

毛納基峰望遠鏡傾聽恆星「樂章」，揭開古老恆星的秘密

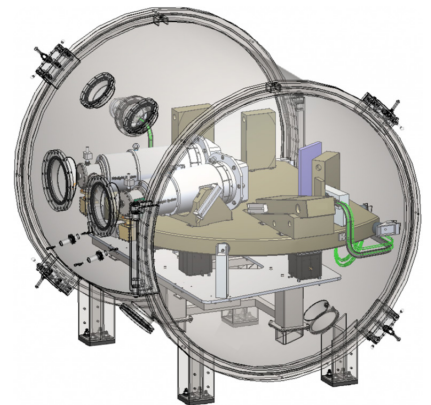
我們仰望星空，那些遙遠的星點似乎亙古不變，靜默無聲。但您可曾想過，恆星其實會「歌唱」嗎？最近，由夏威夷大學天文研究所博士後研究員李亞光主導的天文學家團隊，利用座落於夏威夷聖島毛納基峰，如下方示意圖中的凱克天文臺（Keck Observatory）上最新尖端儀器「凱克行星搜尋器（Keck Planet Finder）」，如右下方的附圖，成功捕捉到鄰近恆星的「歌聲」，並揭示了關於恆星內部結構與老化過程的重要線索。這不僅挑戰了我們對恆星的理解，也為探索外星生命鋪平了道路。

文／林建爭



在上方示意圖中，由凱克天文臺兩座口徑10公尺的望遠鏡收集星光後，分別進入右圖的凱克行星搜尋器。此儀器被封閉在直徑1.96公尺，長度2.6公尺的真空腔室中。上方影像來源：W. M. Keck Observatory、右方圖片來源：<https://exoplanets.caltech.edu/kpf/>

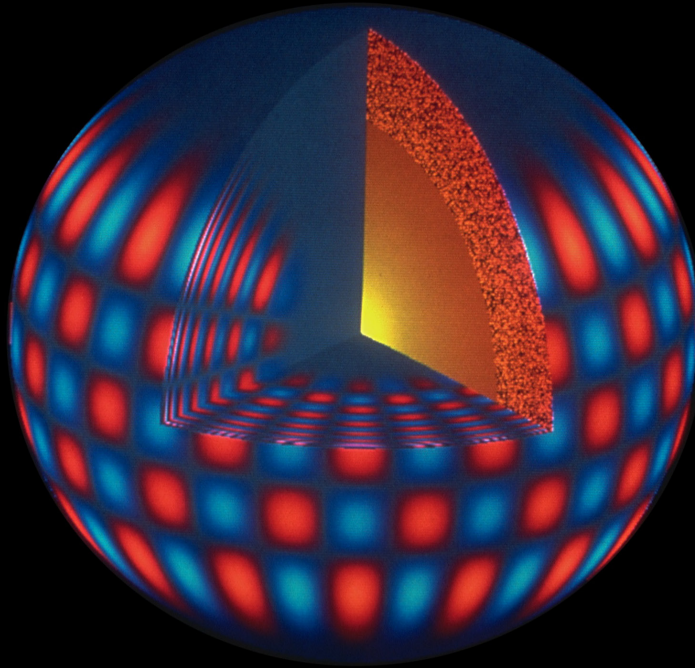
凱克行星搜尋器



天文學其中一門迷人的研究領域被稱為「星震學」(Asteroseismology)，顧名思義，就是研究恆星的「地震」。就像樂器會因振動而發出獨特的聲音一樣，恆星內部也充滿了波動，產生了猶如其獨特「歌聲」的頻率。天文學家透過精密儀器捕捉這些振動，就像醫生

透過聽診器聽心跳一樣，我們也能透過儀器「聽」出恆星的內部結構。這些震動頻率反映了恆星的大小、密度、組成與年齡。比方說，恆星的「心跳速度」會隨年齡增長而減慢。因此，星震學就像一把「宇宙年齡計」，幫助我們測定恆星的生命階段，如圖1、圖2。

