

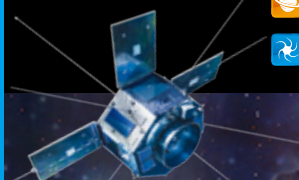
知識大圖解

HOW IT WORKS

國際中文版 | 英國 FUTURE 集團官方授權

☀ 太陽系揭密
🌌 宇宙奇觀

🚀 拓荒之旅
🔬 天文探索

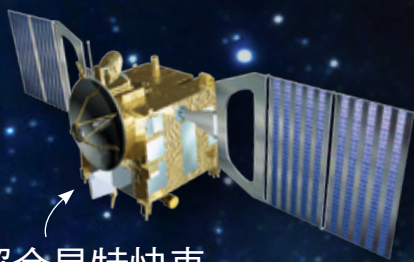


一探太空探測器的
突破性發現



解析最新火箭科技

地球位在
銀河系的何處？

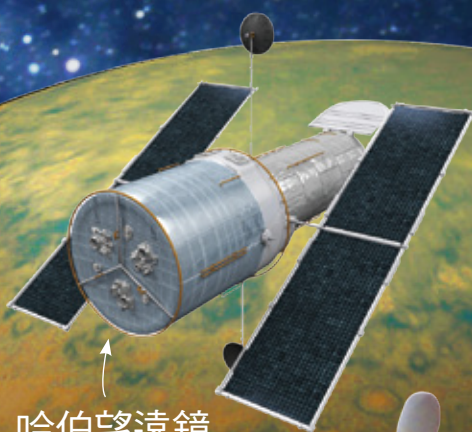


詳解金星特快車
探測器

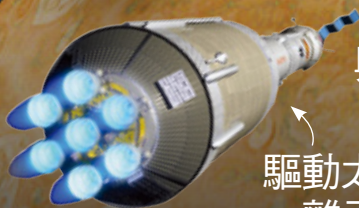
好奇號探測車
大特寫



哈伯望遠鏡
與太空梭有何關聯？



驅動太空探險的
離子推進器



太空奧秘 大圖解

從太陽系的誕生到星際太空之旅，深藏於
浩瀚宇宙的天文祕密，一次讓你盡收眼底！



LiveABC

英語數位學習第一品牌



太陽系 誕生

BIRTH OF THE SOLAR SYSTEM

太陽與其行星創生的迷人故事



500 年前，人們仍認為地球是宇宙中心，不論是太陽、月亮、恆星，或火星、水星、金星、木星、土星，都圍繞著地球運轉。到了 16 與 17 世紀，哥白尼、克卜勒和伽利略徹底推翻了兩千年來的科學定見，提出日心說，認為地球和其他行星繞著太陽運轉，也就是太陽系的概念。教會強烈打壓這個想法，直至 18 世紀，才有越來越多的輿論開始質疑傳統以地球為中心的觀點，這也讓法國科學家皮耶爾－西蒙·拉普拉斯（Pierre-Simon Laplace）在 1796 年的著作《宇宙系統論》（Exposition of a World System）中，首度提出以科學為基礎的太陽系起源理論——星雲假說，他認為太陽系起源於一團自轉的雲氣，之後雲氣逐漸收縮形成太陽和行星，而這也和目前天文學家對太陽系起源的想法相去不遠。

20 世紀的物理和數學理論傾向認為行星是由凝聚黏合所形成，但行星與恆星的起源仍有共同點——兩者皆始於星雲。就在艾德溫·哈伯（Edwin Hubble）發現銀河系只是宇宙眾多星系之一後不久，蘇聯

天文學家奧托·施密特（Otto Schmidt）提出了吸積理論，認為太陽曾穿過一團星際雲氣，從另一邊出現時被一層雲氣塵埃包覆，而行星便源自於此。雷蒙·利特敦（Raymond Lyttleton）在 1961 年修正了吸積理論，但仍舊無法完美解釋行星是如何從這團塵埃中形成。之後科學家陸續提出其他理論，像是麥可瑞亞（McCrea）的原行星理論（Protoplanet Theory）認為星雲坍縮，塵埃粒子聚集形成原行星，以及捕獲理論（Capture Theory）認為某顆原恆星上的物質被太陽捕獲，最終坍縮形成行星。

