

各位讀者看到這個題目，想必腦中會出現這一句「先有雞還是先有蛋？」這句從小耳熟能詳的話，其實說穿了，即是個萬物起源問題。今天，這個問題被天文學家推到極限；到底，是先有星星，還是先有黑洞？

從當代宇宙看，黑洞是個絕對不利的因素。原因也很直觀，就是做星星的東西，被黑洞吃掉了，導致巧婦難為無米炊，空有恆星形成的機制，卻少了氣體、塵埃等原材料來把一顆顆星星給做出來。此外，從圖1的右邊看，不只是現代，而是早在大霹

靄後12億年，從現在回看約為125億年以前，黑洞就已經跟星星的誕生在爭奪星際物質，這讓恆星的形成變得相當不容易。很可能是因為超大質量黑洞已成氣候，清空自己周圍鄰近的星際物質，對新一代的恆星形成，產生相當不利的影響。

先有恆星？ 還是先有黑洞？

文/ 李建德



圖1. 黑洞，是上古宇宙，恆星嬰兒潮的觸發者；也是近代宇宙，恆星少子化的始作俑者。這張示意圖，從不同的宇宙年代來看，黑洞與恆星之間由正反饋，轉換為負反饋的關係。由左至右從紅到藍，代表由古至前現代宇宙的紅移值（redshift）。紅移15、10、5，分別對應的宇宙年紀約為大霹靂後3億年、5億年、12億年。圖左：最早期的宇宙，黑洞是產生恆星的有利因素。圖中：兩億年後，黑洞合併變大了，繼續促進恆星形成。圖右：12億歲的宇宙，黑洞範圍變得更大，壓縮了恆星生產的材料與空間，此時的黑洞已不利於新恆星的誕生。圖片來源：Steven Burrows, Rosemary Wyse, and Mitch Begelman

「黑洞」—現在的恆星誕生殺手 曾經的恆星形成推手

但是，黑洞並非總是利空，其實它們也曾經是恆星形成的推手、甚至可能是扮演著不可或缺、臨門一腳的角色！回到更久的132億年之前，大霹靂後5億年（圖1左側），大質量黑洞與諸多恆星共存。並且很有可能，因為星際物質被黑洞強大的引力集中，原本沒有想太多只是要吸收累積物質的黑洞，沒料到在自己周圍把製造星星的材料給聚攏，意外的產出這個開天闢地的恆星育嬰房。有了天時、地利、黑洞聚合，讓恆星形成所需的臨界質量，從原本的難以達到，卻在黑洞周圍變的處處可見，星星們就順勢被大量產出，尤如雨後春筍般生機蓬勃地

遍地冒出頭來。其中最早的一批，很可能也包括了宇宙最初的恆星（圖2）。那麼，最初的最初是先有黑洞才有恆星嗎？

宇宙最初的恆星，被稱之為第一代恆星，或使用羅馬數字簡稱「星族III」。那麼，有三也就有二、一吧！為什麼第一顆恆星的星族，反而被歸屬到第三呢？這是因為，跟其他二代以後的恆星比起來，第一代的星族III恆星其實是後來才新增的一個分類。被區隔開來的原因是，他們被認為幾乎沒有比氦還要重的元素，所以相當的特別，不能跟原本就能觀測到的、元素分佈稍多的星族II、或是更多樣的星族I混為一談。然而，自1960年代，星族III的概念被提出來後，仍遍尋不著任何一個觀測上的實例。



圖2. 這幅藝術概念圖，呈現出被首批恆星點亮的宇宙。大霹靂後僅一億年，原材料僅有兩種元素「氫」及「氦」，這些材料被重力聚集，形成雲氣。一旦雲氣核心處，達到的高溫高壓足以點燃氫原子的核融合反應，恆星就此誕生，星光自此四射，無光的宇宙黑暗時期從此結束。圖片來源：Adolf Schaller for STScI

