

天聞

中華民國112年

春季號

中研院天文所季報

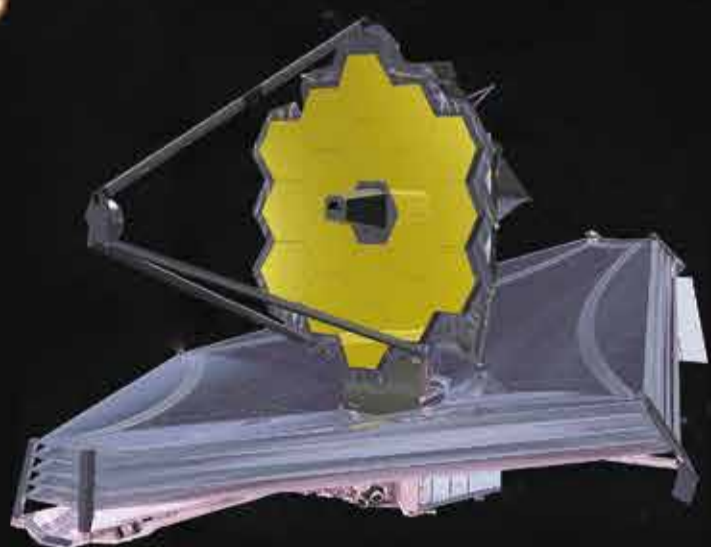
ASIAA Quarterly Press

<http://www.asiaa.sinica.edu.tw>



韋伯太空望遠鏡

—— 華麗登場 ——



韋伯太空望遠鏡拍到的海王星及其衛星，海王星環清晰可見。海王星左上的藍色亮星是海衛一Triton。

©NASA,ESA,CSA,and STScI