圖 1



如同地球物理學家透過地震波探索地球內部結構，天文學家也透過在太陽與其他恆星中，不同區域、頻率聲波的傳播速度差異推算恆星內部的性質與結構分布。由於聲波傳播速度會因氣體溫度與密度變化而改變，因此造成恆星表面亮度的些微變化。天文學家藉由這些亮度變化數據進行電腦模擬，即可推算出恆星的質量、半徑與年齡等性質。

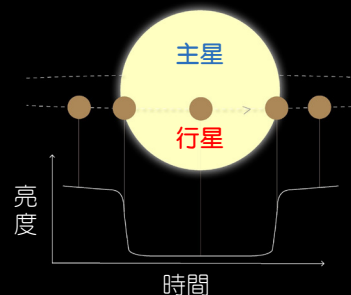
已知恆星內存在兩類聲波：壓力模式 (p-modes) 與重力模式 (g-modes)。前者源自氣體的向內與向外脈動，後者則與橫向位移有關，類似海洋表面的波浪。有些恆星兼具兩種模式，甚至可產生耦合波動。利用壓力模式聲波的變化，例如：上圖中顯示因太陽的壓力模式聲波所產生的都卜勒效應，向內部移動處為紅色，向外部移動處為藍色，藉此可計算出恆星尺寸與內部密度分布，進而推算其質量與年齡。重力模式則較為複雜，可用於研究恆星核心的自轉，並已成功應用於老年紅巨星與年輕藍巨星的年齡估算。圖片來源：NSF/NOIRLab

星震學對系外行星研究亦具關鍵價值。首先，它可精確測定行星系統中主星的半徑，進而準確計算通過法所觀測行星的大小。其次，星震學是唯一可提供恆星精確年齡的方法，有助於判斷行星系統的演化階段與可居住性。最後，精確估算主星質量，亦能提升推算行星質量時的準確度，進一步判斷是否為類地或氣態行星，如右圖。圖片來源：ESA

圖 2

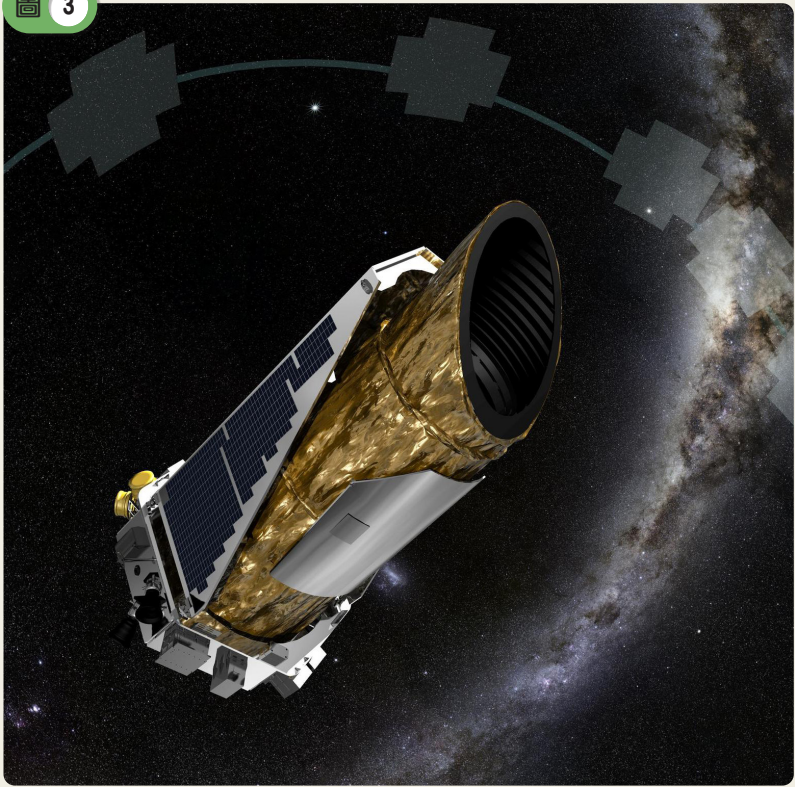
尋找系外行星的方法：凌日法

藉由測量行星凌日或恆星時的亮度變化搜尋系外行星，若能獲得精確的主星質量、半徑數據，就能準確推算出行星質量。



過去，星震學的研究大多集中在比太陽更熱、更活躍的恆星上，天文學家主要仰賴像克卜勒（Kepler），如圖3，和凌日系外行星巡天衛星（TESS），如圖4，等太空望遠鏡觀測恆星亮度的微小變化。但這種方法在面對表面溫度較冷偏橙色的恆星時效果有限。這些恆星震動幅度小、亮度變化微弱，常被視為「太安靜」而無法研究。

