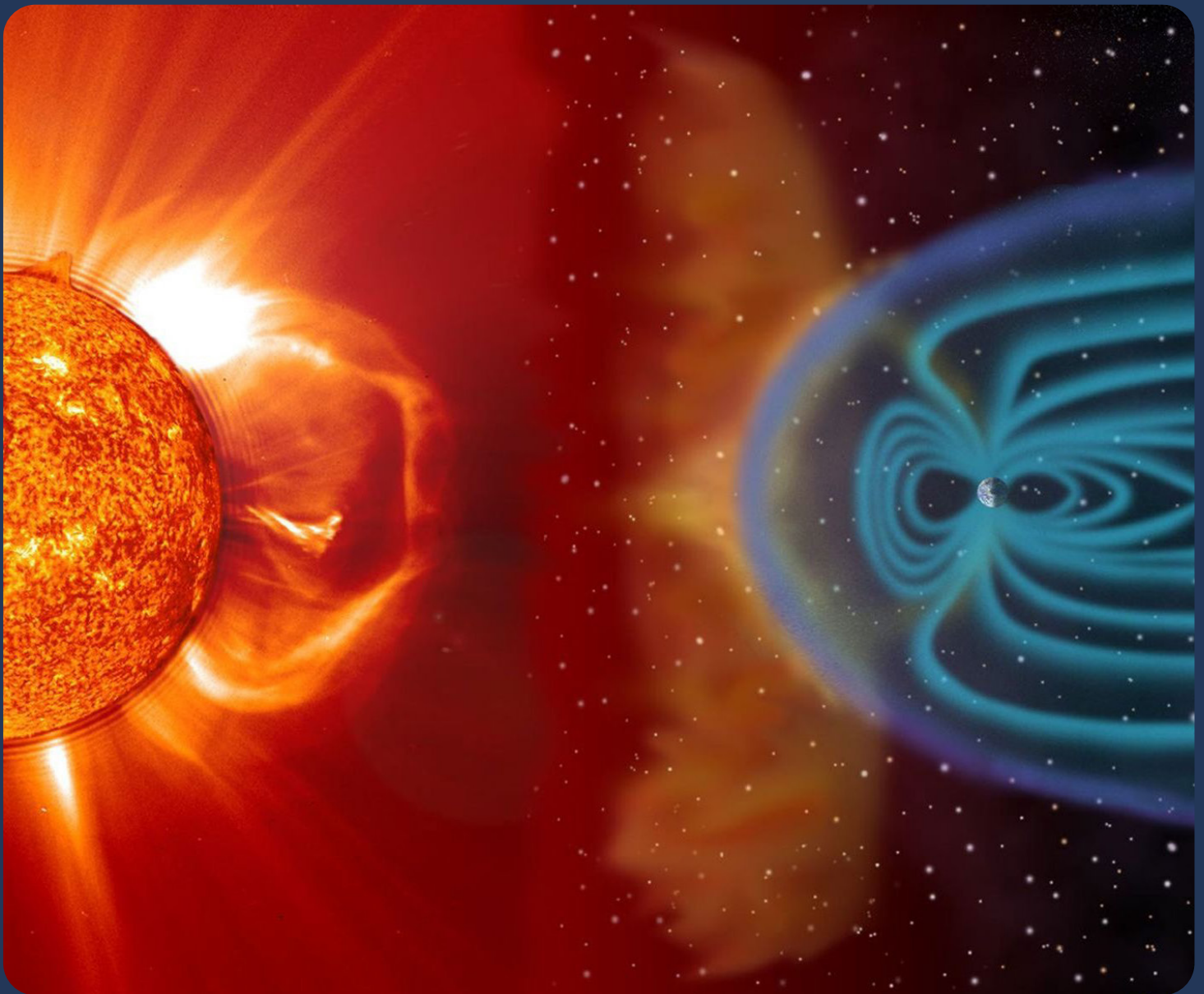


追風之旅—探尋太陽風的起源

自太陽系形成之後，至今大約經過了46億年。46億年以來，太陽持續提供地球光和熱，使地球上的生命能逐漸成長、茁壯。太陽不只發出太陽光，也會發出太陽風這樣高能的帶電粒子，衝擊著地球的磁場。本期的天文教室，要帶大家一起跟著太陽及太陽圈探測衛星（SOHO）及太陽動力學天文臺（SDO）的發現，一起踏上追尋太陽風起源的旅程。

