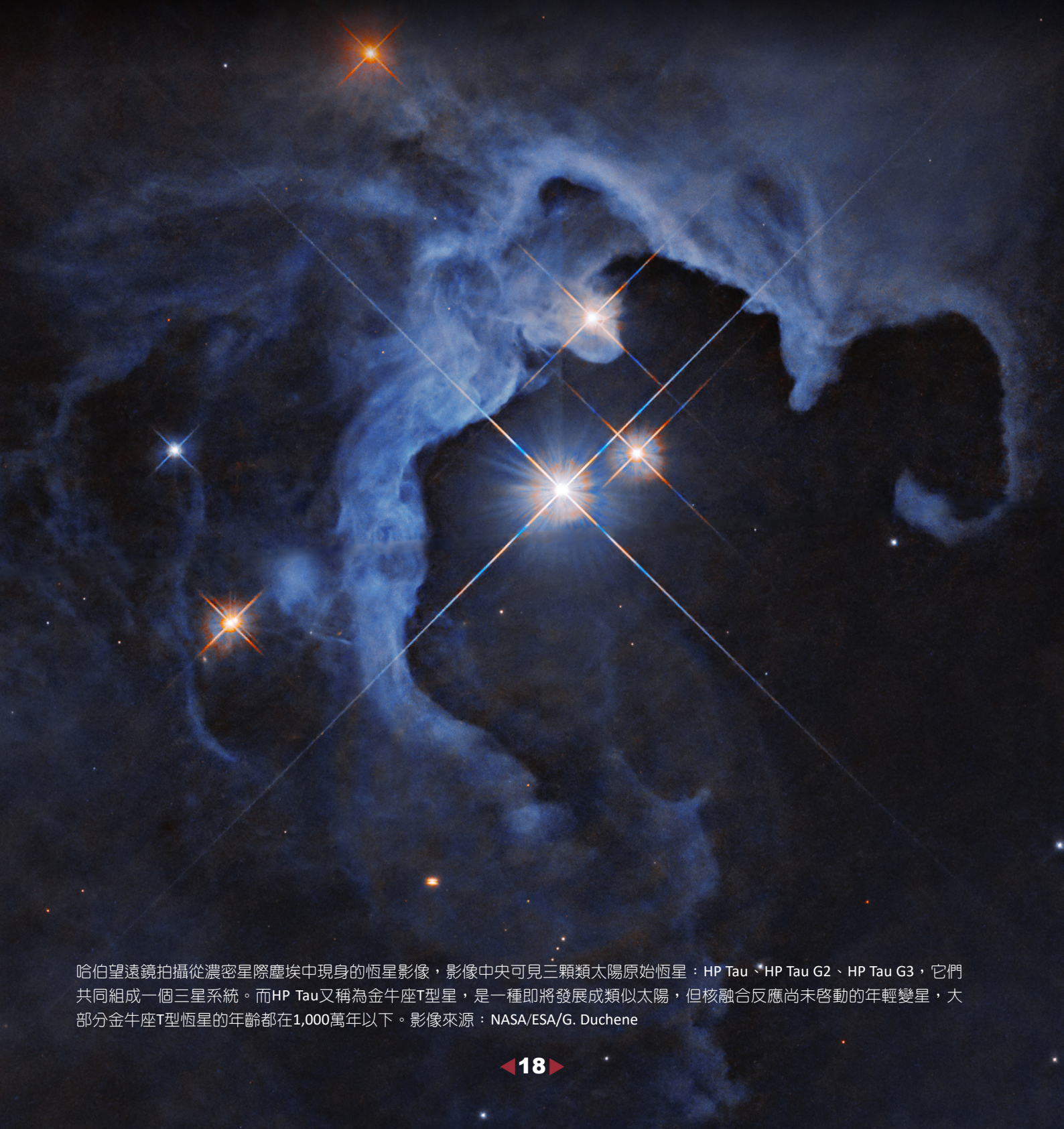


# 哈伯的科學成果與後續太空望遠鏡發展

哈伯望遠鏡是全世界最負盛名的太空望遠鏡，不論是否在天文領域工作，都可能在生活中見過哈伯望遠鏡所拍攝的華麗天文影像。當大家被這些驚人又夢幻的圖片所震懾時，是否曾想過，這些美麗不只是美麗，更是成千上萬科學家的智慧結晶。NASA發布這些華麗影像，不只是為了讓你看見它的美麗，更是為了讓你認識這些美麗背後的奧妙科學。

文／徐麗婷



哈伯望遠鏡拍攝從濃密星際塵埃中現身的恆星影像，影像中央可見三顆類太陽原始恆星：HP Tau、HP Tau G2、HP Tau G3，它們共同組成一個三星系統。而HP Tau又稱為金牛座T型星，是一種即將發展成類似太陽，但核融合反應尚未啟動的年輕變星，大部分金牛座T型恆星的年齡都在1,000萬年以下。影像來源：NASA/ESA/G. Duchene

