

你的銀心黑洞過胖了嗎？

韋伯、錢卓，兩大太空望遠鏡聯手發現及診斷類星體UHZ1

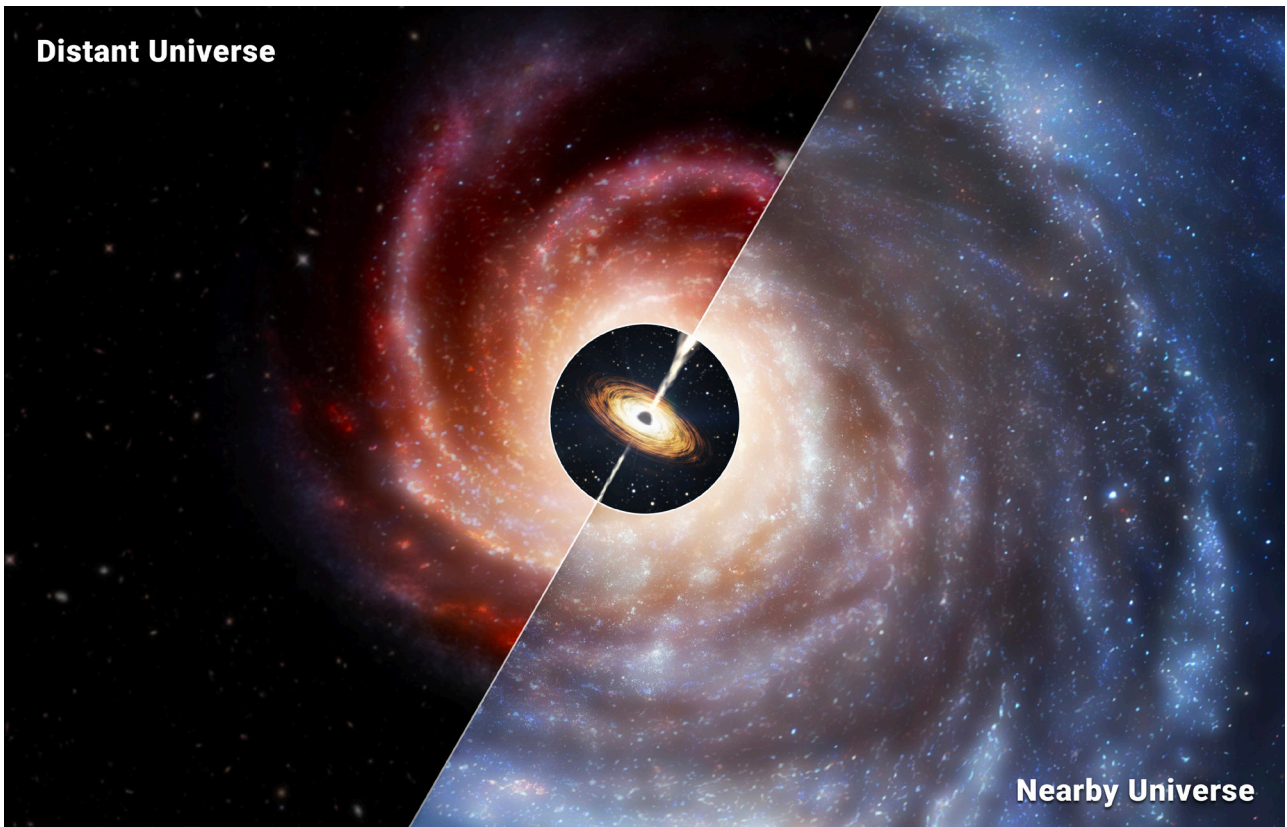


圖1. 這幅藝術概念圖呈現遙遠古代星系（左側）與鄰近一般星系（右側）相當不同之處。假設中心的超大質量黑洞大小類似，我們鄰近宇宙的一般星系似乎有著更大的星系盤面、更多的恆星圍繞。這導致一個有趣的問題：古老星系核心的超大質量黑洞，相較來說是不是太大了？圖片來源：CfA/Melissa Weiss

類星體，即是看起來像恆星「卻非恆星」的天體。之所以能確定其並非恆星，是因其所處距離太過、太過遙遠，沒有恆星能在這麼遙遠的位置，仍跟近處的恆星看起來一樣的亮。在1960年代發現了大量這類的天體，因為我們對其天文物理特性的瞭解不夠深，這才被命名為類星體。現在，我們知道類星體其實是星系的活躍核心，而活躍明亮的原因，則是超大質量黑洞吞噬物質時產生的高能輻射（包括紫外線、X射線及 γ 射線）。