圖 3



克卜勒太空望遠鏡（Kepler Space Telescope）是美國太空總署設計來搜尋其他恆星系統中的類地行星的望遠鏡。在九年多的時間中，觀測並分析了10萬顆恆星的光度，並藉由恆星光度變化，檢測是否有行星凌恆星的現象。圖片來源：NASA

圖 4

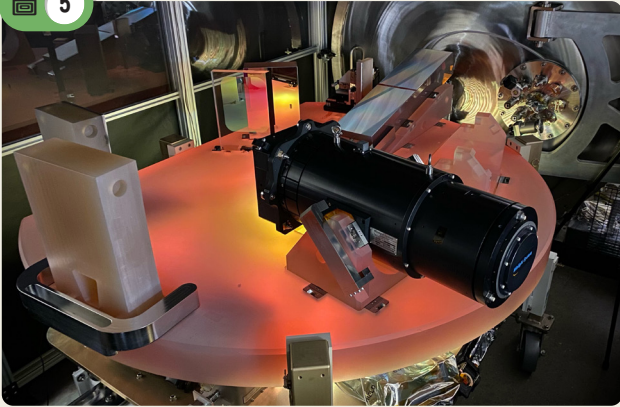


凌日系外行星巡天衛星的主要任務，是用於在比克卜勒太空望遠鏡觀測區域大400倍的天區內，搜尋地球附近300光年內的恆星是否存在行星。凌日系外行星巡天衛星主要是搜尋類地行星，包括其主星的適居帶範圍、行星的質量、大小、密度及軌道。凌日系外行星巡天衛星觀測過後，會將數據提供給韋伯太空望遠鏡，或是保存以備提供給其他未來的太空或地面望遠鏡，作為進一步挑選觀測目標的參考。圖片來源：NASA

這時，凱克行星搜尋器大顯神威，它是一台超高精度的光譜儀，能測量恆星表面朝向或遠離我們的速度變化，準確度甚至達到每秒幾十公分，相當於在觀測距離超過20光年的恆星上，偵測到像人類

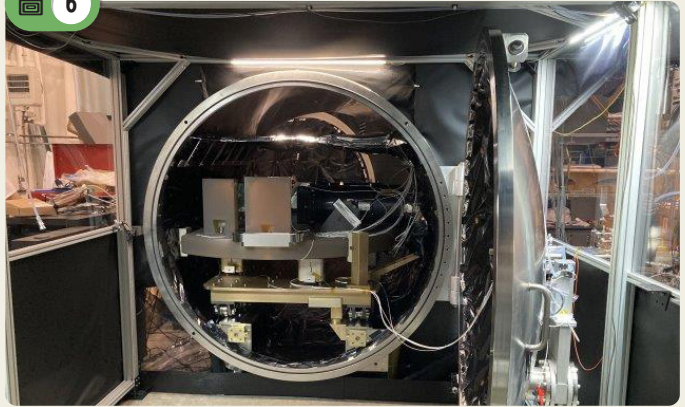
心跳一樣微弱的節奏。這台安裝在毛納基峰的凱克天文臺上的斬新儀器，於2021年設計完工，2022年底在凱克天文臺上測試並於隔年投入科學觀測使用如圖5～圖7。

