



中華民國 114 年
冬季號



中研院天文所季報
ASIAA Quarterly Press
<http://www.asiaa.sinica.edu.tw>

光 說 宇 宙

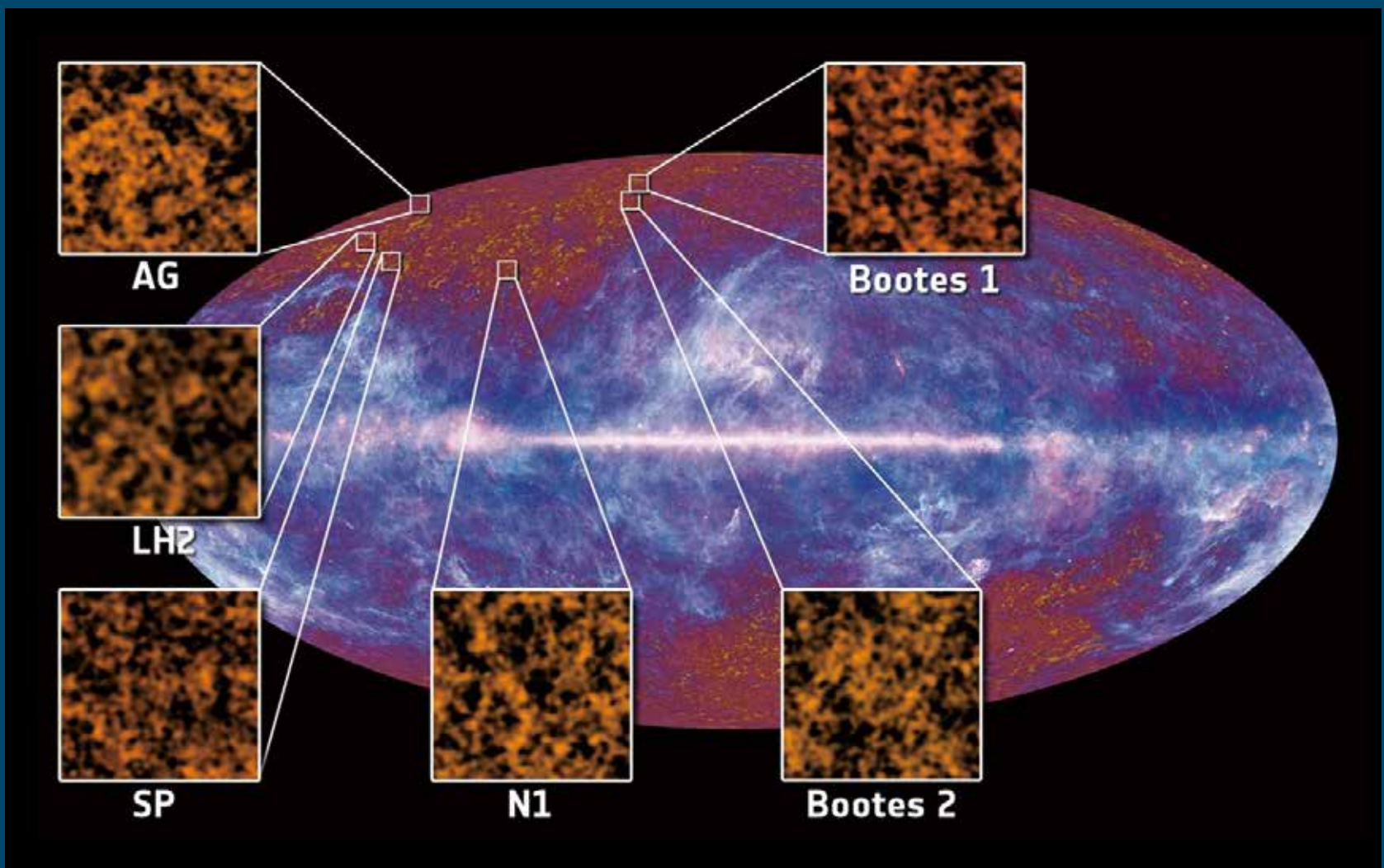
美國太空總署的 SPHEREx 太空望遠鏡計畫。©NASA

為什麼夜空是黑的？

從奧伯斯佯謬談宇宙背景光

作者 江奕寬

「為什麼夜晚的天空是黑的？」這個看似童稚的問題，其實是天文學中最古老、也最深奧的問題之一。十九世紀初，德國天文學家奧伯斯（Heinrich Olbers）提出這個問題，至今被稱為「奧伯斯佯謬」（Olbers' Paradox）：如果宇宙的空間無限廣大、無始無終，且恆星均勻分布，那麼視線所及終究會撞上一顆恆星，整個夜空理應亮如白晝，但我們看到的卻是漆黑。