這一次，兩大太空望遠鏡聯手看到最早誕生的是時間上最古早、距離上最遙遠的類星體UHZ1。這位新科紀錄保持者，位於132億光年之遙，其所

處宇宙年紀只有現今的3%。用今年民國113年來看，3%換算下是民國4年，還是袁世凱當總統的中華民國，距離他稱帝還有1年。用西元2024年來看，3%則是西元61年，當時羅馬帝國的皇帝是尼祿。然而，這個3%宇宙最遠古的紀錄，並非UHZ1讓我們記得她的主要原因。我們記住她的，是她那顆位在星系核心，大到不成比例，跟整個星系中所有恆星加起來的質量幾乎一樣的，黑洞！

天文學家利用高能X射線及我們熟知的紅外線，把這個類星體UHZ1找了出來。在高能波段，錢卓X射線太空望遠鏡看到明顯的高能輻射，這樣遠、這樣亮的高能輻射，能解釋的只有黑洞。在相

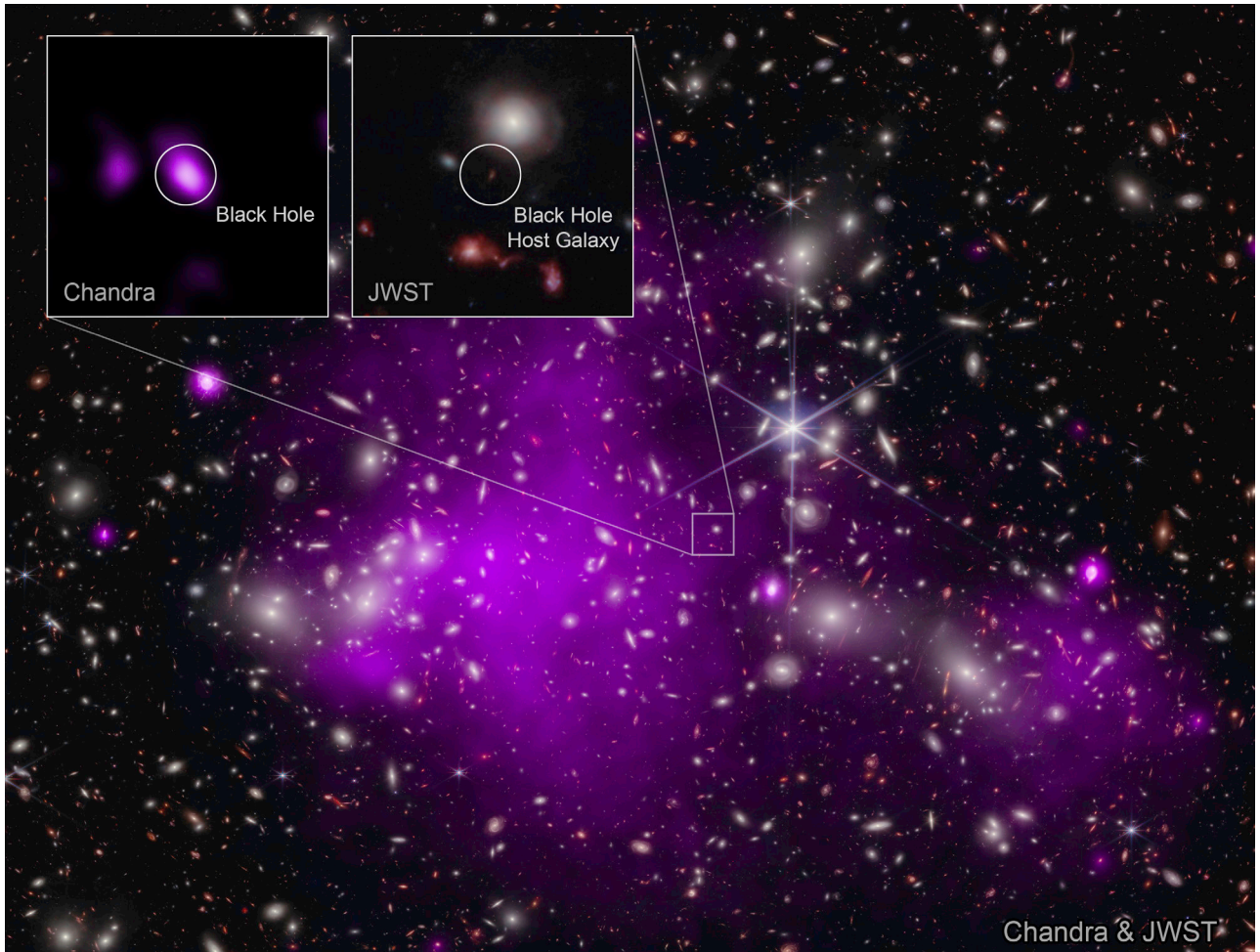


圖2. 潘朵拉星系團，也稱作阿貝爾2744，是距離我們4億光年的星系團。觀測的儀器分別為錢卓X射線太空望遠鏡（Chandra）及韋伯太空望遠鏡(JWST)。所拍攝的影像中，大大小小的點，幾乎都是包含千萬顆恆星的一整個星系。潘朵拉星系團方向，有一個不起眼的背景位置，白線拉出的小方框標示，裡面暗藏的一顆破紀錄的最深空天體 UHZ1。圖片來源：X射線：NASA/CXC/SAO/Ákos Bogdán；紅外：NASA/ESA/CSA/STScI；影像處理：NASA/CXC/SAO/L. Frattare & K. Arcand

