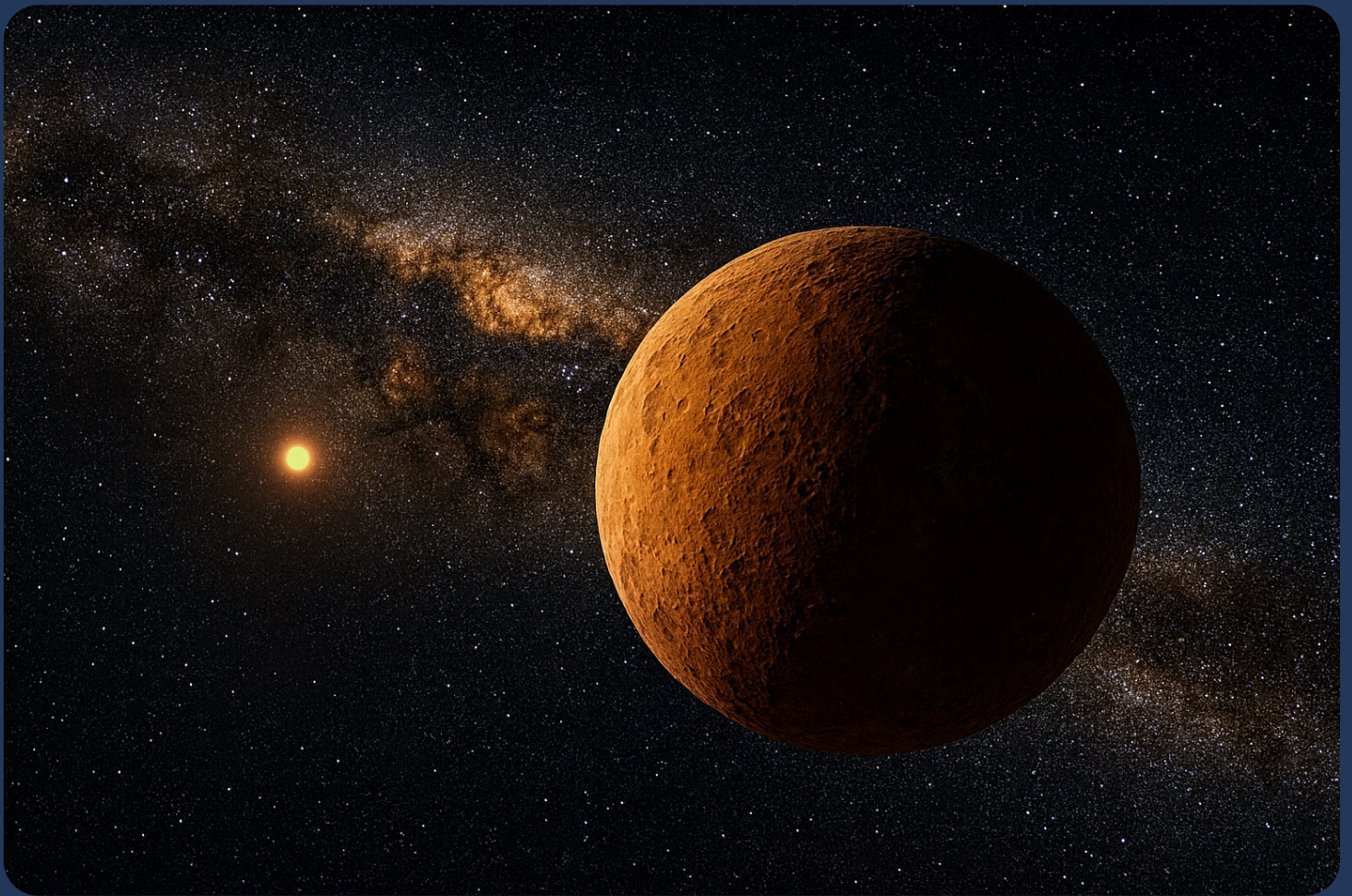


當我們討論宇宙的浩瀚時，往往忽略自己所在的太陽系邊界究竟隱藏著什麼。除了八大行星、矮行星、小行星，以及偶爾闖入內太陽系的彗星，太陽系外圍還潛藏著許多冰冷且幽暗的天體。它們像時光膠囊般被冷凍著，保存著太陽系剛形成時的印記。

