



中華民國 115 年
秋季號

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



星漢舞 胡旋

螺旋星系M101，又稱風車星系。
©王為豪/中研院天文所

銀河星光動長空

作者：周美吟

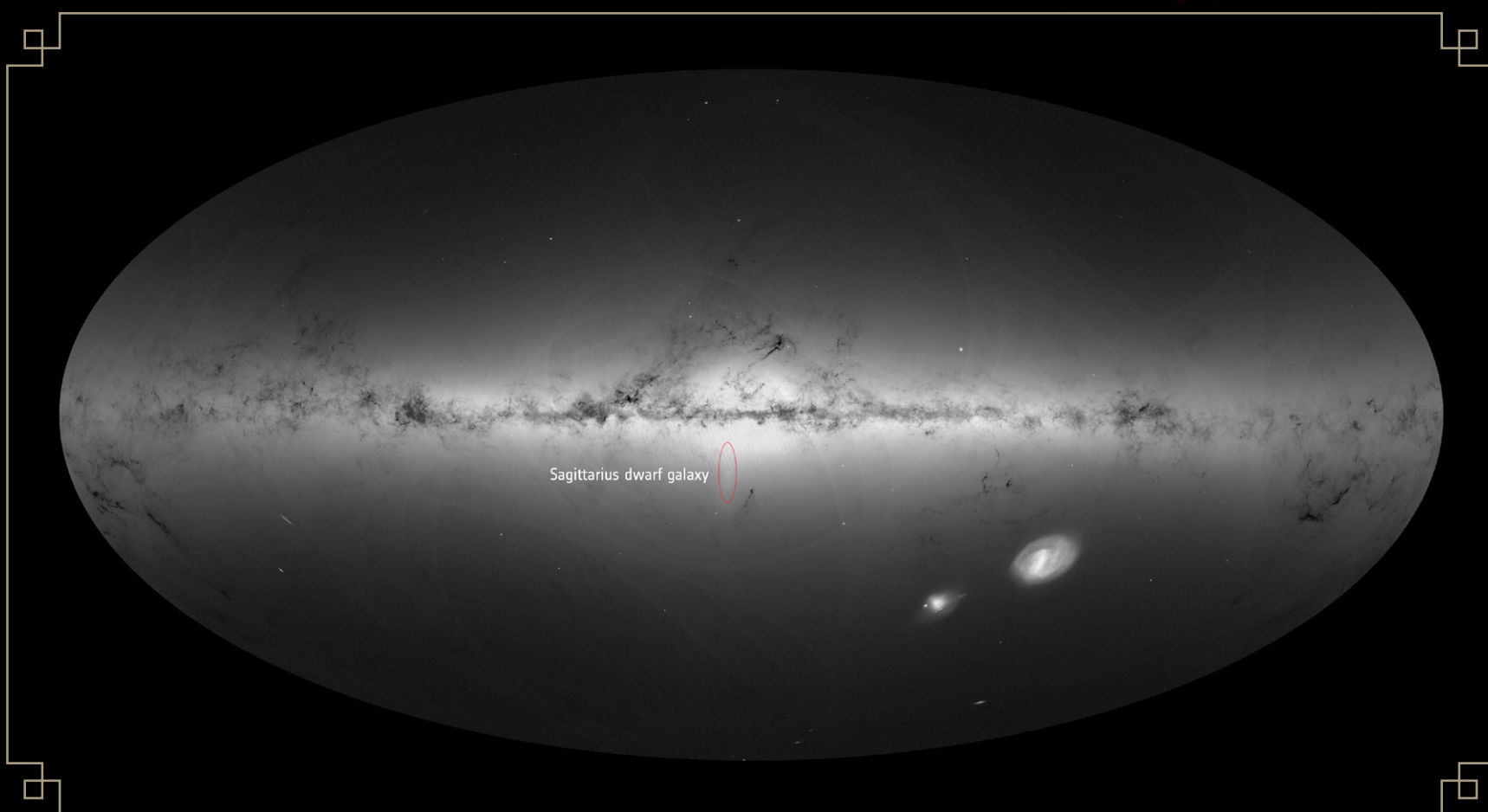
夏夜裡，若遠離城市燈火，抬頭仰望星空，常能看見一道淡淡的乳白色光帶橫跨天際，蜿蜒於群星之間。這條星光長河，自古以來便引發人類無數想像。在中國傳說中，它是分隔牛郎與織女的天河；在西方文化裡，它被稱為 Milky Way，如同灑落夜空的乳白色道路。

