

一探太空探測器的
突破性發現

解析最新火箭科技

太空奧祕 大圖角力

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！

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，►

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



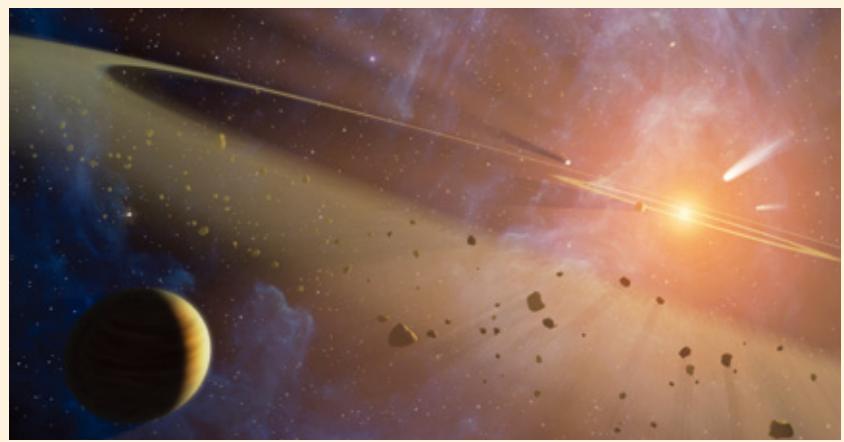
遷移的行星

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，冰質的鬪神星比冥王星還要大上 27%。





太陽系揭密 Solar system

「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」

► 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。



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

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

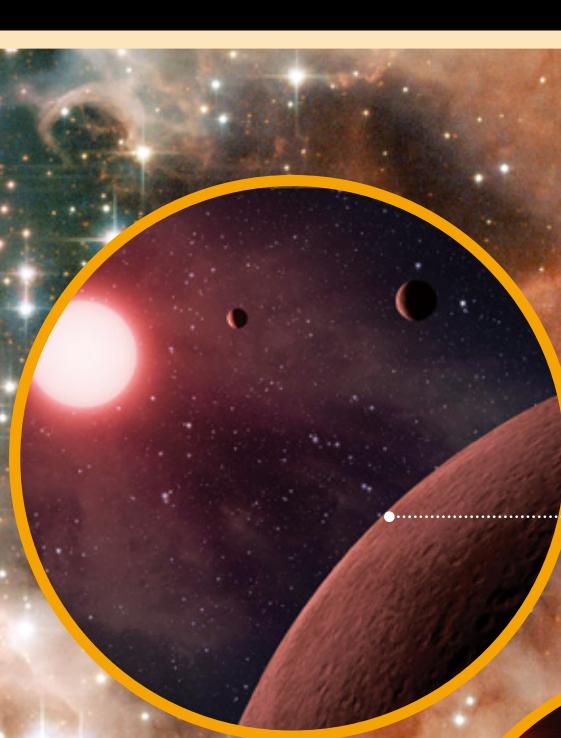


你知道嗎？ 科學家相信月球極有可能是因地球和另一天體的劇烈撞擊所形成



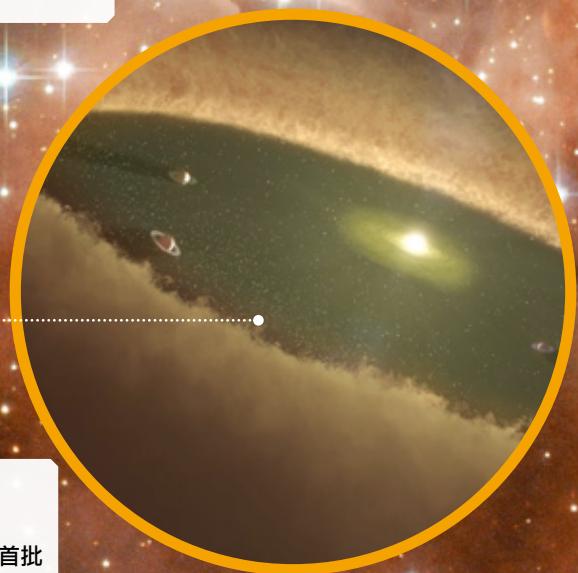
3 內行星 The inner planets

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

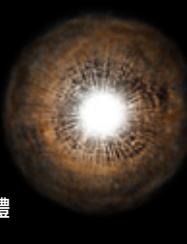
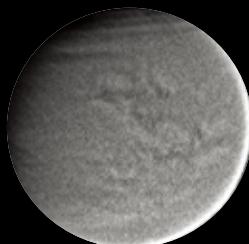
億年後
太陽散發外層氣體