雖然太陽系起源理論仍未有定見，但經修正的拉普拉斯模型是目前最主流的說法。近代拉普拉斯理論（Modern Laplacian Theory）認為太陽系源自 50 億年前，超新星爆發拋出的各種元素與氣體，撞擊由氫和氦組成的雲氣，播下太陽系形成的種子。

這團含有氮、氧、鐵、矽等物質的雲氣一開始緩慢旋轉，受自身重力影響逐漸向中心聚集，由於向心加速而越轉越快。較密的雲氣代表塵埃微粒更容易凝聚形成小團塊，▶

無奇不有 富鐵地球

鐵非常稀少

鐵金屬是地球上第四多的元素，約占地球的 15%；其實鐵占了地核將近 80%，更令人驚訝的是，鐵在太陽系中的占比僅略多於 0.1%。



你知道嗎？ 再過數百億年，成為白矮星的太陽將熱全部散盡後，會成為一顆黑矮星

遷移的行星

早期太陽系中，新生太陽周圍的氣體圓盤中有正在成長的行星，其重力會擾動附近的氣體，使角動量增加或減少。跟外太陽系的四顆大質量類木行星比起來，較低質量的類地行星遷移速率較慢。行星遷移會受到其他天體的重力影響，在地球誕生的最初十億年，行星受到小行星劇烈撞擊，軌道也受影響。目前科學家還不太清楚行星究竟是如何抵達現在的位置，但水星、金星、地球、火星這四顆類地行星有可能是向內遷移至目前所在的內太陽系。巨大的類木行星就比較複雜了，從能形成冰的區域向內遷移，然後又回頭向外側移動，這也解釋為何小行星帶有極度乾燥和富含水冰的兩種天體。雖然目前行星處在穩定的軌道狀態，但太陽逐漸凋亡，以及數十億年後銀河系與鄰近的仙女座星系碰撞，勢必會影響行星軌道，地球屆時很可能會被拋出太陽系外。

古柏帶是什麼？

科學家在 1992 年發現了古柏帶，距離太陽有 45 至 75 億公里，寬度是小行星帶的 20 倍，質量則接近小行星帶的 200 倍。小行星帶主要由小塊的岩石礦物與金屬組成；古柏帶的天體主要是冰凍的甲烷、氨與水冰，是早期太陽系

遺留下的殘骸，土衛九和海衛一可能是來自古柏帶的微行星。自 2006 年冥王星被重新分類為矮行星後，它成為當時已知最大的古柏帶天體，可是在矮行星的排名中冥王星只屈居第二，冰質的閼神星比冥王星還要大上 27%。



© Alamy, NASA



▶ 經過數百萬年，在中心形成巨大的原恆星。原恆星的質量逐漸增加，由於溫度夠低仍能繼續坍縮，直到點燃連鎖核反應，形成像太陽這樣的恆星。

那行星如何形成？又為何每一顆行星間的差異如此大？很難相信這些巨大的天體源於飄渺的氣體塵埃，但科學家相信這是事實。

當原恆星坍縮，其轉動速度增加，留下的塵埃在赤道區域凝聚形成拱星盤，當原恆星點燃核反應形成太陽後，吹出劇烈的太陽風將塵埃吹散，均勻散布在 60 億公里的範圍內。

太陽系的內行星是由散布在距太陽 4 億公里內的物質所形成，在此範圍內的溫度太高，水或甲烷分子無法凝結成液體，因此只有較重的元素，像是鐵和鎳會凝結成團。就像變成太陽的原恆星那樣，這些塵埃微粒聚集成較大的岩塊，經過幾百萬年的時間逐漸發展成微行星，這些微行星將會成為接近太陽的前四顆岩質行星。由於這些較重的元素相當稀少，和占了太陽系全部行星質量 99% 的四顆外行星相比，內行星無法長得太過巨大。

在內太陽系和外太陽系之間有條寬廣的小行星帶。1802 年德國天文學家海因里希·奧伯斯（Heinrich Olbers）指出，過去在火星與木星軌道之間曾有一顆行星，但受劇烈撞擊而粉碎。後來科學家發現，小行星帶只能形成約月球 4% 大小的天體，且不同小行星的化學成分各異。