Planck 衛星所繪製的全天紅外天空圖，顯示銀河系塵埃輻射構成的主要前景結構。圖中標示的六個高銀緯天區為前景較乾淨的範例區域，可用來觀測宇宙紅外背景的亮度起伏，並研究其空間結構。©ESA / Planck Collaboration

這個佯謬的解答，其實暗藏現代宇宙學的核心觀念。宇宙並非靜止不變，而是起始於約 138 億年前的大爆炸，年齡有限，且至今仍在加速膨脹中。許多遙遠天體發出的光來不及傳到我們眼中，有些甚至被紅移到肉眼不可見的波段。因此，夜空的黑暗，反而是宇宙有開端、有結構的證據。

但如果我們不是用肉眼，而是用從伽瑪射線到可見光、以至電波的天文望遠鏡掃描這片「黑暗」的天空，會發現整個宇宙其實被一層微弱的背景光填滿。這些背景光是歷史上所有天體活動所留下的總體輻射，有如宇宙的光化石，統稱為「河外背景光」（Extragalactic Background Light，簡稱 EBL），也就是銀河系之外的宇宙背景光。

這些背景光可依波長分為幾類：宇宙微波背景 (Cosmic Microwave Background，簡稱 CMB) 是大霹靂後約 38 萬年時，電子與質子結合為中性氫所釋放的光，是最古老且最冷的背景輻射。宇宙紅外背景 (Cosmic Infrared Background，簡稱 CIB) 主要來自星系內塵埃受年輕恆星輻射加熱後的紅外發光，揭示可見光中被遮蔽的恆星形成活動。宇宙可見光背景 (Cosmic Optical Background，簡稱 COB) 主要來自恆星直接發出的光，包括藍色的年輕星與紅色的老年星。宇宙紫外背景 (Ultraviolet Background，簡稱 UVB) 主要源自年輕恆星形成初期與類星體 (quasars)，其中高能紫外光子能游離氫與氦，對宇宙再電離時期具有關鍵影響。

再往高能波段，X 射線與伽瑪射線的宇宙背景光主要來自活躍星系核（中心有超大質量黑洞）、星遽增星系與其他極端高能現象。而從能量最低、波長最長的一端回看，宇宙電波背景主要來自少數活躍星系核的同步輻射，以及正處於恆星形成階段的星系。雖然整體強度較弱，仍反映超大質量黑洞與星系活動的演化歷程

不同波段的背景光，各自訴說著宇宙演化的不同篇章。微波背景記錄了宇宙誕生不久的「嬰兒照」，紫外與可見光反映恆星的直接輻射，紅外背景則是被塵埃遮蔽的恆星形成史，X 射線、伽瑪射線與電波背景讓我們窺見活躍黑洞與極端高能現象的累積歷史。這些片段拼湊起來，構成了宇宙演化的完整歷程。

背景光的研究可分為兩個層面：其一是天空亮度的空間起伏（anisotropy），也就是不同方向上的亮暗變化，反映出宇宙中物質結構分布的不均勻性；其二是平均亮度，即單極項 (monopole) 強度，記錄了宇宙的「發光史」，累積了恆星形成、塵埃加熱與高能活動的

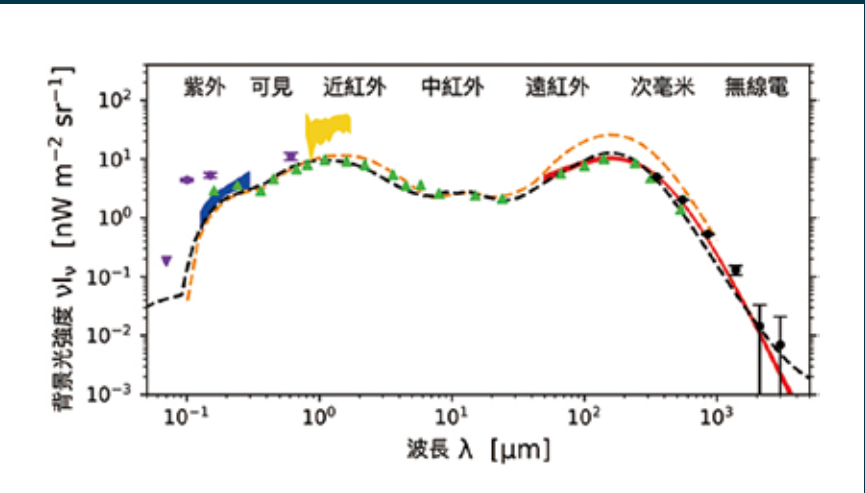
總體能量。透過不同觀測，天文學家能估算星系總體光度與恆星形成率，甚至追溯宇宙膨脹歷程。另一方面，整合多波段觀測資料並進行統計分析，我們可以估算各波長的背景光總亮度，進而描繪宇宙背景光的能譜分布。