文／段皓元



遙遠的外太陽系天體「菊石」(Ammonite) 想像圖。圖片來源：中央研究院天文及天文物理研究所。

太陽系邊界的新拼圖

2025年7月14日，中研院天文及天文物理研究所主導的國際團隊在期刊 *Nature Astronomy* 上發表了最新成果：一顆編號2023 KQ₁₄、暱稱菊石 (Ammonite) 的外太陽系遠端天體被正式確認。

它的近日點約66天文單位（地日距離，AU），遠日點可達600 AU，遠遠超過冥王星軌道的範圍。這是至今已知的第四顆「類賽德娜天體」(Sedna-like object)，它的發現為外太陽系研究增添了重要的一塊拼圖，更為太陽系的第九行星 (Planet 9) 假說帶來了全新的線索與挑戰。

冥王星 曾經的第九大行星

從1930年被發現直到2006年，冥王星（Pluto）在教科書裡始終被列為太陽系的第九大行星，陪伴了20世紀到21世紀初幾個世代的人。1930年2月18日，美國天文學家克萊德·威廉·湯博（Clyde W. Tombaugh）在亞利桑那州的洛威爾天文臺，比對多張星空照片時發現了一顆緩慢移動的微弱天體；經確認後，該發現於同年3月13日正式公布，並命名為冥王星，如圖1。

然而，冥王星從一開始就顯得與眾不同：它的軌道相對於八大行星的平均軌道平面傾斜了約17度，並具有明顯的偏心率，非常橢圓。它的近日點距太陽約29 AU，遠日點則超過49 AU。更特殊的是，它與海王星之間存在2:3的軌道共振，每當冥王星繞太陽公轉2圈時，海王星會公轉3圈，這種穩定的比例使它們雖然軌道有重疊，但不會相撞。後來天文學家還發現，在海王星外圍存在一大片冰冷小天體的家園，稱為古柏帶（Kuiper Belt），冥王星只是這些天體中體積最大、最早被發現的一顆。這些特徵讓天文學家逐漸懷疑，冥王星的第九行星地位是否只是歷史的巧合。

圖 1



2015年7月14日，NASA新視野號探測器歷經九年飛行，首次近距離飛掠冥王星，並拍攝下這張高解析度增強彩色影像。圖中可見冥王星表面多樣的地形，包括著名的「愛心狀地區」，為人類揭開這顆遙遠天體的真面目，也開啓冥王星地質與氣候研究的新篇章。圖片來源：NASA