史上最強的

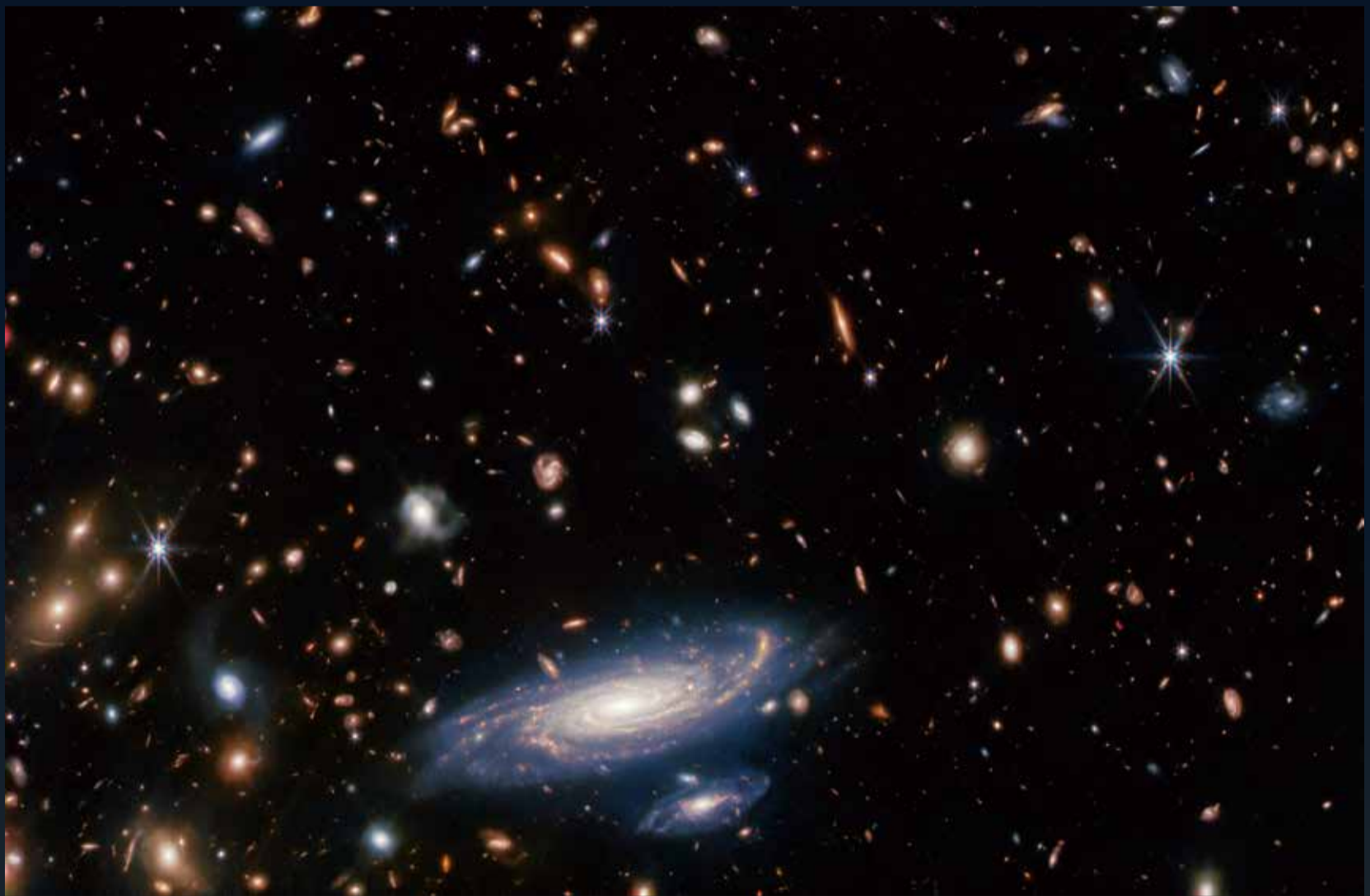
韋伯太空望遠鏡 揭開超大星系的秘密

作者 陳建州

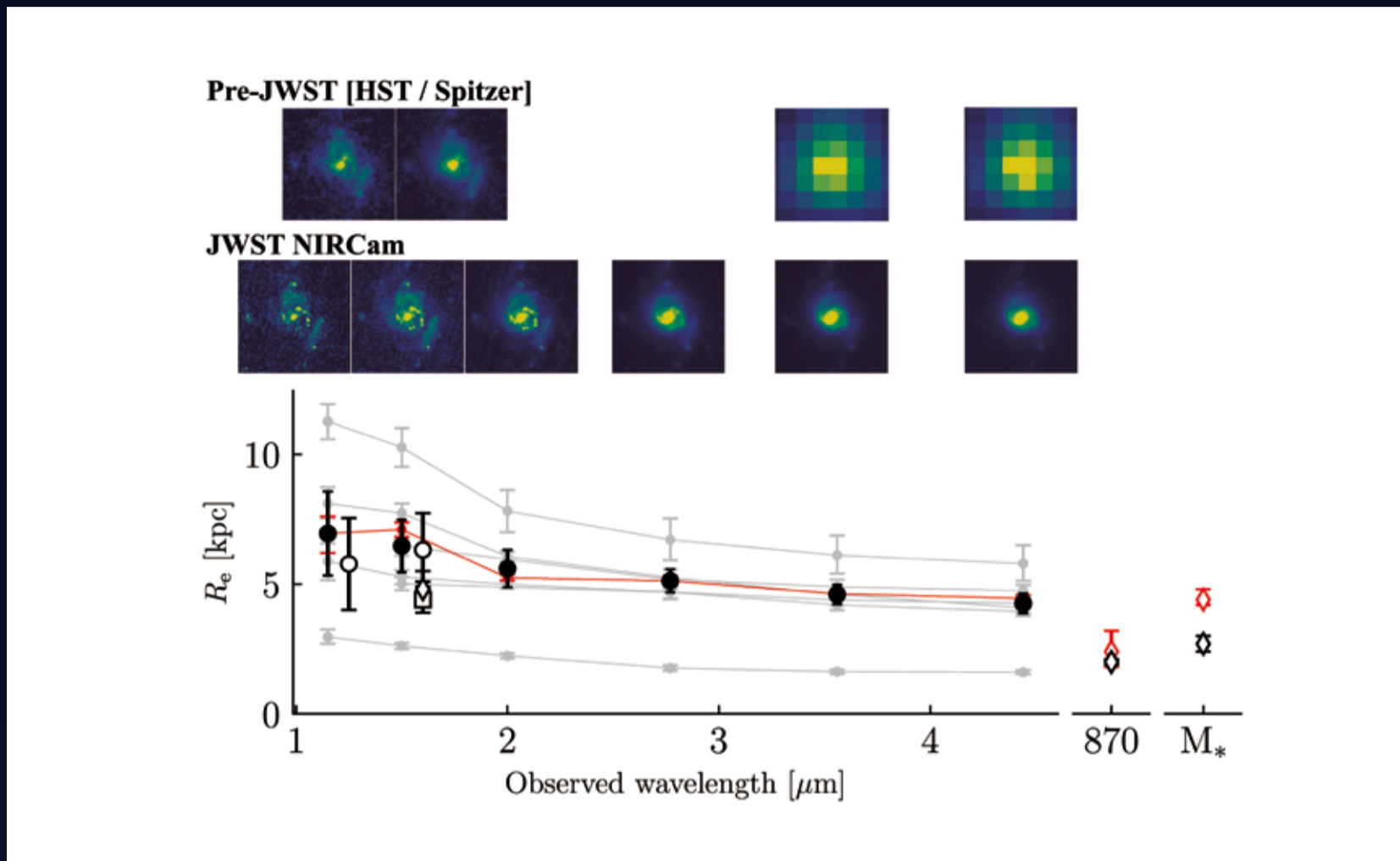
韋伯太空望遠鏡（以下簡稱韋伯）是目前人類所建造最強大的紅外線太空望遠鏡。被譽為是哈伯太空望遠鏡（以下簡稱哈伯）及史匹哲太空望遠鏡（以下簡稱史匹哲）繼任者的它在 2021 年底的聖