## 哈伯望遠鏡的優勢

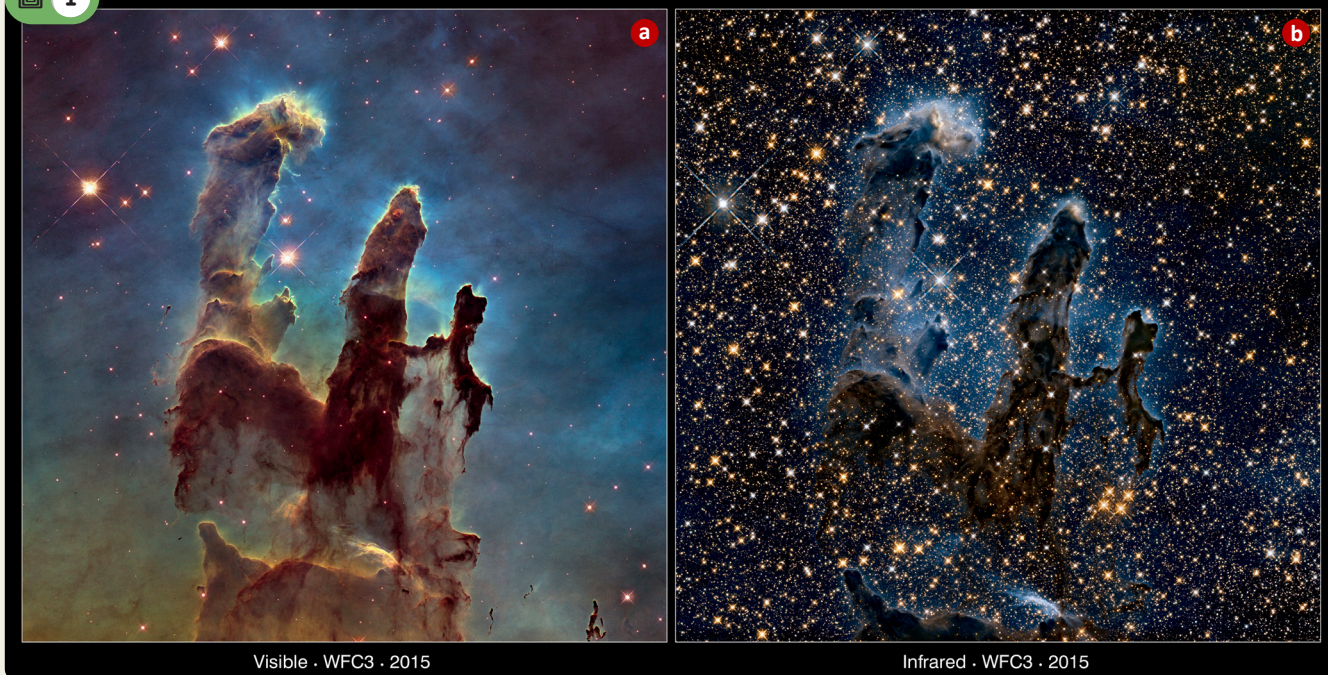
為什麼哈伯能拍出這麼多令人震撼的影像？首先，哈伯望遠鏡擁有卓越的解析度，這提供了天文學家前所未有的天體細節，讓我們可以看到太陽系內的行星、小行星、矮行星、或彗星的表面紋理，或是看到更清晰的星雲或星系結構。另外，哈伯望遠鏡的高靈敏度，讓哈伯更容易偵測到來自遙遠宇宙的微弱光源。哈伯還有一項強大的能力，就是穿越時空看見過去的能力。事實上，所有的望遠鏡都有這樣的能力，因為光的傳遞需要時間，例如，太陽光傳到地球需費時約8分20秒，織女星的光傳到地球需要25年，仙女座大星系的光傳到地球需要250萬年。所以我們在觀測天體的當下所看到的光，都是過去發出來的光。而望遠鏡就像一台時光機，從這台時光機中，我們可以看見由遠而近、從古至今的天體演變。受惠於哈伯的高解析度與高靈敏度，天文學家可以藉由哈伯看到更深、更遠、更老的宇宙。

除此之外，在2009年第五次維護任務中安裝的紅外線相機WFC3，更有助於哈伯觀測高紅移星系（高紅移星系指的是非常遙遠的星系。星系愈遙

遠，遠離速度愈快，紅移的幅度愈大，紅移的數值就愈高）。高紅移星系因為距離很遠，星系遠離地球的速度很快，原本位於可見光波段的光，其波長會因為宇宙紅移效應而變長，移動到波長較長的紅外線波段。因此，相較於可見光相機，紅外線相機可以偵測到更多遙遠的、古老的星系（這也是之後升空的韋伯紅外線太空望遠鏡的科學目標之一），並幫助天文學家了解早期宇宙的演化過程。

紅外線觀測的好處，除了有助於偵測高紅移天體，還能夠穿透宇宙中的塵埃，讓天文學家看到深埋在氣體與灰塵深處的年輕恆星，如圖1，這是夜空中非常著名的恆星形成區「創生之柱」，圖 a 是可見光影像，我們在圖中可以看到大片黑暗的陰影區域，這些區域是大量氣體與灰塵聚集的地方。在這些陰暗的柱狀物內，蘊藏著剛誕生的年輕恆星。它們發出強烈的光與熱，但由於星光被外圍的灰塵遮擋，可見光無法穿透，因此我們無法直接觀測這些恆星。然而，利用哈伯的紅外線相機來拍攝，我們可以看到原本左圖中陰暗的柱狀物區域，變成半透明狀，如圖 b，深埋在灰塵裡的大量年輕恆星都變得清晰可見，這是因為紅外線可以穿透灰塵而看到裡面的恆星。因此，紅外線觀測有助於天文學家研究恆星形成區，了解恆星誕生的環境與成因。