然而，這條看似寧靜的光帶，其實並不是雲霧，而是我們所居住的銀河系在天空中的投影。它由數千億顆恆星、氣體、塵埃以及看不見的暗物質共同組成。當我們凝望銀河時，看到的並非靜止不動的星空，而是一個巨

大星系在宇宙尺度下緩慢旋轉、持續演化的身影。

銀河系是一個巨大的棒旋星系，直徑約 10 萬光年，中央有隆起的核心區，外圍延伸出旋臂，而太陽系位於其中一條旋臂上，距離銀河中心約 2 萬 7000 光年。由於地球繞太陽運行，四季夜晚望向銀河系的方向不同，因此我們看到的銀河景象也會隨季節改變。夏季時，地球夜晚方向朝向銀河中心，視線穿過大量恆星與星際物質，因此形成明亮壯觀的夏季銀河；冬季則朝向銀河系外側，星光相對稀疏，銀河也顯得黯淡。

人類對銀河系真正面貌的理解，其實直到近代才逐漸建立。20 世紀初，天文學家仍不知道那些模糊的「螺旋星雲」究竟是銀河系內的天體，還是遠方獨立存在的星系。1920 年，天文學界著名的「大辯論」便圍繞著這個問題展開。Harlow Shapley 認為銀河系巨大無比，而螺旋星雲仍屬於銀河系的一部分；另一派天文學家 Heber Curtis 則主張，這些螺旋星雲其實是像銀河系一樣的「島宇宙」。幾年後，Edwin Hubble 透過造父變星測量仙女座星系距離，證實它遠超出銀河系範圍，也讓人類首次明白：宇宙並不只有一個銀河系，而



蓋婭（Gaia）任務於 2014 到 2016 年期間觀測到的全天恆星密度圖。圖中右下方兩個小星系就是大小麥哲倫雲，而銀河系中心下方還有一個細長的結構，是正在被銀河系吞併的人馬座矮星系殘骸。©ESA/Gaia/DPAC

是充滿無數星系。

如今我們知道，銀河系並非孤立存在，而是本星系群中的一員。它與仙女座星系以及數十個較小的矮星系共同受到重力束縛。這些小星系並非只是銀河系的陪襯，它們也參與了銀河系的成長歷史。當矮星系靠近銀河系時，強大的潮汐引力會將它們逐漸撕裂，原本屬於它們的恆星被拉成細長的恆星流，最後融入銀河系之中。換句話說，銀河系其實是在不斷吞併與融合中逐漸成長。

如果將目光轉向銀河中心，則會看到更劇烈的宇宙舞動。由於中心區域充滿塵埃與氣體，可見光難以穿透，天文學家必須利用紅外線與電波觀測。透過長時間追蹤中心附近恆星的運動，科學家發現有些恆星高速繞行一個看不見的巨大天體。根據它們的軌