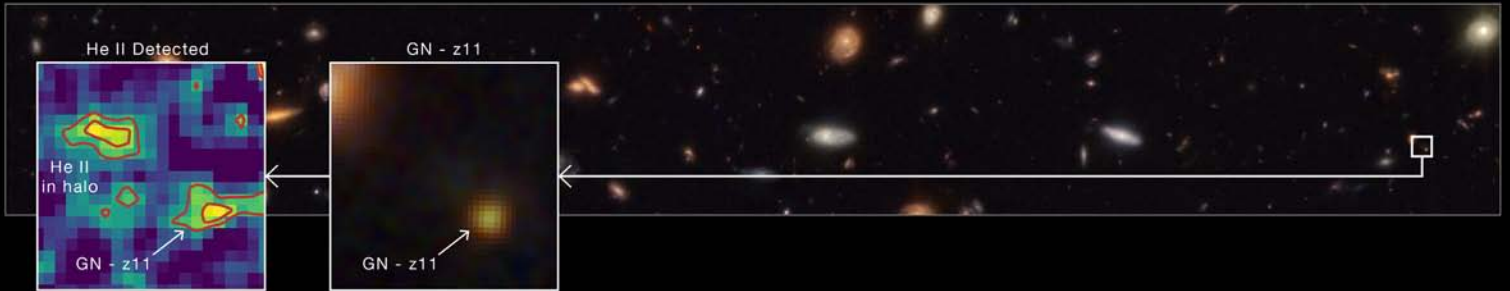
第一代恆星的產地 原始雲氣團

直到詹姆斯·韋伯太空望遠鏡2022年上線後，事情才開始有了些進展。而且有進展的反而不是來自這兩年那些一紅移12、13和截稿前最新的研究甚至來到了14，這些沒多久就換人做做看的、所謂的最遠紀錄的高紅移天體，反而還沒被進一步的詳細

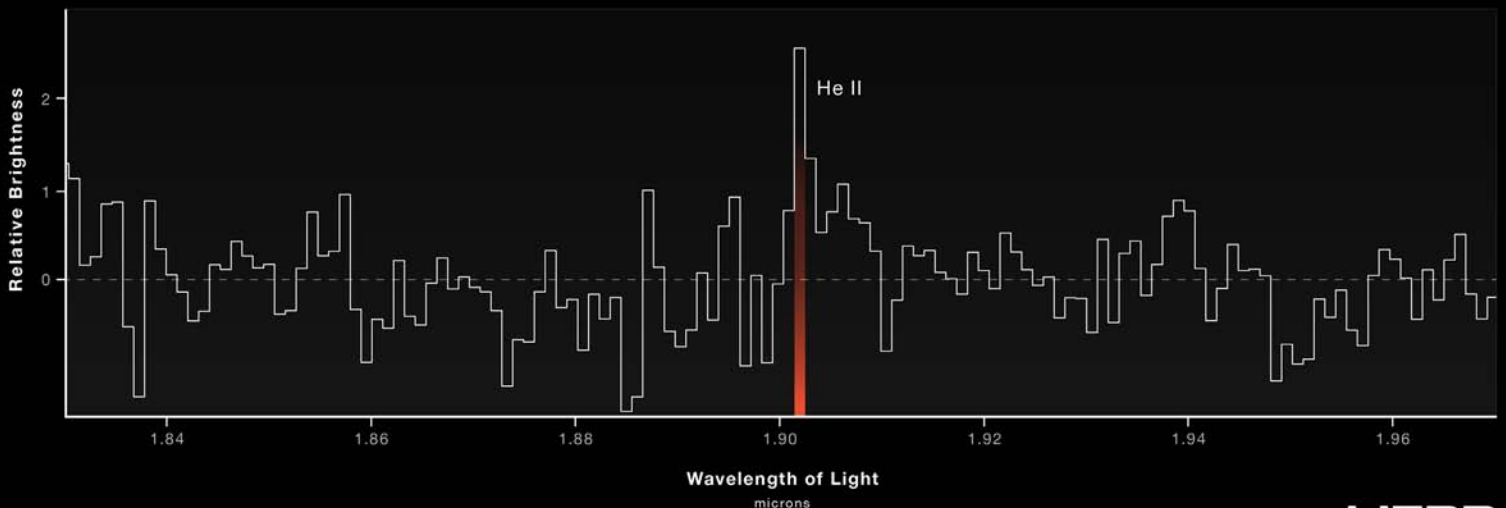
觀測。而今天的主角，則是哈伯太空望遠鏡時代、已在最遠王座上稱霸多年的GN-z11。可見得，韋伯除了去看其他更遠的天體外，卻也沒冷落這位前任霸主。這次，韋伯在它周圍仔細尋找「第一代恆星」的蛛絲馬跡時，利用可以進一步分析元素組成的光譜儀，在鄰近處找到大霹靂後、未經恆星產物污染的疑似「原始雲氣團」（圖3）。韋伯光譜資料顯示，這團雲氣沒有任何比氦還要重的元素，這項觀測結果，被認為是搜尋到了第一代恆星的特徵。