圖 1



由於可見光無法穿透濃密星際塵埃，剛誕生的年輕恆星常隱藏其中而無法被直接觀測，如圖 a。但如果透過能夠穿透塵埃的紅外線觀察，就能明顯看見這些年輕恆星，如圖 b。影像來源：NASA

## 哈伯望遠鏡的科學成就

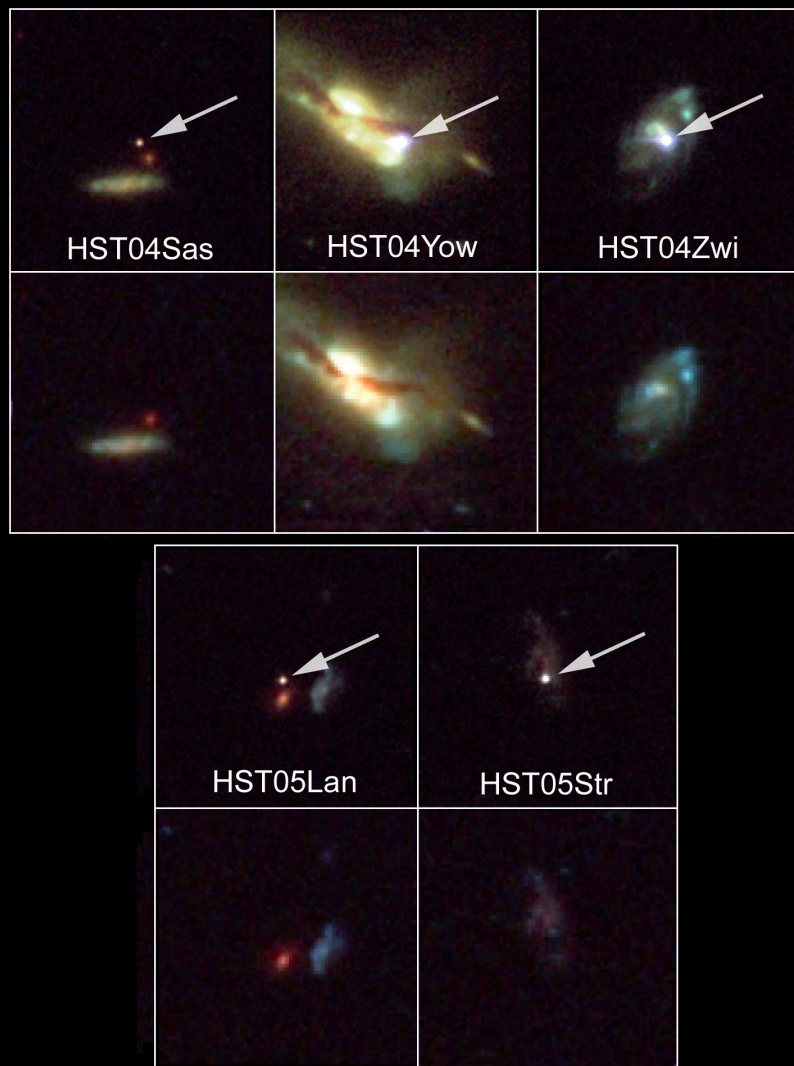
哈伯在三十多年的觀測工作中，獲得了許多重要的科學成果。下面我們選幾張非常重要的影像來說明哈伯的科學成就：

### 宇宙加速膨脹

宇宙正在膨脹，所以我們可以觀測到夜空中幾乎所有的星系都在遠離地球，但是宇宙到底以什麼速度在膨脹？為什麼會膨脹？Ia型超新星爆發就是天文學家用來研究宇宙膨脹的其中一種重要的工具。圖2中白色箭頭標示的是五顆Ia型超新星爆發

的影像，在這些影像的正下方，是在相同的天區拍攝的同一個星系，但是沒有出現超新星爆發。Ia型超新星可以作為量測天體距離的標準燭光，因為Ia型超新星爆發時所產生的光度是固定不變的。天文學家發現這五顆Ia型超新星的亮度比預期中的暗，以此估算出的星系距離比預測值還要遠15%。這說明宇宙膨脹的速度比預期更快，並且間接證明了暗能量的存在。這張影像是由哈伯的先進巡天照相機（簡稱ACS）所拍攝，提供了證實宇宙正在加速膨脹的數據。這個研究成果也使得亞當·瑞斯（Adam Riess）、布萊恩·施密特（Brian Schmidt）和索歐·珀爾馬特（Saul Perlmutter）獲得了2011年諾貝爾物理獎。