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



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！

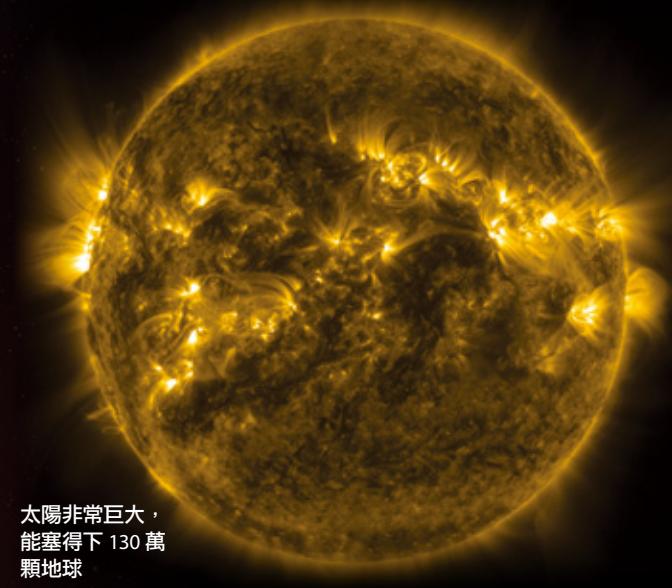
天文學家正不斷地尋找其他系外行星和太陽系，在此過程中，我們也越來越明瞭我們所處的太陽系是如此獨一無二。其他星系除了有離恆星極近的行星軌道（甚至比離太陽最近的水星還近），還有許多堪稱「超級地球」的巨大岩質行星，但為什麼只有我們的太陽系如此與眾不同？

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。

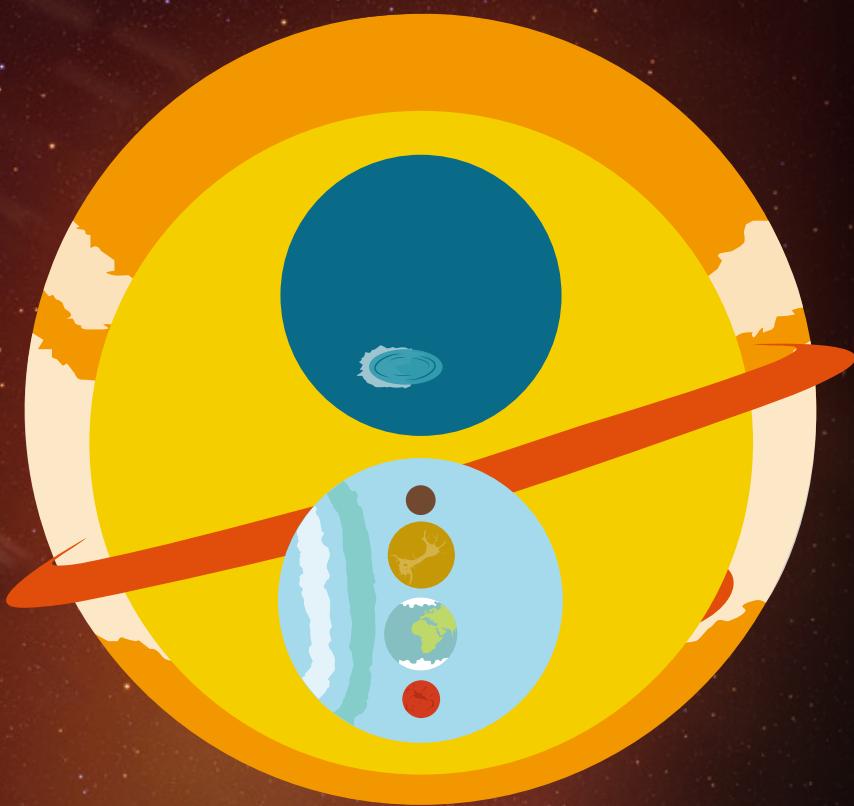
此理論能說明為何太陽系裡沒有超級地球，但這也表示我們的行星系統很罕見。天文學家的重要目標就是要找出與地球形成方式相似的行星，而此理論或許能提供一些線索。