誕節發射升空。它是歐洲太空總署、加拿大太空總署和美國航空暨太空總署共同合作執行的計劃。不像哈伯位在離地球較近的軌道，韋伯被發射到一個更遠、名為第二拉格朗日點（L2）的位置，需要一個月左右的飛行時間。不僅如此，韋伯抵達軌道位置後還需完成總共超過

三百多項的機械動作跟光學校準。如果在任何一步出錯都可能造成望遠鏡無法正常運作。因為這些複雜的因素，讓韋伯從順利升空到正式啟動觀測花了約七八個月的時間。也就是因為這些極其複雜且出錯率極高的步驟，讓許多天文學家認為現在韋伯超出預期的成功幾乎是一個奇蹟。許多天文學家也鬆了一口氣，畢竟韋伯的造價超過一百億美金！



圖中除了下方較大的螺旋星系 LEDA 2046648，還伴隨著許多更小、更遙遠的星系，有些看起來就像個小橘點。觀測這些早期宇宙中的遙遠星系，可以幫助我們了解星系的形成，以及如何演化成為現在看到的模樣。©ESA/Webb, NASA & CSA, A. Martel



在不同波長觀測到的樣本星系大小以灰點表示，它們的中位數以較大的黑點表示，空心標點則是之前的測量。圖片上方顯示來自哈伯（HST）、史匹哲（Spitzer）和韋伯（JWST）的樣本星系照片。這些照片的觀測波長則對應在圖中下方的 X 軸。結果顯示，在活躍的形成階段，巨大星系中央有許多緻密區域，顯示質量正在聚集，雖然大部分的質量仍分布在外圍，可能是在更早之前就形成了。© 陳建州團隊

韋伯的 6.5 公尺口徑約是哈伯的 3 倍，也就是說韋伯的解析度約為哈伯的三倍。再加上更先進、靈敏度更高的儀器，讓韋伯擁有比哈伯高出約一百倍的偵測敏感度。另外，韋伯擁有哈伯在近紅外及中紅外線所沒有的觀測能力，這讓它能偵測到幾乎是宇宙誕生時的恆星、黑洞及星系。這出色的紅外線觀測能力也讓科學家能穿透星際塵埃及高密度氣體，研究以前哈伯幾乎看不到的區域，像是恆星形成區、星遽增區或鄰近黑洞的活躍區。

另一個值得特別提出的是有關資料及使用權的開放政策。一般來說，造價昂貴的望遠鏡會把望遠鏡時間跟資料給出錢出力的機構優先使用，通常是保留約一年的時間，時間過後才會公開給每個人使用。這次韋伯的政策是全世界每個人都可以提出觀測計畫，而且計畫審查採用雙匿名制度（審查人跟被審查人都不

知道雙方姓名），也就是人人都有機會。另一方面，有部分的觀測計畫完全沒有優先使用時間，也就是說資料一取得後就馬上公開，讓不管是不是在原本計畫書裡的人都可以使用這些資料。這樣的開放政策再加上超出預期的觀測表現，自去年七月底觀測資料公開之後，幾乎每天都可以看得到關於使用韋伯而產出的科學研究成果。

筆者所領導的團隊也是第一批使用韋伯望遠鏡資料的團隊之一。筆者利用搭載在韋伯上的近紅外線相機（NIRCam）所拍到的照片，分析大質量星系的形狀跟分佈，在大質量星系演化理論上取得突破性的成果。更具體的來說，目前天文學家認為，宇宙質量最大的星系可能比我們銀河系還要重十倍以上，現有的證據認為它們大部分的質量都是在宇宙早期很短的時間內形成。究竟如何在這麼短的時間內聚集如此多的質量，這個根