文／周毅桓



太陽風是從太陽發出的高能量帶電粒子，會無時無刻的高速衝擊地球，由於地球有磁場保護，使地球上的生命可以免於受到這些高能量粒子的危害。圖片來源：NASA/ESA/SOHO。

太陽的謎團

科學家們早在SOHO與SDO兩架太陽探測衛星升空以前，就對太陽有許多的好奇。

他們知道太陽最外圍的大氣層，包覆著一層日冕，它的溫度高達上百萬度。科學家們知道太陽表面有一些劇烈的活動，像是日冕物質拋射、太陽閃焰等，但科學家不確定這些劇烈活動的成因是什麼？科學家們知道，太陽會無時無刻發出高能量的帶電粒子，科學家們稱為太陽風，它們會不斷的衝擊地球的磁場，使地球產生極光。但太陽風起源的位置一直無法確定。科學家們感到越深入研究太陽，卻產生越多的謎團。

為了解開這些謎團，科學家們從1980年代開始陸續發射了一些衛星和探測器，去觀測太陽的活

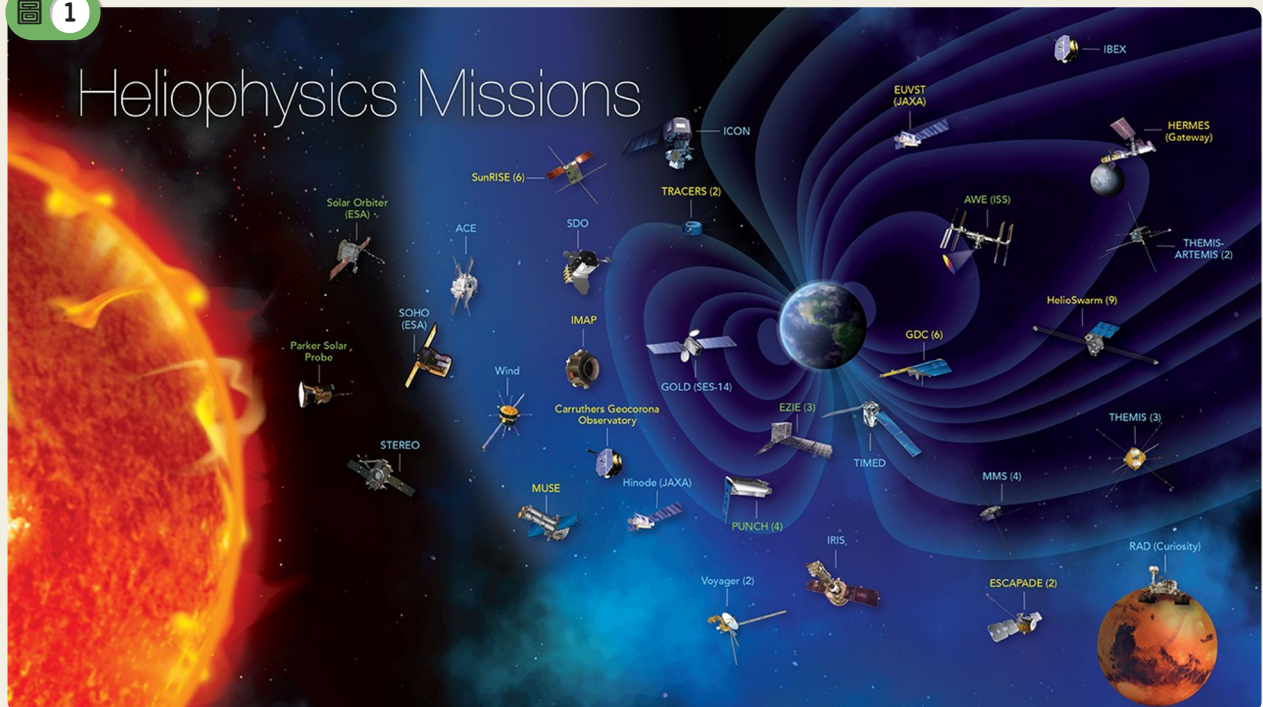
動。直到目前為止，一共有27架衛星和探測器加入太陽觀測任務。有一些已經停止運作，有一些已經完成了主要任務，並以延展任務的形式停留在太空中持續工作，如圖1。