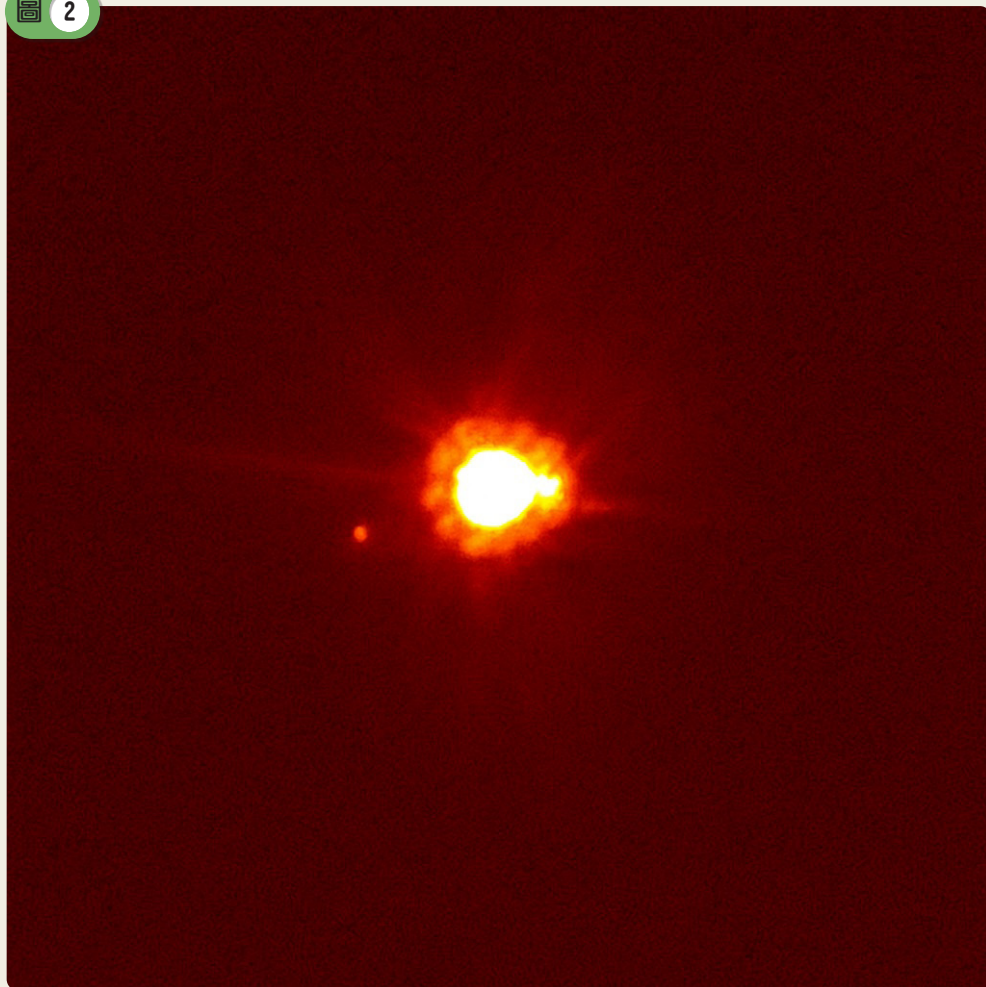
閼神星的挑戰

2005年，天文學家發現了一顆位於古柏帶外圍、軌道範圍可達97 AU的小天體，命名為「閼神星」(Eris)，它的大小與冥王星相近，甚至略大，如圖2。這顆天體的出現，立即挑戰了冥王星的第九行星地位。閼字有兄弟鬩牆、爭鬥之意，命名者正是借此呼應它對冥王星地位所引發的爭議。天文學家面臨一個尷尬的問題：如果冥王星能被稱為行星，那麼閼神星是否也應該列為第十大行星？然而，如果閼神星不算行星，冥王星又憑什麼擁有這個頭銜？閼神星的發現迫使天文學界重新思考「什麼才是行星」這個看似簡單卻極為複雜的問題，為後來國際天文學聯合會在2006年制定行星新定義埋下伏筆。值得一提的是，閼神星還擁有一顆衛星，名為Dysnomia，中文可譯為無法女神，這一命名同樣呼應了爭議與不和的意涵。

行星降級與矮行星時代

2006年，國際天文學聯合會 (IAU) 正式重新定義了「太陽系的行星」。依照新的標準，一顆行星必須同時滿足三個條件：1.繞太陽公轉，2.具有足夠質量使自身呈球形，3.能清空其軌道附近的其他天體。冥王星雖符合前兩項，但因未能清除軌道區域內其他小天體，被降級為矮行星。IAU至今已正式承認五顆矮行星：穀神星 (Ceres)、冥王星 (Pluto)、閼神星 (Eris)、妊神星 (Haumea)、鳥神星 (Makemake)，如圖3。其中，穀神星是太陽系內唯一一顆位於火星與木星之間小行星帶的矮行星，其餘四顆則都是遠在海王星外的小天體。這場降級風波在公眾間引發熱烈討論，許多人感到失去了第九行星。不過，這場爭論也帶來了正面意義，促使天文學家與公眾將目光重新聚焦在太陽系外圍，並推動更多針對外太陽系的巡天與探索計畫。

