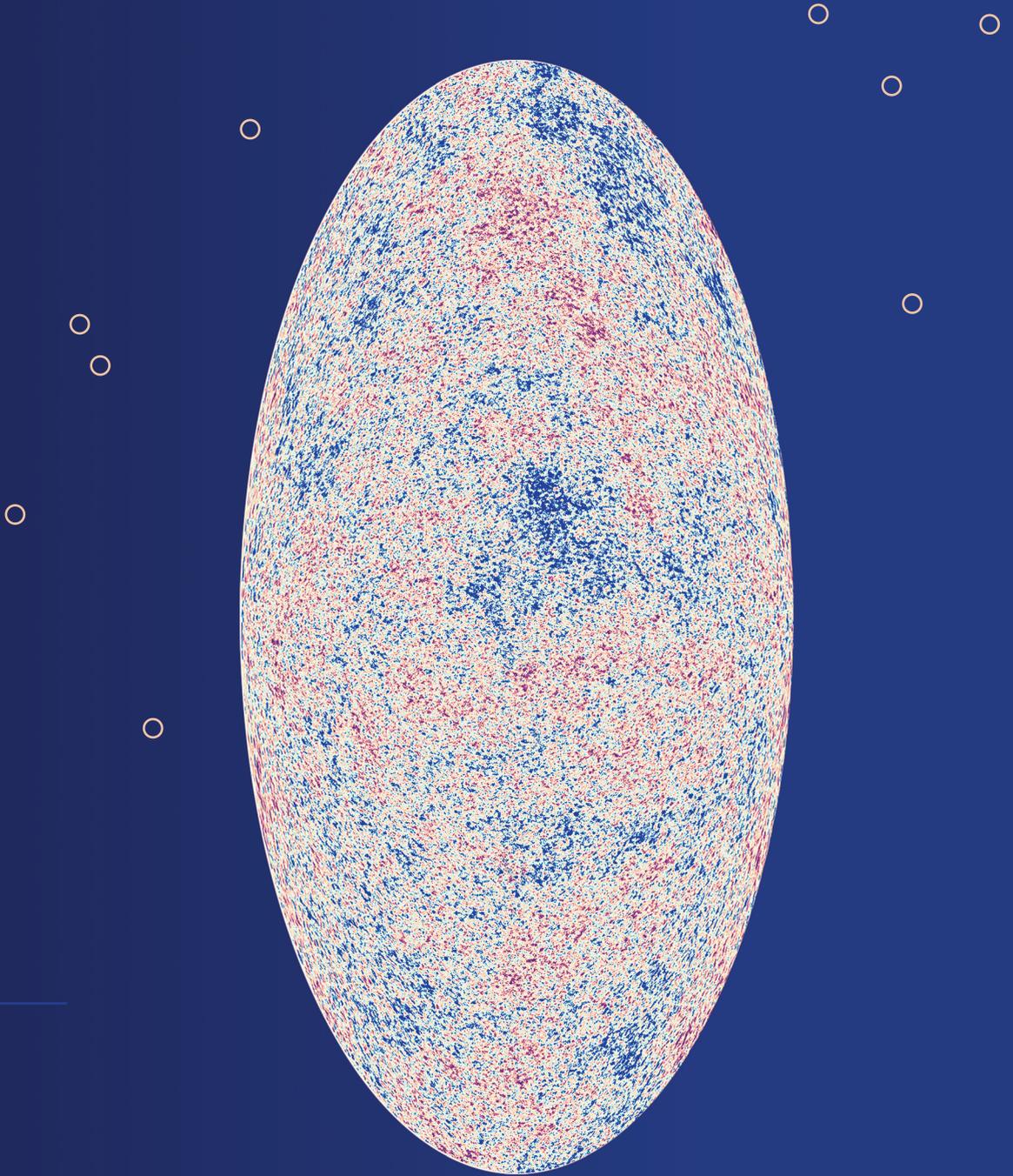
為了探索 and 了解我們在宇宙中的位置，我們一直在向整個太陽系發送探測器。其中一些繞行星，衛星甚至是小行星運動，而另一些則降落在這些物體上。在太陽系中，探測器曾探訪（著陸，繞行或飛越）過所有行星、矮行星冥王星和穀神星、我們的月亮以及木星和土星的其他衛星、彗星、小行星。

6

宇宙學是一門將宇宙作為整體進行研究的學科



一張宇宙微波背景輻射(CMB)的圖像，這是宇宙38萬歲時留下的遺跡。
供圖：ESA and the Planck Collaboration



6.1 宇宙約138億歲

根據現代觀測和最新的宇宙早期演化模型，宇宙的年齡約為138億年。宇宙學是研究宇宙的演化和其結構的研究領域。

6.2 宇宙在大尺度上是勻質且各向同性的

在最大尺度上（大約大於3億光年），宇宙中的物質似乎是均勻分佈的。由於其密度和結構幾乎均勻，在任何位置（均勻）和每個方向（各向同性），宇宙的外觀都幾乎相同。

6.3 我們只能看到過去

由於光速有限，我們從不能看到物體現在的樣子，而是只能看到物體過去的樣子。我們只能看到大約八分鐘前的太陽，因為來自太陽的光大約需要八分鐘才能到達地球。我們看到的仙女座星系大約來自250萬年前，因為它的光需要很長時間才能到達地球。就像這樣，天文學家一直在觀察過去，甚至可以追溯到138億年前。也正因如此，觀察各種距離的天體為我們提供了一個宇宙歷史的橫截面。而平均而言，宇宙在所有地方都具有相同的屬性，因此該橫截面提供了有關我們自己歷史的寶貴線索。

6.4 我們只能直接觀測到宇宙的一小部分

由於光在太空中以有限的速度傳播，我們尚無法觀測到宇宙的遙遠區域。原因很簡單，這些區域的光還沒有足夠的時間到達地球上的探測器。我們只能看到位於“可觀測宇宙”內的物體，這個區域囊括了所有發出的光有足夠時間到達我們的物體。十分有趣的是該區域邊界附近的那些非常遠的物體。我們現在看到的還是它們在宇宙誕生時的樣子。