GALAXY GN - z11 PRISTINE GAS CLUMP NEAR GN - z11

NIRCam Imaging



NIRSpec Microshutter Array Spectroscopy



WEBB
SPACE TELESCOPE

圖3. GN-z11鄰近的原始雲氣團(Pristine Gas Clump)。GN-z11這位蟬聯多年的最遠天體霸主，在韋伯太空望遠鏡的影像中，位於用白線拉出的小方框裡頭。其實是相當不起眼的小小一坨光，中間方框將其放大後，才稍稍看得到沒有細節的輪廓。而細節在最左邊方框內，這裡顯示了韋伯對GN-z11及周圍區域的光譜觀測，從等高線來看，游離氦氣(HeII)被顯著的偵測到了。但GN-z11本身並不是重點，重點是在左框左上的暈部(halo)，也看到了氦氣的蹤跡。下圖是這塊暈部的光譜，很明顯的除了游離氦發射線之外，並無其他更重的元素出現在觀測結果裡頭。圖片來源：NASA, ESA, CSA, Ralf Crawford (STScI)

剛剛談到星族 III，那麼什麼是星族 II、星族 I 呢？宇宙中，氫氦之外的元素，僅佔總體的 2%。為了方便起見，天文學家把比氫還重的元素，通通稱為「金屬」。所以有了這三種分類，包括剛剛提到的，星族 III 是（幾乎）無金屬星、星族 II 是貧金屬星、星族 I 則是富金屬星。我們的太陽、還有跟太陽一樣，在銀河盤面上誕生的夥伴，都屬於星族 I 的恆星。

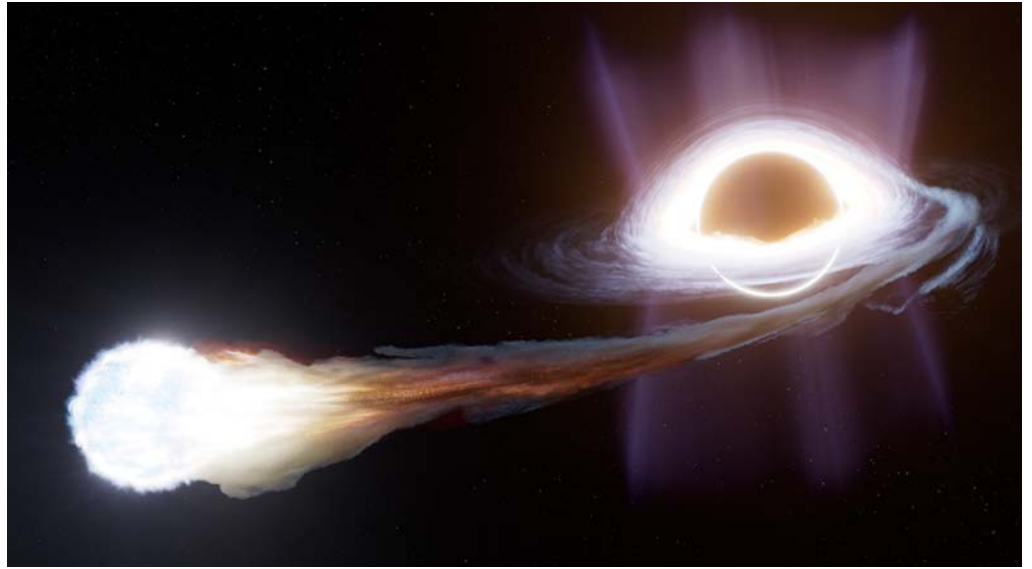


圖4. 第一代恆星的產地緊鄰著黑洞，最可能的結局是，被夥伴的巨大潮汐力給撕碎。圖片來源：Ralf Crawford/The Space Telescope Science Institute