圖 2



哈伯太空望遠鏡憑藉優異的觀測能力，捕捉遙遠的Ia型超新星爆發事件並測量這些超新星的距離，以推測宇宙膨脹的速度。影像來源：NASA

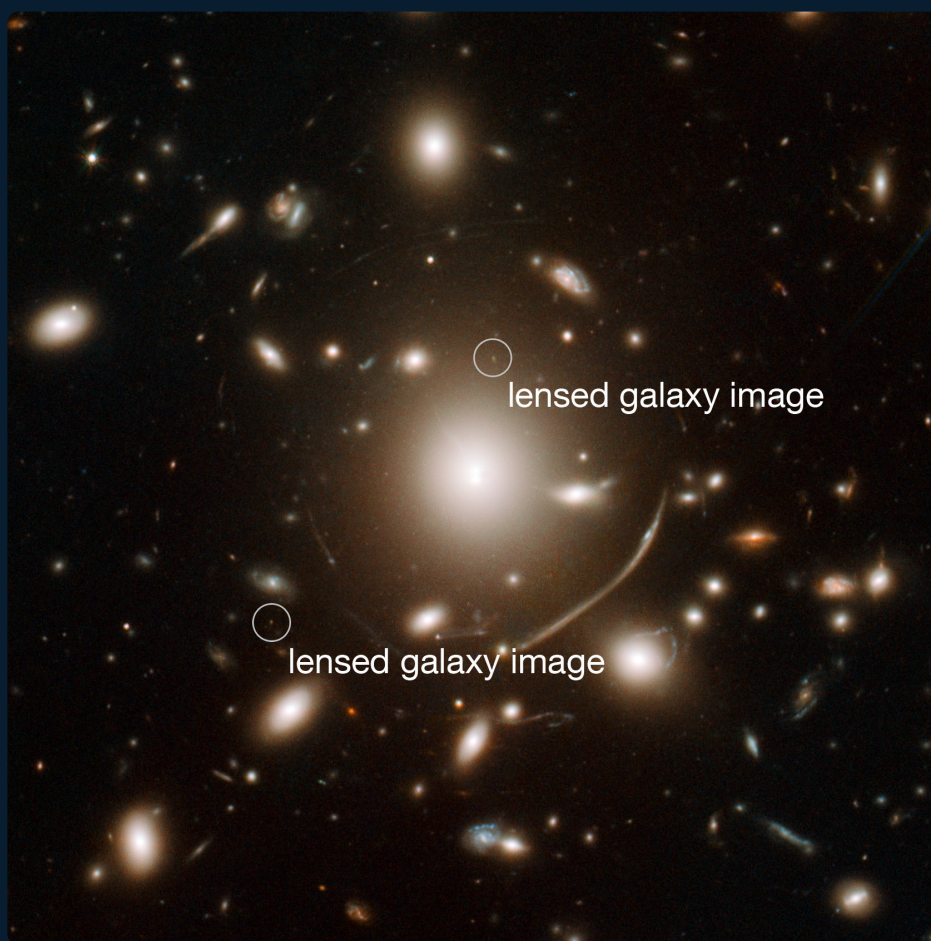
## 宇宙早期星系的起源與演化

宇宙的第一道光從何時開始的？第一個星系是如何誕生的？科學家為了解答這些疑惑，必須要能夠看到宇宙深處最暗、最遙遠的光，才能藉此研究星系的起源與演化。在韋伯望遠鏡升空之前，哈伯是有史以來看得最遠的望遠鏡，它的高靈敏度與高解析度讓科學家能夠收集來自遙遠宇宙極其微弱的光。科學家使用的測量工具是由愛因斯坦所提出來的重力透鏡效應（Gravitational lensing effect）——當遙遠天體的光經過星系團這樣龐大的天體時，光線會被星系團的巨大質量所彎曲，亮度也會被放大。科學家期望藉此效應可以觀測到宇宙的第一代星系，也希望藉由背景星系的光線扭曲程度，來估算星系團中暗物質的分佈。

我們可以在圖3中看到這樣的重力透鏡效應。

這是由哈伯的WFC3與ACS相機所拍攝的橢圓星系團Abell 383。這個星系團距離地球約25億光年，質量大約是太陽的 $7.5 \times 10^{14}$ 倍（包含一般物質與暗物質）。這張照片除了星系團Abell 383之外，背景中還隱藏許多驚人的秘密。在圖片中央右下，可以看到一抹弧形的曲線，這個曲線並不是屬於星系團Abell 383，而是來自於星系團後方的背景星系。這個背景星系受到前方星系團的重力透鏡效應影響，光線被放大扭曲成一條弧線，投影到前方的星系團周圍。另外，我們在圖中可以看到兩個被圈起來的微弱星系，這兩個星系的影像其實都是來自於同一個背景星系，它們的光因為星系團的重力透鏡效應而被投影到前方，亮度也被放大了11倍，我們稱之為透鏡星系（lensed galaxy）。這兩個透鏡星系在宇宙大霹靂過後兩億年就誕生，有可能是宇宙最早出現第一代星系。