2025 年 3 月，美國 NASA 發射了新的 SPHEREx (Spectro-Photometer for the History of the Universe, Epoch of Reionization and Ices Explorer) 衛星，首度以全天空掃描方式進行近紅外背景光的光譜觀測，筆者也參與 SPHEREx 的科學團隊。SPHEREx 將為整個天空提供上百個波段的低解析度光譜，目標之一就是更精確地分辨近紅外背景光的組成與紅移分布，進一步拆解老恆星、星系形成與塵埃的貢獻。這是首次針對近紅外背景光進行大規模「光譜分解」的觀測計畫，也為解開背景光的來源與宇宙演化史帶來新契機。

儘管我們對背景光的研究已有長足進展，仍存在許多未解之謎。例如，是否有大量表面亮度過低而尚未被觀測到的星系？紅外背景的能量來源究竟是由大量中等亮度的星系貢獻為主，或由少數極端明亮的星遽增星系主導？這些問題仍存爭議。背景光的分布也可能受到宇宙學模型的參數影響，值得深入研究。

從奧伯斯佯謬到現代的多波段背景光研究，天文學家學會了如何「在黑暗中尋找光」，甚至在看似空無一物的天空中，挖掘出整個宇宙演化的線索。這些極其微弱、來自四面八方的背景光，記錄了無數星系與黑洞的生命歷程，也構成了我們認識宇宙的光之基底。未來，隨著觀測技術與分析方法的進步，我們將能從這些微光中讀出更多細節，揭開宇宙尚未訴說的篇章。

（本文改寫自中研院訊科普專欄）



宇宙背景光在不同波長上的總亮度分布圖 (monopole intensity)，雙峰結構對應可見星光與遠紅外塵埃再輻射。虛線為理論模型，綠色三角為星系巡天提供的下限，其他符號為各波段漫射強度測量結果。© 江奕寬團隊