圖 5



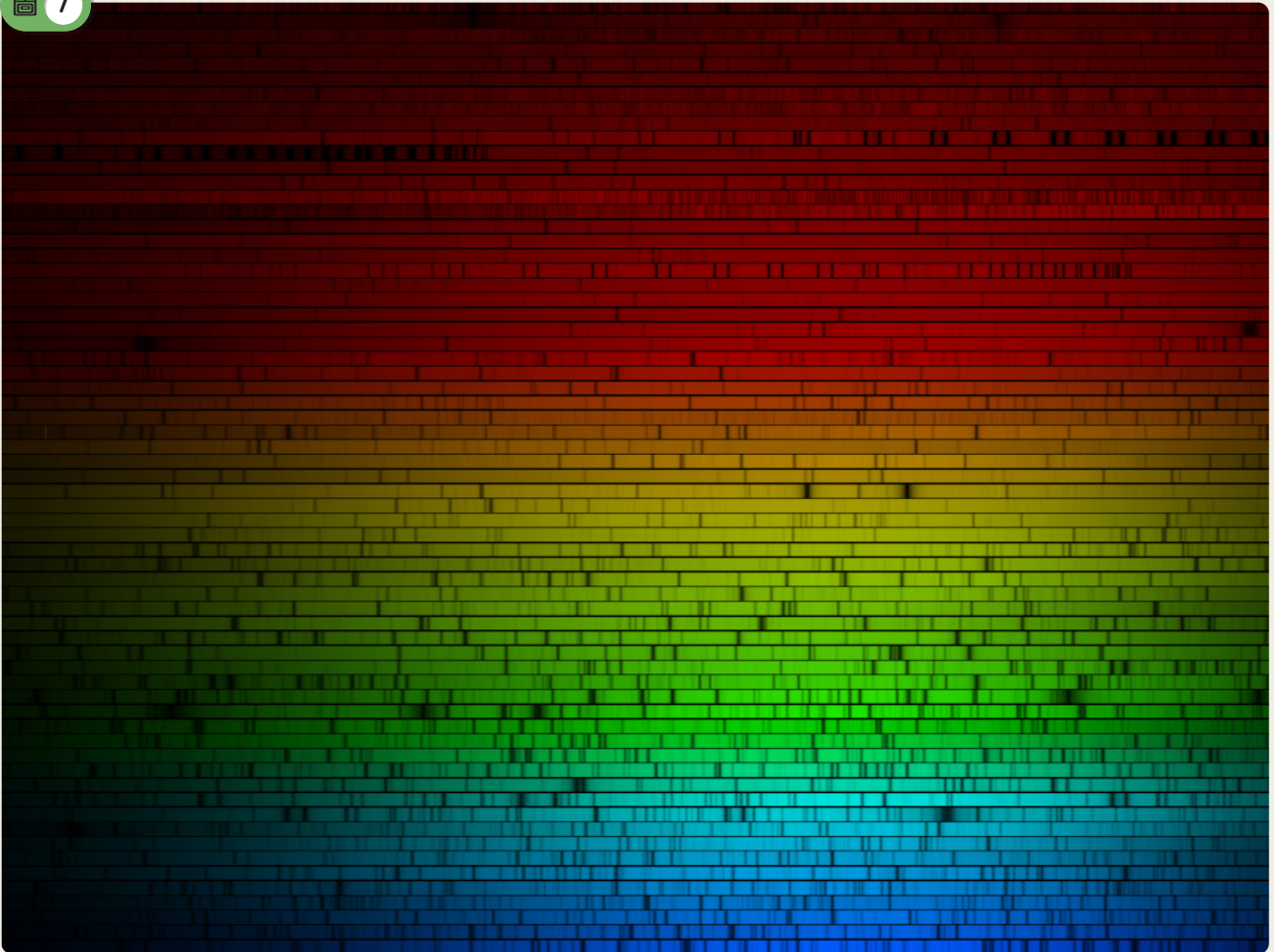
凱克行星搜尋器的內部構造。影像來源：<https://www2.keck.hawaii.edu/inst/kpf/>

