

韋伯太空望遠鏡 與其第一批科學影像

文/ 徐麗婷

韋伯望遠鏡是目前世界上最強大的太空望遠鏡，一共耗時25年打造，花費超過100億美元。2021年12月25日，眾所矚目的韋伯發射升空，在太空中飛行了29天才到達距離地球約150萬公里的L2軌道上。接下來再經歷五個多月的儀器調校與冷卻，終於在2022年7月12日公布了一張影像。

為什麼韋伯這麼重要？

人類對於宇宙的探索，隨著科技的進步而逐漸拓展。尤其哈伯太空望遠鏡在1990年升空之後，打開了人類觀看宇宙的視野，人類因此得以看得更廣、更深、更遠。但是在哈伯望遠鏡努力工作三十多年之後（這已經遠遠超出它原本預期的壽命了），它的儀器慢慢的老化、損壞，在2021年下半年，甚至一度當機無法使用。雖然在工程師的努力維修後，哈伯現在還能夠運作與觀測，然而在十年內結束任務卻是哈伯無可避免的命運。

儀器的壽命會終止，但科學的探索是永無止境的。在哈伯之後，誰能夠繼承哈伯的科學目標，讓觀測任務持續下去呢？是的，就是韋伯望遠鏡，我們也因此稱之為哈伯的繼承者。雖然哈伯和韋伯在儀器的設計上，和觀測的波段上都有很大的差異，但是韋伯能夠繼承哈伯的科學目標，利用更加敏銳的觀測能力，延續先前的天文研究，包括探索恆星和行星的誕生之謎、尋找可能有生命的世界、研究星系演化的路徑，並且觀測到宇宙第一道星光（圖1）。