越過小行星帶之後就是霜線。在離太陽 5 億 2300 萬公里遠處，溫度直落至攝氏零下 120 度，氣態的化合物也因低溫而凝固，大量的揮發性物質形成木星、土星、天王星和海王星，它們的質量夠大，足以捕獲氫和氦這些最輕的元素。

冥王星在被發現後的 76 年間被歸類為行星，但由於科學家後來發現許多類似大小的天體，因此冥王星就被重新分類為矮行星。曾經有種說法認為冥王星曾是海王星的衛星，之後被海王星現存最大的衛星——海衛一（Triton）給拋出軌道。現在則認為冥王星是古柏帶（Kuiper Belt）的成員之一。✿

太陽系形成過程

1 巨大分子雲

Giant molecular cloud

一大團星雲粒子開始聚集在一起，隨著時間形成越來越大的團塊。

角動量

在天文學中，角動量是天體自轉或公轉時所具有的物理量，為天體質量、速度與繞行天體之距離這三項的乘積。角動量對瞭解太陽系的生成來說非常重要，因為它代表了形成太陽和所有行星的這團分子雲的初始轉動狀態，對一開始的行星分布、軌道及自轉來說至關重大，最終也會對地球上出現的生命形態有所影響。

2 太陽形成 Sun formation

太陽從這些團塊中形成，大規模的日冕噴發播下行星形成的種子。

太陽系時間軸

45.9 億年前

太陽開始核反應，太陽系形成



43 億年前

地球的衛星——月球形成



20 億年前

地球上出現複雜的多細胞生物

2015

人類是地球的優勢物種

15 億年後

太陽膨脹；地球不適於生命居住



你知道嗎？ 科學家相信月球極有可能是因地球和另一天體的劇烈撞擊所形成



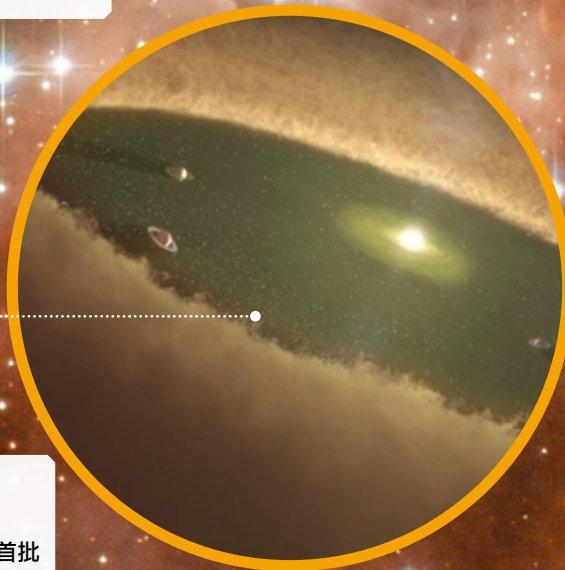
3 內行星 The inner planets

水星、金星、地球、火星這四顆比較接近太陽且富含鐵鎳的類地行星，在被隕石撞擊的同時，穩定地累積自身質量。



5 行星遷移 Planetary migration

行星會在盤面上長距離遷移——尤其是木星，曾經跨過現在的小行星帶，才又回到現在的位置。



4 外行星 The outer planets

木星、土星、天王星、海王星是首批形成的行星，能累積足夠的質量和重力捉住較輕的氣體，像是氫和氦這兩種早期太陽系中含量最豐富的元素。



6 今日 Today

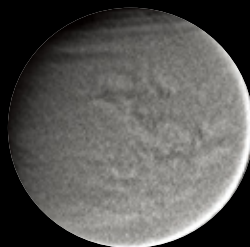
現在是太陽系歷史上相對來說較平靜的時期，但再過幾十億年後，行星會被暴脹的太陽吞噬，或是被拋出太陽系外。

48

億年後
太陽變成紅巨星

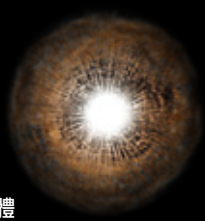
65

億年後
土衛六泰坦（Titan）
變得適於生命生存



100

億年後
太陽散發外層氣體



130

億年後
太陽變成白矮星

150

億年後
生命無法存在於太陽系中

All images © NASA



12 個不可思議的 太陽系真相

12 SURPRISING FACTS ABOUT
THE SOLAR SYSTEM

我們所在的星系比你想得還要奇妙！

你知道嗎? 有些小行星大到擁有自己的衛星，例如 243 號小行星艾達 (Ida) 和它的天然衛星艾衛 (Dactyl)