SPHEREx 近紅外太空望遠鏡首批公布的紅外影像之一，位於船帆座的分子雲氣照，照片上的顏色都是合成的。©NASA/JPL-Caltech

探索宇宙的起源與生命的奧秘

宇宙彩繪師 SPHEREx

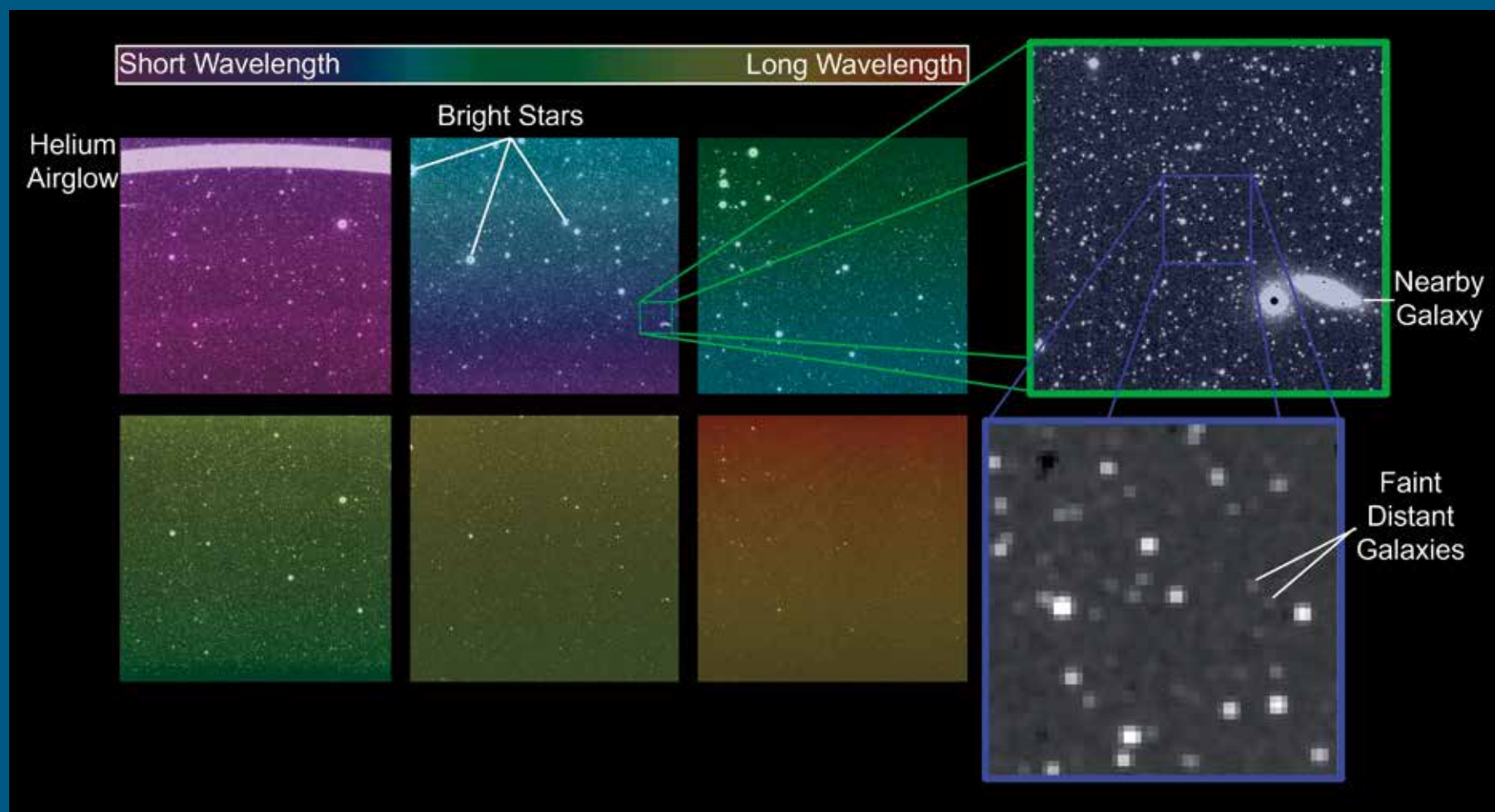
作者 劉雨恩 / 台大物理所碩士生

美國國家航空暨太空總署（NASA）於今（2025）年 3 月發射一枚名為 SPHEREx（Spectro-Photometer for the History of the Universe, Epoch of Reionization and Ices Explorer）的近紅外太空望遠鏡，目的是要追溯宇宙歷史、探測再電離時期，以及尋找生命相關物質。研究主題涵蓋了宇宙學、星系形成以及天文生物學，帶領我們深入探索宇宙的起源與生命的基

礎。望遠鏡質量僅 178 公斤、口徑 20 公分，在為期 27 個月的任務中，它將完成四次全天巡天，建構涵蓋 102 個波段的完整光譜地圖，累積超過 4.5 億個星系光譜與 1 億個恆星光譜資料。計畫由美國噴射推進實驗室（JPL）與加州理工學院主導，中研院天文所也是合作夥伴之一。

追溯宇宙誕生之謎：暴脹與大尺度結構

在大霹靂後，宇宙經歷了一場極端的暴脹（inflation），在極短時間內迅速膨脹，為日後的大尺度結構奠定基礎。大霹靂理論雖能解釋宇宙膨脹與元素豐度，卻無法解釋宇宙為何如此均勻（視界問題，即 horizon problem）以及其幾何為何如此接近平坦（平坦性問題，即



SPHEREx 在 2025 年 3 月 27 日拍攝的首批影像，每次曝光含六張圖，每張影像可偵測超過十萬個星系與恆星。右側放大框顯示鄰近星系（右上圖的大片亮點）與暗淡的遙遠星系（右下圖的小灰點）。©NASA/JPL-Caltech。



SPHEREx 於 2025 年 4 月掃描大麥哲倫星系的一個區域，展示其成像能力。圖中八幅畫面是同一片天區在不同波段下的樣貌，下方影像顯示出僅在特定波長可見的塵埃雲。©NASA/JPL-Caltech。

flatness problem)，而暴脹理論能同時解釋這些特徵。就像一小杯均勻攪拌的咖啡瞬間膨脹成泳池，水溫依然一致，宇宙暴脹也能保持均勻性。理論預測，暴脹會在物質分布中留下微小漣漪。SPHEREx 欲透過超過 4.5 億個星系的三維分布圖，尋找這些漣漪印記，並以統計方法區分不同的暴脹模型，成為檢驗早期物理學的重要依據。

星系演化史：宇宙由黑暗走向光明

宇宙在大霹靂後約 38 萬年，氫原子變為中性，進入所謂的黑暗時代（Dark Ages）。數億年後，第一批恆星、星系釋放的高能紫外線重新電離氫原子，使宇宙恢復透明並被點亮，這個過程被稱為再電離時期，是宇宙由黑暗走向光明的關鍵。SPHEREx 將測量早期星系，包括那些太小或太暗而無法被單獨分辨的天體，重建再電離的進程。這些觀測不僅揭示第一批星系如何形成，也能顯示它們如何塑造了宇宙整體狀態。