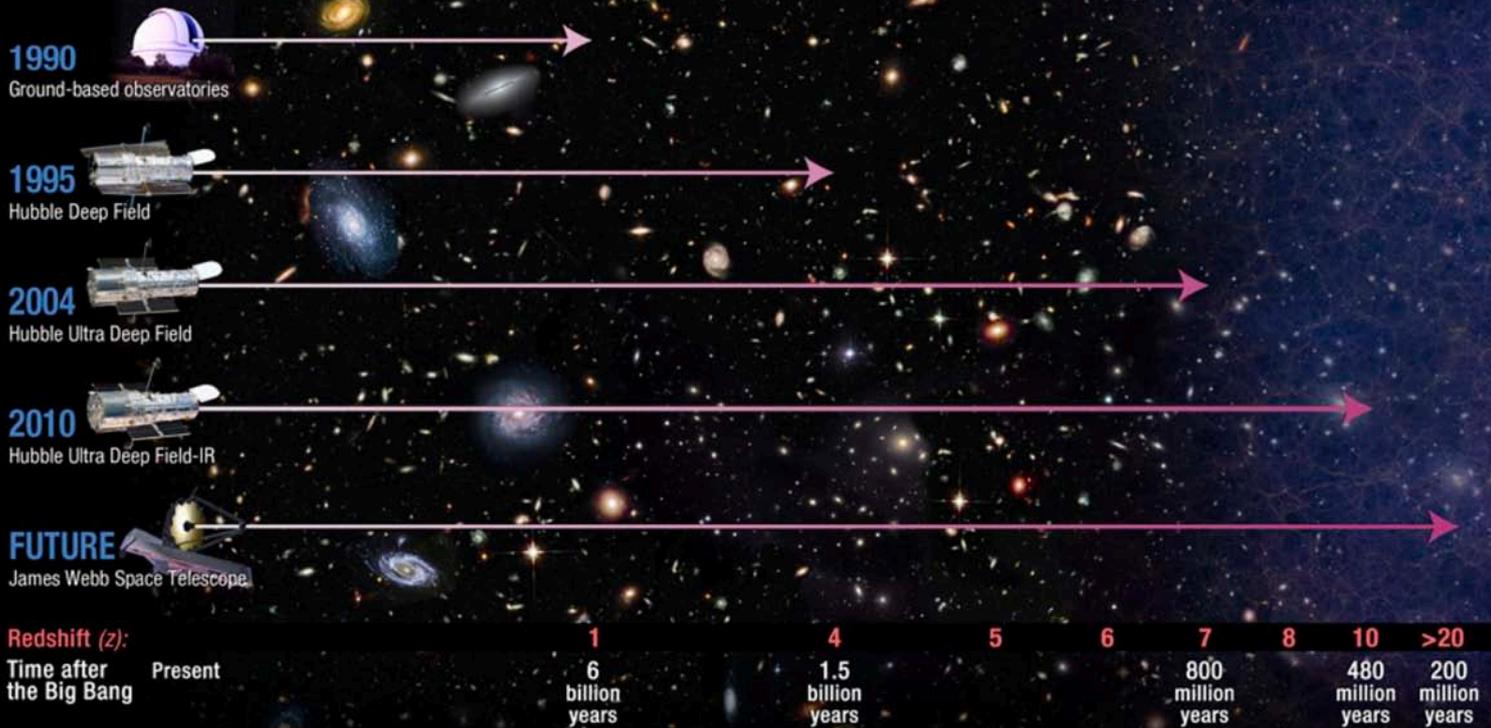


圖1：韋伯望遠鏡（最下方那臺望遠鏡）與不同階段的哈伯望遠鏡（由上而下第二至第四臺望遠鏡）和地面望遠鏡（最上方那臺望遠鏡）的比較。韋伯望遠鏡可以看到最久遠以前的宇宙。

史上最複雜的太空望遠鏡

韋伯望遠鏡的鏡面口徑有6.5公尺，接近兩層樓高，這個尺寸超越了過去所有的太空望遠鏡。為了能夠完成這個巨大的望遠鏡，並且把它安全地送上太空，工程師必須克服很多前所未見的挑戰。首先，這個大型鏡面由18個六角形小鏡面所組成。這種鏡面制作的技術也有用在地面望遠鏡上，例如夏威夷毛那基山上的10公尺凱克望遠鏡。然而，要把這樣巨大的望遠鏡送上太空又是另一個難題。

負責發射韋伯望遠鏡的亞利安5號火箭，其直徑只有5.4公尺，要把韋伯放進火箭的貨倉裡是很大的挑戰。展開後的韋伯鏡體、儀器加上遮光罩，大概有一個網球場這麼大，為了要順利放進亞利安5號火箭裡面，韋伯必須設計成可以折疊的望遠鏡。在火箭發射時，韋伯要像摺紙一樣，把所有儀器包括主鏡、次鏡、鏡架、遮光罩全都折疊起來，才能放進火箭內部直徑4.6公尺，長16公尺的貨倉中（圖2）。

發射升空之後，迎來的是另一項艱鉅的挑戰，韋伯必須要在飛往目的地的途中，完成望遠鏡的展開與部署。韋伯部署的地點位於拉格朗日點L2，這裡是地球、月球和太陽的重

圖2：韋伯望遠鏡折疊後放進亞利安5號火箭。



力達到平衡的地方，距離地球150萬公里。從地球出發，大約要花一個月的時間才能到達L2。在整個太空飛行的旅程中，望遠鏡會逐步展開，超過170個機關不能有任何一個失誤（望遠鏡展開的過程請見圖3）。望遠鏡順利展開之後，還要再經歷五個月的鏡面調校和儀器冷卻，才能開始觀測。

