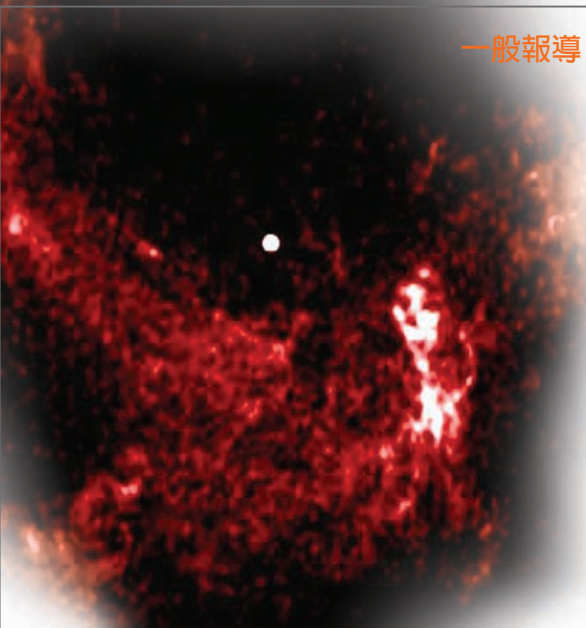


銀河中心有黑洞嗎

宇宙星系因碰撞而餵養星系中央的黑洞，在餵養時，一些氣體被黑洞吸入，一些氣體被拋出形成新恆星。餵養黑洞和形成恆星的氣體同出一源？



8 arcsec
1 light year

銀河系中心附近的人馬座 A* 是最近幾年太空觀測上發現的可能黑洞之一，因為離地球很近，被公認是研究黑洞物理的最佳目標。

圖片來源：<http://www.nrao.edu/pr/2005/sga05a1sfgr0w1h1y.jpg>

圖片來源：<http://antwmp.gsfc.nasa.gov/apod/ap060528.html>

張志玲

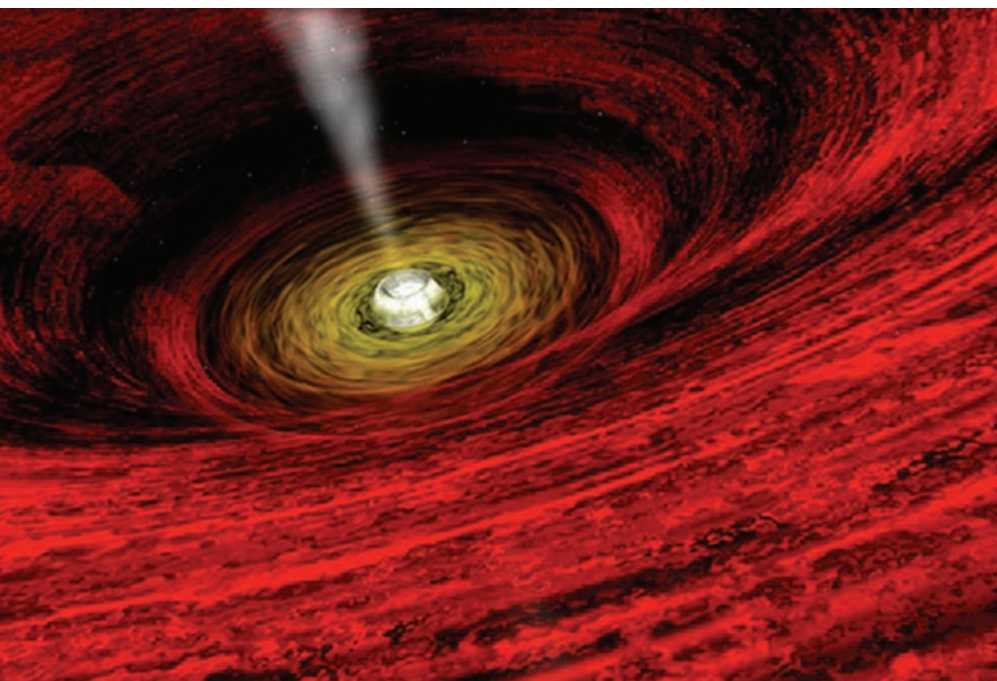
科學界已經發現有力證據可以證實「銀河系中有超大質量的黑洞」。一個由美國、中國和台灣天文學家組成的國際天文研究團隊，利用特長基線干涉陣列觀測銀河系中心的神祕電波源，結果得到人馬座 A* 在 3.5 毫米波長上的影像。經過計算和反覆驗證後確定，人馬座 A* 的直徑約有 1.5 億公里，質量有 400 萬個太陽那麼大。研究團隊依此結果推斷，人馬座 A* 的最小質量密度比任何已知黑洞的密度大 1 兆倍以上，並且確定它是一個超大質量黑洞。