圖 3



哈伯太空望遠鏡捕捉因星系團的重力透鏡效應，將背景遙遠星系聚光的影像。天文學家藉由研究這些影像，推測宇宙誕生初期的星系演化過程。影像來源：NASA

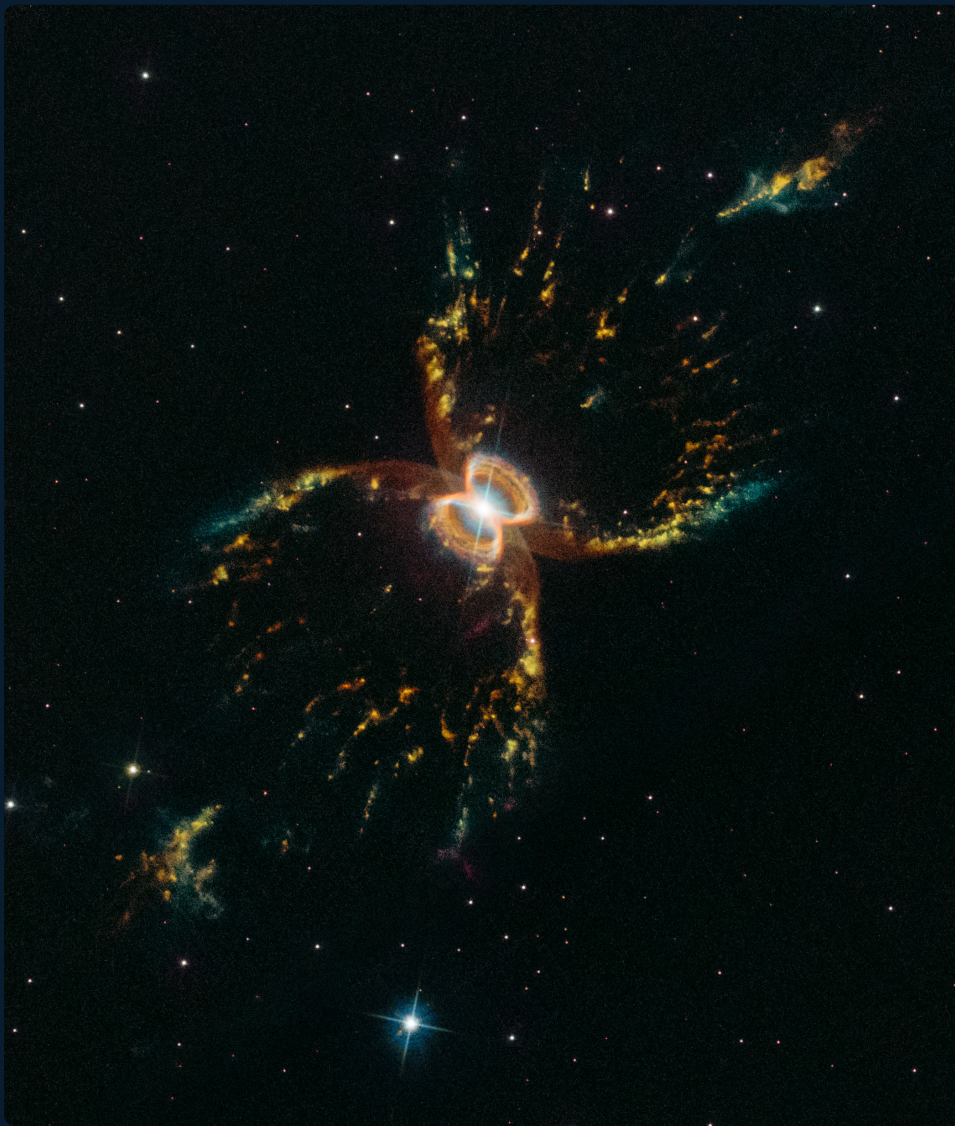
## 恆星的誕生與死亡

研究恆星的演化與生命週期，也是哈伯主要的科學任務之一。例如圖1中的「創生之柱」，可以幫助科學家了解恆星是如何在恆星生成區（star-forming region）這樣的環境中誕生。除了恆星的出生，科學家也藉由研究恆星的死亡，了解恆星的生命週期。圖4是南蟹狀星雲（Southern Crab Nebula），這是研究恆星死亡過程的一個非常有趣的例子。南蟹狀星雲是一個行星狀星雲，通常在恆星瀕臨死亡的過程當中，紅巨星會向外噴出氣體而形成行星狀星雲——我們在南蟹狀星雲的影像中可以看到兩邊對稱的沙漏狀結構，看起來像蟹腳一

樣。這個奇特形狀的成因，是由於中央的紅巨星噴出氣體時，受到相互旋轉的伴星白矮星的重力影響，而造成這樣的沙漏結構。

天文學家在1960年代第一次看到南蟹狀星雲時，以為中央只是一顆普通的恆星。一直到1999年哈伯望遠鏡再次觀測，天文學家才發現這是一個雙星系統，中央有一對旋轉的恆星，由一顆衰老的紅巨星和一顆燃盡的白矮星所組成。圖4是哈伯使用ACS和WFC3相機所拍攝的可見光和紅外線合成影像。圖片中的紅色代表硫，綠色代表氫，橘色代表氮，藍色代表氧。

圖 4



哈伯太空望遠鏡拍攝的南蟹狀星雲影像，恆星接近死亡時，外層氣體因膨脹會呈現許多層的同心球狀殼層，並逐漸向外擴散，而南蟹狀星雲因伴星白矮星公轉的重力影響，讓膨脹的氣體變成沙漏型狀。影像來源：NASA

## 眾所矚目的未來之星

### 韋伯太空望遠鏡 (James Webb Space Telescope)

韋伯望遠鏡被稱為哈伯的繼承者，如圖5，擁有比哈伯更靈敏的紅外線儀器、更高的解析度。它在2021年底升空，目前是世界上 strongest 的太空望遠鏡。韋伯的任務是延續哈伯的科學目標，包括觀測宇宙第一道光、研究星系演化、探索恆星和行星的誕生、和尋找宇宙中可能的生命。韋伯的鏡面口徑有6.5公尺，以紅外線（0.6~28.3  $\mu\text{m}$ ）為主要觀測波段，就如同我們上面所提到觀測紅外線的優勢，韋伯能夠幫助科學家：**①更有效率地偵測高紅移天體，看到宇宙第一道光。****②**穿透充滿塵埃和氣體的分子雲。這些分子雲是恆星誕生的搖籃，科學家能藉此來研究恆星與行星的生成與演化。**③**更容易偵測到溫度很低的天體，有助於科學家尋找系外行星、或是有可能的系外生命。