韋伯的科學目標與科學儀器

韋伯望遠鏡的設計以紅外線（ $0.6\text{--}28.3\ \mu\text{m}$ ）為主要觀測波段。紅外線觀測之所以非常重要，有下列幾個原因：

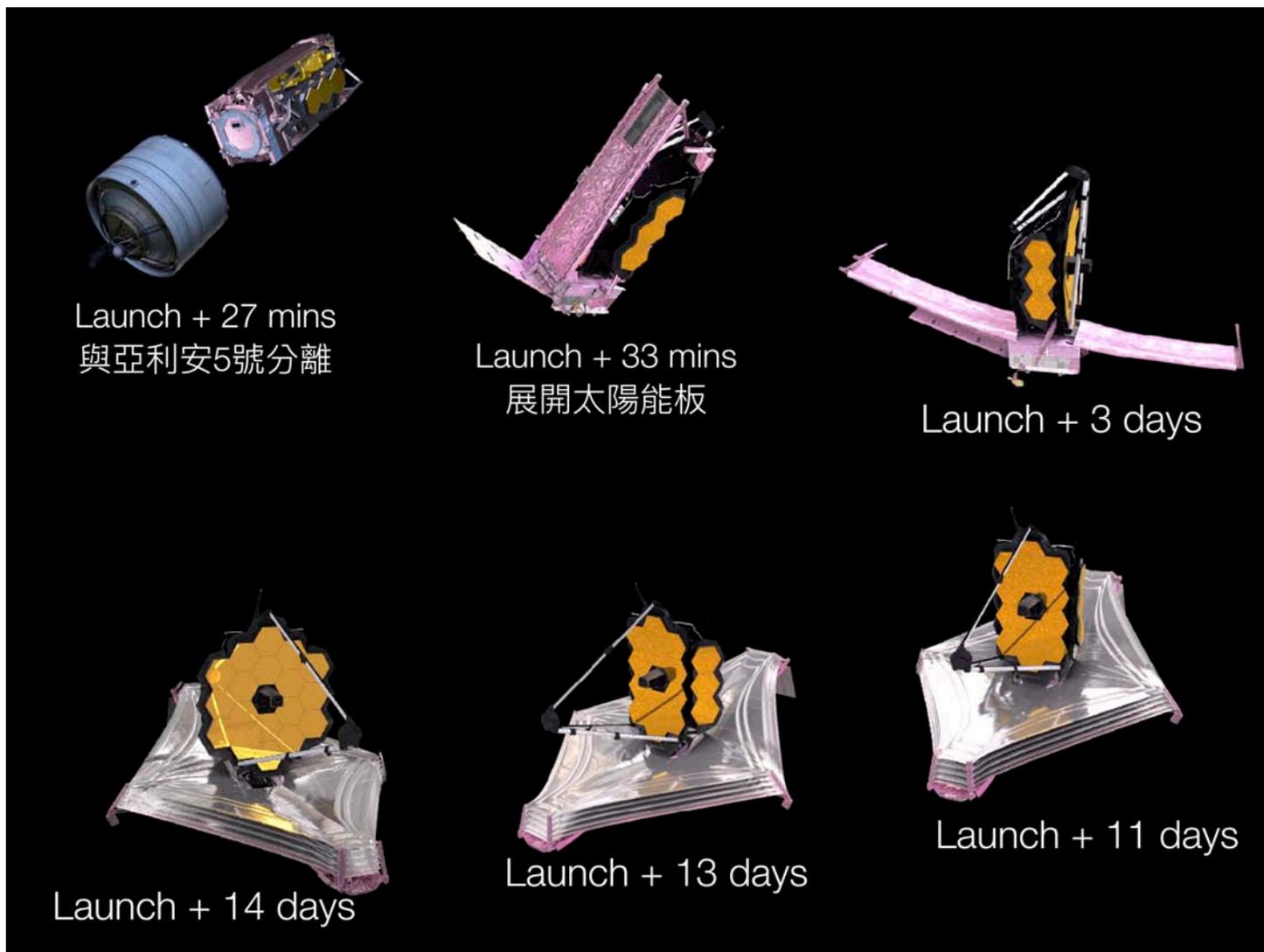
1. 紅外線可以讓我們偵測到宇宙第一道光，並研究早期星系演化的軌跡。因為宇宙正在加速膨脹，幾乎所有的天體都在遠離我們，所以早期宇宙所發出來的光，其波長會因為都卜勒效應而被拉長

（或是位移）到更長、更紅的波段。原本遙遠的恆星所發出的可見光，在到達地球時就變成只能在紅外線波段被偵測到。

2. 紅外線可以穿透密集的分雲。這些分子雲裡充滿了塵埃和氣體，是孕育恆星的搖籃。藉由紅外線的觀測，我們可以看到可見光所看不見的區域，進而研究恆星與行星生成的演化細節。

3. 紅外線可以偵測到更暗更冷的天體，像是系外行星或是棕矮星，為我們打開原本看不見的寒冷黑暗的宇宙。

為了要使韋伯的高靈敏度紅外線儀器發揮最佳的功用，除了要避免來自太陽、月球和地球的紅外線干擾，還要隔絕望遠鏡本身設備所發出的紅外線。韋伯遮光罩的設計，就是其中一個能讓所有儀器保持低溫的科技。遮光罩一共由五層的隔熱薄膜