6.5 宇宙主要由暗能量和暗物質組成

恆星、我們呼吸的空氣、我們的身體以及我們周圍看到的一切均由原子組成，而原子本身由質子、中子和電子組成。這些我們日常生活中接觸到的東西被稱為重子物質。觀測證據表明，它們僅佔宇宙總成分的5%。實際上，宇宙主要由未知的能量（稱為“暗能量”，約68%）和不尋常的物質（稱為“暗物質”，約27%）組成。科學家在積極研究這些所謂的“暗能量”和“暗物質”的性質，特別是觀察它們與重子物質間的相互作用。

6.6 宇宙在加速膨脹

觀測證據表明，由於暗能量的作用，宇宙正在加速膨脹。隨著宇宙在大尺度上以相同的方式擴張，星系團們在彼此遠離。在現代模型中，星系團之間距離的增長都與通用比例因子成一定比例。觀測數據表明，一個星系離我們越遠，它遠離我們的速度就越快（哈勃-勒梅特定律）。在其他星系中的外星人（假如存在）看來，也是相同的結果。束縛系統（例如星系團、受自身引力約束的星系群、或星系本身）不受宇宙膨脹的影響。在星系團和星系群中，單個星係可以相互繞轉，也可以彼此碰撞。銀河系和仙女星系便是一個碰撞的例子。

6.7 宇宙的膨脹使遠距離星系的光紅移

宇宙膨脹影響著宇宙中光的性質。星系距離我們越遠，我們接受到的光紅移便越強。這種宇宙學紅移可以直接理解為隨著宇宙標度因子的增加，光的波長也會增加，就像被拉長了一樣。這就是為什麼我們只能在紅外或無線電波段中觀察到遙遠的星系，以及只能在微波範圍內探測到宇宙微波輻射。

6.8 自然法則（如重力）在地球和宇宙中是相同的

人們已經進行了許多測試來檢驗物理定律（例如，重力、熱力學和電磁學的定律）在地球和遙遠的宇宙中是否相同。到目前為止，所有這些測試都表明物理學的基本定律適用於整個宇宙。

6.9

大宇宙的大尺度結構由纖維、片和巨洞組成

對宇宙的大規模紅移巡天顯示，在大約幾億光年的大尺度上，宇宙類似於一個三維的由纖維和巨洞構成的海綿網，因此被天文學家稱為“宇宙網”。宇宙網的絲狀和片狀結構中包含著數百萬個星系。這些大型結構的寬度超過數億光年，通常厚達數千萬光年。絲狀和片狀結構在巨洞周圍形成邊界，直徑約為一億光年，僅包含非常少量的星系。

6.10

宇宙背景輻射讓我們能夠探索早期宇宙

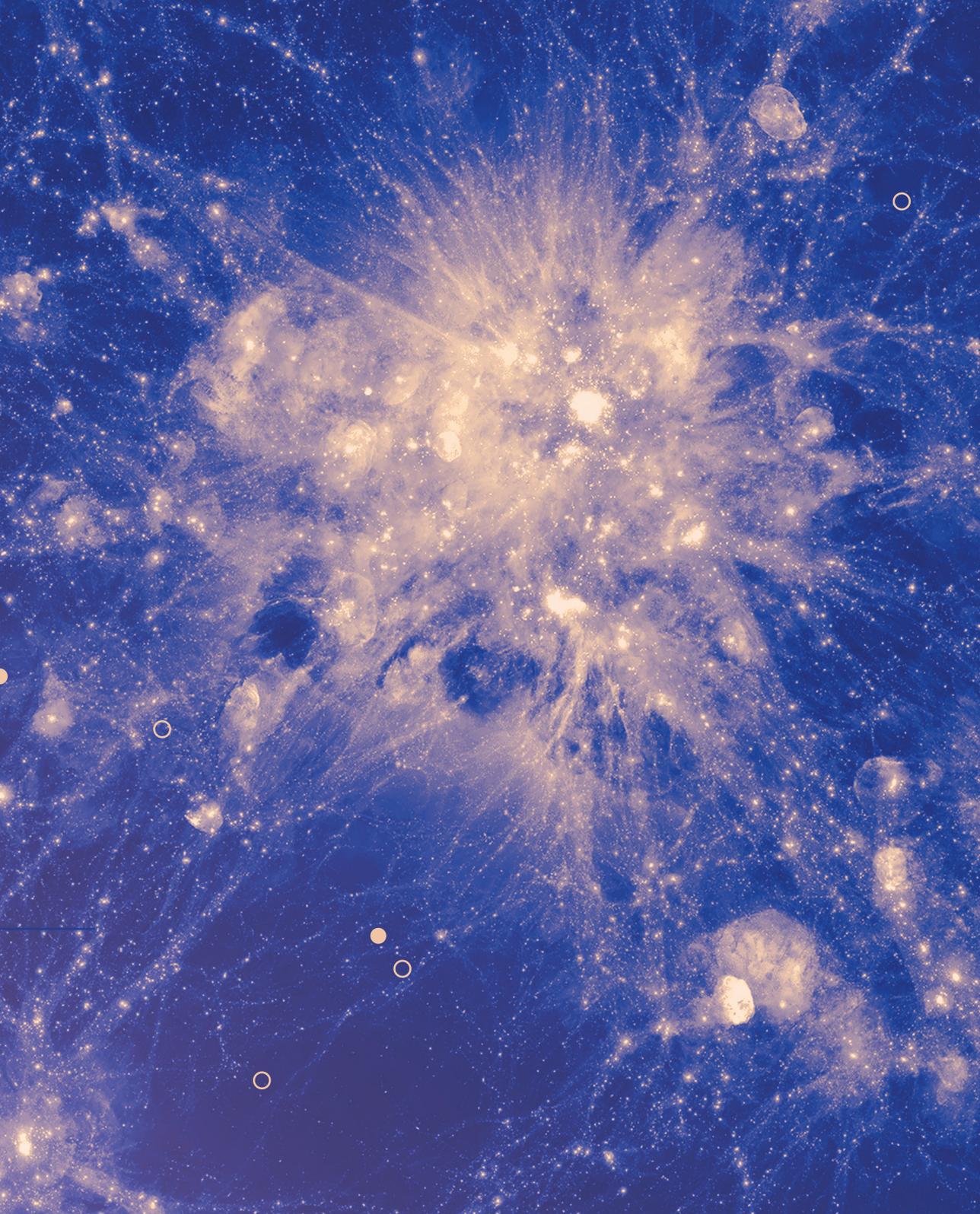
我們可以觀察到的最古老的電磁輻射是從宇宙中最遠的區域發出的，那就是宇宙微波背景輻射。它是熾熱而稠密的早期宇宙遺留下來的痕跡，包含著宇宙僅有大約380,000歲時的信息。宇宙微波背景使我們能夠測量整個宇宙的主要特徵：暗物質、重子物質和暗能量的含量，宇宙的幾何形狀及其當前的膨脹率。宇宙微波背景表明宇宙幾乎是各向同性的，因此也為其均勻性提供了間接證據。