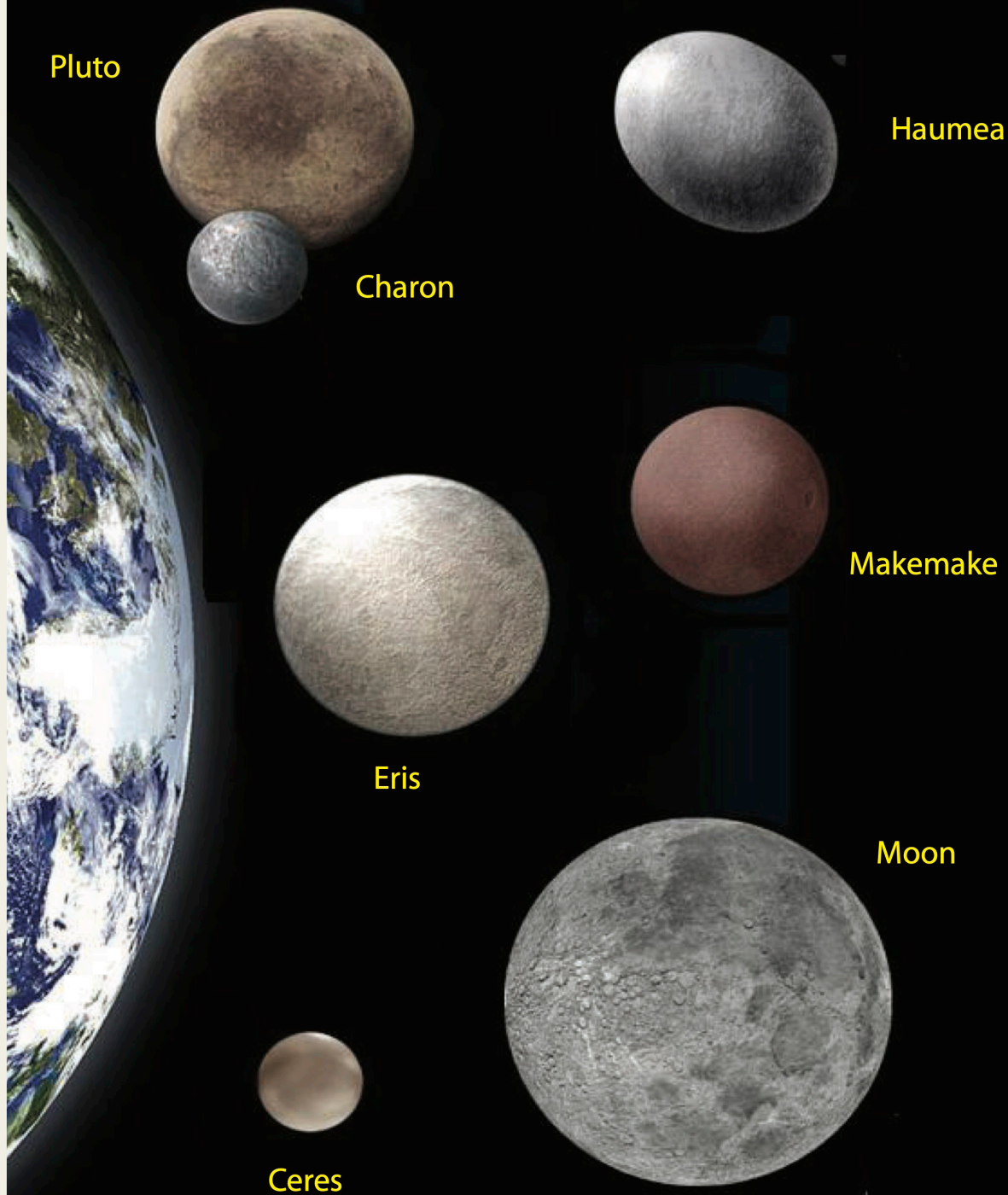
圖 2



哈伯望遠鏡所拍攝的閼神星及其衛星。圖片來源：ESA/Hubble

3

Exploring the Dwarf Planets



Images courtesy of NASA, ESA, JPL, and A. Feild (STScI)