同的位置，詹姆士·韋伯太空望遠鏡在紅外波段則觀測到了極黯淡，然而座標上明確能跟上述發出X射線黑洞的對應星系。

天然的望遠鏡「重力透鏡」

值得一提的是，縱然有兩架頂尖的太空望遠鏡，也是遠遠不夠力的，根本就看不到打破紀錄的UHZ1！那麼她怎麼讓我們看到的？靠的是距離我們「只有」4億光年的潘朵拉星系團，引力範圍包含成千上萬的星系、星系中恆星、星際物質、暗物質，所有總和的超大質量而造成的重力透鏡效應。這個天然的透鏡，也可以看作是一架望遠鏡。有這座天然的最恰到好處的望遠鏡，幫助我們在4億光年之外「超前部署」，早一步集中遙遠天體的微弱光線。這樣子，被遙遠宇宙深深埋藏面貌的

UHZ1，才有機會出現在你我的面前。

核心過胖星系

綜前所述，無論是想像到的圖1，還是觀測到的圖2，加上解說怎利用天然望遠鏡的圖3，我們可以看到，代表古老的UHZ1的黑洞部分，都是相當相當大的。以我們銀河系來說，所有恆星的總質量遠遠超過核心的大質量黑洞，恆星質量的總和大約是銀河系中心黑洞的1,000倍。可是，對於遙遠星系來說，這個比例就縮小到10倍以下，甚至黑洞與恆星兩者質量比例可以近乎一樣。UHZ1用韋伯觀測結果估算這個星系恆星部分的質量，幾乎跟黑洞質量一樣，也是目前黑洞所占比例最大的例子。過去被認為只是理論上存在的「核心黑洞過胖星系 (Obese Black Hole Galaxy)」，因為這次兩種波段