本問題一直讓天文學家想破頭。

研究團隊分析韋伯的資料後發現，這些星系不僅聚集質量的速度比銀河系快一百多倍，而且都是在靠近星系中心的緻密區域中聚集質量。然而，團隊還發現，雖然星系中心處於大規模質量聚集的活躍階段，但星系的大部分質量都還是分布在外圍，可能是在更早之前就形成了。

由於韋伯的高空間解析度，這些發現得以首次揭露，加上它在中紅外波段的觀測能力，讓潛在的質量結構分布可以被更完整地呈現。這些發現幫助天文學家對於了解巨大星系的形成機制，邁出關鍵的一步。這項研究展現了韋伯的強大力量，能徹底改變我們對星系如何形成和演化的理解。韋伯的燃料足夠使用至少 20 年，科學家們希望藉助這台史上最強大的太空望遠鏡，未來能有更多突破性的發現。



長蛇座 M16 星雲的中心「創生之柱」在哈伯太空望遠鏡的可見光（左）與韋伯太空望遠鏡的紅外線（右）影像下的不同樣貌。© NASA, ESA, CSA, STScI; J. DePasquale, A. Koekemoer, A. Pagan (STScI).



韋伯太空望遠鏡

為恆星形成研究

撥開迷霧

作者
劉君帆

韋伯太空望遠鏡 (JWST) 作為可見光的哈伯太空望遠鏡 (HST) 與紅外線的史匹哲太空望遠鏡 (Spitzer) 之後的次世代望遠鏡，擴展到比前者更長的波長與比後者更高的解析度，使得 JWST 可以用更銳利的眼光觀測冷暗的緻密雲氣核、恆星形成區域、以及系外行星。JWST 目前使用中的儀器涵蓋 0.8 至 5 微米的近紅外線波段和 5 至 28 微米的中紅外線波段，前者有近紅外線光譜儀 NIRSpec、近紅外線相機 NIRCam、與近紅外線影像與無狹縫光譜儀 NIRISS，後者則有中紅外線相機與光譜儀 MIRI。

紅外線是介於可見光與電波之間的波段，其中 3 至 30 微米的近紅外與中紅外線波段，因為大氣中的水氣吸收，使得太空望遠鏡成為唯一的觀測管道。對於恆星形成研究，近紅外線對應到活躍的原始恆星形成區域，包括因為年輕恆星加熱微米等級塵埃至溫度將近 100 K 的熱輻射，以及在恆星形成區域由於噴流等現象激發的氫分子譜線、與系外行星大氣中原子與分子的吸收譜線；而中紅外線除了對應到數十 K，較為冷暗的分子雲與化學反應，以及冰晶的寬頻吸收譜線，還有恆星形成過程中，遭遇恆星光而解離的原子與離子躍遷所造成的發射譜線。由於其對應的溫度與波長範圍，紅外線可以探測被奈米等級灰塵吸收導致可見光無法探測的區域，也可以觀測溫度較高的恆星與行星形成區域，銜接了地面可見光望遠鏡與電波陣