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

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。

小行星帶並沒有你所想得那麼擁擠

© NASA



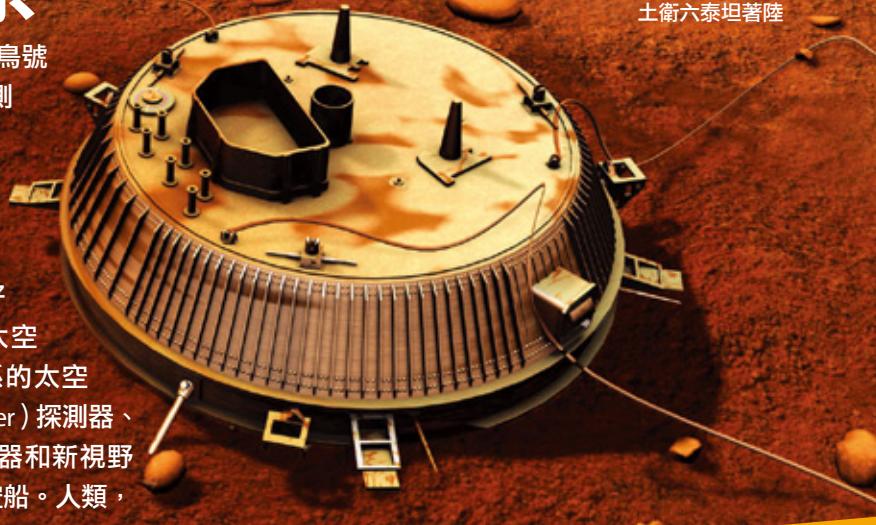
4 人類足跡遍布太陽系

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－格拉西缅科 (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；我們甚至還把他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