道推算，銀河中心存在一個約 400 萬個太陽質量的超大質量黑洞，也就是人馬座 A*。這項研究也讓人類更了解黑洞如何影響星系中心的環境。

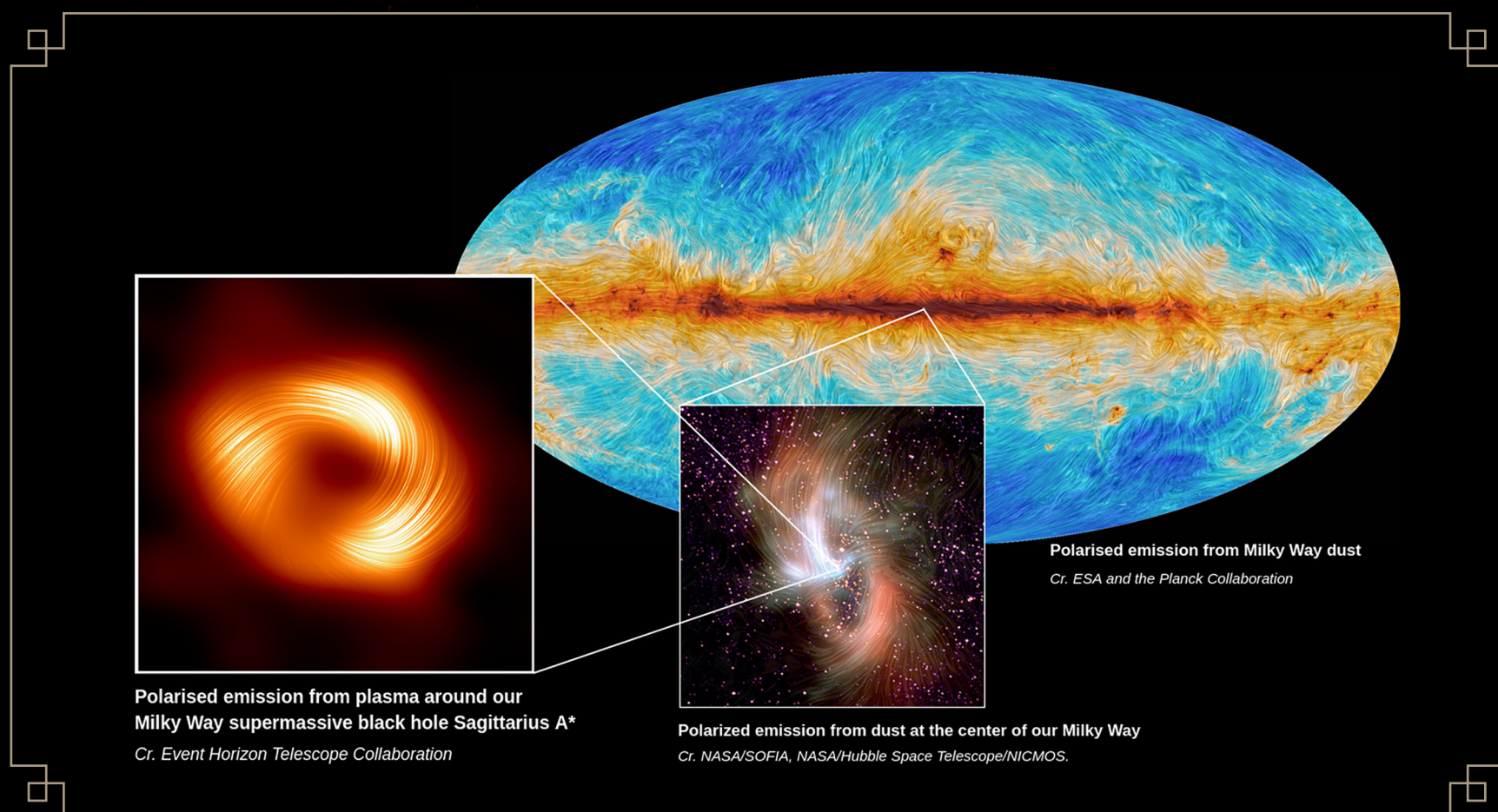
多年來，黑洞只能透過周圍物質的運動間接研究。直到事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope, EHT）計畫利用全球電波望遠鏡組成一座等效地球大小的虛擬望遠鏡，才首次捕捉到黑洞附近結構。2019 年，EHT 公布 M87 星系中心黑洞影像；2022 年，更進一步公布銀河系中心人馬座 A* 的影像，讓人類第一次直接看見自己所在星系核心的黑洞。

從夏夜肉眼可見的銀河，到望遠鏡揭開星系結構與黑洞祕密，人類逐步理解銀河系的樣貌。然而，這些探索也提醒我們：宇宙從來不是靜止的背景。恆星誕生、星系碰撞、黑洞吞噬物質，