IAU承認的五顆矮行星：穀神星（Ceres）、冥王星（Pluto）及其衛星凱倫（Charon）、妊神星（Haumea）、鳥神星（Makemake）與鬩神星（Eris），並與地球及月球進行相對尺寸與色彩的比較。天體外觀基於探測器與望遠鏡的觀測資料重建，大小依比例繪製，以便清楚呈現矮行星之間的差異。圖片來源：NASA

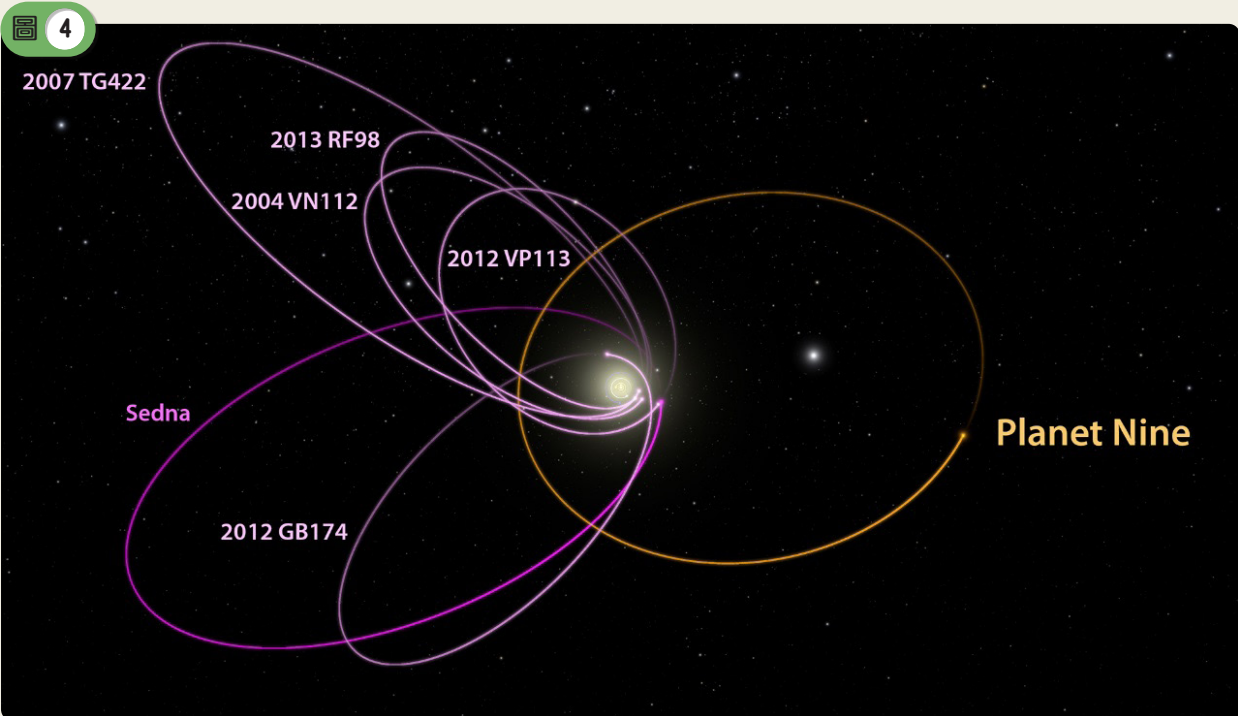
賽德娜與第九行星假說

其實，在闖神星挑戰冥王星地位之前，就已經有另一項令人震撼的發現。2003年，天文學家發現了一顆前所未見的遙遠天體，命名為「賽德娜」(Sedna)。它的近日點約為76 au，遠日點超過900 au，軌道長而橢圓，遠離海王星的重力影響，這樣的軌道無法用太陽系已知的行星來解釋。賽德娜的出現讓天文學家意識到，太陽系邊界可能潛藏著某些尚未被發現的神秘天體，正在影響這些極遠天體的軌道。不過，賽德娜體積比冥王星小得多，因此當時並未像闖神星那樣挑戰冥王星的地位。在賽德娜之後，天文學家又先後發現了2012 VP₁₁₃和Leleākūhonua (2015 TG₃₈₇) 這兩顆「類賽德娜」天體，它們的軌道方向異常一致。除了這三顆之外，還有一些極遠的海王星外天體，也呈現出類似的軌道集中排列。這些天體的共同行為被認為可能受到某個隱形巨大行星的引力影響，進一步強化了第九行星(Planet 9)假說：一顆質量達地球數倍的行星，也許正潛藏於太陽系更外圍，主宰著這些遠方小天體的運行，如圖4。

菊石的意義與未來探索