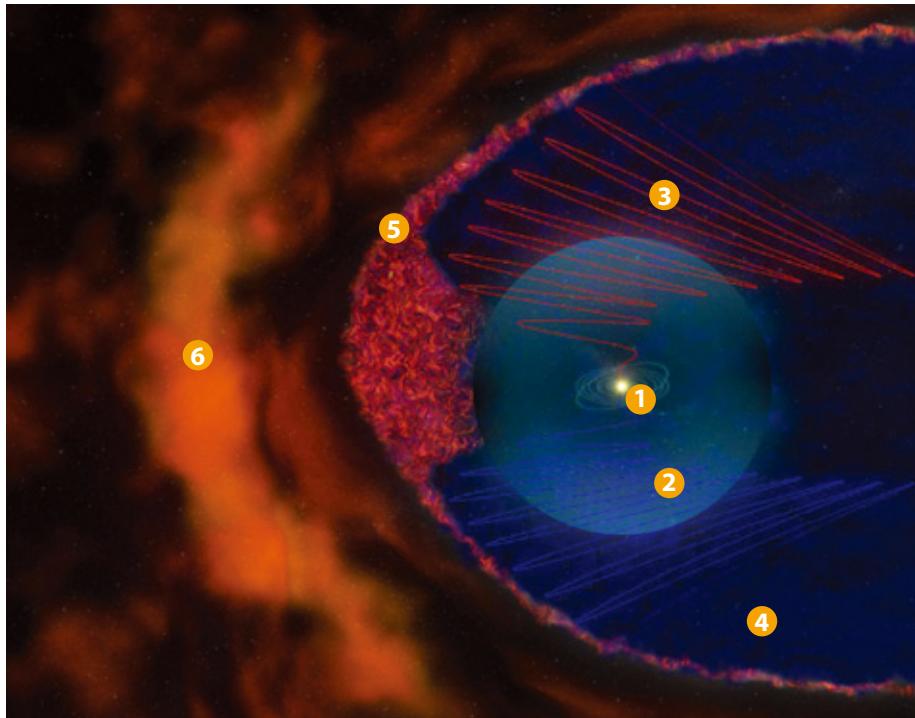
5 航海家 1 號飛離太陽系

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。

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

太陽系的邊界

太陽的影響力如何延伸到星際空間



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。

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。

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。

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。

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。

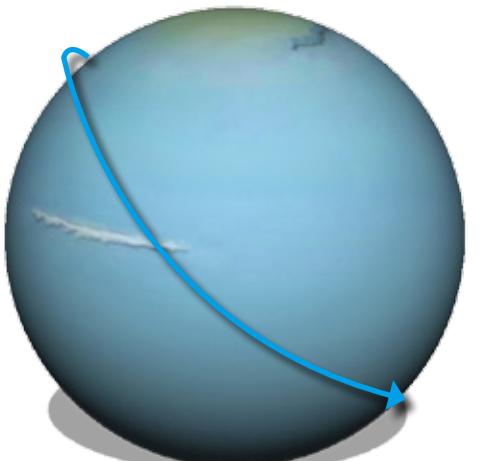
6 弓形震波 Bow shock

科學家認為，當太陽風與星際介質相遇時，會產生弓形震波。

你知道嗎？ 除了地球之外，太陽系中另一個有液體存於地表的星球是土衛六泰坦

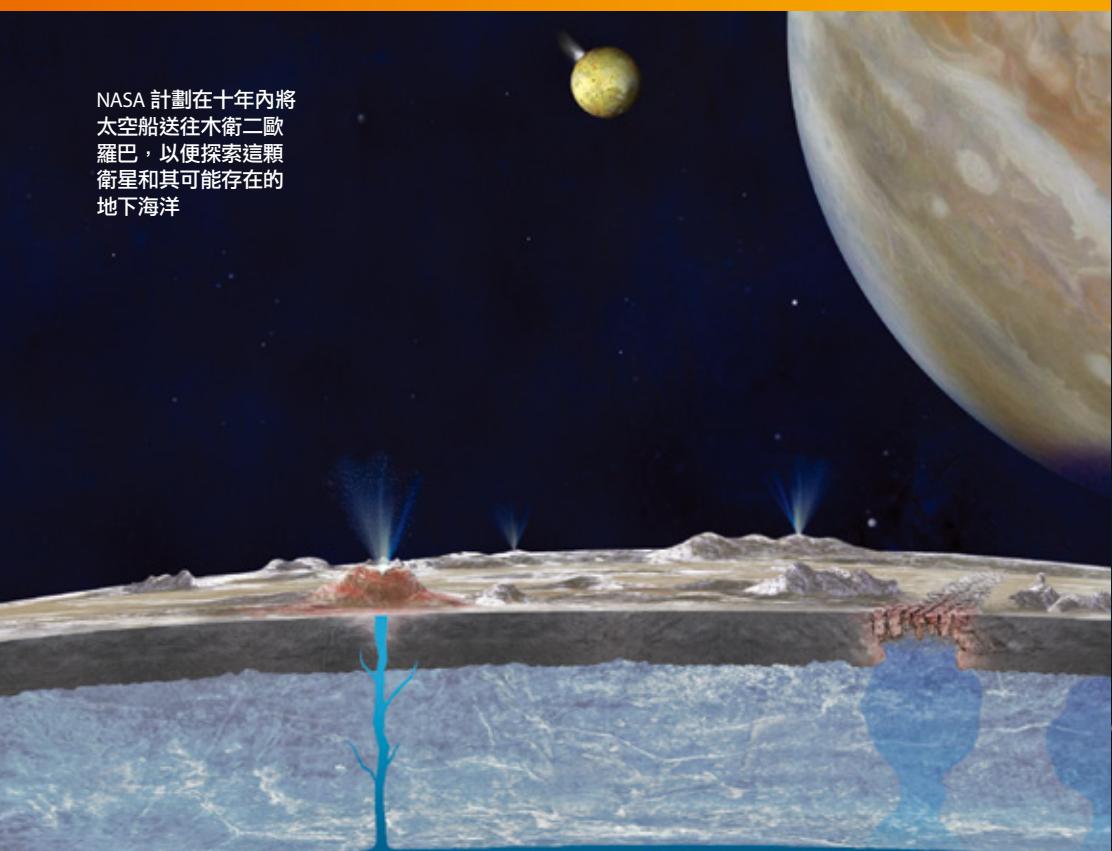
6 天王星躺著轉

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，至少有件事無庸置疑——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鬪神星（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