1 木星是行星殺手！

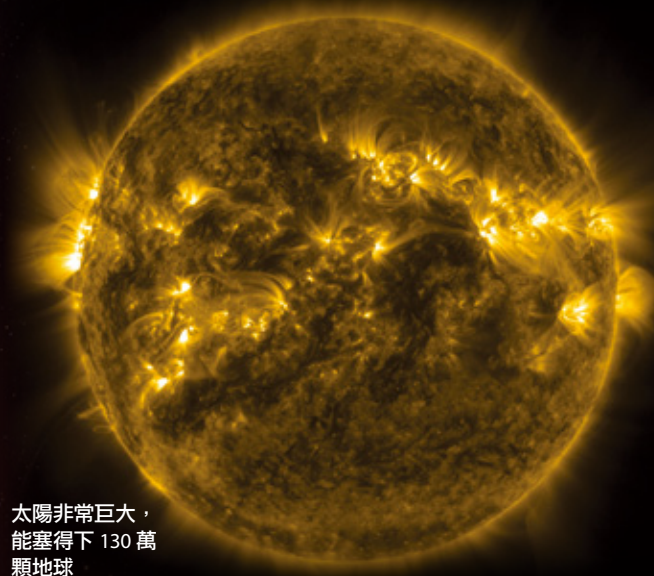
天文學家正不斷地尋找其他系外行星和太陽系，在此過程中，我們也越來越明瞭我們所處的太陽系是如此獨一無二。其他星系除了有離恆星極近的行星軌道（甚至比離太陽最近的水星還近），還有許多堪稱「超級地球」的巨大岩質行星，但為什麼只有我們的太陽系如此與眾不同？

原因可能在於木星。我們早就認為此氣體巨行星對早期太陽系影響甚鉅，木星的強大重力使木星和火星間難以形成行星，而小行星帶便於焉誕生。科學家現在認為，木星就像會搞破壞的大鐵球，在早期的太

陽系中擺盪，干擾其他行星的形成，有時甚至還把整顆行星踢出太陽系。

「大航向理論」(Grand Tack theory) 認為，木星在其他行星（如土星）形成之前，便往太陽系的內側移動；木星的重力就像彈弓一樣，把此處剛形成的行星丟出太陽系。接著，土星形成，讓木星的軌道穩定維持在火星外側；太陽系的內部總算得以平靜，岩質行星——水星、金星、地球和火星——也才有機會形成。