太陽圈探測衛星SOHO 與太陽動力學天文臺SDO

歐洲太空總署（ESA）的太陽及太陽圈探測衛星（Solar and Heliospheric Observatory，簡稱SOHO）及美國太空總署（NASA）的太陽動力學天文臺（Solar Dynamics Observatory，簡稱SDO），在太陽觀測的過程中扮演了關鍵的角色。

SOHO是ESA跟NASA合作的太空任務，1995年升空，1996年開始觀測任務，任務的主要目標是研

圖 1



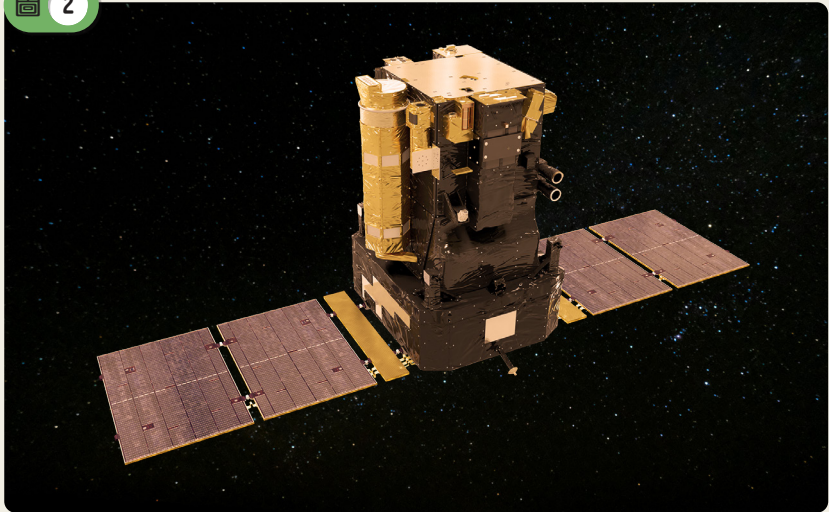
直到目前為止，一共有超過30個觀測任務、27架探測器加入觀測與探索太陽的行列。本篇的主角是SOHO與SDO，但目前最主要的兩架探測器，是ESA的太陽軌道載具（Solar Orbiter）與NASA的派克太陽探測器（Parker Solar Probe）。

圖片來源：NASA's Goddard Space Flight Center

究太陽的大氣層、太陽風和太陽的內部構造。原先預計任務到1998年4月結束，主任務完成後，SOHO因儀器損壞一度停止運作。ESA與NASA最後採取行動延長SOHO的壽命，這一延長，就延長了6次，一直到了今天，SOHO仍然待在它的崗位持續工作，並連續觀測太陽超過22年，如圖2。

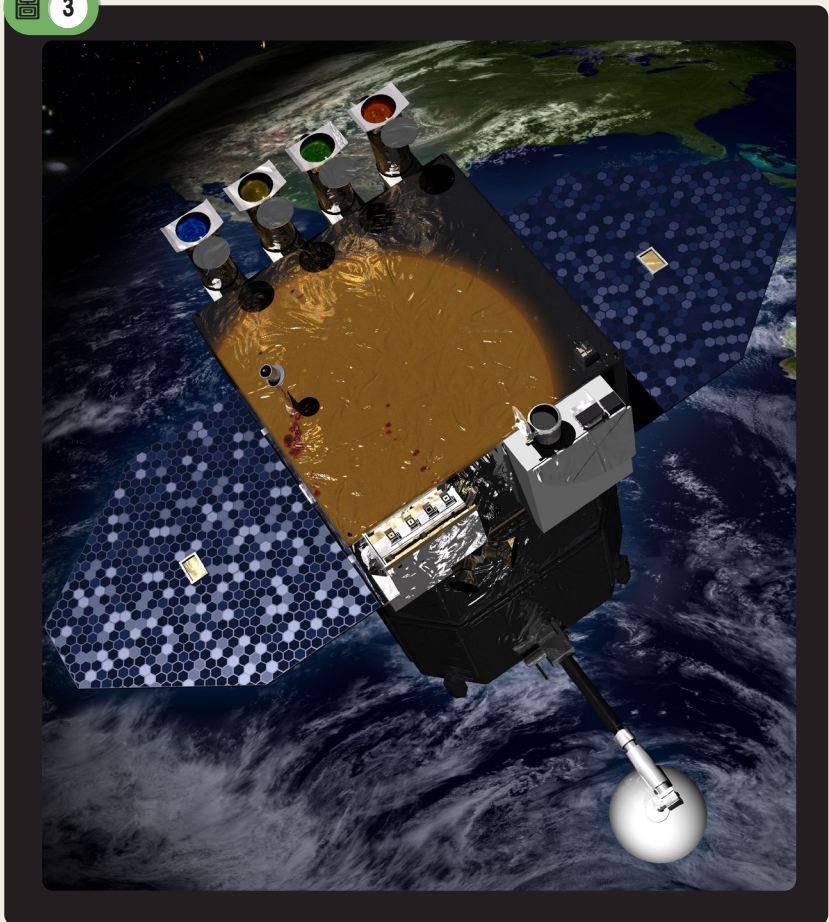
由於科學家們當時還不了解太陽的大氣層許多活動發生的原因，在SOHO完成主要任務之後，NASA與ESA再次合作，在2010年時將太陽動力學天文臺（SDO）送往太空中，如圖3。接下來我們以太陽風為例子，來看看SOHO和SDO究竟如何聯手解決太陽風起源的謎團。