所組成（每一層厚度不到一毫米），能夠為望遠鏡提供一個陰暗寒冷的環境。除此之外，在「拉格朗日點 L2」這個特殊的位置運行，使得韋伯、地球和太陽三者的相對位置保持不變，因此遮光罩可以在固定的方向持續地擋住來自太陽、地球和月球的紅外線。

望遠鏡本身的設計、遮光罩，再加上拉格朗日點L2的運行軌道，讓望遠鏡不需要冷卻劑就能被動地冷卻到極低的工作溫度： -234°C 。這樣的溫度適合韋伯上的近紅外線儀器操作，包含近紅外線相機（NIRCam）、近紅外線光譜儀（NIRSpec）和精細導星感測器/近紅外線相機和無縫光譜儀（FGS/NIRISS）。而韋伯上的中紅外線儀器（MIRI），則需要在 -266°C 的環境下工作，因此必須要使用液態氦（存量約可用10年）來作主動冷卻，才能得到最佳品質的中紅外線影像。

韋伯的第一組影像

韋伯在五個多月的調焦與冷卻之後，終於在7月12日公布了第一組影像。這些影像顯示出韋伯強大的觀測能力，讓我們看到了前所未見的天體細節，也為科學研究提供有力的數據。下面我們從NASA所公布的影像中選擇三張作簡單的介紹：

（註：接下來看到的韋伯影像的顏色都是假色，實際上拍攝到的都是我們人眼看不到的紅外線）

韋伯深空影像

Webb's First Deep Field

韋伯公布的第一張影像是星系團SMACS 0723（圖4）。這張韋伯深空影像除了有星系團本身所包含的數千個星系之外，還有前景、背景星系，和經由重力透鏡效應所放大的遙遠星系。在這個星系團中，藍色天體的光大多來自於星光，是屬於灰塵含量很少的星系；紅色天體是灰塵含量很厚重的星系；而綠色天體則是充滿了碳氫化合物的星系。研究人員可以藉由這些數據來研究星系是如何誕生、演化和如何與其他星系合併。

另外，我們還可以在圖中看到一些弧線和變形的星系，這些光都是來自於比SMACS 0723這個星系團還要遠的多的背景星系。星系團本身距離地球46億光年，但是那些變形的星系卻可能來自於100多億年前的光。這是因為星系團強大的質量所造成的重力透鏡效應，使得更遙遠的星系被放大投影到前方。我們把韋伯影像與哈伯過去所拍攝的影像相互比較（圖5），可以看到韋伯影像擁有更加清晰的弧線與變形的星系。

韋伯利用近紅外線光譜儀（NIRSpec）同時觀察了48個單獨的星系，其中包括很多古老遙遠的星系（見圖6，有4個來自100多億年前的星系光譜）。科學家藉由光譜中譜線的紅移，可以量測出這些古老星系的距離。在圖6中央最下方的星系，是來自於131億年前發出的光（宇宙年齡大約137.7億年）。