位在銀河系中心附近的人馬座 A* 是最近幾年太空觀測上發現的可能黑洞之一，因為離地球很近，被公認是研究黑洞物理的最佳目標。在一般人印象中，黑洞只是「重力極強，連光都

跑不出來」的天體，但在天文學家心目中，它是研究其他活躍星系的樣本。關於「研究黑洞物理有何幫助」、「有什麼證據可以證明它是黑洞」、「現代天文學家用什麼儀器觀測黑洞」等議題，科學界已得到一些概念。

研究黑洞 有助了解重力

愛因斯坦在廣義相對論中闡述的重力本質是「物質的分布彎曲了附近的時間—空間結構」。也就是說，任何物質靠近彎曲時空時，它的進行方向與路徑會偏折，甚至陷入其中，這個現象可以解釋為物質接近天體時會被重力吸引。一百多年前，人們對於黑洞沒能說出所以然，廣義相對論出現後，依其邏輯推導，天文學界才建立起黑洞的基本概念。到了現在，黑



黑洞圖 黑洞的定義是物質脫離速度大於光速的區域。以我們所知的物理，超光速是不可能的。超強重力是黑洞的能量來源，任何物質只要掉進黑洞就無法出來。

洞已成為人類探索的3大未知領域之一。

科學上對黑洞的定義是：物質要脫離黑洞，速度要大於光速（每秒30萬公里）。但以我們所知的物理，超光速是不可能的。黑洞的能量來源就是超強重力，任何物質只要掉進黑洞就無法出來，因此研究、觀測或辨識黑洞時，重力是很重要的一環。

重力可以說是宇宙中最具支配性的作用力，它是宇宙4種作用力的一種，其他3種是強作用力、電磁力及弱作用力。現代物理學已有一個「大統一理論」，能把強作用力、電磁力及弱作用力3種力結合起來統一描述，不過物理學者仍希望找到「超統

一理論」，以便把4種力結合起來用同一種形式描述。物理學者認為，透過黑洞研究，對重力了解更多以後，應該有助於尋找超統一理論。可是黑洞究竟是如何形成的呢？

黑洞是巨大恆星的結局

一顆恆星演化到最後，究竟會變成白矮星、中子星或黑洞，完全由它的原始質量決定。恆星由星雲形成，而後融合燃燒，當其中心區的氫過少時，由氫融合反應產生的能量不足以維持穩定平衡時就進入「星變」階段，這時的星體表層盡是快速擴散、逐漸降溫的紅氣體，因此稱為「紅巨星」。

如果恆星的原始質量和太陽差不

多或更小，就會逐漸演化成白矮星。如果質量是太陽的1.4倍以上，就會在核心融合成鐵後，先急速向內場陷，再反彈向外爆炸，把物質拋向四方，發生所謂的「超新星爆炸」。超新星爆炸後，中心殘餘質量小的會演化成中子星，因為原子已被塌陷再反彈的超高壓壓成中子；而質量超過3.2個太陽的會繼續往內塌縮，直到變成一個點為止，這個點就是奇異點。黑洞就是這個奇異點和環繞在它周圍的事件視界（event horizon）。

若要辨認某個天體是否是黑洞，可看這個天體的「質量除以半徑」是否大於一個定值，不過決定因素仍然看它的質量。物理學上有個都卜勒效應，內容是說「發射波源與受信者之間有相對運動時會造成頻率變化」。當發射光源逐漸遠離觀測者時，光波波長會變長，波的顏色會向紅偏移，稱為紅位移；當發射光源逐漸接近觀測者時，光波波長會變短，波的顏色會向藍偏移，稱為藍位移。由於黑洞附近繞黑洞旋轉的物質放出的邁射（微波雷射）會在黑洞兩側分別產生紅位移和藍位移，因此可據以演算得到黑洞質量。