圖 2



SOHO自1995年升空後，在當時是最重要的太陽觀測衛星，並協助科學家建構了太陽內部構造模型。後續的太陽探測任務，大多是以SOHO當時的觀測成果為基礎，繼續深入的研究。圖片來源：SOHO/ESA/NASA

圖 3



太陽動力學天文臺（SDO）在2010年升空，主要的任務是觀測太陽磁場、太陽表面活動，並進一步了解太陽內部與表面活動對地球的影響。圖片來源：NASA/Goddard Space Flight Center Conceptual Image Lab

兩種不同速率的太陽風

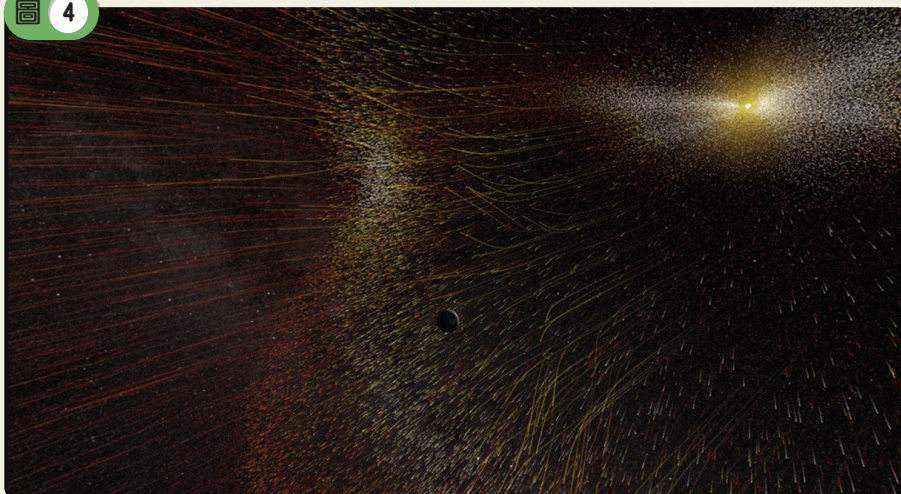
太陽除了發出太陽光之外，也會無時無刻向外發射溫度高達百萬度的高能量帶電粒子，這些帶電粒子大多由質子、 α 粒子和電子所組成，科學家把這些高能量的帶電粒子稱為「太陽風」。太陽風有兩種速度，一種是比較慢的太陽風，時速大約150萬公里。另一種則是時速高達300萬公里的高速太陽風。這些太陽風無時無刻的在衝擊地球的磁場，如圖4。

高速太陽風源自極區日冕洞的底層

起初科學家不是很清楚太陽風的成因，不過在1994年時，ESA的尤里西斯號（Ulysses spacecraft）飛越了太陽的南北極，發現強烈的太陽風從日冕洞中發出。