6.11

大爆炸模型可以解釋宇宙的演化

根據迄今為止最好的證據，我們周圍看到的所有物質和能量在130億年前都聚集在一個比原子還小的空間裡。宇宙從這種密度、溫度極高的階段（大爆炸階段）擴展到現在的狀態。LambdaCDM是用於描述正在擴展的宇宙的模型，其中Lambda代表宇宙的暗能量部分，而CDM代表冷暗物質。宇宙大爆炸並不是像一個真正的爆炸一樣將物質扔到之前就存在的空白空間。而是從一開始，所有的可用空間便都充滿了物質，隨著空間的擴大，平均物質密度一直在下降。自從星系們形成以來，它們之間的平均距離一直在增加。“大爆炸”模型對我們當前的宇宙做出了許多可檢驗的預測，其中大部分已通過觀測數據得到證實。

一個對一部分宇宙演化的大尺度宇宙學模擬，同時顯示了暗物質密度和氣體速度
供圖：The Illustris Collaboration





我們生活在太陽系的一個行星上

一些系外行星圍繞恆星TRAPPIST-1轉動的藝術想像圖，這顆恆星周圍至少有7顆地球大小的岩質行星。
供圖: ESO/M. Kornmesser



7.1 太陽系在約46億年前形成

我們可以通過隕石的放射性計年確定太陽系的年齡。這個年齡也與月球岩石樣本和地球表面發現的最古老岩石的年齡一致。

7.2 太陽係由太陽，行星，矮行星，衛星，彗星，小行星及流星體組成

我們的太陽係由一顆被稱為太陽的中央恆星，和在引力作用下繞太陽旋轉的所有天體組成。這些天體包括行星及其天然衛星、矮行星、小行星、流星體和彗星。太陽佔太陽系總質量的99.87%以上。

7.3 太陽系的八大行星

根據2006年國際天文學聯合會的決議，一個物體要想成為行星，它必須滿足三個標準。第一，它必須圍繞太陽運行；第二，行星必須有足夠的質量，使其能在自身引力作用下形成近似球形；最後，它的引力必須有能力清空其軌道鄰域，並與其他物體分開。若不是衛星且僅符合前兩條規則的物體被稱為矮行星。從太陽的位置開始，我們太陽系中的行星是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星和海王星。

7.4 太陽系的矮行星

月球的直徑約為3474公里，矮行星都小於這個尺寸。冥王星是目前最大的矮行星，其次是閼神星、妊神星、鳥神星和穀神星。他們都是固體星球，擁有冰冷的表面，並且具有相似的成分。穀神星位於火星和木星軌道之間，而其他四顆矮行星則位於海王星軌道之外的埃奇沃斯-柯伊伯帶。

7.5 行星分為類地行星(岩石)和類木行星(氣體)

離太陽最近的四顆行星被稱為類地行星。這些行星都具有堅固的表面，並且主要由岩石組成。水星沒有大氣層，但與地球相比，金星的大氣層最稠密，火星的大氣層最稀薄。與較小的內行星相比，被稱為氣體巨行星的四顆外行星要大得多。這些行星主要是氣態的(氫和氦)，它們的大氣非常稠密。所有的氣態巨行星周圍都有環。土星擁有迄今為止最令人印象深刻的光環系統，即使通過非常小的望遠鏡也能看到它。

7.6 一些行星有許多天然衛星

除水星和金星外，所有行星都至少有一顆天然衛星。地球是太陽系中唯一隻有一顆衛星的行星，而火星有兩顆衛星。與類地行星不同，所有的氣態巨行星都有大量的物體圍繞它們運行。木星和土星各有超過75顆已確認的衛星，是擁有最多天然衛星的行星，其次是天王星和海王星。

7.7 地球是圍繞太陽運行的第三個行星，有一個自然衛星——月球

我們的地球家園是從太陽算起的第三顆行星，其軌道幾乎是圓形的。地球的大氣層主要由氮和氧組成，其表面70%以上被水覆蓋，平均溫度約為15攝氏度。月球是地球唯一的天然衛星，也是人類目前踏上過的唯一地外天體。

7.8 在太陽系形成初期，有上百萬個小行星被遺留下來

太陽系形成初期的殘餘物主要存在於火星和木星軌道之間的小行星帶，以及位於海王星軌道之外的埃奇沃思-柯伊伯帶。這些小行星的大小從大約10米到1000千米不等，太陽系中所有小行星的質量總和比月亮的質量還小。

7.9 彗星是個臟雪球，在被太陽加熱時會形成彗尾

彗星主要由冰組成，但也含有塵埃和岩石物質。由於太陽風和輻射，當彗星接近太陽時，冰會揮發或蒸發。這會產生兩條尾巴——一條綿延數百萬公里，向彗星運動相反方向略微彎曲的塵埃尾巴，以及一條直的等離子尾巴，通常肉眼不可見。彗星的尾巴總是指向與太陽相反的方向，與彗星移動的方向無關。大多數彗星被認為來自兩個特定區域：位於海王星軌道之外的埃奇沃思-柯伊伯帶和位於太陽系邊緣的奧爾特雲。