此理論能說明為何太陽系裡沒有超級地球，但這也表示我們的行星系統很罕見。天文學家的重要目標就是要找出與地球形成方式相似的行星，而此理論或許能提供一些線索。

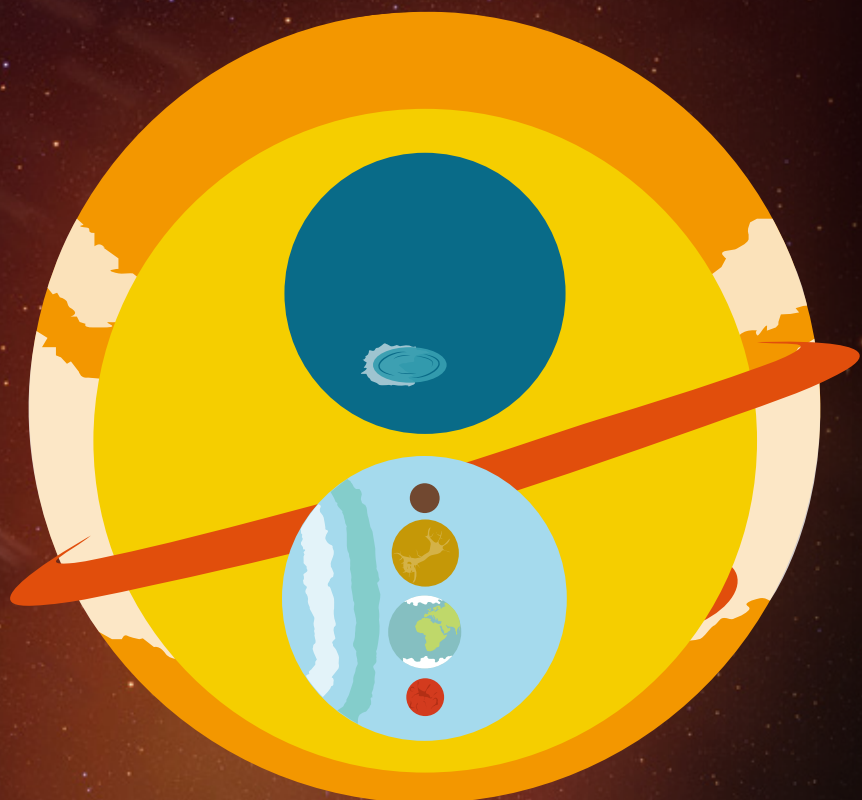


太陽非常巨大，能塞得下 130 萬顆地球

2 太陽占了太陽系總質量的 99%

太陽系裡有多不勝數的天體，從大型的行星到較小的小行星和彗星都有。但就算把這些天體的質量全加起來，跟太陽相比仍舊微不足道。太陽系裡除了太陽這顆超大的氣體球之外，最

大的天體就屬直徑約為 14 萬公里的木星；不過，太陽的直徑可是約有 140 萬公里，質量更約達 2×10^{30} 公斤——不僅是地球的 33 萬倍，更占了太陽系總質量的 99.86%！



- | | |
|-----|----|
| 木星 | 地球 |
| 土星 | 金星 |
| 天王星 | 火星 |
| 海王星 | 水星 |

小行星帶並沒有你所想得那麼擁擠

3 輕鬆飛越小行星帶

《星際大戰五部曲：帝國大反擊》(Star Wars: The Empire Strikes Back) 中出現的小行星帶內滿布著岩石，太空船很難在此區航行。這種場景可能會在十分遙遠的星系中發生，但我們的太陽系卻和電影中描述得不太一樣。位在火星和木星之間的小行星帶約有 75 萬顆小行星，雖然乍聽之下很多，但每顆小行星間的平均距離卻有 97 萬公里遠。如果你有機會飛越小行星帶，可能連看到小行星的機會都沒有，更何況是要閃避小行星了。

© NASA



4 人類足跡遍布太陽系

人類航向太空的歷史已逾半個世紀，在這段時間裡，我們探索了太陽系中的不少地方。太空船已探訪過所有主要行星、三個矮行星，以及好幾個彗星和小行星。

如果這還不夠驚人，那我們再告訴你：人類已登陸了七個天體，也曾讓太空船墜毀在其他天體上。目前在月球、火星、金星、土衛六泰坦（Titan）、小行星愛神星（Eros）和 67P 丘留莫夫－格拉西緬科（67P/Churyumov-Gerasimenko）彗星上，都還有正在運作或是已完成任務的

人造探測器。我們的隼鳥號（Hayabusa）太空探測器曾在小行星上進行採樣，並成功返回地球；我們甚至還把其他探測器送到木星的大氣中。更別說還有好幾艘繞著太陽運行的太空船，以及正離開太陽系的太空船——航海家號（Voyager）探測器、先鋒號（Pioneer）探測器和新視野號（New Horizons）太空船。人類，還真是了不起！