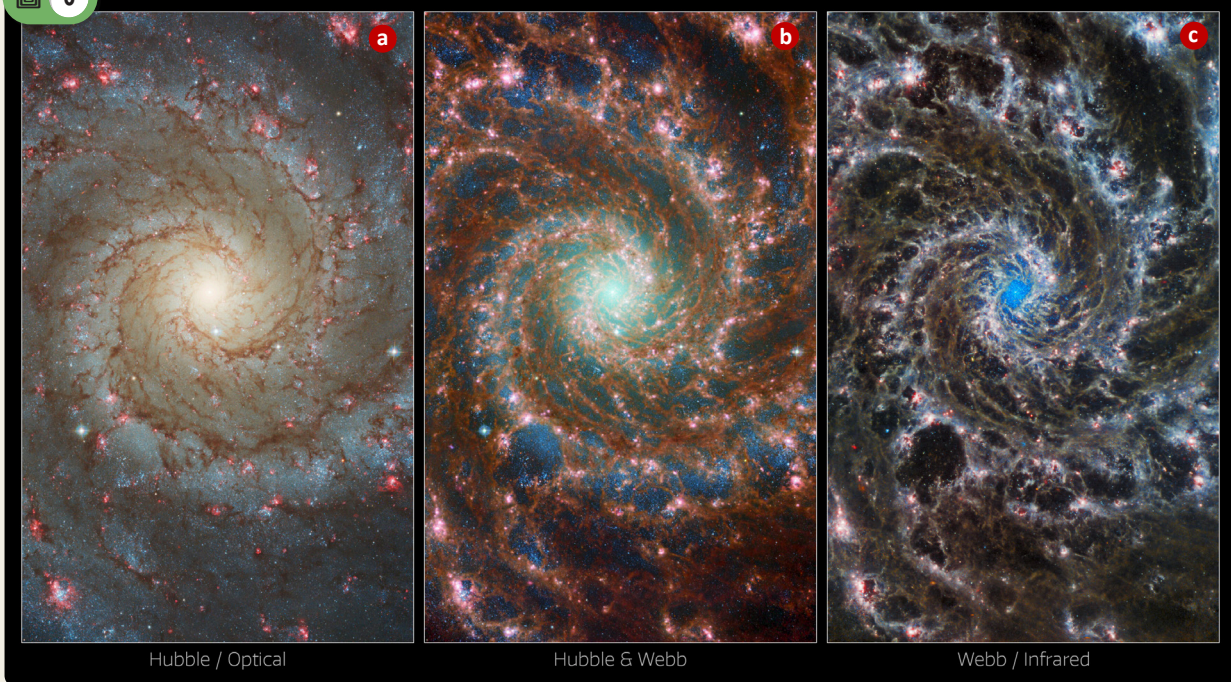
圖6中，我們可以看到**a**哈伯與**c**韋伯影像的比較，中央的**b**是哈伯與韋伯的合成影像。這個螺旋星系名為M74，又稱為幽靈星系。在左邊的哈伯影像中，我們可以看到明顯的旋臂結構。旋臂上明亮的粉紅色結點，是恆星形成的區域，被稱為HII區域。然而，把哈伯與右邊的韋伯影像比較，尤其是在旋臂之間充滿塵埃和氣體的區域，韋伯比哈伯更能清楚的看到這些雲氣在旋臂間的分布與結構。從這個比較中就可以看出紅外線觀測的優勢。

圖 5



藝術家筆下的韋伯太空望遠鏡外觀構造。圖片來源：NASA

圖 6



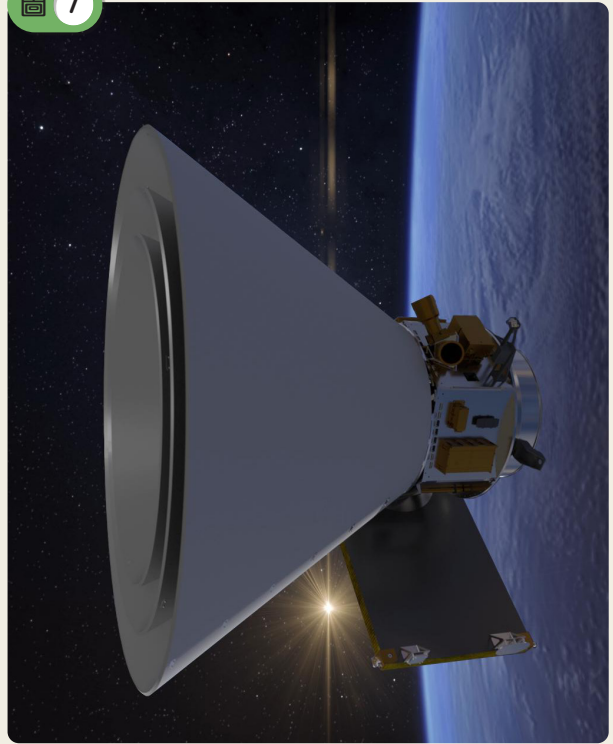
在哈伯拍攝的**a**影像，可以明顯看出漩渦星系M74中，分布著許多發出粉紅色光芒的高溫恆星形成區域，以及完整的旋臂結構。而在韋伯所拍攝的**c**影像，則可見低溫雲氣與塵埃呈現類似碎形幾何的結構，影像來源：NASA