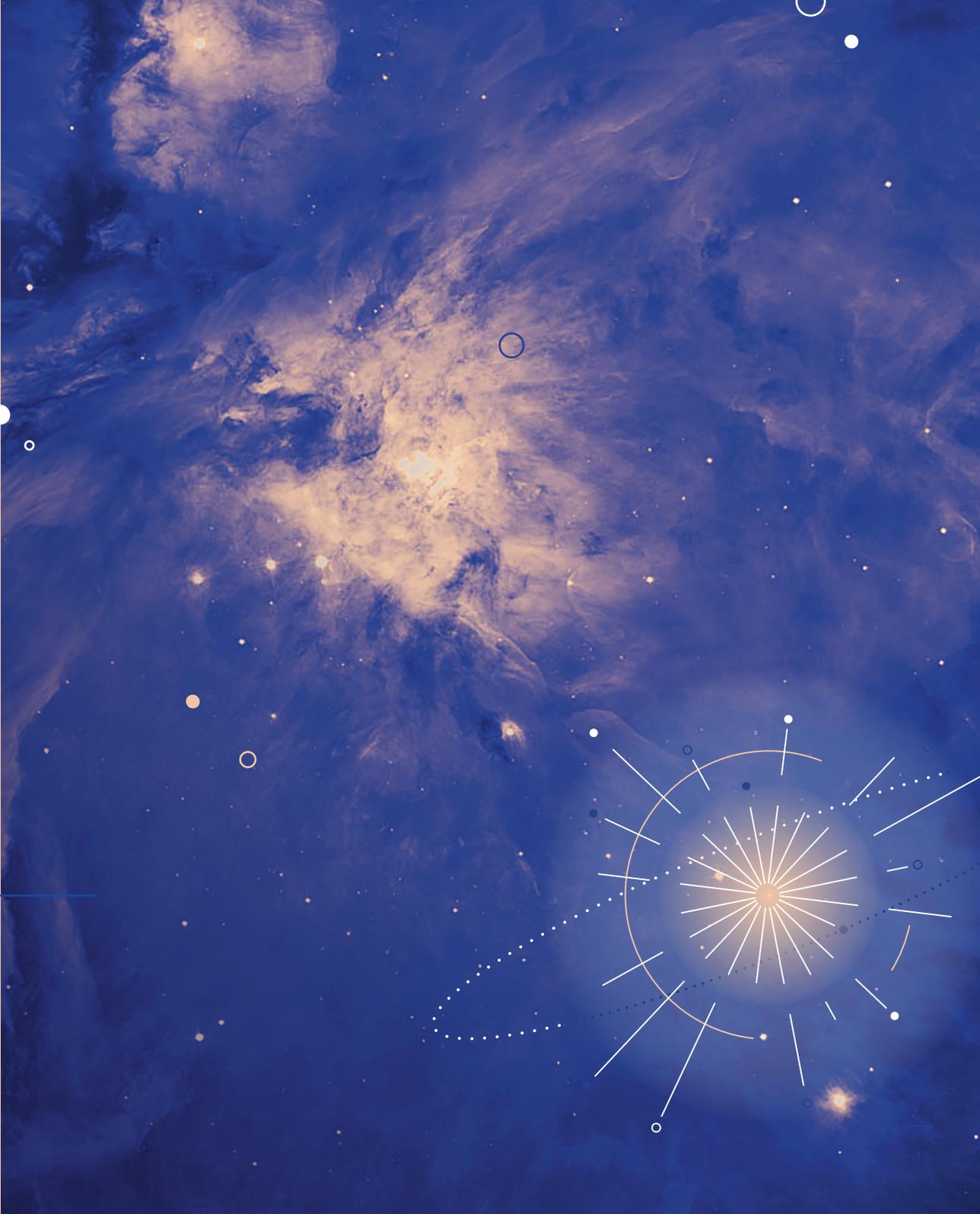
7.10 太陽系的邊界叫做日球層頂

太陽的磁場遠遠超出其表面，產生了一個包圍整個太陽系的磁場泡泡。太陽磁場與其他恆星磁場相互作用的區域被稱為日球層鞘。這個過渡區域擾動不定的外邊界稱為日球層頂。在日球層頂之外是星際空間。2012年，旅行者1號航天器成為了第一個穿越日球層頂的人造物體。



我們由星塵組成

獵戶座星雲(M42), 距離地球最近 (約 1500光年) 的大質量恆星形成區域。
供圖: NASA, ESA, M. Robberto
(Space Telescope Science Institute/
ESA) and the Hubble Space
Telescope Orion Treasury Project
Team



8.1 恆星通過內部核反應產生能量發光

恆星由非常熱的等離子體組成(等離子體是一種氣體,其大部分的電子和原子核是分離開的)。這些等離子體被自身的引力束縛在一起,形成恆星。恆星中心的核反應持續輸出能量。核反應最初通過質子-質子鏈(更大質量的恆星會進行碳-氮-氧CNO循環)將氫聚合成氦,進而再聚合成更重的元素。恆星中心的核聚變釋放的能量產生了巨大的輻射壓,這些壓力抵消了恆星在自身引力作用下坍塌的趨勢,使恆星得以保持穩定。通過這種方式,大多數質量與太陽相似或更少的恆星可以保持數十億甚至數百億年的穩定。

8.2 恆星從包含大量塵埃和氣體的星雲中誕生

巨大的冷分子云的引力坍塌催生了恆星。雲團坍塌時會分裂成多個核,這些核的中心區域變得越來越緻密和炎熱。當溫度和壓力超過臨界值時,核聚變就被點燃了,標誌著一顆恆星的誕生。這顆年輕的恆星最初被一個由塵埃和氣體組成的原行星盤所包圍。在數百萬年的時間裡,這個圓盤分化為行星和更小的天體。

8.3 太陽是離地球最近的恆星

太陽是距離地球最近的恆星,赤道直徑約為140萬千米。其體積之大,可以容納大約130萬個地球。儘管與地球相比,太陽是巨大的,但宇宙中還有更大的恆星。超巨星大犬座VY的直徑約為太陽直徑的1400倍,這是迄今為止已知的最大恆星。假如將其放置在太陽系的中心,大犬座VY的表面將延伸到木星的軌道之外。也有比太陽小得多的恆星。最近的恆星——比鄰星是一顆直徑約20萬千米的紅矮星,僅僅是地球直徑的16倍。

8.4 太陽是一個動態的恆星

雖然太陽看起來很均勻,但它的表面可能會存在一些黑斑,被稱為黑子。這些太陽黑子磁場強,溫度低,因此看起來很暗。太陽產生的黑子時多時少,約11年為變化週期。有時,太陽的磁場會被扭曲,產生大量能量,並以光和粒子爆發的形式釋放這些能量。這些爆發被稱為耀斑或日冕物質拋射。但即使在太陽平靜的時候,它也會不斷地向太空噴射熱磁化氣體,大約每秒15億千克。這些太陽風瀰漫在太陽系中並與行星相互作用。其他恆星也會產生耀斑和星風。