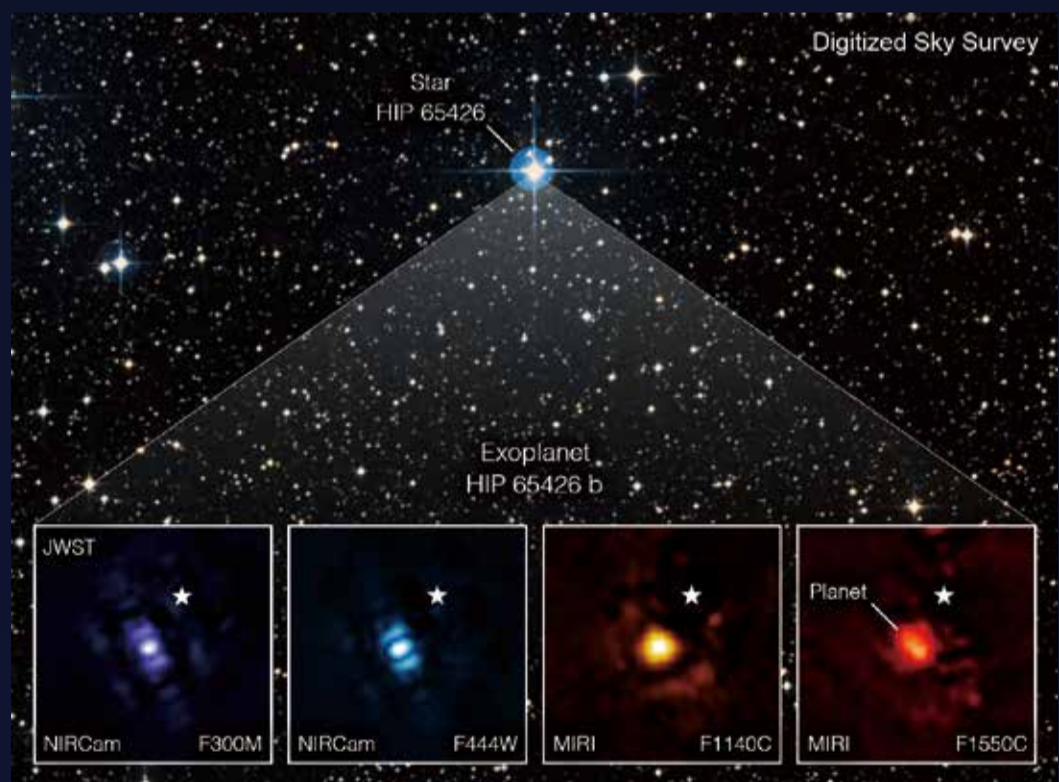
列無法觀測的區域。

JWST 之於 HST 的進展可以從兩者影像的比較看出端倪。讓 HST 一砲而紅的長蛇座 M16 星雲內，被暱稱為「創世之柱」的恆星形成區，在可見光波段，因為塵埃散射或吸收而呈現不透明的深色區域，在近紅外線波段卻能因許多背景的低質量恆星光穿透塵埃而顯得半透明，甚至在中紅外線波段，被遠處大質量恆星加熱的灰塵恰好擁有較強的熱輻射，使

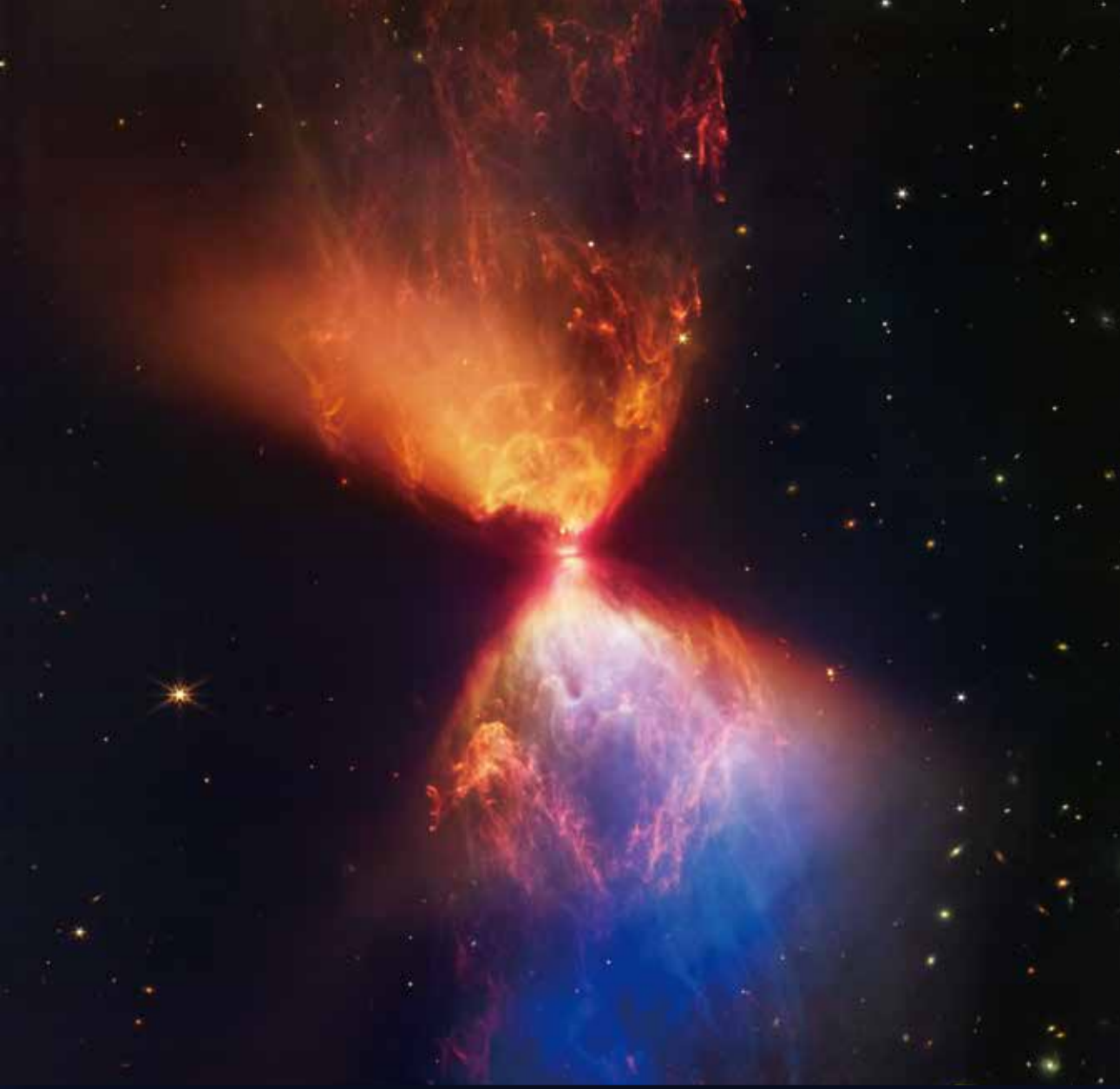
得塵埃分佈的細節可以被清楚探測。藉由 JWST 的高解析度，我們得以分辨塵埃中哪些區域密度特別高，有可能構成緻密雲核，成為年輕恆星誕生的搖籃。