圖 6



放置於真空腔室中的凱克行星搜尋器。影像來源：UC Berkeley Space Sciences Laboratory

圖 7



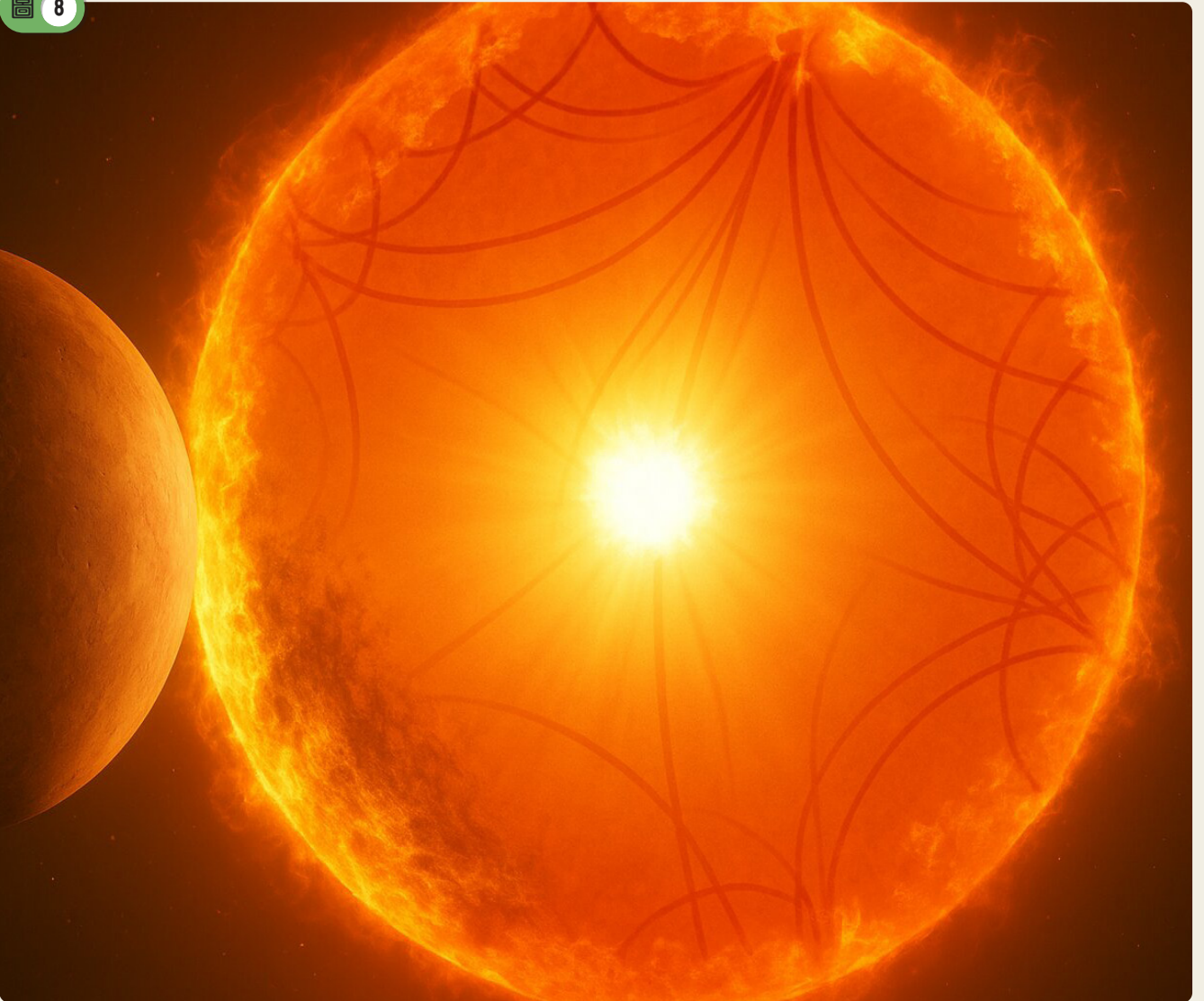
凱克行星搜尋器首次使用時所拍攝的木星光譜，此儀器能藉由都卜勒效應準確測量恆星表面朝向或遠離我們的速度變化，並藉此計算出精確的恆星半徑。影像來源：W. M. Keck Observatory