8.5 恆星的顏色由它的表面溫度決定

恆星表面的溫度可以在幾千攝氏度到五萬攝氏度之間。熾熱恆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。較冷的恆星看起來偏紅，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 恆星之間的空間可能空曠無物，也可能存在能夠孕育新恆星的氣體雲

恆星之間的空間存在著微量物質，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。這種介質在星系的不同位置密度不同。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 恆星的生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恆星的壽命可達數百萬年。相比之下，類似於太陽的恆星的平均壽命約為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恆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雲包圍的緻密白矮星。一顆至少8倍太陽質量的恆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恆星級黑洞。

8.8 超大質量恆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，黑洞極強的引力場便會阻止其逃逸，甚至包括光。事件視界是包裹著黑洞的邊界面，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。恆星級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

恆星死亡後留下的物質孕育新恆星與其行星系

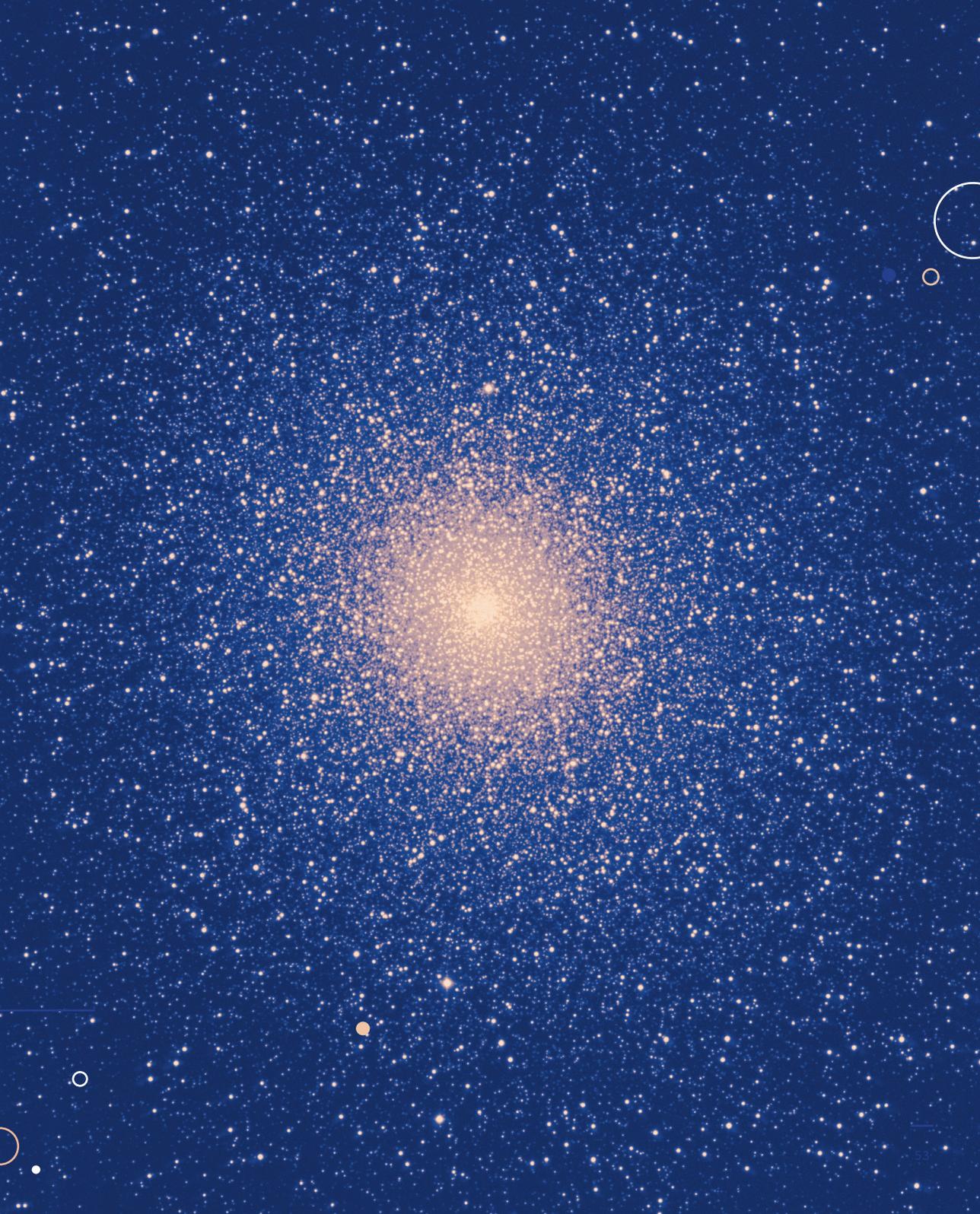
除了氫、大部分的氮和少量的鋰，目前宇宙中的所有元素都是通過恆星內部的核聚變產生的。類似太陽的低質量恆星會產生重達氧氣的元素，而大質量恆星可以產生比氧重、甚至重達鐵的元素。比鐵重的元素，如金和鈾，是在高能超新星爆炸和中子星碰撞的過程中產生的。當恆星死亡時，它們將大部分質量釋放到星際介質中。從這些物質中又會誕生新的恆星，形成了宇宙的循環往復。

8.10

人體中的部分原子來自早期恆星

除了氫、氮和少量鋰以外，各種元素主要在恆星內部產生，並在恆星生命的最後階段被釋放到太空中。這是構成我們身體的大部分元素的起源，例如骨骼中的鈣、血液中的鐵和DNA中的氮。同樣，那些構成其他動物、植物以及我們周圍大部分事物的元素都是在數十億年前由恆星產生的。