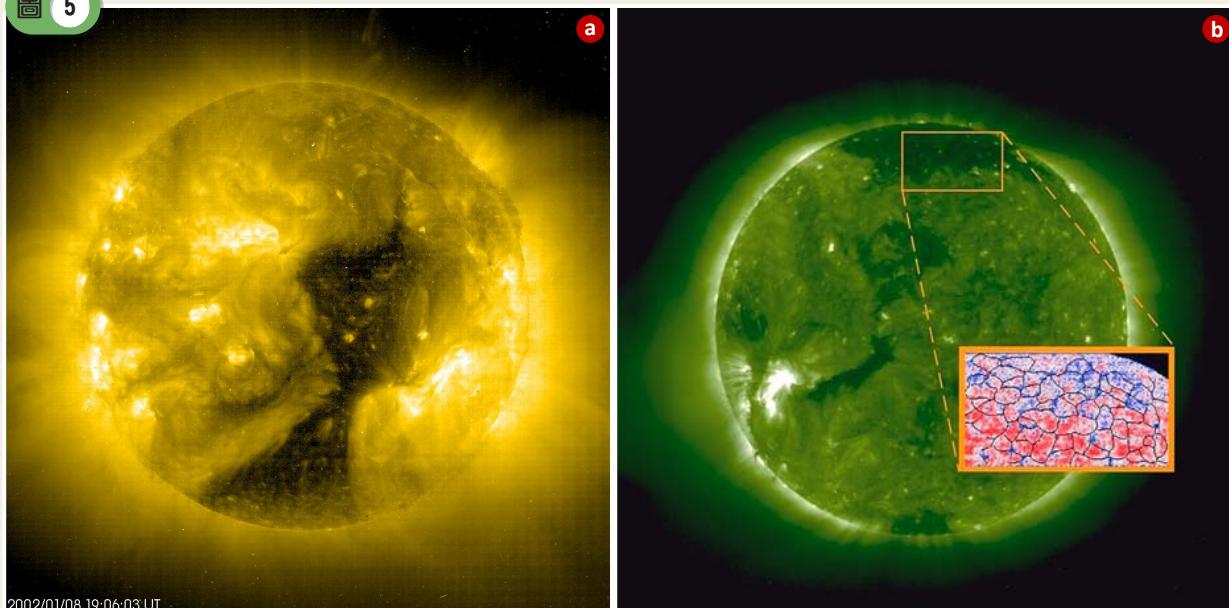
緊接著，SOHO在1998年時，發現有太陽風從太陽的蜂窩狀磁場邊緣向外流出。科學家們分析都卜勒雷達的影像後發現，那個區域正是太陽風的發源地—日冕的底層，如圖5。

圖 4



太陽風從太陽發出後，會在太空中高速的向四面八方掃出去。太陽風中的帶電粒子大多由質子、 α 粒子和電子所組成。圖片來源：NASA Goddard's Conceptual Image Lab/Greg Shirah