2005 年，惠更斯號（Huygens）探測器在土衛六泰坦著陸

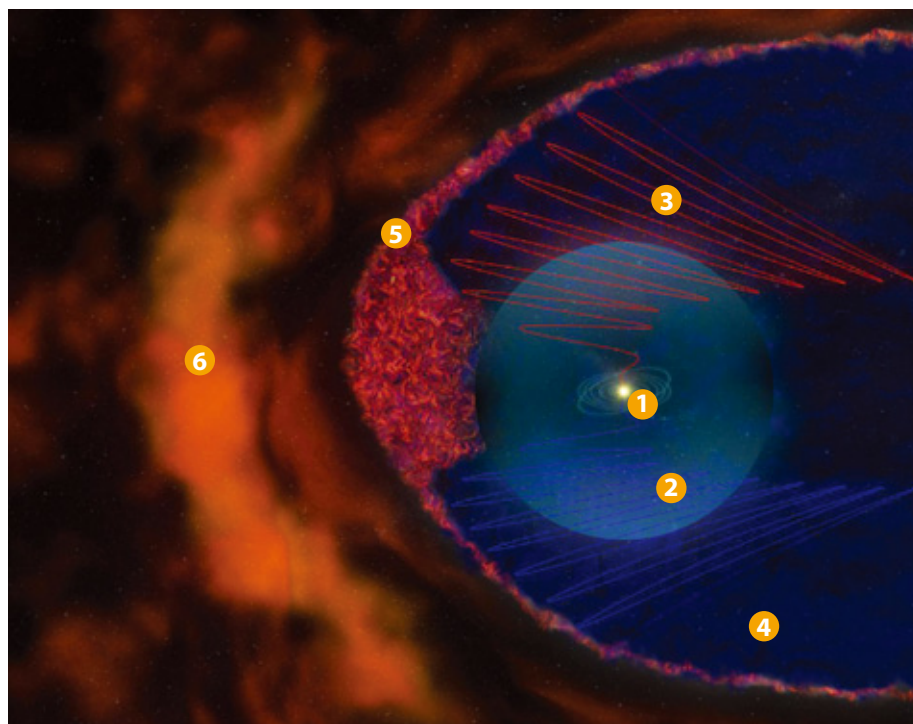


太陽系的邊界

太陽的影響力如何延伸到星際空間

5 航海家 1 號飛離太陽系

2013 年 9 月，科學家在幾場空歡喜後總算能舉杯慶祝，因為他們證實航海家 1 號（航行最遠的人造星際特使）已離開太陽系，這是人造太空船的創舉。航海家 1 號於 1977 年發射，目標是探測太陽系外圍的行星；完成任務後，它又繼續往太陽系的邊界前進。當太空船距太陽 190 億公里遠時，科學家確認它已離開太陽系邊緣的磁性氣泡（太陽圈）、進入星際空間。目前對太陽系邊界的位置仍有爭議，有人認為其影響範圍超過三光年，而航海家 1 號目前只航行了 0.002 光年。