從地球看到的第二大且是第二明亮的球狀星團，或密集星團。它叫做NGC 104或47 Tucanae。
供圖: ESO

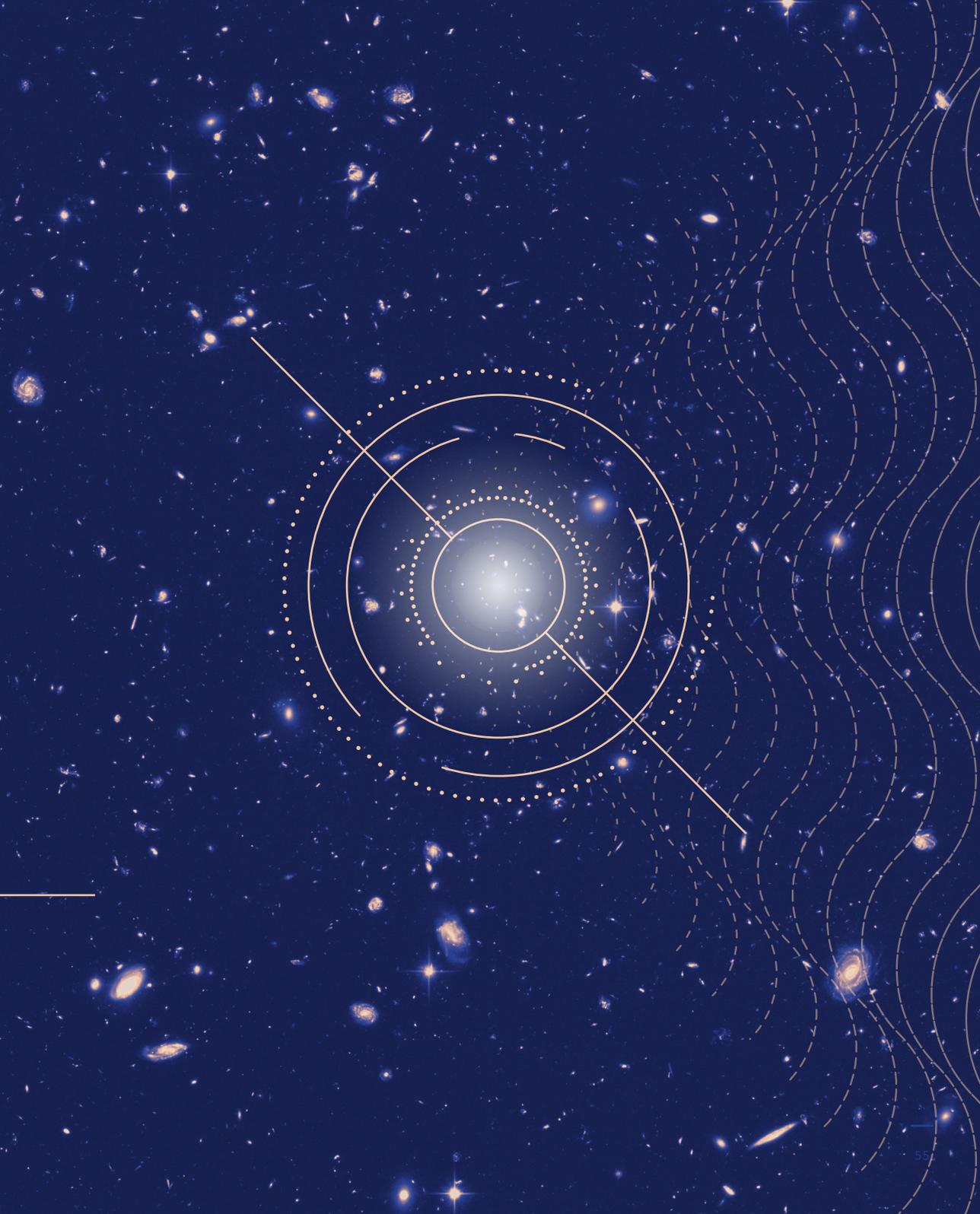


9

宇宙中有上億個星系

哈勃極深場，宇宙的一個小區域(約為滿月直徑的1/10)的快照，包含了近10000個星系。

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



9.1 星係是一個包含了恆星、塵埃和氣體的大系統

一個星系包含幾百萬到幾千億顆恆星，通過引力束縛在一起。一個星系的恆星可以是星團的一部分，也可以是遍布整個星系的大量離散的恆星的一部分。此外，星系還包含恆星殘骸、塵埃、氣體和暗物質。許多星系的中心都有一個超大質量黑洞。

9.2 星系似乎包含了大量暗物質

暗物質是一種不發射電磁輻射的物質，也不與電磁輻射相互作用，因此無法通過直接觀察看到。雖然暗物質是看不見的，但它有質量，它的存在是從它對可見物體產生的引力作用推斷出來的。這些引力的作用包括對可見物體的運動的影響，或由於引力透鏡導致的可見物體圖像扭曲。星係被一個更大的暗物質包圍——從某種意義上說，我們所看到的星系只是冰山一角。

9.3 星系的形成是一個演化的過程

在宇宙歷史的最初幾億年裡，暗物質演化成許多大而密集的区域，稱為暗物質暈。當氫氣和氦氣落到這些暈上時，第一批星系和第一批恆星就形成了。更大的旋渦星系，如銀河系，通過吸引、合併許多較小的星系進行演化。當更多大質量星系碰撞並合併時，就會形成大的橢圓星系。根據它們的氣體儲量，以及通過恆星爆炸或星系中心運動產生的熱量的不同，這些星係以或快或慢的速度形成新的恆星。

9.4 三種主要星系類型為棒旋、橢圓及不規則星系

根據視覺外觀，星係被分為旋渦星系、橢圓星系和不規則星系。這些類型的星係不僅外形不同，其內在物質也不同。旋渦星系的旋臂是平的，主要由明亮的年輕恆星和大量氣體、塵埃形成。相比之下，橢圓星系包含的氣體較少。它們的恆星大多年老，呈卵形或球形分佈。包括大多數矮星系在內的一些星系沒有標準的形狀，因而被稱為不規則星系。

9.5 我們生活在一個叫銀河系的棒旋星系中

我們的銀河係是一個螺旋星系，中心呈棒狀結構。太陽系位於距銀河系中心約25,000光年的旋臂上。銀河系的可見部分是由直徑約100,000至120,000光年、厚度僅約2,000光年的圓盤狀恆星集合而成。在這個圓盤中，年輕的恆星和塵埃形成了旋臂。在漆黑的夜晚，從一個合適的黑暗位置，我們可以看到銀河盤內1000多億顆恆星中的一小部分，就像一個在天空中拱起的巨大的朦朧光帶。這是我們從銀河系內部看到的景象。

9.6 星系的旋臂由氣體和塵埃堆積而成

一個被廣泛接受的理論是，旋臂是由星系盤內運動的密度波形成的，這導致恆星、氣體和塵埃堆積在一起，就像繁忙高速公路上的交通堵塞一樣。星系盤中更密集的区域就是旋臂。這些高密度區域包含了大量氣體和塵埃，對新恆星的形成至關重要。因此，旋臂包含許多年輕的明亮恆星，表明這些區域恆星的形成率很高。