韋伯拍攝這張照片只曝光了12.5個小時，就達到哈伯望遠鏡曝光數個星期所達到的深度。而這還只是初步的觀測，未來的拍攝會進行更長時間的曝



圖3：韋伯望遠鏡在太空中展開的過程。

Adapted from images by STScI

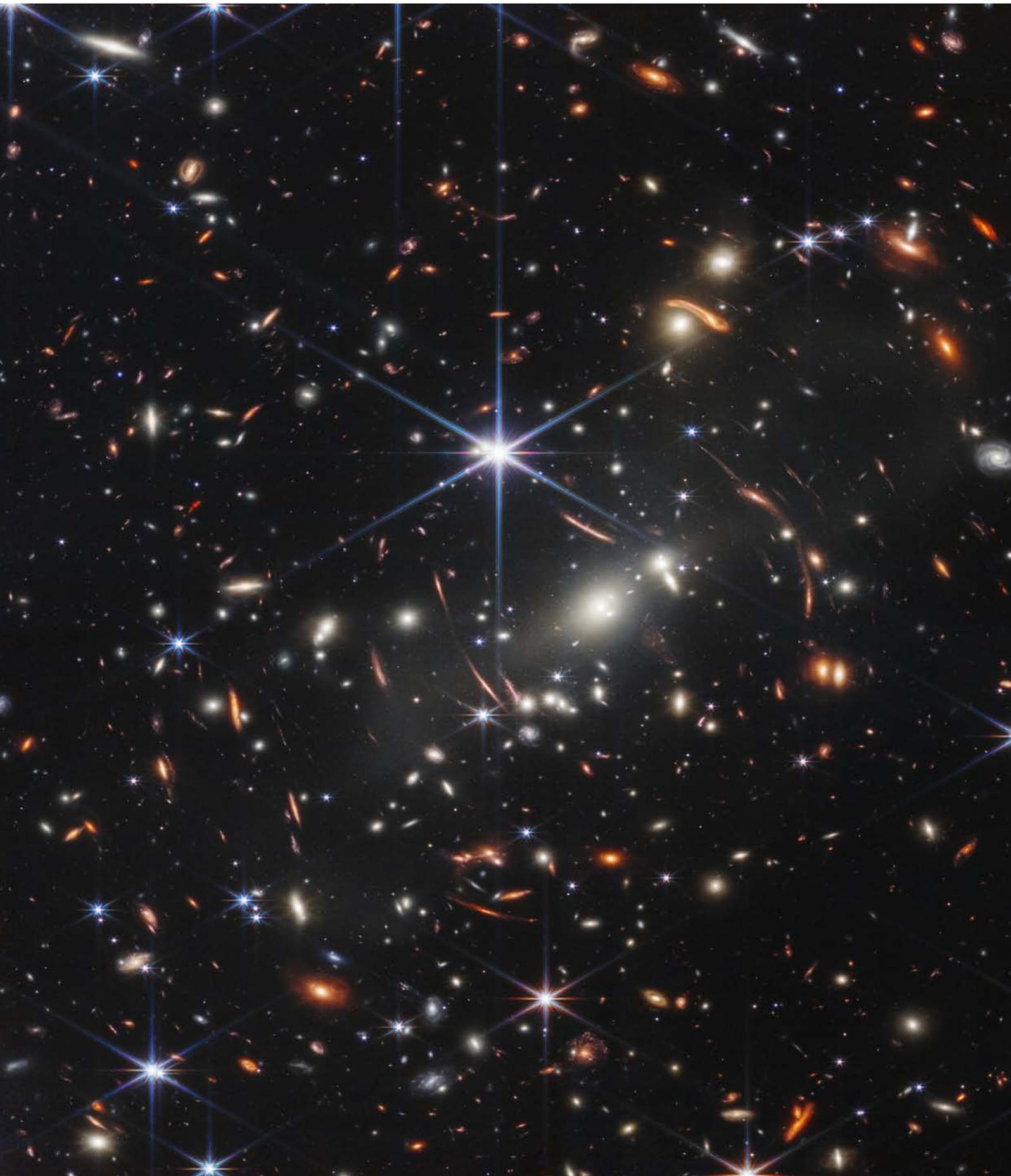


圖4：星系團 SMACS 0723。

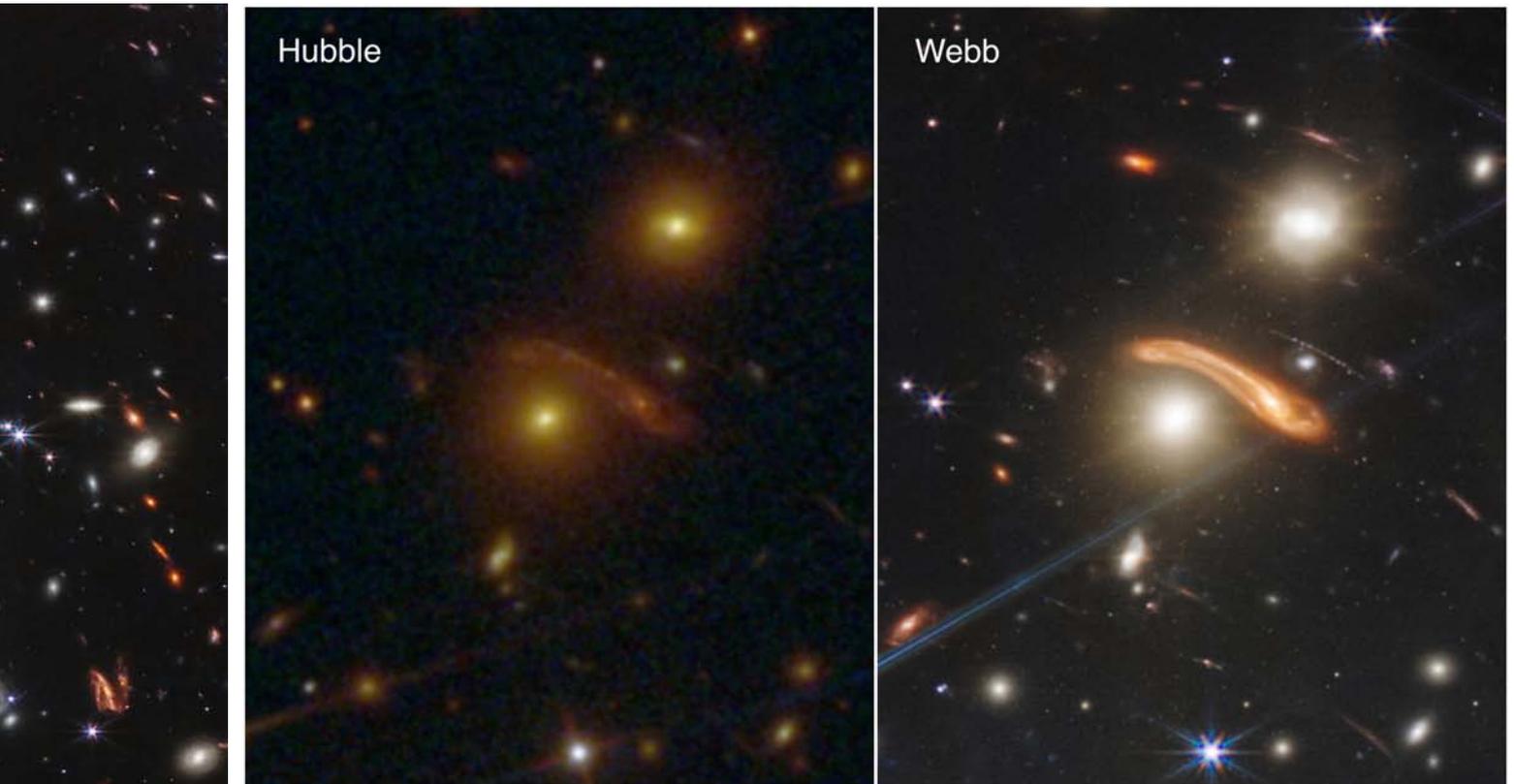


圖5：局部的韋伯深空影像（右圖）與哈伯影像（左圖）的比較。

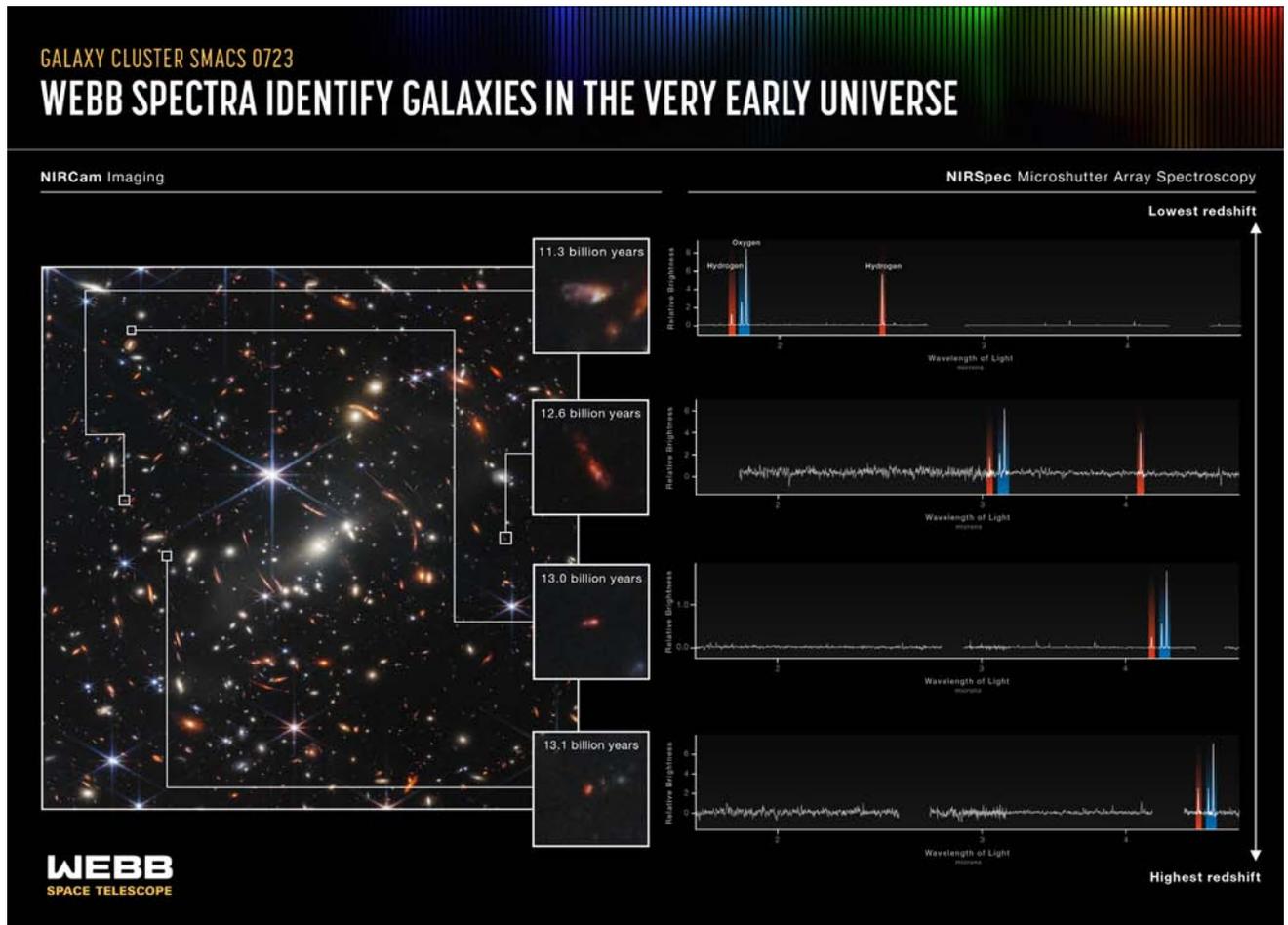