這次研究的主角恆星HD 219134，如圖8，是一顆距離地球僅21光年的橙矮星，位於仙后座，肉眼可見。它的溫度比太陽低，也更古老。雖然它不像大質量恆星那樣明亮活躍，但它卻擁有六顆行星，其中有四顆是類似地球的岩石行星。該研究團隊在連續四個夜晚，使用凱克行星搜尋器對HD 219134進行了超過2000次的超精確速度測量，最終成功「聽見」這顆恆星的振動頻率，也就是它的「星震」訊號。這是首次有儀器能如此精準地捕捉冷恆星的內部震動，為星震學開啓了全新篇章。

分析這些「星震」數據後，團隊有了驚人的發現：

古老的「宇宙時鐘」：HD 219134的年齡高達102億年，是我們太陽年齡（約46億年）的兩倍多！這使其成為利用星震學測定年齡的最古老主序星之一。此外，研究還發現該恆星的自轉週期約為42天，這項發現為恆星如何隨時間老化提供了關鍵線索，李博士形容這如同「為恆星時鐘找到了一個失傳已久的音叉，提供了一個重要的參考點來校正恆星數十億年來的自轉速度。」。

圖 8

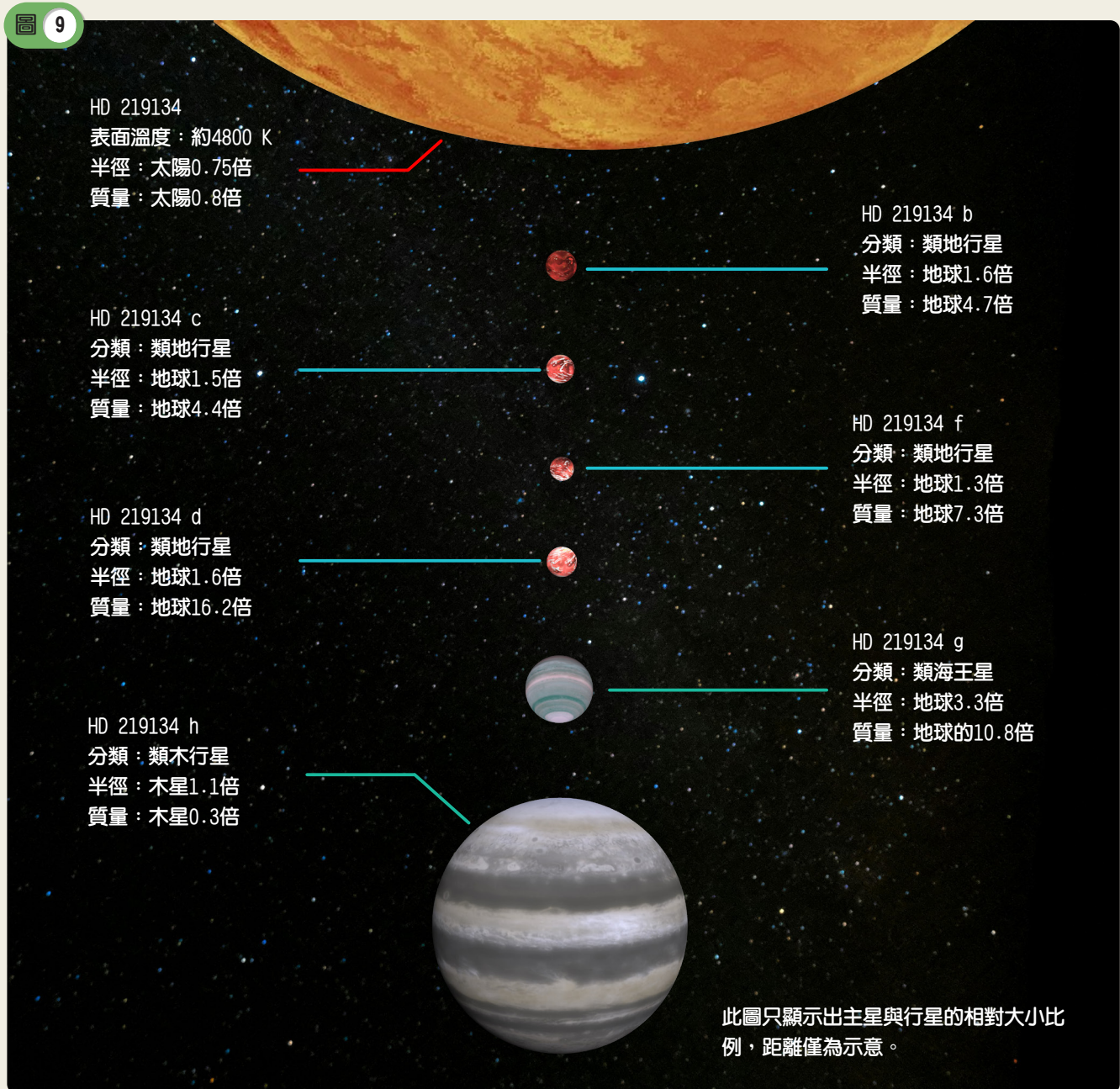


HD 219134的內部構造想像圖。恆星內部的聲波被用來測量它的年齡、大小以及圍繞該恆星運行的行星的特徵。圖片來源：Gabriel Perez Diaz/Instituto de Astrofísica de Canarias/W. M. Keck Observatory

意想不到的「身材之謎」：令人驚訝的是，星震學的測量結果顯示，HD 219134的質量約為太陽的0.8倍，半徑約為太陽的0.75倍，比預期要小一些、更為緊湊。這與使用其他望遠鏡和方法測得的結果（半徑約大4%左右）有所出入，對現行的恆星模型，尤其是關於像HD 219134這樣較冷恆星的模型，提出了新的挑戰。

解開HD 219134的秘密尤為重要，因為它並非孤單存在。已知這顆古老的恆星至少擁有六顆

行星，其中包括四顆可能是岩石構成的「超級地球」，如圖9。精確了解主恆星的年齡、大小和特性，對於研究其行星系統的演化、以及評估這些系外行星是否可能孕育生命至關重要。正如研究共同作者、夏威夷大學天文研究所的天文學家Daniel Huber所說：「當我們在其他行星上發現生命時，我們會想知道那個生命有多古老。」換句話說，了解恆星，才能認識行星，也才能回答宇宙中是否有生命的終極問題。