看X光或看星星怎麼走

黑洞是黑的，因為「連光也逃不出去」，所以很難觀測到它。要找黑洞

一個由美國、中國和台灣天文學家組成的國際天文研究團隊，利用特長基線干涉陣列觀測銀河系中心的神祕電波源，經過計算和反覆驗證後推斷人馬座A*是一個超大質量黑洞。



黑洞噴流想像圖 黑洞附近物質放出的微波雷射會在黑洞兩側分別產生紅位移和藍位移，可據以演算得到黑洞質量。

的最直接方法是看 X 光。物質掉進黑洞時，這個物質的重力位能會轉化成熱能放出 X 光，如此便可從 X 光辨認黑洞。可是中子星也會放出 X 光，因此還要看天體中間，如果中間有光，應是中子星發出的；如果中間是黑的就是黑洞，因為光無法從裡面跑出來。

另一個方法是觀測雙星系統（黑洞與黑洞、黑洞與中子星）的 X 光源。如果雙星系統中有吸積盤，吸積盤會因為摩擦而產生高溫，並放出 X 光，此時可觀看它的軌道，演算出當

中有多少質量，以決定是否有黑洞存在。

另就理論上說，物質越靠近黑洞，放出的能量越強，因此黑洞也可能放出比 X 光更強的伽瑪射線。但因現在的觀測技術有限，仍看不到這麼接近黑洞的地方，所以無法證實。

又因為黑洞的超強重力會影響附近星體的軌道，所以另一個尋找黑洞的方式是看星星怎麼走。天文學者從 1992 年開始觀測許多靠近銀河系中心的恆星，曾經發現其中一顆 S2 恆星以

橢圓軌道轉一周約需 15 年，但卻看不見它是繞著誰在轉，而且另外幾顆星體也一樣，因此推測應是受到同一個看不見的重力源影響。直到 2002 年得到人馬座 A* 在 3.5 毫米波長上的影像，才知道這些星體是繞著銀河系中央的超大質量黑洞人馬座 A* 在轉。

黑洞吞噬恆星

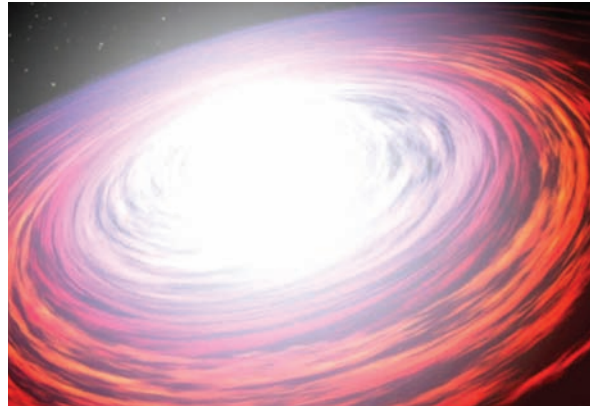
天文學上早有一個理論認為「受到黑洞超強重力影響，靠近黑洞的星體會被拉長、變形，更嚴重時會被扯

裂、吞噬」。可是這個理論一直未獲證實，直到2004年，歐美兩地科學家分別以美國航空暨太空總署的「錢卓X射線觀測衛星」和歐洲太空總署的「XMM-牛頓X射線觀測衛星」在觀測距離地球7億光年的「RX J1242-11星系」中心時，認為有個黑洞正在把恆星扯裂、吞噬。

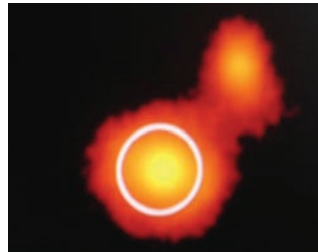
當時觀測到的是有強大的X射線從RX J1242-11星系爆發出來，經研判後認為是星體被扯裂的現象。星體被扯裂以前，裡面的氣體被加熱到攝氏1百萬度以上，所以放出強大的X射線。但它為何會靠近黑洞呢？有可能是與另一顆星體近距離相遇，導致偏離原先軌道，但在偏離時太靠近黑洞，而被黑洞的超強重力牽引、拉長，直到被扯裂、吞噬。據推估，這個黑洞的質量大約是太陽的1億倍，被扯裂星體的質量和太陽差不多，當它被吞噬時，大約1%的質量被黑洞吸收，其餘部分被拋離至宇宙中。

黑洞由星體餵養

天文學家利用特大天線陣列（The Very Large Array，簡稱VLA）電



中子星與黑洞都會放射X光，分辨方法是看中間，如果中間是黑的就是黑洞，中間不黑的如本圖，就是中子星。



7億光年外的「RX J1242-11 星系」其中的一顆星體，可能因為與另一顆星體近距離相遇而偏離原先軌道，以至於被黑洞重力牽引、拉長，乃至扯裂、吞噬。被扯裂前，星體裡的氣體被加熱到攝氏1百萬度以上，所以放出強大X射線。