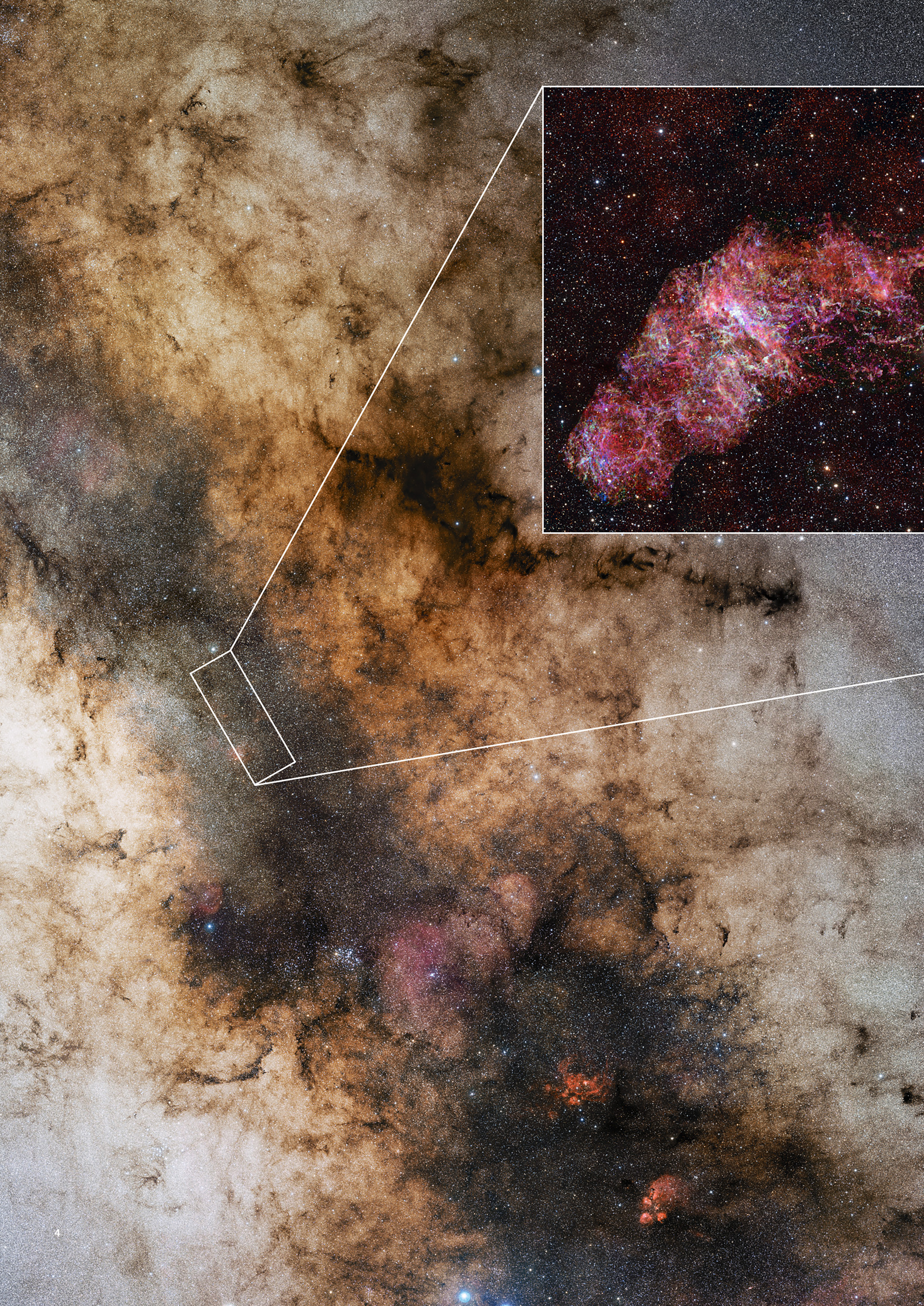
所有天體都在漫長時間中持續變化。

而現在，人類更進一步開始記錄宇宙的「變化過程」。過去的望遠鏡主要描繪宇宙在某個瞬間的樣貌，如今新一代巡天計畫，例如魯賓天文台的「時空遺產巡天計畫」（Legacy Survey of Space and Time，簡稱為 LSST），將透過長達十年的反覆觀測，捕捉星體爆發、星系變動與未知天體的出現。宇宙不只是一本靜態的圖鑑，而是一部正在播放的電影。當我們再次仰望那條橫跨天空的銀河，也許會發現，那看似靜止的星光，其實正隨著宇宙的節奏持續前行。銀河不息，而我們正在聆聽屬於宇宙的變奏曲。