恆星HD 219134與其行星系統示意圖，包含1顆光譜分類為K型的恆星，以及4顆岩石質的類地行星、1顆氣態的類海王星、1顆氣態的類木恆星。恆星與各行星的圖片來源：NASA、資訊圖表來源：編輯部製作

這項研究再次凸顯了毛納基峰在全球天文界的重要地位，毛納基峰是夏威夷最高峰，海拔超過4,200公尺，擁有乾燥、穩定且無光害的大氣條件，是理想的天文觀測地點，如圖10。然而，這座山峰也是夏威夷原住民心中的神聖之地。因此，科學家與社群間持續對話，努力在追求知識與尊重文化之間取得平衡。夏威夷大學也持續與當地社區合作，推動具有在地文化意識的科學教育與研究。

凱克行星搜尋器的強大能力，為研究那些曾經被認為過於「安靜」而難以探測的恆星內部打開了一扇新的窗戶。這項研究不僅加深了我們對恆星物理學的理解，也為未來尋找太陽系外的宜居世界鋪平了道路。每一次從毛納基峰上傳來的宇宙「新樂章」，都讓我們對浩瀚宇宙的奧秘有了更深一層的認識。

林建爭：美國夏威夷大學天文研所泛星計畫博士後研究員
王品方校稿：美國夏威夷專案文物修復師

參考資料：

<https://www.hawaii.edu/news/2025/05/06/maunakea-telescope-tunes-into-music-of-nearby-star/>

<https://www2.keck.hawaii.edu/inst/kpf/>

YouTube 相關影片：

UH astronomers tune into music of nearby star
<https://www.youtube.com/watch?v=KpEaDt7Ohlw>

Asteroseismology: How to Explore Stars with Sound
<https://www.youtube.com/watch?v=2XDwnZKPmrM>

How do you measure the age of a star? | Science News
https://www.youtube.com/watch?v=w80z_moI8BU

圖 10



毛納基峰上的天文臺。影像來源：Maunakea Observatories