JWST 的高解析度多波段影像也為系外行星與原行星盤研究帶來革命性的進展。例如距離地球約 385 光年的 HIP 65426 系統，是 JWST 首次得到的系外行星直接影像。利用日冕儀而得以看到亮度約暗了母恆星數十至數百倍的熱輻射，其來源可能包含行星形成過程中吸積質量而將重力位能轉換之熱輻射，以及原始行星周圍被加熱的塵埃熱輻射。這也是系外行星首次在中紅外波段被確認，增加行星模型比對的完整度，得以更為精確地推算行星半徑與質量。系外行星 HIP 65426 b 被認為約有 7 倍木星質量，但是半徑與木星相近。

NIRCam 的近紅外線濾鏡提供了獨一無二的機會，觀測被激發的氫分子譜線影像。氫分子是恆星形成區域中含量最多的氣體，但是必須在被激發的分子雲裡才有可能被觀測到。早期恆星形成中的噴流現象可以產生低速衝擊波，雖不至



底圖為數位巡天 (Digitized Sky Survey) 的可見光影像，下方四小圖為系外行星 HIP 65426 b 在四個不同波段的 JWST 影像，分別為近紅外線的 3.0 與 4.4 微米，及中紅外線的 11 與 16 微米，其中母恆星 HIP 65426 已被日冕儀遮蔽，在此以星號代表其位置。© NASA/ESA/CSA, A Carter (UCSC), the ERS 1386 team, and A. Pagan (STScI)



位於金牛座的冷暗星雲 L1527 在 NIRCam 底下的紅、藍、綠三色影像，分別為 2.0、3.3、4.4 微米，除此之外，橘色為 4.7 微米的氫分子譜線影像，在噴流中的絲狀結構特別明亮。©NASA, ESA, CSA, and STScI, J. DePasquale (STScI)

於解離氫分子，但是可以激發氫分子到較高能階，所以在近紅外至中紅外波段的氫分子激發譜線也成為研究噴流的利器。例如金牛座的冷暗恆星形成區 L1527 中的沙漏型結構是中央年輕恆星產生分子噴流而形塑，但在看似空腔的結構中實際上富含許多絲狀與指狀結構，發出氫分子的激發譜線。本所尚賢