1 發射 Launch

1977 年 9 月 5 日，當航海家 1 號從地球發射時，離太陽達 1 億 5000 萬公里遠。

2 終端震波 Termination shock

太陽風在到達終端震波前都還能自由流動，過了此邊界後就會急遽減緩。

3 太陽圈 Heliosphere

氣泡般的太陽圈由太陽風（可延伸至太陽系深處）所造成。

4 日鞘層 Heliosheath

日鞘層位在終端震波和太陽層頂之間，屬於一過渡區域。

5 太陽層頂 Heliopause

太陽層頂是太陽圈的邊界所在，也是太陽風和星際介質的界線。

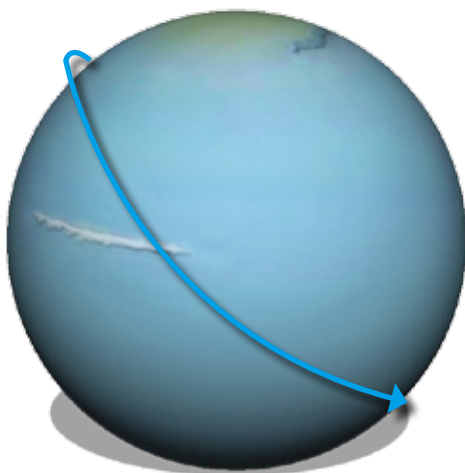
6 弓形震波 Bow shock

科學家認為，當太陽風與星際介質相遇時，會產生弓形震波。

航海家 1 號目前與太陽的距離，比地球與太陽的距離還要遠 130 倍以上

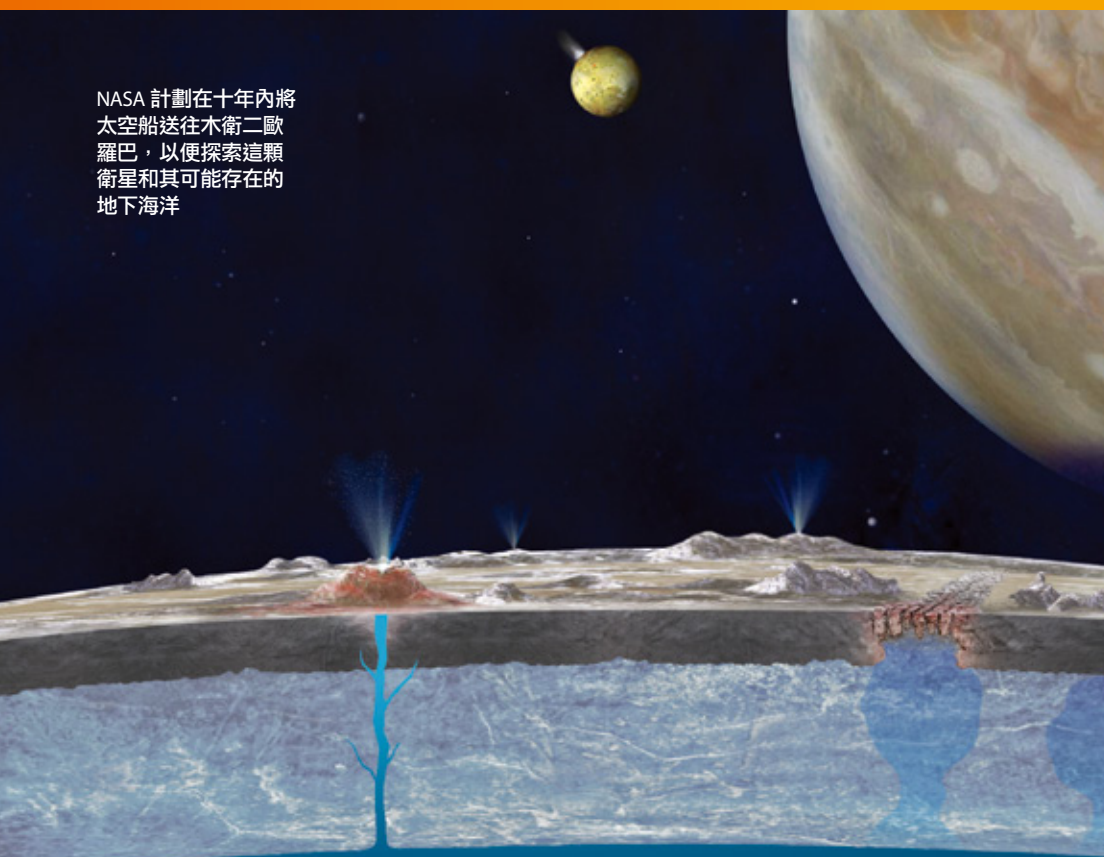
6 天王星躺著轉

太陽系中所有行星的自轉軸大多都與其繞行太陽的軌道面垂直——只有天王星例外。因為某些緣故，天王星的自轉軸傾角達 98 度（地球的自轉軸傾斜約 23 度）。這代表天王星的兩極指向軌道面，且天王星會躺著轉。天文學家最初認為，這可能是由天王星早期經歷的一次撞擊事件所致；而今，新的理論認為，其成因可能和多起撞擊事件有關。



天王星是行星中的異數，它會「躺」在軌道上繞太陽運轉

NASA 計劃在十年內將太空船送往木衛二歐羅巴，以便探索這顆衛星和其可能存在的地下海洋



8 有很多水

地球上的水從何而來，仍是未解之謎。科學家認為，可能是早期太陽系的彗星或小行星將水帶到地球，但仍無法確定這一切究竟如何發生；不過，至少有事無庸置疑——地球並非唯一有水的星球。科學家認為火星表面可能有涓涓細流般的液態水，幾十億年前甚至有廣闊的海洋；其他行星（如木星和金星）的大氣層中也含有大量水汽。