（本文原刊載於《臺北星空》131 期，經臺北市立天文科學教育館同意改寫轉載。）



左圖為銀河系中心超大質量黑洞人馬座 A* 的偏振光影像，可以看到黑洞陰影周圍的磁場偏振方向。中圖為 SOFIA 望遠鏡所拍攝的銀河系中心偏振輻射。右後圖為普朗克衛星繪製的銀河系塵埃偏振輻射。©S. Issaoun, EHT Collaboration





阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列（ALMA）拍攝到的銀河系中心分子區。
© ALMA(ESO/NAOJ/NRAO)/S. Longmore et al. Stars in inset: ESO/D. Minniti et al. Milky Way: ESO/S. Guisard

從「疑是銀河落九天」 到宇宙中的螺旋舞者

作者：曾耀寰

飛流直下三千尺，疑是銀河落九天。

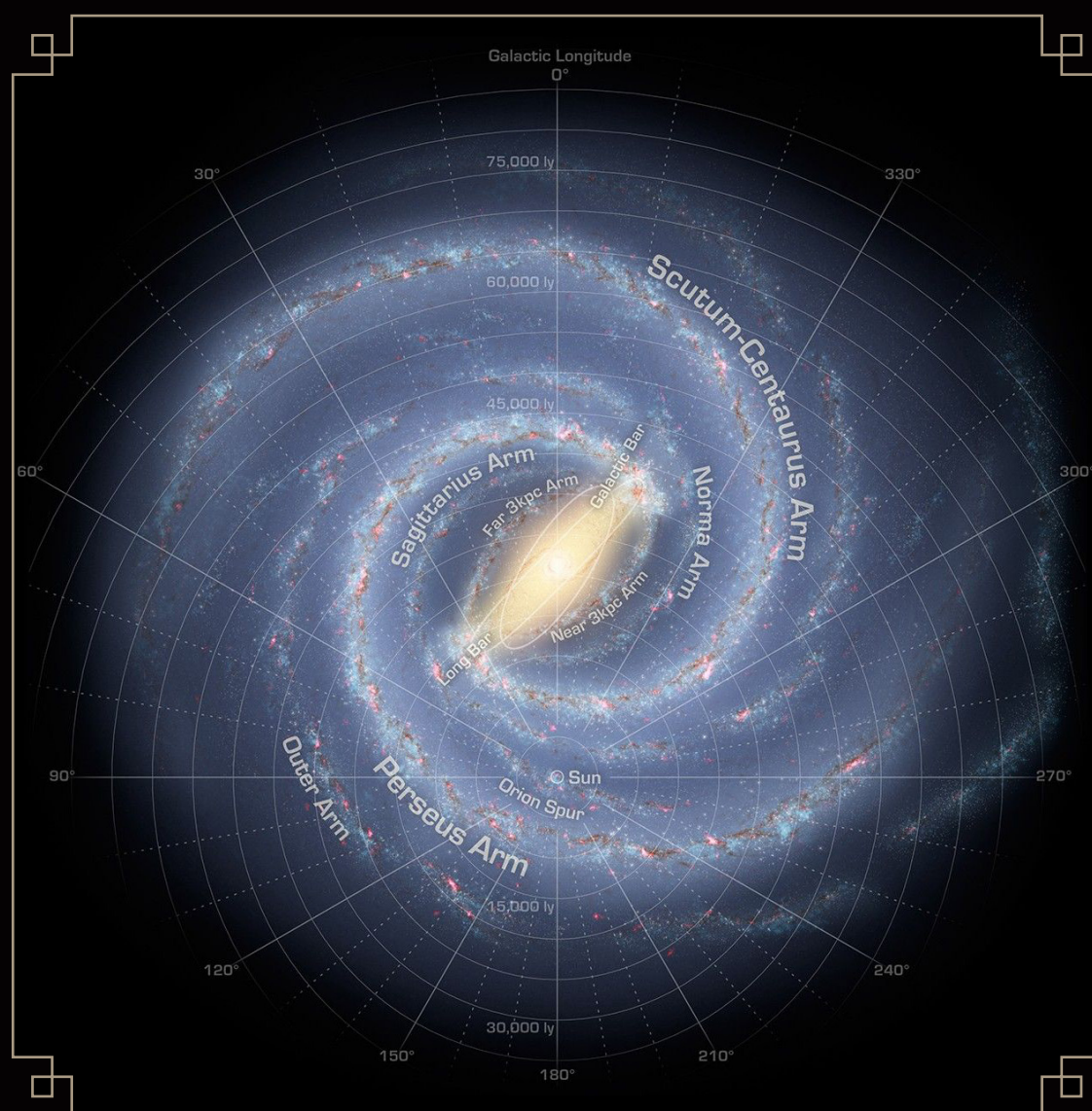
李白筆下的「銀河」，是從九天傾瀉而下的壯麗天河。在沒有望遠鏡的年代，人們只能仰望夏夜星空，看見一條乳白色的光帶橫跨天際，於是用「銀河」這個詩意的名字，描繪它朦朧而神秘的面貌。然而今天我們知道，李白眼中的銀河並不是一條掛在天空中的河流，而是一座巨大無比的「恆星之城」——我們所居住的銀河系。