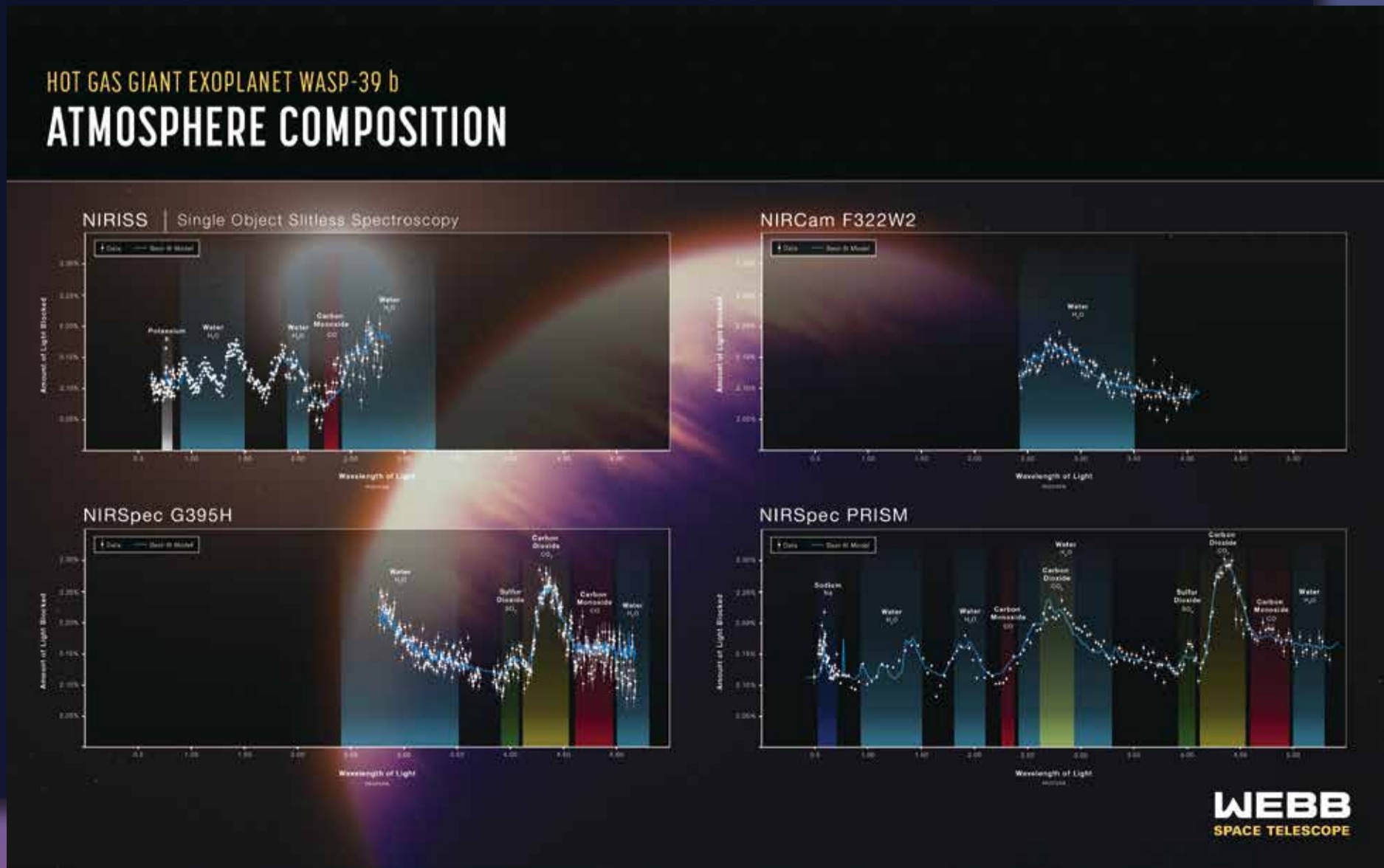
研究員新近的噴流數值模擬研究中，此絲狀結構也會經由磁化風模型產生的噴流與恆星周圍的雲氣交互作用的不穩定過程產生，證明學界早期認為噴流產生的「空腔」並非空空如也。

在系外行星凌星的過程中，藉由 NIRSpec 的靈敏度，可以直接觀測恆星星光經過

系外行星大氣後的吸收譜線，以了解行星大氣組成；NIRSpec 與 MIRI 的結合讓我們由吸收譜線一窺冷暗雲氣的化學組成。JWST 初期觀測「熱土星」WASP-39 b（距離母恆星小於 1 天文單位的大質量氣態行星）的紅外線吸收率，在大氣中發現了一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、水、鹼金屬等物質，可直接用於驗證光化學模型。而冷暗雲氣蝸虎座 I 的紅外線光譜，則看到水與其他長鏈有機分子的吸收譜線。

綜合以上所示，韋伯太空望遠鏡的紅外線靈敏度與解析度，補足了地面可見光與電波望遠鏡無法探究的恆星形成問題，讓天文學家近十年的等待有了回報，也讓我們期待未來更多的恆星形成問題得以撥雲見「星」！