金屬，其實是星星的催生劑！有了它，恆星就不易難產。《臺北星空119期》天文新聞追蹤報導中「你的銀心質量過胖了嗎？」除了直接塌縮型黑洞之外，我們最後談到「冷縮熱也縮」，意思是恆星的生產過程，坍塌的星際雲氣核心，不只需要冷縮，連熱也要縮。因為，縮下去會讓核心變熱，核心熱了卻又不能脹回原狀。這時，為了產下恆星，得讓雲核密度愈來愈高，無論如何是要繼續縮下去的。到底怎麼做到的？靠的就是金屬，結果雖說是催生，實際上的功能卻是散熱。得讓溫度不斷上升的濃密雲核，可以把熱散出去，質量得以繼續進得來，恆星寶寶吸收累積的夠多，才得以生下來。這兩段的小結論，星族 I 富金屬，沒問題；星族 II 貧金屬，還算沒問題；但是，星族 III 無金屬，沒有催生劑，散熱功能不良，這問題可大了！

也許，這也是為什麼 GN-z11 周圍，無金屬的暈部，遺留了這塊原始雲氣團，卻遲遲沒有恆星誕生的原因。那麼，上古的一代恆星到底是怎麼誕生的呢？

沒催生劑的第一代恆星 誰來催生？

目前為止，仍是個大哉問。而且最多也只找到了剛談到的，沒有星星在裡頭的原始雲氣團。然

而，如果是先有黑洞，直接塌縮的黑洞，這個過程就能簡單得多。有了黑洞，及其營造的環境條件，因而有了恆星。這樣的過程水到渠成，順理成章，每一步都相對的單純。

反過來說，若先有恆星，就很不簡單了。相比之下，關關難過，而且關關仍不知怎麼過。從只有原生元素的氫、氦充當散熱物質，到要產出恆星所需要的質量，得要上千個太陽。就算運氣不差，勉強做出了第一顆，這顆巨大恆星死後，其爆炸遺留的殘骸，質量夠不夠格成為黑洞？增胖到超級大黑洞夠不夠快？進而促進早期宇宙的大量恆星形成，恆星形成快速的星爆星系，能不能遍地開花？都還是得打上很大的問號！

結論就要落筆，筆者原本想要得出一個，黑洞或恆星誰比誰先的觀點。沒想到，一篇來自香港大學與耶魯大學，合作的相關研究成果，竟在差不多的時間發表。給了我們一個啟發性的觀點，即是黑洞及恆星，難道不能一起誕生嗎？這篇文章裡所舉的例子，有上面提到的 GN-z11，卻也包括「過胖銀心黑洞」的主角 UHZ1。來得好不如來得巧，我們就引用這最新的成果，來總結我們今天的討論。

先有黑洞，同時也先有恆星

找到宇宙的第一顆恆星，或是觀測到星族 III 的

第一代恆星們，是韋伯太空望遠鏡，優先研究項目的天字號任務。韋伯上線已超過兩年，都看到了大霹靂後，10億年甚至是5億年內的宇宙星體，再看下去，都快把宇宙給望穿。怎麼到現在，都還沒有找到最早的星星呢？

近來，韋伯觀測中，第一遙遠黑洞的紀錄，不斷地被打破，無論是2023的UHZ1，還是2024五月才剛發布的GN-z11核心黑洞吸積光譜。這些現有的觀測資料，在在都顯示第一代恆星，很有機會跟這些第一代的黑洞，幾乎同時形成。近一步的推敲，若是第一代恆星與黑洞緊緊相鄰，則這些太陽的最早祖先的結局，很可能不是壽終正寢，而是被黑洞的潮汐力給扯碎。