就在天文學家努力尋找第九行星蹤跡時，2025年7月，一個全新的證據出現了，這顆名為菊石(2023 KQ₁₄)的天體是第四顆被發現的類賽德娜天體，然而它的軌道方向卻與前三顆完全不同，如圖5。這個意外訊號像是在挑戰第九行星假說：如果真有一顆巨大行星在牽引它們，為何菊石不遵循同樣的軌道排列？這是否意味著外太陽系的歷史其實更加複雜？

目前的天文發展正朝著大規模巡天與大數據分析的方向前進，新一代天文設施陸續啟用，具備廣視野與高靈敏度的先進設備，能在短時間內捕捉大量天體資料。位於智利、口徑8.1公尺的薇拉·魯賓天文臺(Vera C. Rubin Observatory)，配備目前全球最大的天文數位相機，正在執行其主要計畫，即時域與深空巡天(Legacy Survey of Space and Time，簡稱LSST)，正是新一代巡天觀測能力的代表。在首次開光的約10小時內，LSST就破紀錄地發現了2,104顆此前未被登錄的小行星，相當於過去數十年



Sedna、2012 GB174這兩顆類賽德娜天體與其他極遠海王星外天體的軌道(紫色曲線)，這些天體的軌道方向出現集中排列現象，是支持第九行星假說的重要線索；橘色曲線則為假想第九行星(Planet Nine)的可能軌道範圍。圖片來源：PL-Caltech/R. Hurt

累積的成果，如圖6。未來十年，LSST預計將記錄數百萬顆小天體，從近地小行星到最遙遠的外太陽系天體都不會錯過。如此驚人的效率，意味著不久的將來，我們或許能找到更多類賽德娜天體，甚至有機會追蹤到真正的第九行星。

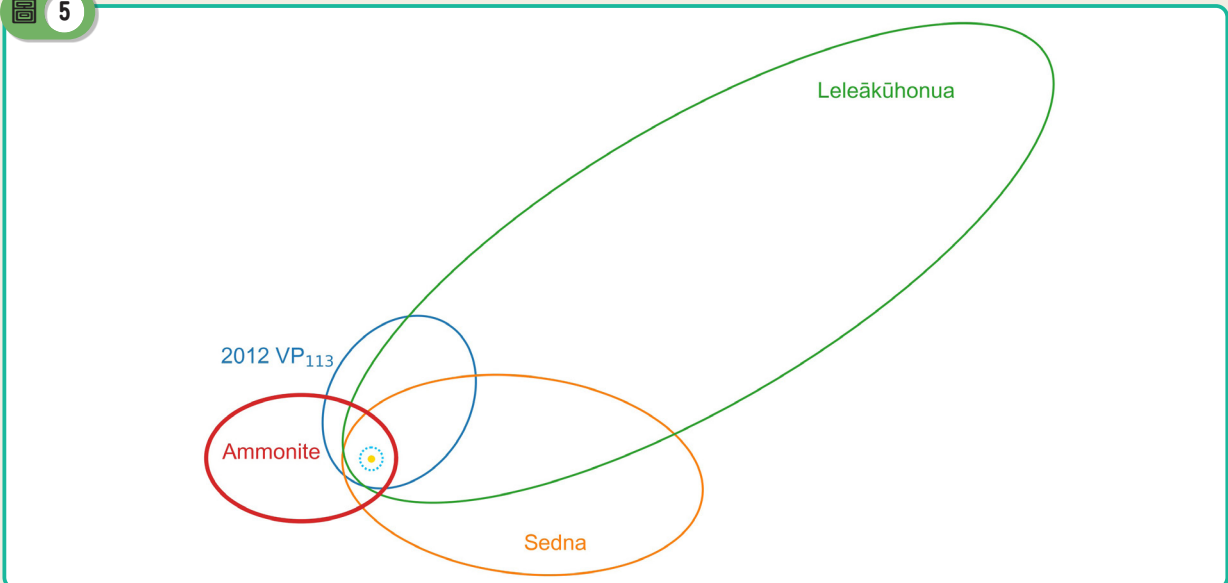
菊石的發現為外太陽系研究開啓了新的階段，也提醒我們對太陽系的理解仍遠未完整，探索未知的腳步仍在持續加快。