## SPHEREx 太空望遠鏡

SPHEREx (The Spectro-Photometer for the History of the Universe, Epoch of Reionization and Ices Explorer)，如圖7、圖8。是一項為期兩年的太空任務，預計在2025年發射升空。SPHEREx望遠鏡的觀測波段在可見光和近紅外線波段。相較於韋伯望遠鏡對特定小範圍的天區作長時間的曝光，SPHEREx則是計劃繪製整個天空的地圖，並藉此過程進行全天的光譜調查，預計收集超過4.5億個星系和超過1億顆銀河系內恆星的數據，期望能解開宇宙起源的秘密。

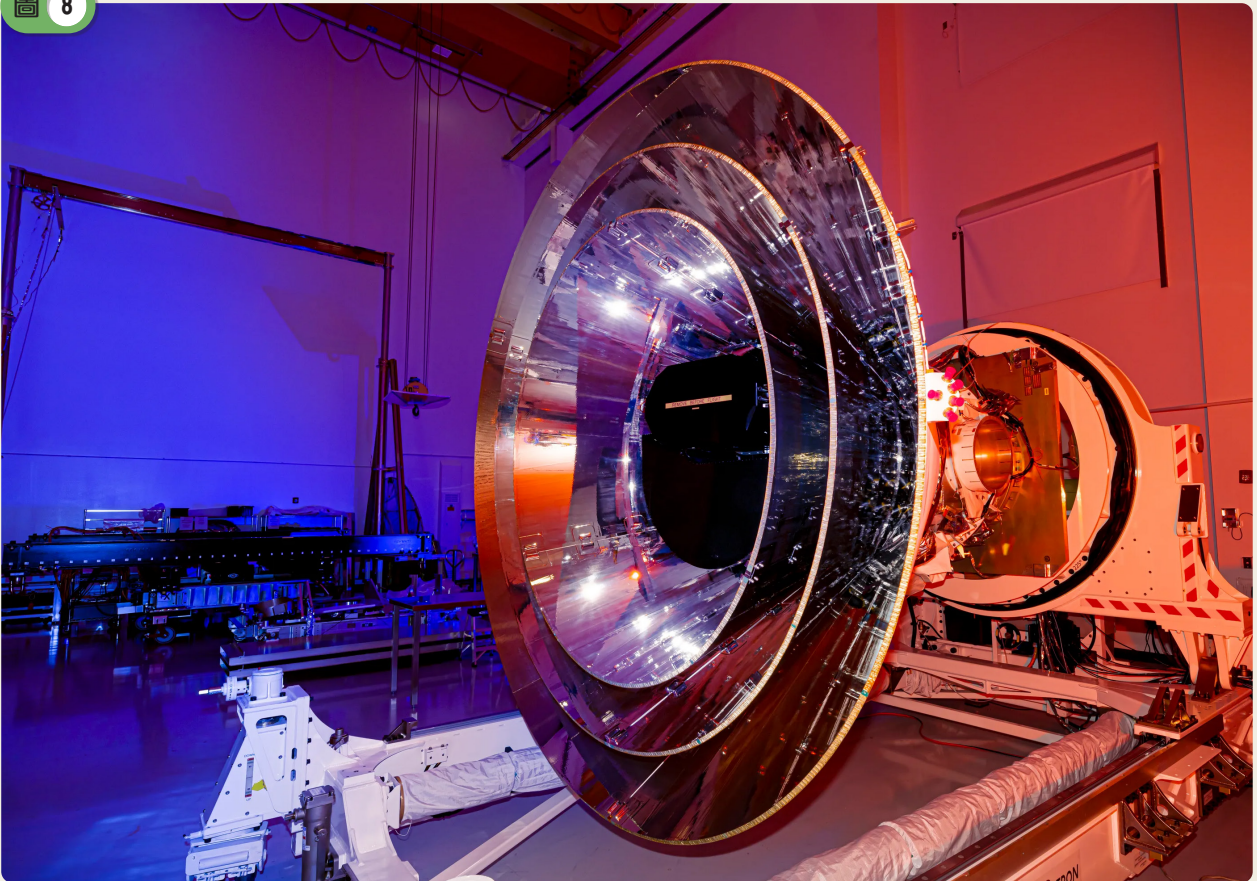
SPHEREx每六個月會進行一次巡天觀測，它的靈敏度和解析度雖然沒有比哈伯和韋伯更傑出，但是它的觀測視野夠大，有助於繪製宇宙全景圖。SPHEREx的科學任務除了大範圍地測量數億個星系、探索銀河系內的恆星生成區，還有在充滿氣體和塵埃的原始恆星盤面中尋找水和有機分子——生命誕生的必要因素。