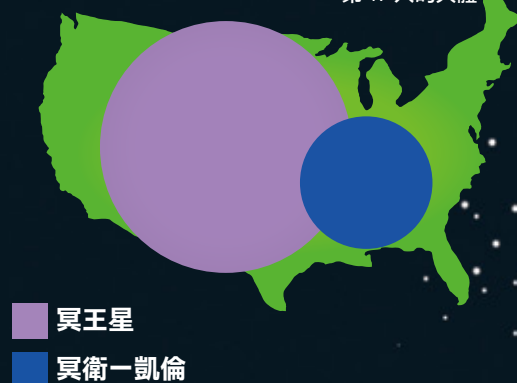
此外，還有幾個衛星也特別讓人感興趣，如木星的三個大型衛星——木衛二歐羅巴（Europa）、木衛三甘尼米德（Ganymede）和木衛四卡利斯多（Callisto）——以及土衛二恩克拉多斯（Enceladus）。科學家認為，這些衛星可能擁有廣大的地下海洋，含水量甚至可能比地球還多。事實上，其他星球或許還有更多未知的海洋，等著我們去發現。

7 冥王星比美國還要小

2006 年時，冥王星失去了太陽系第九行星的地位，因為天文學家發現了與之差不多大的閼神星（Eris）。此發現代表可能還有許多大小相近的天體，為避免將來得記住一大串的行星名字，冥王星因此被降級。相對來說，冥王星其實真的很小，直徑僅約 2372 公里；如果把冥王星放在美國上面，很容易就會發現冥王星和美國的頂部和底部彼此切齊。

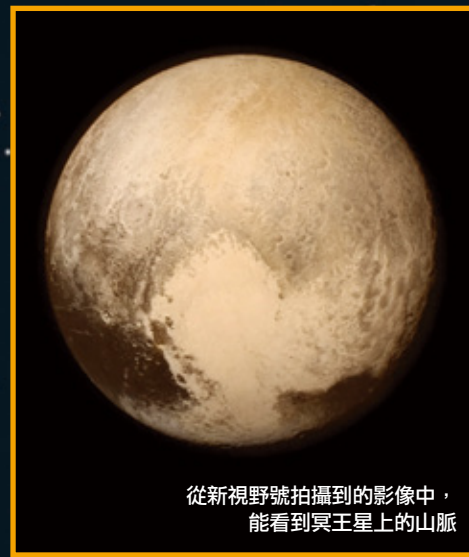
不過，這可沒讓冥王星為之遜色。我們可從最近的新視野號任務中發現，這顆矮行星依舊十分迷人。過去我們認為冥王星只是顆貧瘠的星球，但最新研究發現，冥王星近期仍出現地質活動，且表面可能有冰火山存在。

冥王星是太陽系中第 17 大的天體



冥王星

冥衛一凱倫



從新視野號拍攝到的影像中，能看到冥王星上的山脈

© NASA, ESA - C. Carreau



9 行星能從卵石中形成？

太陽系裡的行星如何形成仍是個謎。雖然多數天文學家認為，氣體和塵埃凝聚後會形成較大的天體，但詳細過程仍有待釐清。較廣為接受的行星形成模型是卵石理論（pebble theory）。此理論和其他理論不同，它解釋了火星為何比地球小，及氣體巨行星最初如何形成。卵石理論主張，所有天體都由小型「卵石」逐漸聚集而成；最大的團塊會越長越大，持續吸引較小的卵石。過去的吸積理論認為，大小相似的天體會相聚；卵石理論則指出，較大的天體會掃光所有物質，因此天體成長的速度可達吸積理論的 1000 倍以上。



行星的誕生

太陽系是怎麼演化成今日的面貌？

1 星雲 Nebula

大約 50 億年前，太陽系從一團塵埃氣體雲氣中誕生。

2 重力 Gravity

重力開始把初始雲氣中的物質聚集在一起。

3 恆星誕生

A star is born

雲氣的中心收縮、溫度升高。

8 碎屑 Debris

剩下的物質在太陽周圍形成如小行星帶般的帶狀構造。

9 太陽系 Solar System

今日的太陽系（內有行星、衛星、小行星和彗星）已成形。

7 行星 Planets

行星可能遵循卵石理論而形成，並在圓盤中清出一條軌道。

6 原行星盤

Protoplanetary disc
扁平圓盤中的物質開始聚集在一起。

5 旋轉 Rotation

太陽的旋轉使周圍的雲氣變為圓盤狀，同時太陽本身也越長越大。

4 原恆星 Protostar

大約 45 億年前，太陽最初是一顆小小的原恆星。