生命的基石：銀河系中的水與有機分子

水與含碳的有機分子是生命不可或缺的基礎。科學家認為，宇宙中大部分的水以冰形式存在於星際塵埃顆粒上，而地球與其他行星的水源，可能正源於這些冰庫。SPHEREx 將觀測銀河系中的分子雲與恆星誕生區，尋找水冰、二氧化碳、甲醇、一氧化碳等分子，並繪製它們的三維分布圖。這些資料闡明分子如何在塵埃上生成並進入新形成

的行星，決定其是否具備生命化學相關條件。這不僅追溯地球水的起源，也為尋找外星生命提供線索。

全覽宇宙的新視界

SPHEREx 的核心在光譜學。每種元素或分子在特定波段都會留下獨特的指紋，科學家據此判斷化學組成、溫度、密度，並透過紅移測量距離。SPHEREx 採用六組紅外線偵測器，搭配線性可變濾光片 (Linear Variable Filter)，獲得 102 個光譜波段，解析度遠超過以往的全天巡天任務。SPHEREx 的觀測波段（0.75—5 微米）能穿透塵埃，顯現出恆星形成過程與被遮蔽的星系。

SPHEREx 的口徑雖然僅 20 公分，但憑藉大範圍與多波段巡天，可以為韋伯與哈伯太空望遠鏡（JWST、HST）提供觀測導航。其全景光譜圖能快速鎖定科學價值最高的天體，交由後續高解析望遠鏡深入追蹤，並透過測量宿主恆星的光譜特性，提升凌星系外巡天衛星（TESS）所發現的行星參數準確度。在暗物質與暗能量研究上，SPHEREx 的全天光譜資料可補足了歐幾里得太空望遠鏡（Euclid）在天空覆蓋率的不足，並與預計於明年發射的羅曼太空望遠鏡（RST）形成互補，構築從可見光到中紅外的全方位觀測系統。SPHEREx 的觀測資料將分批公開，讓全球科學家共享，幫助人類在宏觀與微觀的雙重視野中，更有效率地探索宇宙！

用「宇宙放大鏡」看見隱藏的星系

天文學家發現被塵埃遮住的早期星系

你知道嗎？宇宙裡有一種「天然放大鏡」，能讓我們看到原本看不見的遙遠星系。這種神奇的現象叫做重力透鏡效應，是愛因斯坦在廣義相對論中預言的結果。當一個遙遠的星系剛好排在另一個星系的後面時，前景星系的重力會讓後面星系的光線彎曲，形成放大或變形的影像。就像光線經過玻璃球時會被折射一樣，宇宙中的重力也能彎曲光的路徑。

最近，本所和台灣大學的研究團隊，利用這個「宇宙放大鏡」發現了一群過去從未被觀測到的星系。這些星系距離我們非常遙遠，被大量宇宙塵埃包圍，看起來又暗又模糊，以往

的望遠鏡幾乎無法偵測到。但多虧重力透鏡的放大效果，這些被塵封的星系終於現身。

研究團隊使用位於夏威夷毛納基峰的馬克斯威次毫米波望遠鏡，結合韋伯太空望遠鏡的高解析影像，成功找出 13 個新的「強重力透鏡星系」。這些星系比過去觀測到的同類型天體還暗十倍，代表科學家已經突破了偵測極限。

這項成果不只是發現新星系，更幫助科學家了解早期宇宙中星系是怎麼形成的。因為透過這些「放大」影像，研究人員能進一步推測宇宙中可見物質與暗物質的分布。研究也發現，大約有 1% 的塵封星系在這個亮度下會被強重力透鏡放大，這個結果和理論預測非常接近。

未來，隨著歐幾里得太空望遠鏡和羅曼太空望遠鏡的加入，天文學家將能找到更多這樣的系統，幫助我們更全面地了解宇宙結構與星系演化。

(改寫自本所新聞稿)



這組由韋伯太空望遠鏡拍攝的影像，展示六個研究團隊發現的「強重力透鏡塵封星系」。每張圖的中央明亮天體是前景星系；而在旁邊呈紅色、弧形或環狀的結構，則是更遙遠的塵封星系——它們的光線被前景星系的重力放大並扭曲後才被我們看見。©JWST/ 陳建州

天聞季報編輯群感謝各位閱讀本期內容，特別感謝台北藝術院院長、國家文官學院講座教授張禮權博士惠賜刊頭題字。

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@asiaa.sinica.edu.tw。