銀河系是一個大型棒旋星系，直徑超過十萬光年，擁有數以千億計的恆星。太陽並不位在銀河中心，而是在距離銀河中心約兩萬七千光年的位置，坐落於銀河盤面之中。從地球望出去，我們看到的銀河光帶，其實就是因為我們身在銀河系內部，看見大量恆星沿著盤面密集排列的結果。研究資料顯示，太陽系繞銀河中心運行一周約需兩億四千萬年；對人類而言，這是一個幾乎無法想像的時間尺度。

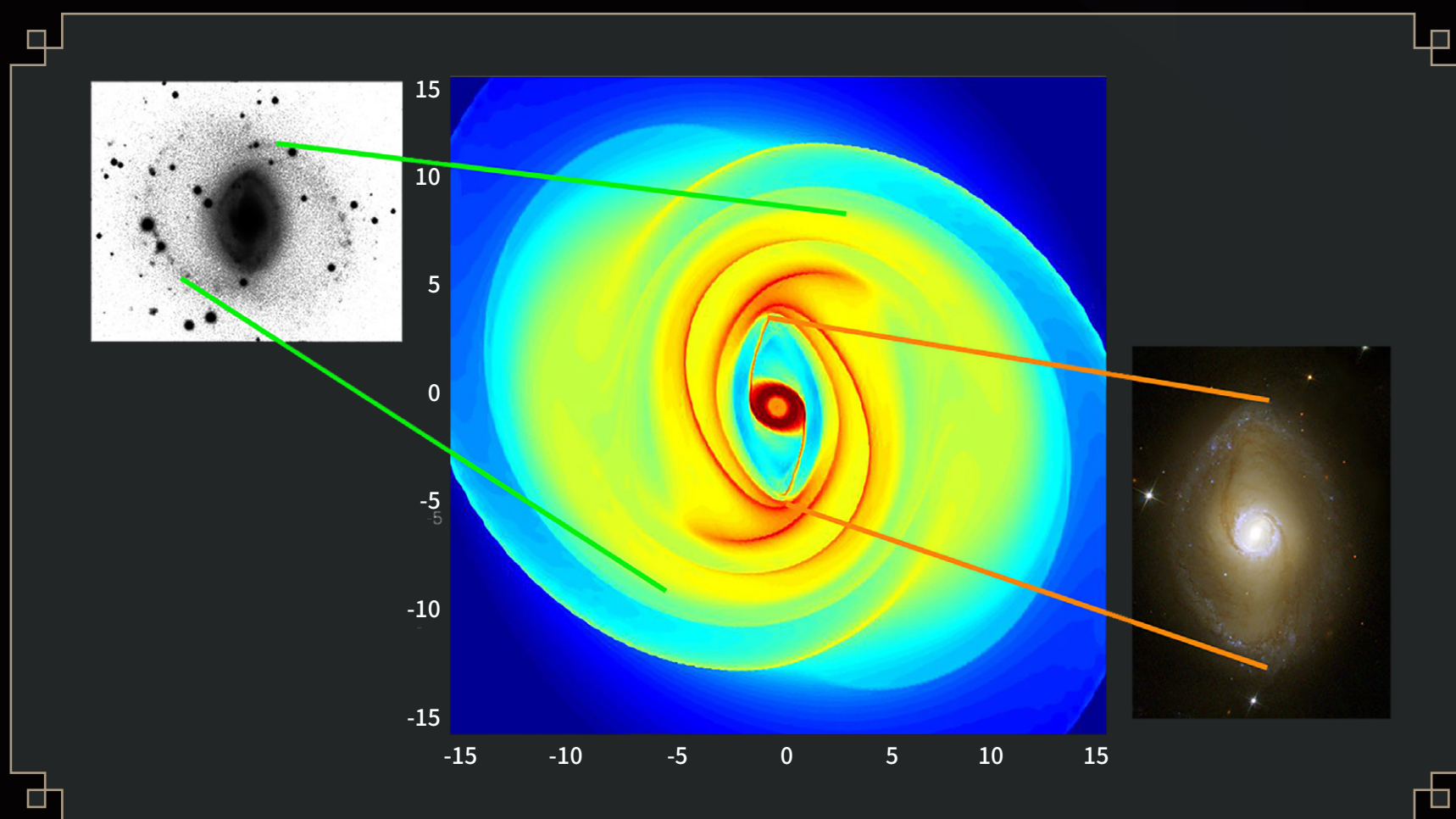
如果能夠搭乘一艘宇宙飛船，飛到銀河系之外，再回頭觀看我們的家園，看到的將是一個扁平的旋轉圓盤。中央有一個由恆星組成的棒狀結構，周圍則延伸出螺旋結構。也就是說，銀河系並不是單純「圓圓的一團星星」，而是一個具有精巧結構的螺旋星系。

唐代盛行的胡旋舞，以急速旋轉聞名。銀河的旋臂（spiral arm）彷彿在漫長歲月中不斷流轉，卻又始終維持優雅的螺旋形態，宛如一場跨越數十億年的胡旋之舞。但這裡立刻出現一個有趣的問題：旋臂究竟是什麼？

直覺上，我們很容易把旋臂想成一條由恆星組成的巨大彩帶。彷彿有一群恆星排好隊，繞著銀河中心公轉，於是慢慢被拉成漂亮的螺旋形。然而這種想法其實有一個致命問題。



插畫家筆下的銀河系示意圖。©NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)



棒旋星系 NGC 6782 理論與觀測的比較。中間是用流體去模擬 NGC 6782 的氣體盤所計算出的結果，顏色代表氣體盤的面密度，紅色代表高密度，藍色代表低密度。右下角是哈伯太空望遠鏡觀測的多波段光學影像、左上角是由 Buta & Purcell 觀測的 B-band 影像。© 中研院天文所 /Lin et al.

銀河中的恆星並不是以相同速度繞銀河中心運行。距離中心較近的恆星，通常繞行得比較快；距離中心較遠的恆星，則比較慢。這種不同半徑具有不同角速度的旋轉稱為「較差自轉」(differential rotation)。如果旋臂真的只是由固定的一群恆星排列而成，那麼經過漫長時間之後，內側的恆星就會逐漸超越外側恆星，整條旋臂應該越纏越緊，最後變成一團難以辨認的結構。

單純利用恆星的較差自轉，確實可以在電腦模型中製造出旋臂；但它無法解釋為什麼我們在宇宙中仍然看到許多能維持數十億年尺度的螺旋星系。換句話說，旋臂似乎不是「同一批星星」永遠待在一起。