圖 5

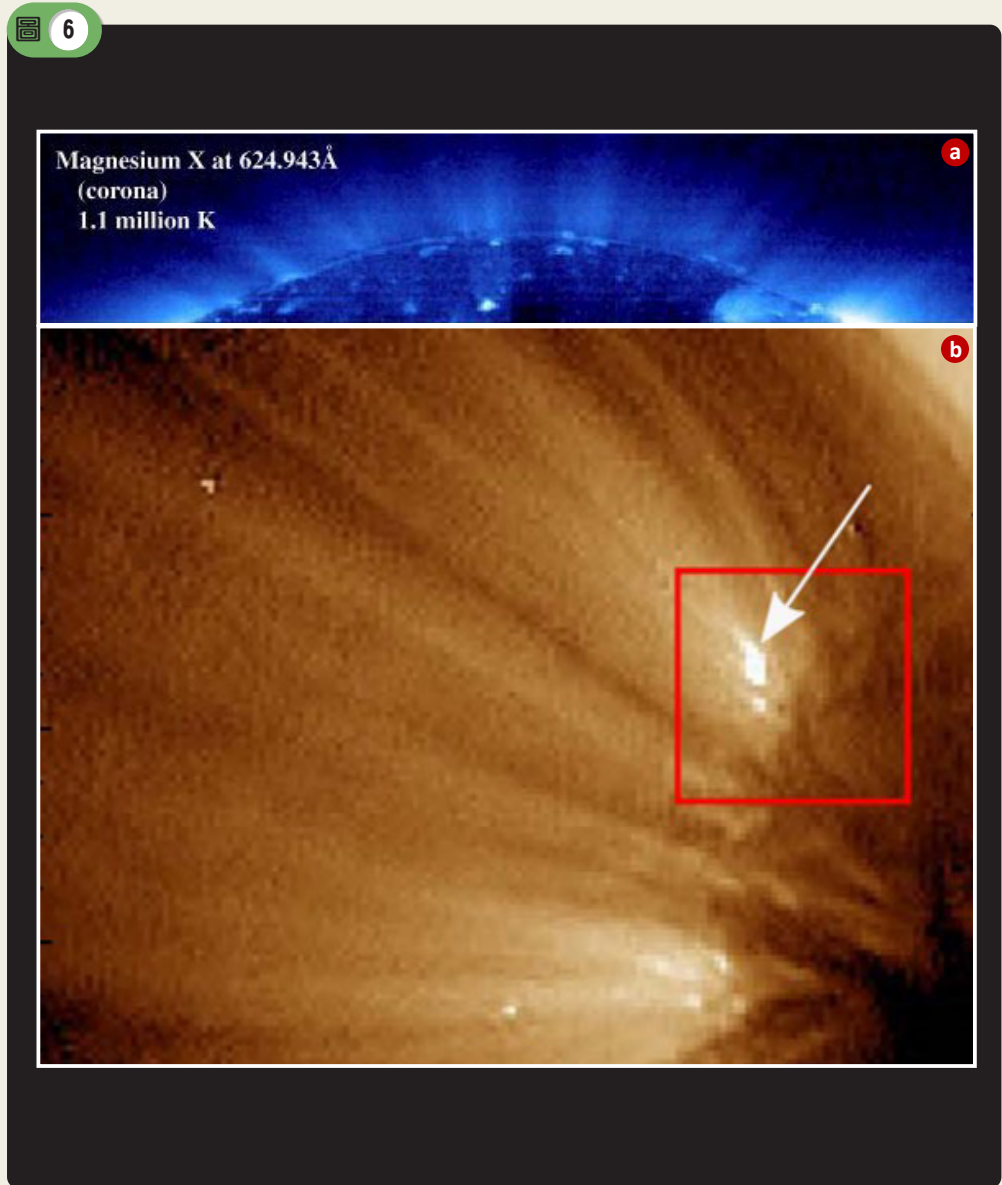


2002/01/08 19:06:03 UT

a 紫外光波段下的日冕洞假色影像，那是科學家們最初發現太陽風發出的地方。**b** 方框是都卜勒光譜影像，紅色部分，表示太陽大氣的氣體往下沉，藍色部分，表示氣體往外衝出。藍色位置是SOHO發現的太陽風的發源地。影像來源：SOHO/ESA/NASA

而產生高速太陽風的謎題，也由SOHO找到答案。SOHO在1996年第一次發現太陽極區的羽流，是一根根像羽毛一樣的結構。原先科學家們大多認為高速的太陽風是由羽流之間的空隙所發出。但在

2003年時，科學家們分析SOHO觀測羽流的影像，發現羽流底部的色球層區域存在大量間歇性出現的小型噴流，這些小型噴流向上延伸後形成羽流結構，提供了高速太陽風的粒子來源，如圖6。



a SOHO在2003年觀測到高速太陽風由羽流尖端發出。**b** 科學家利用SDO發現羽流底部有許多小型間歇噴流，科學家們認為那可能為高速太陽風的起源。影像來源：**a** SOHO/ESA/NASA，**b** Kumar 2022 et al., NASA/SDO

帕克太陽探測器與太陽軌道載具

雖然科學家們解開了高速太陽風起源之謎，但關於太陽仍有許多問題仍然還沒找到答案。NASA與ESA再次攜手合作，由NASA派遣帕克太陽探測器（Parker Solar Probe）、ESA派遣太陽軌道載具（Solar Orbiter）前往觀測太陽，如圖7。帕克太陽探測器就像一根銳利的探針，穿過

太陽大氣層，近距離接觸進行測量。而太陽軌道載具則從距離太陽不遠處，圍繞太陽進行整體觀測。這兩架探測器的觀測任務正密集展開，也都已經取得豐碩的觀測成果，值得持續關注。

周毅桓：臺北市立天文科學教育館

7



a NASA帕克太陽探測器與**b**ESA太陽軌道載具，在觀測太陽的角度上，就像是地球上的科學家為了觀測大氣層的狀況，使用探空氣球直接進入雲層之中近距離的接觸量測，與使用氣象衛星在高空中總覽地球大氣層、雲層的操作模式相同。各自的觀測數據可以互為補充，使合併後的觀測資料更完整。圖片來源：**a** NASA/Johns Hopkins APL/ Steve Gribben，**b** ESA/ATG Medialab。