系外行星 WASP-39 b 大氣中偵測到的分子。© NASA, ESA, CSA, and J. Olmsted (STScI)

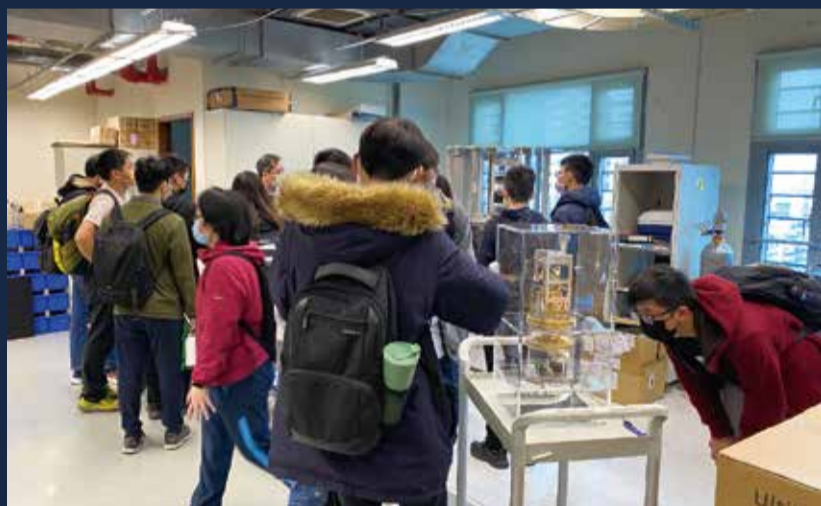
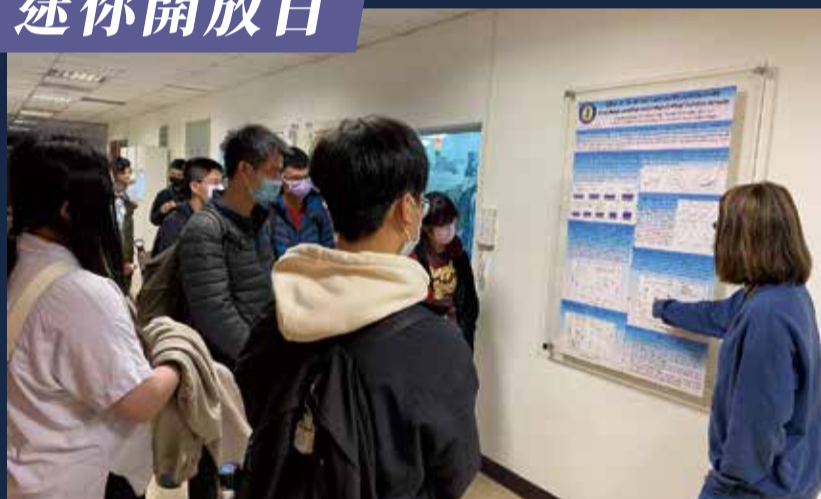


教師研習營：黑洞



本所教育推廣團隊於 2023 年 2 月 21 日舉辦「教師研習營：黑洞」，推廣黑洞相關教案。© 中研院天文所

迷你開放日



本所於 2023 年 3 月 4 日舉辦「迷你開放日」，邀請理工科系的大學生參訪本所，鼓勵學生未來能將所學應用到天文研究。© 中研院天文所

天聞季報編輯群感謝各位閱讀本期內容。本季報由中央研究院天文所發行，旨在報導本所相關研究成果、天文動態及發表於國際的天文新知等，提供中學以上師生及一般民眾作為天文教學參考資源。歡迎各界來信提供您的迴響、讀後心得、天文問題或是建議指教。來信請寄至：「臺北市羅斯福路四段 1 號 中央研究院／臺灣大學天文數學館 11 樓 中央研究院天文所天聞季報編輯小組收」。歡迎各級學校師生提供天文相關活動訊息，有機會在天聞季報上刊登喔！

發行人 | 彭威禮。執行主編 | 周美吟。美術編輯 | 王韻青、楊翔伊。執行編輯 | 曾耀寰、劉君帆。
 發行單位 | 中央研究院天文及天文物理研究所。天聞季報版權所有 | 中研院天文所。ISSN 2311-7281。GPN 2009905151。
 地址 | 中央研究院／臺灣大學天文數學館 11 樓。（臺北市羅斯福路四段 1 號）。
 電話 | (02)2366-5415。電子信箱 | epo@asia.sinica.edu.tw。