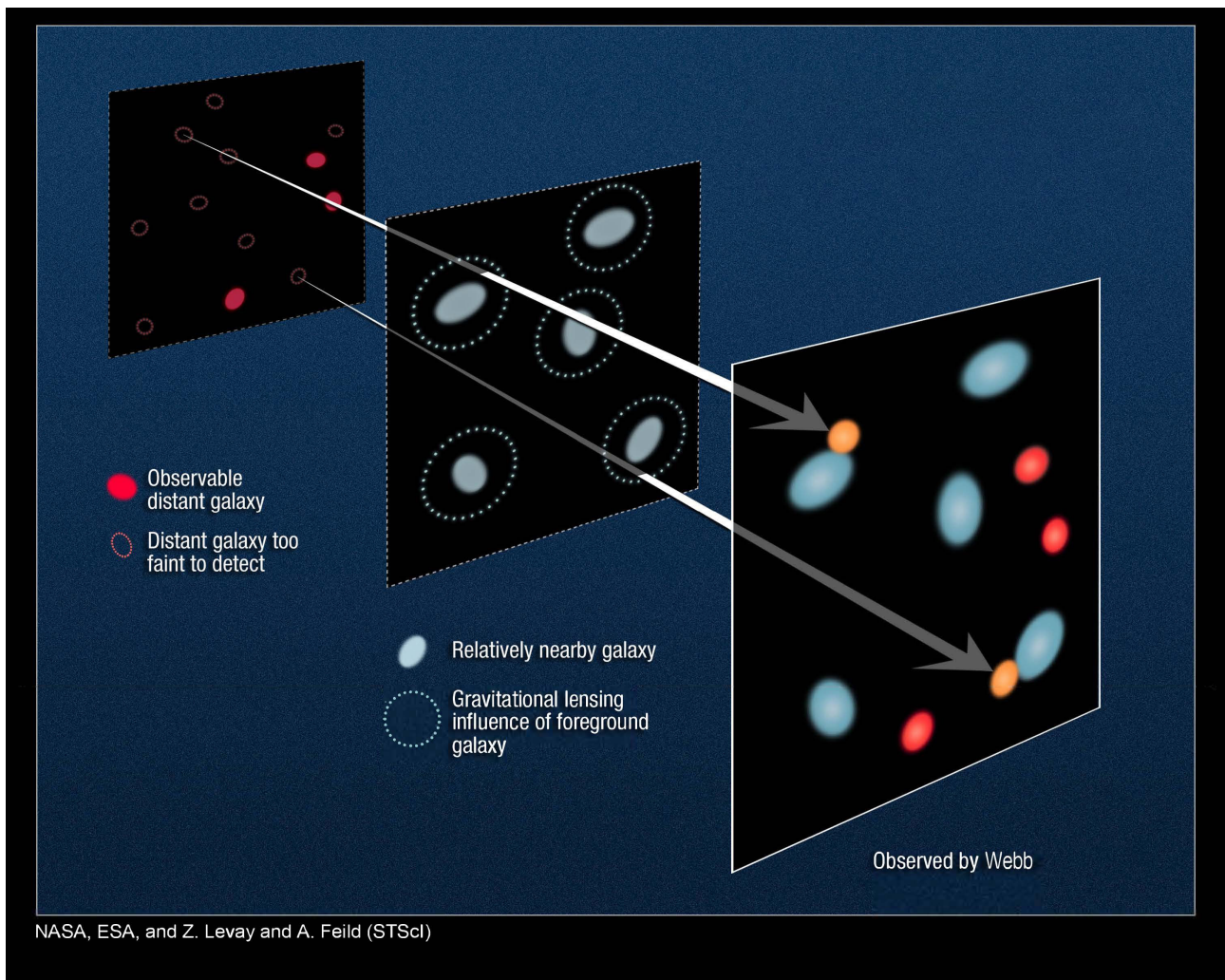


圖3. 就連韋伯太空望遠鏡原本都偵測不到遙遠的超級晦暗天體，利用前景星系團的重力，達到重力透鏡的聚光效果，就能突破極限看到不可能看到的古老且黯淡的星系。本圖分作三個部分，分別是遙遠星系（左），視線方向上近處的星系（中），以及韋伯觀測的影像（右）。左圖中的紅色圈，實心的有三個是亮星系，不用重力透鏡最終也能看得到，空心的則是暗星系，若幸運的經過中圖裡頭，前景星系重力透鏡影響範圍（藍虛線），那麼就能在右圖裡變成被看見的橘色點，也就是本文中，破最遠類星體紀錄的UH1。圖片來源：NASA, ESA, Zolt G. Levay (STScI), Ann Feild (STScI)

的太空觀測證據的浮現，現在UH1被認為是首個核心黑洞過胖星系的潛在候選星系。

就以我們的銀河系的核心黑洞為例，人馬座A*不過4百多萬個太陽質量。多數星系跟我們銀河相似，核心黑洞的質量只不過是百萬、千萬個太陽質量。這樣的銀心黑洞極有可能是走一般路徑，從第一代恆星死後的黑洞開始累積，吸積周圍的星、塵、雲、氣，最後才慢慢地變成今日的規模。一個第一代恆星大約百千倍於太陽質量，死後超新星爆炸剩下的屍體若夠重，大約是3-4個太陽質量才會變黑洞。這樣從小黑洞變超大質量黑洞，質量需慢慢累積的積沙成塔，過程是很慢的，再怎麼樣也難