這是什麼意思？記得很酷的黑洞「義大利麵化」吧！來幫大家複習一下，無論你是什麼形狀的東西，只要你愈靠近黑洞，自體的近端跟遠端，受黑洞的引力差異就會愈來愈大。如果是我的腳朝黑洞往下掉，這引力差會大到，上半身還看不出異常，下半身的愈下方就已愈來愈細。視覺上大概像是神燈精靈，腰部以下愈變愈細，然後腿細如游絲的與神燈壺嘴相連狀。而義大利麵化的過程，就是天文學家所說的潮汐裂解，只是現在掉下黑洞的角色換成是一顆第一代恆星（圖4）。

因為黑洞而生 因為黑洞而死

生命會自己找到出路，這個生命包括了恆星的誕生。當環境還沒有條件、沒有催生劑，讓恆星的誕生過程，沒有金屬元素來執行很有效率的散熱。開啓第一代恆星生路的也許真就在與黑洞相依之處，與黑洞約莫相同的時間誕生。短暫的一生，留下最重要的遺產，是那些比氫、氦更重的元素。為後代恆星，奠定了能更快速形成的基礎。然而他自己短暫的現身後，自身的一大部分，就悄悄地被一同出生的黑洞吃掉了。最後的身影，很可能是第一代恆星潮汐裂解時，產生的潮汐閃焰。

這套劇本，有待進一步的觀測證據支持。幸好，第一代恆星遭黑洞裂解時，所產生的潮汐閃焰，留下了被觀測的機會。然而在遙遠宇宙的膨脹紅移，加上黑洞周圍的引力紅移，雙重紅移疊加的

結果，讓我們需要更強大敏銳的工具。除了目前正在線上辛苦做紅外觀測的韋伯太空望遠鏡之外，接下來將要一起分擔這項艱鉅任務的太空計畫，被稱之為南西·葛莉絲·羅曼太空望遠鏡（Nancy Grace Roman Space Telescope），預計2027發射升空。讓我們一起期待，有了這隻紅外新眼睛的幫助下，破解天字號任務。無論是第一代恆星的最後身影，還是與它同生卻不共死的黑洞，都可以被找到！

參考資料：

1. [Which Came First: Supermassive Black Holes or Galaxies? Insights from JWST](https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ad1bf0) <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ad1bf0>
2. [New Findings From the JWST: How Black Holes Switched from Creating to Quenching Stars](https://jila.colorado.edu/news-events/articles/new-findings-jwst-how-black-holes-switched-creating-quenching-stars) <https://jila.colorado.edu/news-events/articles/new-findings-jwst-how-black-holes-switched-creating-quenching-stars>
3. [What Were the First Stars Like?](https://webbtelescope.org/contents/articles/what-were-the-first-stars-like) <https://webbtelescope.org/contents/articles/what-were-the-first-stars-like>
4. [Pristine Gas Clump Near GN-z11](https://webbtelescope.org/contents/media/images/2024/106/01HDHMK6WKM866NBNSX4W49T6M?Tag=First%20Galaxies) <https://webbtelescope.org/contents/media/images/2024/106/01HDHMK6WKM866NBNSX4W49T6M?Tag=First%20Galaxies>
5. [JADES. Possible Population III signatures at z=10.6 in the halo of GN-z11](https://www.aanda.org/component/article?access=doi&doi=10.1051/0004-6361/202347087) <https://www.aanda.org/component/article?access=doi&doi=10.1051/0004-6361/202347087>
6. [Detecting Population III Stars through Tidal Disruption Events in the Era of JWST and Roman](https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ad41b7) <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ad41b7>
7. [The search is on for signs of the first stars in the universe](https://news.yale.edu/2024/05/09/search-signs-first-stars-universe) <https://news.yale.edu/2024/05/09/search-signs-first-stars-universe>
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_population
9. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_most_distant_astronomical_objects

李建德：中大天文學博士，現為獨立講者（曾任中大博士後、國際期刊ApJ審稿人、數理及資訊學科能力競賽天文科命題評審委員）