圖6：在星系團SMACS 0723中的4個遙遠星系及其光譜。從右邊光譜的譜線紅移，可以推算出這4個星系與我們的距離。中央由上而下的4個星系，分別來自於113億年前、126億年前、130億年前，和131億年前發出來的光。



圖7：位於船底座星雲NGC 3324的影像。

光，預計將會顯示出更多的細節。

船底座星雲 Carina Nebula

圖7是NGC 3324的影像，位於船底座星雲的邊緣，距離地球約7,600光年。NGC 3324是一片巨大的恆星生成區，裡面充滿了灰塵、氣體和很多年輕的恆星。這些恆星因為被深厚的分子雲氣遮住，所以在可見光波段下無法被看見。但是因為紅外線可以穿透灰塵，所以藉由韋伯的紅外線儀器，可以拍攝到我們在圖7中所見到的點點星光。

在圖中星雲的邊緣有許多突起的結構，這些結構就像是一個一個巨大的泡泡，泡泡中央是年輕熾熱的大質量恆星，它們會發出強烈的紫外線和恆星風，把周圍的雲氣慢慢地往外堆，進而形成我們在圖中所看見的突起。

在這一大大片恆星誕生的搖籃中，我們還可以看到原始恆星產生的噴流（protostellar jets），這些出現在恆星演化早期的現象通常都是稍縱即逝，很難被望遠鏡觀測到。但受惠於韋伯紅外線儀器的高解析度和高分辨率，天文學家現在可以利用這些數