以讓銀心黑洞的質量，突破太陽的億倍。

另外少數星系的核心黑洞質量，何止億倍於太陽！都是以10億倍、100億倍計算。第一個被看到的黑洞M87*約為30-70億個太陽質量；目前已知最大的銀心黑洞們，例如TON 618、IC 1101，則約有數百億個太陽質量。君不見與之相比，咱家銀心人馬座A*是不到1%的小不點。所以，這些數十個億，數百個億倍太陽的超級大黑洞，如果真的是一代代的恆星被黑洞一顆顆的細嚼慢嚥，宇宙年齡雖久但根本來不及長到這麼大。或者說更直接一些，根本來不及吃到這麼的胖。

直接塌縮型黑洞

上述恆星死亡後產生的黑洞被叫做「輕種子」黑洞，與之相對的正是「重種子」黑洞。這樣的黑洞，不是恆星死後的殘骸，因為殘留的骸骨都太輕了，怎麼做出超級胖的黑洞呢？要贏在起跑點上，變成黑洞的第一口份量就得夠重。這樣的「重種子」，第一個瞬間質量就可以達到，萬倍十萬倍個太陽質量。相對於我們自家星系，已吸積質量超過百億年，才有百萬倍太陽質量的人馬座A*，而重種子黑洞，才剛一起跑，其質量就能達到我們銀心黑洞的10%，一開始就透露出驚人的增胖潛力。

重種子黑洞怎麼形成的？一團大質量雲氣，跟鄰近已有星星的星系不同，是塊沒有星星的純氣體雲氣。這團雲氣的密度分佈，因為擾動的關係變得不是很均勻。雲氣中心處，多半是密度最高的位置，最先滿足黑洞所需的臨界密度。這時候，連光都跑不掉的區域出現了，黑洞就冒了出來。很快的，愈多雲氣掉到黑洞的半徑裡面，黑洞的質量就愈大，黑洞半徑也隨之變大，這團雲氣就快速的幾乎大半都塌縮到黑洞的範圍裡面。像這樣形成的黑洞，跳過恆星的生老死演化歷程，從雲氣裡頭直接誕生就被稱之為「直接塌縮型」黑洞，也是「重種

子」黑洞的起源，也更有機會是前面講的「核心黑洞過胖星系」，最早的雛形。

UHZ1的核心黑洞，之所以這麼過大、過重和過胖，很有可能是過去擁有這樣的歷史。從直接塌縮的重種子黑洞開始，接著自身周圍的雲氣形成恆星，亦或跟其他星系合併，或兩者兼有之。因為初始質量夠大，最後才能維持這樣高比例質量的核心黑洞。那些擁有巨無霸核心黑洞的星系，他們的起源，因為重種子黑洞的理論，也多了一個合理的解釋。

宇宙的第一顆恆星， 是不是重種子黑洞觸發的？

恆星形成，不是件容易的事情，你想想熱脹冷縮的常識，在做恆星的時候，要跟這個原則相反，不但冷要縮，熱更要縮，才能把又密又熱的原星物質聚集起來！這需要多困難的環境條件才能發生？而且幫助熱也能縮的「散熱物質」，在宇宙剛大爆炸後「沒有星」的星際，不是很少就是根本沒有。並且宇宙形成之初，一切都還是很炙熱，一切還過於均勻，難有密度夠高的區域，變成恆星的胚胎。怎麼看，都很難有臨門一腳，讓第一顆恆星從無中產下。