9.7 大多數星系中心都有一個超大質量黑洞

一個典型的星系中有大約1億個恆星級質量的黑洞。這類黑洞是大質量恆星在結束生命時的超新星爆炸中形成的。大多數星系的中心存在著超大質量黑洞，他們是質量最大的黑洞類型，其質量在幾百萬到十億太陽質量之間。銀河系中心有一個超大質量黑洞，其質量約為四百萬個太陽質量。第一張直接拍到的黑洞事件視界輪廓的圖像是在2019年通過結合來自世界各地的八台射電望遠鏡的數據獲得的。該黑洞位於巨大的橢圓星系M87中心。



9.8

星系間距離可能極為遙遠

距離銀河系最近的星系是大犬矮星系，距離約25,000光年。那些遙遠的星系在我們看來顯得非常模糊，因此很難被觀察到。若想獲得遙遠星系的圖像，需要使用具有高分辨率的大型望遠鏡，並進行長時間曝光以收集足夠的從這些物體發出的光線。

9.9

星系群

星係並非隨機散佈在整個宇宙中，通常的星係都是星系團的一部分。這些星系團由數百個甚至數千個星系組成，通過引力束縛在一起。星系團本身也被束縛在被稱為超星系團的更大結構中。銀河係是本星系群的一部分，其中包括超過54個星系。本星系群是室女座星系團的外圍成員，也是室女座超星系團的一部分，而室女座超星系團又是拉尼亞凱亞超星系團的一部分。

9.10

星系間通過引力相互作用

星系之間的相互作用會影響它們的外觀和演化。過去人們認為一種類型的星係可以在其整個生命週期內演化為不同的類型，但目前的科學知識表明，引力作用才是某些類型星系形成的原因。例如，橢圓星係可能是由多個大型前身星系合併而產生，合併還可能會在相互作用的星系中誘發猛烈的恆星產生過程。

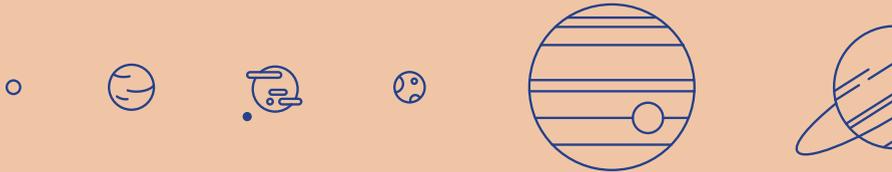
半人馬座A的彩色合成圖像，揭示了星系中心
黑洞周圍的噴流和瓣。
供圖: ESO/WFI (Optical); MPIfR/ESO/APEX/A.
Weiss et al. (Submillimetre); NASA/CXC/
CfA/R.Kraft et al. (X-ray)





10

我們在宇宙中並不孤單



這是卡西尼號宇宙飛船拍攝的一張照片，顯示了從15億千米外的土星上看到的地球和月球。
供圖：NASA/JPL-Caltech/ Space Science Institute



10.1 有機分子已在地球外被探測到

碳元素是組成生命的基本成分，有機分子都離不開它。對星際介質的觀察表明，太空中存在著有機分子，例如簡單氨基酸的前身。在彗星和隕石中也發現了包括氨基酸在內的有機分子。這些分子很可能早已存在於形成太陽系的氣體和塵埃中了。

10.2 地球上的某些生命體能夠在極端環境下生存

雖然地球上的大多數生命對環境條件都很敏感，但在極端環境中也生活著一些生物體，即極端微生物。這表明生命可以存在於最意想不到的地方。這些生物體對極端溫度、壓力、酸鹼度和輻射具有很強的抵抗力。有些生活在沙漠、極地、深海、地殼內部甚至火山中。已知的最有適應能力的生物之一可以在真空條件下生存。當談到其他具有相當惡劣的環境的行星或衛星上是否存在生命的可能性時，這些事實是使得人們保持謹慎樂觀的理由。

10.3 潛在的液態水的痕跡證明火星上早期可能存在生命

正如我們所知，液態水是生命發展的關鍵因素。因此，在其他行星及其衛星上尋找液態水一直是尋找外星生命的重要環節。近年來，在火星表面發現了可能屬於液態水的痕跡，使得長期以來關於火星上是否存在過水的爭論更加激烈。儘管目前火星上存在液態水的證據存在激烈的爭議，但這些痕跡表明火星上可能曾經存在過簡單的生命形式。如果目前火星地表深處存在液態水，那麼就有可能存在生命。

10.4 太陽系中少量衛星擁有宜居環境

在圍繞著太陽系行星運行的眾多衛星中，有些與類地行星具有相同的特徵，例如濃密的大氣和火山活動。木衛二是木星最大的衛星之一，它的冰凍表面下可能是液態海洋。科學家們認為，這片海洋可能為簡單的生命形式提供了合適的生存條件。另一個可能存在簡單生命的衛星是土星的最大衛星土衛六。土衛六富含複雜的有機化合物，有濃密的大氣層，表面有液態甲烷，還可能擁有地下海洋。

10.5

人們發現了大量圍繞其他恆星運轉的行星，我們稱之為系外行星

人類已經發現了數千顆圍繞著除太陽外的恆星運行的行星，稱為系外行星。已發現的系外行星數量在越來越快地增加著，並且我們現在已經能夠描述太陽附近的系外行星的特徵。

10.6

系外行星多種多樣，且多以行星系的形式存在

系外行星的物理和軌道特性差異很大。質量從水星質量到數倍木星質量不等，半徑範圍為數百公里到數倍於木星的半徑。系外行星的軌道周期可以短至幾個小時，其軌道偏心率可以與太陽系彗星軌道的偏心率一樣高。大多數係外行星都是由圍繞同一顆恆星運動的數顆行星組成的行星系的成員。

10.7

人們在尋找另一個地球的征程上已看到曙光

通過提高探測方法的精度，我們現在能夠找到質量和半徑與地球相當的行星。雖然我們的探索有限，但目前已發現太陽附近有很多系外行星。其中一些行星正好處在圍繞主星的被稱之為宜居帶的區域內。根據定義，那些在宜居帶內繞轉的行星從其恆星接收的輻射適量，以允許其表面存在液態水。