YouTube 相關影片:

Orbits of Sednoids: Small Bodies in the Outer Solar System
<https://www.youtube.com/watch?v=z561PGgTe8I>

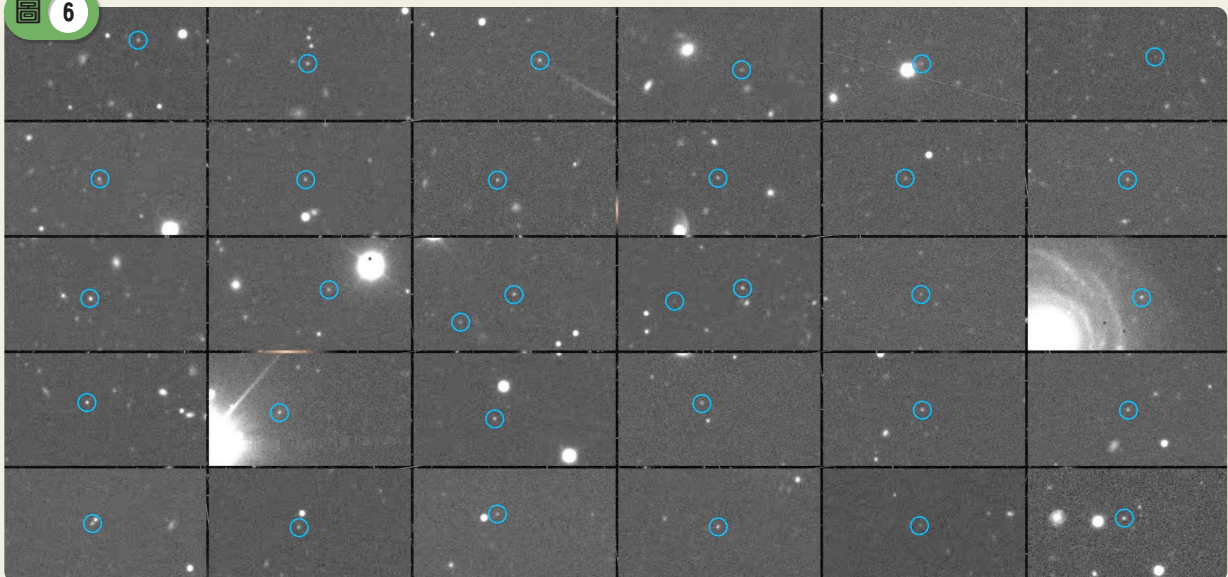
段皓元：臺北市立天文科學教育館

圖 5



菊石（軌道以紅圈標示）與其他3顆類賽德娜天體的軌道，中間的淺藍色虛線小圈代表海王星軌道。圖片來源：中央研究院天文及天文物理研究所。

圖 6



魯賓天文臺在啓用首週便發現約2,100顆小行星，圖中藍圈標示其位置。此為官方影片的截圖，完整影片可見：
<https://www.youtube.com/watch?v=DTuq-vBsDJE>