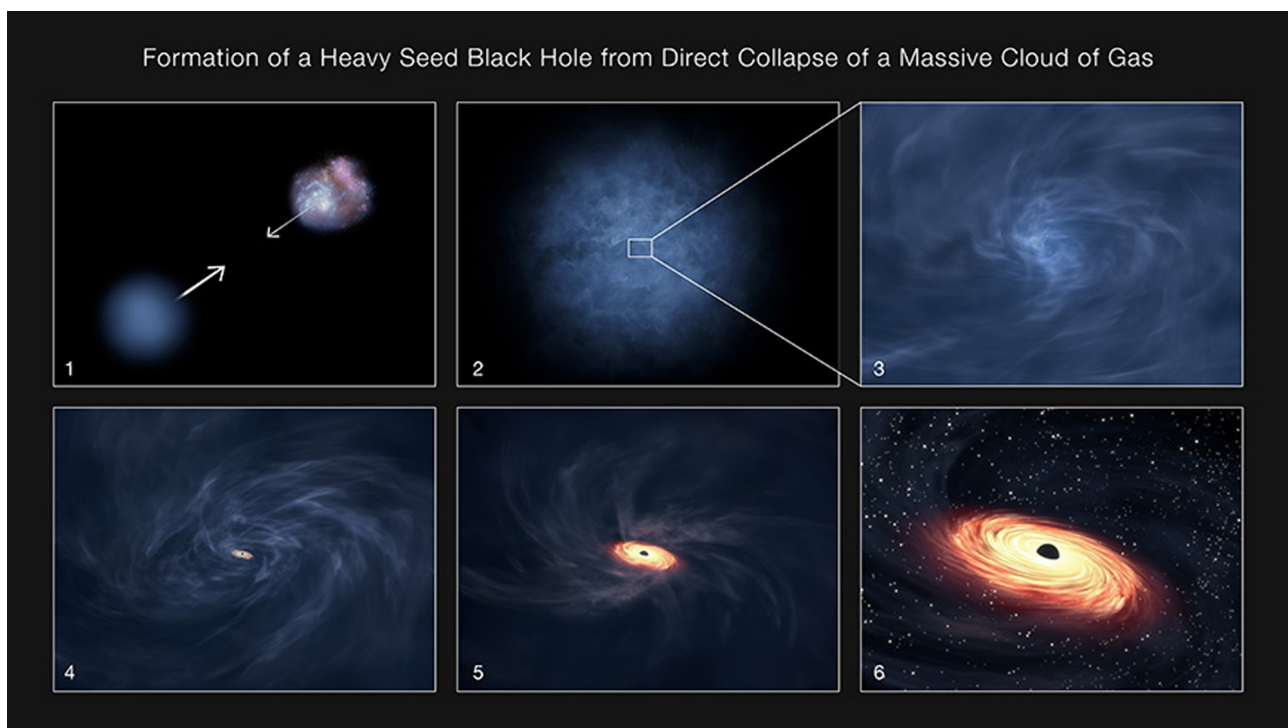


圖4. 「重種子黑洞」的形成，這樣的黑洞不需經過恆星階段，從大質量雲氣直接塌縮，達到黑洞臨界密度，成為超大質量黑洞的種子黑洞。圖片來源：NASA/STScI/Leah Hustak



圖5. 星團裡誕生的第一代恆星，質量最大的已爆炸死亡，產生及散佈前所未有的、比金屬更重的元素，首次存在周圍的氣體雲裡。圖片來源：中國科學院

仰望星空，從肉眼到哈伯、韋伯太空望遠鏡。滿滿的星斗，要怎麼從最初的無到有？會不會第一顆恆星能被做出來，欠缺的臨門一腳就是重種子黑洞？讓下次我們來談談，這個有趣的起源話題。

參考資料

1. [Evidence for heavy-seed origin of early supermassive black holes from a \$z \approx 10\$ X-ray quasar](#)
2. [First Detection of an Over-Massive Black Hole Galaxy UHZ1: Evidence for Heavy Black Hole Seed Formation from Direct Collapse](#)

3. [The American Astronomical Society, find out more.](#)
[The Institute of Physics, find out more. Unveiling the First Black Holes With JWST: Multi-wavelength Spectral Predictions](#)

4. https://en.wikipedia.org/wiki/Messier_87

5. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_most_massive_black_holes

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、學科競賽天文命題評審委員）

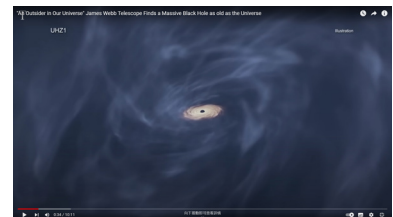
YouTube相關影片：



Quick Look: NASA Telescopes Discover Record-Breaking Black Hole
<https://www.youtube.com/watch?v=zgGJY7ZlnSM>



JWST Images Galaxy Cluster and Sees the BEST Gravitational Lensing
<https://www.youtube.com/watch?v=eW8i-1Nu4Fk&t=77s>



“An Outsider in Our Universe” James Webb Telescope Finds a Massive Black Hole as old as the Universe
https://www.youtube.com/watch?v=KAj-3_FT2JU