從新視野號拍攝到的影像中，能看到冥王星上的山脈



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。

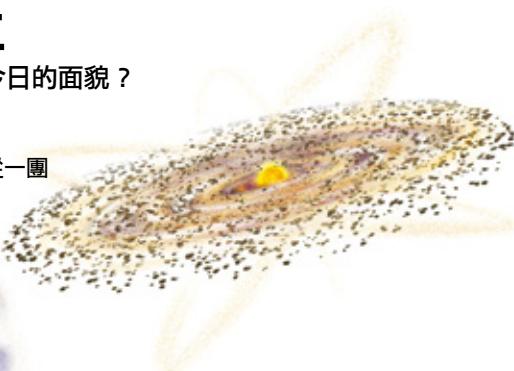


行星的誕生

太陽系是怎麼演化成今日的面貌？

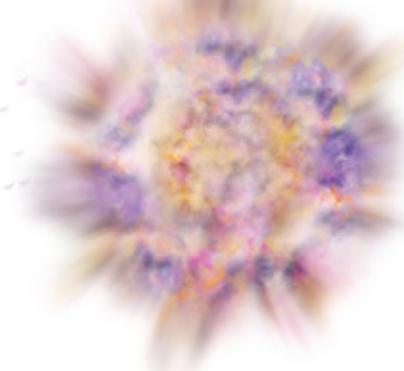
1 星雲 Nebula

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

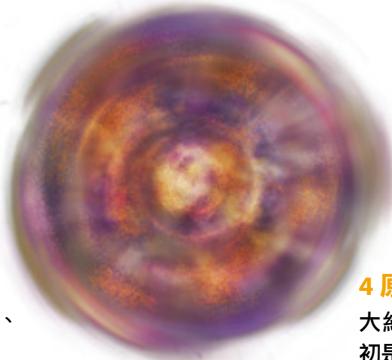
重力開始把初始雲氣中的物質聚集在一起。



3 恒星誕生

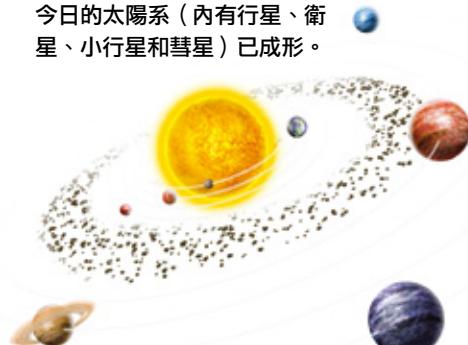
A star is born

雲氣的中心收縮、溫度升高。



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。



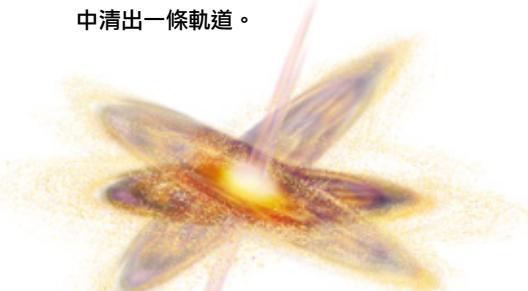
8 碎屑 Debris

剩下的物質在太陽周圍形成如小行星帶般的帶狀構造。



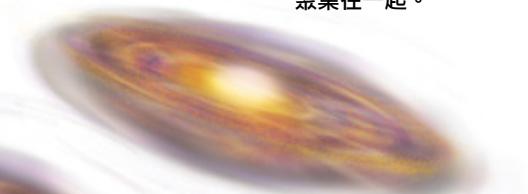
7 行星 Planets

行星可能遵循卵石理論而形成，並在圓盤中清出一條軌道。



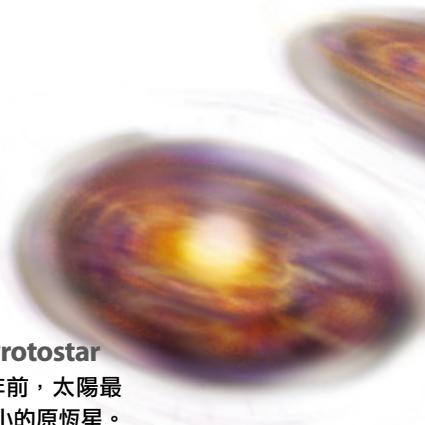
6 原行星盤

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。