10.8

科學家正在尋找地外文明

一種尋找外星文明的方法是尋找任何已知天文現象都無法自然產生的信號。對這類信號的系統性搜索被稱為地外文明探索 (SETI)。到目前為止，還沒有發現這樣的信號，但SETI依舊在持續掃描天空，以尋找來自地球以外的高級生命的任何線索。

11

光污染影響人類及許多動植物

從國際空間站拍攝的地球夜景，展示了來自韓國和日本的人造燈光。
供圖：NASA



11.1

光污染影響人類及許多動植物

數百萬年來，地球上的生命都在沒有人造光的環境中發展演化，大多數物種都適應了晝夜活動。自從電被發明以來，人類越來越多地在夜晚使用人造燈，造成了嚴重的光污染，對地球環境、動物行為和人類健康產生了影響。大多數動物種群依賴於晝夜模式。從生理和繁殖到定位和捕食，人造光能夠擾亂全球的野生動物種群。我們也正在失去我們祖先曾享受過的黑暗天空。現在在許多城市和郊區，晚上幾乎不可能看到銀河。

11.2

環繞地球的軌道上有許多人造物體殘骸

隨著太空技術的發展，人類已經能夠使用火箭將無數物體送入太空。自從進入太空探索時代以來，人類製造的太空碎片數量急劇增加，例如火箭部件或舊衛星。目前估計有500,000塊碎片在圍繞地球飛行，它們也被稱為太空垃圾。因為太空垃圾在高速飛行，它們與航天器或衛星的任何碰撞都可能造成嚴重損壞。這對於國際空間站和其他載人航天器來說尤其危險。空間碎片的監測和衛星、碎片的收集技術是一個活躍的研發領域。

11.3

人們監測著可能造成危險的太空物體

在太陽系形成的早期階段，新形成的行星經常被小行星等較小的天體撞擊。地球表面的一些隕石坑和月亮表面的所有隕石坑都直接證明了那些撞擊是非常危險的。儘管它仍然只是一個研究和辯論的主題，但人們認為那些不會飛的恐龍和大量其他物種的滅絕可能是由於一次大約發生在6500萬年前的小行星撞地球事件。雖然現在發生這種規模的撞擊的可能性非常低，但監測所有可能對地球上的生命構成潛在威脅的天體是非常重要的。在未來幾年時間裡，航天局、天文台和其他機構應當有能力識別出所有對地球有潛在威脅的一千米大小或更大的小行星。目前已知的小行星都不會與地球發生碰撞。

11.4

人類對地球環境有極大影響

儘管工業化給社會帶來了許多好處，但也造成了地球上的一些環境問題。通過砍伐森林，污染河流、海洋和大氣，我們正在破壞地球上生命所必需的清潔空氣、食物和水的重要源頭。人類已經導致無數物種的滅絕，並繼續不斷採探瀕危環境中的礦物和能源。人為引起的氣候變化（全球變暖）正在對我們的環境產生巨大的影響，這使得人類和許多物種處於危險之中。

11.5

氣候和大氣已被人類活動嚴重影響

如果地球沒有大氣層，它將是一個冰冷的世界，平均溫度為 -18°C 。然而，大氣中的溫室氣體部分吸收了從地面散發的熱輻射並將其輻射回地球表面，這使地球變得適合居住。人類活動已經大大增加了地球大氣中主要溫室氣體的含量，這造成了地球能量收支的不平衡。這些溫室氣體的增加導致更多的熱量被困在地球上，使平均溫度升高。地球無法通過其自然系統將多餘的能量輻射出去，因此對能源不平衡非常敏感的全球氣候模式被迫改變。

11.6

保護我們的地球需要全球觀

每個人都是地球的居民。全球共同管理、共擔責任的理念有助於我們理解，每個人都可以通過團體或個人行為去解決全球性的問題。為我們的子孫後代保護地球是非常必要的。目前，地球是宇宙中唯一已知的可以存在生命的行星。

11.7

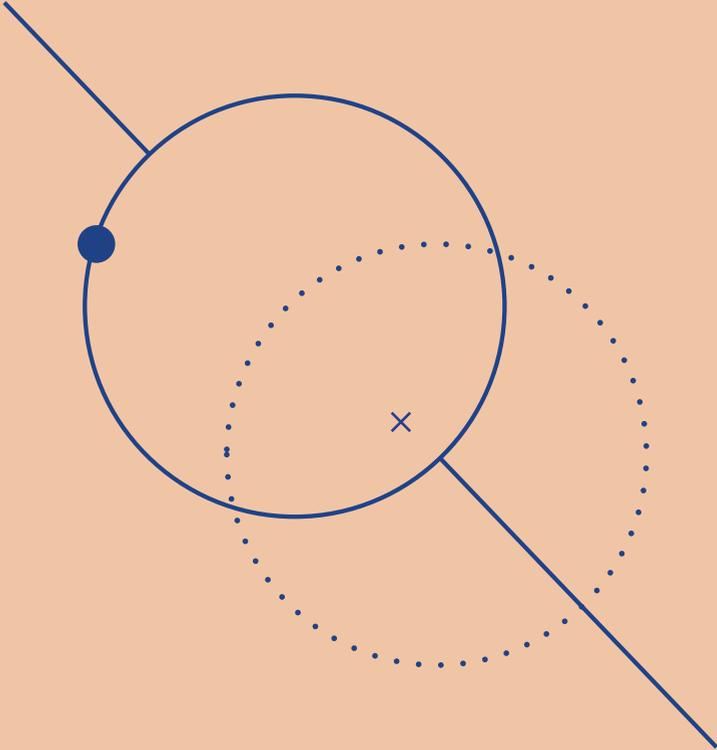
天文學提供了獨特的宇宙學視角，促進地球居民的團結

地球上所有的人都生活在同一片天空下，並共同分享著宇宙深處的景色。在從太空拍下的照片中，地球像個“藍色大理石”，這讓我們對我們共同乘坐的這艘宇宙飛船有了更深的認識。從地球之外看，各個國家之間的邊界都消失了。來自旅行者2號和卡西尼號等航天器拍攝到的圖像讓我們意識到這個“淡藍點”僅僅是浩瀚宇宙中的一粒塵埃。

x

x

x



x

x

x

x

x



Universiteit
Leiden
The Netherlands