圖 7



SPHEREx太空望遠鏡示意圖。圖片來源：NASA/JPL

圖 8



SPHEREx太空望遠鏡在地面進行各項功能測試。圖片來源：NASA/JPL

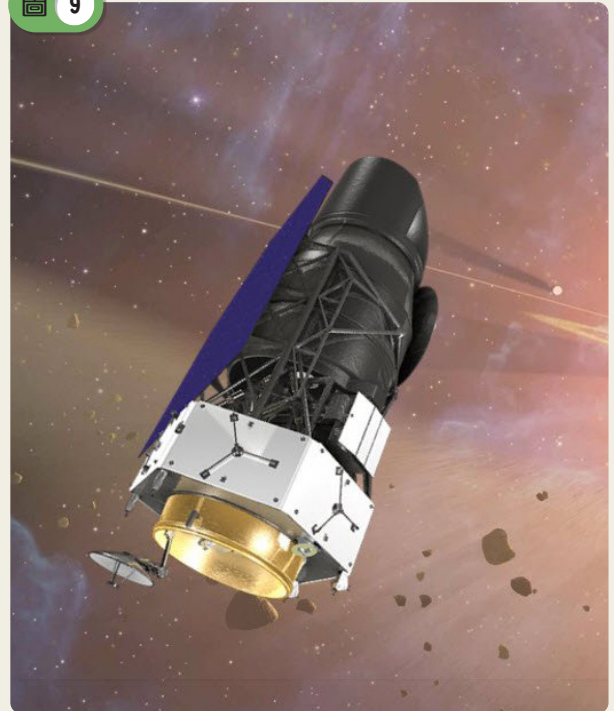
## 羅曼太空望遠鏡 (Roman Space Telescope)

南西·葛蕾絲·羅曼太空望遠鏡（簡稱羅曼太空望遠鏡），如圖9。是NASA研發的下一代紅外線太空望遠鏡，預計2027年5月發射。它是以NASA前科學家南西·葛蕾絲·羅曼（Nancy Grace Roman）來命名，以紀念南西對太空望遠鏡的貢獻（南西被稱為哈伯之母，請見上一篇關於南西的故事）。

羅曼太空望遠鏡的主鏡口徑為2.4公尺，觀測波段涵蓋可見光和近紅外線。它將攜帶兩台科學儀器：廣域相機（WFI），如圖10，與較小視野的光譜儀（CGI）。羅曼太空望遠鏡主要的科學目標，是要利用重力微透鏡效應來尋找太陽系外行星、探索暗能量對於宇宙結構演化的影響，並且驗證廣義相對論對於宇宙時空曲率的預測。

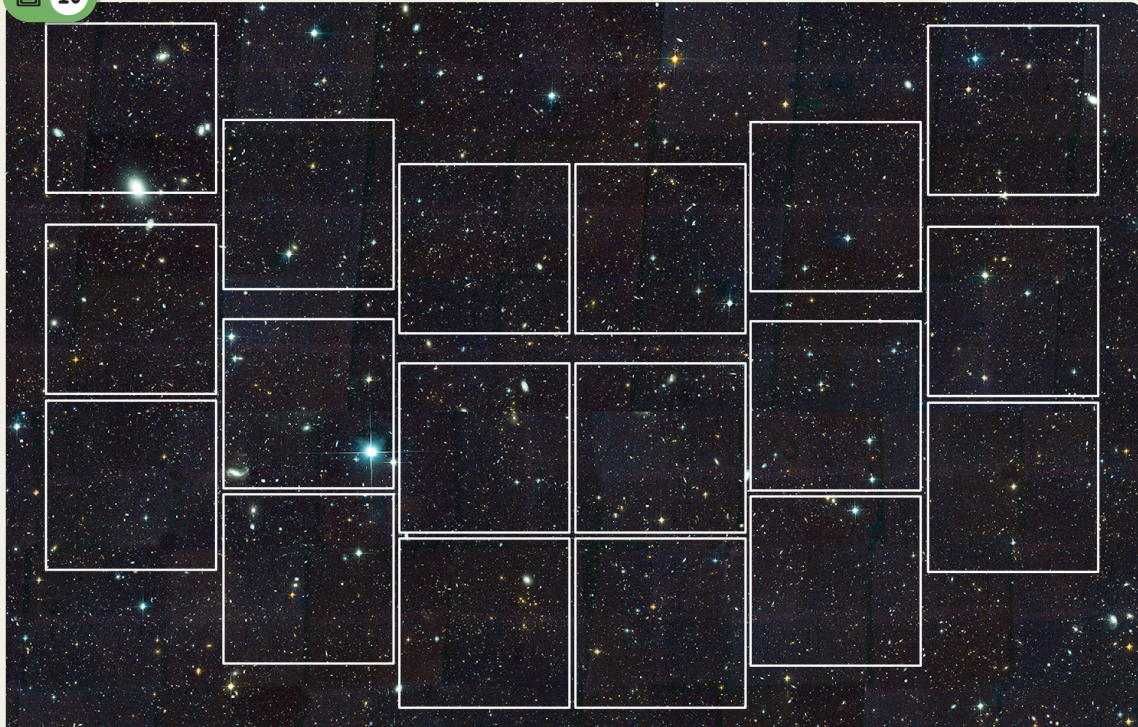
徐麗婷：政治大學應用物理所兼任助理教授

圖 9



羅曼太空望遠鏡示意圖。圖片來源：NASA/Nancy Grace Roman Space Telescope

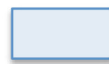
圖 10



HST/ACS



HST/WFC3



JWST/NIRCAM

羅曼太空望遠鏡搭載的廣域相機（WFI）擁有寬廣的視野，圖中白框範圍是哈伯太空望遠鏡的視野，而整張影像的範圍則是羅曼太空望遠鏡的視野。影像來源：NASA/Nancy Grace Roman Space Telescope