據來研究恆星誕生之謎。

系外行星 WASP-96 b

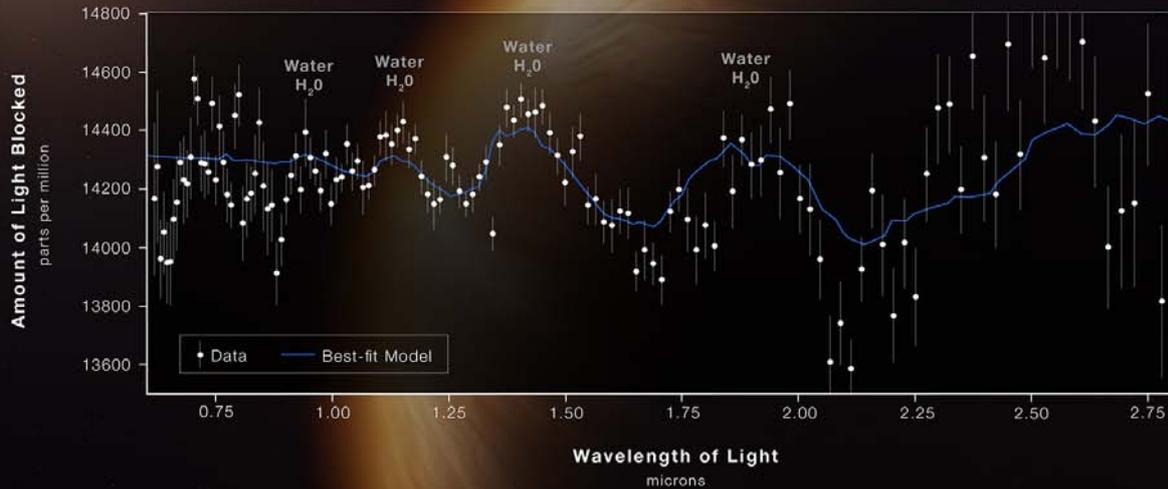
韋伯望遠鏡其中一個科學目標是尋找系外行星，和分析行星上可能組成生命的化學成分。圖8中顯示，韋伯在系外行星WASP-96 b的大氣中偵測到了水的存在。

WASP-96 b是一顆距離地球1,150光年的系外行星，它圍繞著一顆類似太陽的恆星運行。WASP-96 b是銀河系中已知5,000多顆系外行星中的一顆。它的質量不到木星的一半，直徑卻是木星的1.2倍，密度比任何繞太陽運行的行星都要低得多。而且，WASP-96 b的軌道非常靠近它的中央恆星，距離只有水星到太陽的九分之一，繞行恆星一周只要3.5個地球日。對於觀測系外行星的大氣組成來說，上面那些特徵讓WASP-96 b成為非常理想的觀測目標。

韋伯利用近紅外線相機和無縫光譜儀（Near Infrared Imager and Slitless Spectrograph, NIRISS）來偵測水分子。從圖8中可以看到在某些特定波段的光度會因為水分子的存在而降低。這項觀測結果

HOT GAS GIANT EXOPLANET WASP-96 b ATMOSPHERE COMPOSITION

NIRISS | Single-Object Slitless Spectroscopy



WEBB
SPACE TELESCOPE

圖8：韋伯在系外行星WASP-96b的大氣中偵測到了水的存在。

所有圖片來源：NASA, ESA, CSA, and STScI

提供了前所未見的精細數據，讓科學家能夠藉此分析系外行星大氣的組成，並研究可能發展出生命的環境。

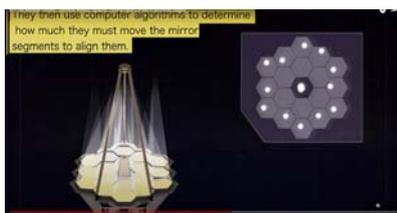
上面三張由韋伯所拍攝到的影像中，分別展現了韋伯對於觀測早期宇宙和星系演化（圖4）、恆星生成（圖7）與系外行星（圖8）的強大能力。未來將會有更多的觀測計畫加入韋伯的任務當中，為我們人類開啓觀看宇宙的全新視野。

參考資料：

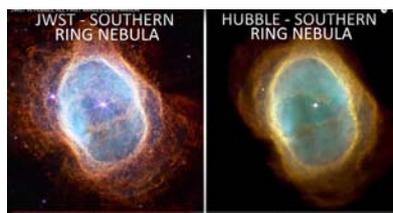
1. First Images from the James Webb Space Telescope
<https://www.nasa.gov/webbfirstimages>
2. Webb Space Telescope: Science Guide
https://www.nasa.gov/pdf/715962main_jwst_science_pub-v1-2.pdf

徐麗婷：政大應用物理所兼任助理教授

YouTube相關影片：



James Webb Space Telescope
Laser-Focused Sight
https://youtu.be/_2zQiWeXTg4



韋伯 vs 哈伯的影像比較
<https://youtu.be/Zne0wRvABZM>



探索太空的眼睛-太空望遠鏡
<https://www.youtube.com/watch?v=qsKiSVs4O74>