這就像馬路上的塞車。想像汽車不斷沿著高速公路前進，某個路段因為某

種原因變得特別擁擠。汽車會一輛接一輛開進這個擁擠區，再從另一端離開。從遠處看起來，「塞車」一直存在，但道路上的汽車卻不斷更換。旋臂也有類似的概念：它不一定是一群固定的恆星，而可能是一個密度較高的區域。這就是著名的「密度波理論」。

1927 年，瑞典天文學家 Bertil Lindblad 首先提出，星系盤中的重力作用可能產生螺旋結構；到了 1960 年代，華裔數學家林家翹與天文學家徐遐生進一步建立了著名的林－徐密度波理論。這個理論認為，銀河盤面可以出現一種像波一樣向外傳播的高密度區域，也就是我們看到的旋臂。因此，旋臂更像是交通壅塞形成的「波」，而不是一條用車子鋪成的道路。

更有意思的是，旋臂不只是恆星比較

密集而已。當星際氣體進入旋臂附近的高密度區域時，氣體可能受到壓縮，促進新的恆星形成。因此，旋臂往往可以看到大量年輕、明亮的藍色恆星，以及發光的氫氣雲。這也使旋臂成為銀河系中非常活躍的「恆星工廠」。所以我們在照片中看到的旋臂，不只是漂亮的幾何圖案，而是銀河中恆星誕生活動特別旺盛的地方。

而密度波之所以能夠形成如此醒目的結構，還與「共振」有關。電影《功夫》中的獅吼功透過銅鐘的共振，使得平常很小的擾動，在施力的頻率恰好與系統本身的振動頻率相近的狀況下，就可能被大幅放大。星系中的恆星同樣具有複雜的週期運動；當某些擾動頻率與恆星的公轉或軌道振動頻率形成特殊關係，就可能產生共振，讓原本微小的擾動逐漸發展成宏觀的螺旋結構。

不過，今天的天文學家並不認為單靠密度波理論已經完全解釋了所有銀河旋臂的形成。隨著望遠鏡觀測能力提升，科學家發現銀河的結構比早期模型更加複雜。不同觀測方法對銀河旋臂的數量有不同推估，有的認為有兩條主要旋臂，有的則辨識出四條甚至更多局部結構；近年的研究也發現，部分旋臂可能延伸得比過去認為的更遠。這些結果都顯示，銀河並非一個結構固定、靜止不變的系統。

近二十年的觀測與電腦模擬更進一步指出，銀河旋臂可能是多種物理機制共同作用的結果。除了密度波之外，中央棒旋結構、恆星與星際氣體之間的重力作用，以及鄰近衛星星系的引力擾動，都可能塑造螺旋結構。有些旋臂甚至不是能維持數十億年的固定構造，而是會在幾億年間形成、演化，最後逐漸消散。換句話說，不同星系的旋臂未必都由相同機制形成，而可能各自受到不同因素主導。這也正

是天文學迷人的地方：一個提出超過半世紀的理論，至今仍持續接受新觀測的檢驗。隨著 Gaia 等天文任務持續測量數十億顆恆星的位置與運動，我們將有機會更深入了解銀河系真正的螺旋結構，以及太陽系在其中的旅程。於是，從李白眼中的「銀河」，到今天望遠鏡觀察到的銀河系，我們對這條天河的理解已經發生了徹底的改變。

它不是一條河，而是一個巨大星系；不是靜止的星星集合，而是一個不斷運動的重力系統；旋臂也不是固定的星星彩帶，而可能是密度、氣體、恆星運動與重力共同編織出的宇宙波紋。

當我們下一次在沒有光害的夜晚，看見銀河橫跨天空時，也許可以想像：此刻的我們，正身處一個直徑超過十萬光年的巨大螺旋星系之中；太陽正帶著地球與整個太陽系，在銀河盤面上緩慢前進。而在我們看不見的宇宙尺度裡，旋臂也正像一場沒有終點的舞蹈，不斷形成、變形與消散。

李白看見的是「銀河落九天」；現代天文學看見的，則是正在旋轉、持續演化的星河。

而我們，就生活在這場宇宙大舞會的其中一個角落。

距離地球約 3000 萬光年的 M51 螺旋星系，正與一個較小的星系合併。© 王為豪 / 中研院天文所



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。