波望遠鏡和在「重力透鏡」的協助下，於2003年發現離地球120億光年，編號PSS J2322+1944類星體（Quasars）的氣體盤附近，每年有數百顆新恆星誕生。類星體是活躍星系

的一種，天文學界的看法是，活躍星系的核心裡可能有 10^6 到 10^9 個太陽質量的黑洞，類星體可能是活躍星系中央黑洞造成的一種表象。類星體距離地球很遙遠，因為光速是一定的，所以觀測類星體可以追溯到久遠以前的宇宙，對我們在宇宙演化上的了解有所幫助。

然而類星體PSS J2322+1944太遙遠，所以在以VLA電波望遠鏡尋找恆星形成盤時，無法分辨其中的結構細節，必須再借用宇宙中的星系，把宇宙星系當成「類星體與地球之間的放大鏡」，以便利用「重力透鏡」效應，使得PSS J2322+1944的影像形成「愛因斯坦環」。如此才能讓原本無法分辨的盤結構，因為放大而清楚呈現。

而那些擋在中間被拿來做為透鏡使用的星系，通常會對一個類星體產生多個透鏡影像。至於出現多少個影像或者影像形狀如何，取決於類星體、「放大鏡」與觀察者（地球）三者的相對位置。如果排列很完美，或許可以看到環狀的透鏡成像，也就是所謂的「愛因斯坦環」。

觀測黑洞必須使用適當的工具，如果在地面架設望遠鏡，就必須使用能夠看穿地球大氣層與星際介質的電波望遠鏡或紅外線望遠鏡。

圖片來源：http://www.nasa.gov/centers/goddard/images/content/12042main_sny_star_burst_lgwebb.jpg

圖片來源：http://chandra.harvard.edu/photo/2004/xj1242/xj1242_hond.html

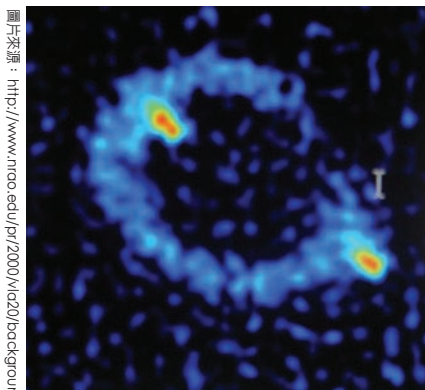
根據廣義相對論，重質量星系後方遙遠天體發出來的光，會因為重質量星系的超強重力扭曲附近時空而產生偏折。愛因斯坦曾在1936年提出「在完美排列下，重力透鏡可形成圓形影像」的看法，只是要形成這種影像的機率非常低。

天文學家在1979年首次觀測到，經由重力透鏡呈現的「宇宙中市蜃樓」現象，到了1987年，天文學家第1次觀測到經由重力透鏡呈現的「愛因斯坦環」。重力透鏡就像是宇宙中天然形成的望遠鏡，除了可令被觀測星體呈現多重影像之外，影像亮度又比真正星體光亮許多，因此對於遙遠黯淡天體的觀測頗有幫助。

天文學家相信，早期宇宙中的星系經常遭遇碰撞而餵養星系中央的黑洞，而且在餵養時，星體的部分氣體會被黑洞吸入，另一些氣體會宇宙中形成新恆星。由類星體 PSS J2322+1944 的觀測結果，可以支持「墜入黑洞的氣體和形成大量恆星的氣體同出一源」的說法。

ALMA 下世代望遠鏡

觀測黑洞必須使用適當的工具。如果使用紫外線望遠鏡和X光望遠



愛因斯坦環 類星體(光源)、宇宙星系(透鏡)及觀測者三者位置如果排列恰好，可以看到環狀透鏡成像，也就是所謂的「愛因斯坦環」。

鏡，由於地球大氣層會吸收紫外線和X光，因此這類望遠鏡必須架設在遠離大氣層的衛星上才能探測物質掉進黑洞時所放出的X光。如果在地面架設望遠鏡，就必須使用能夠看穿地球大氣層與星際介質的電波望遠鏡或紅外線望遠鏡。

我國中央研究院與美國史密松天文物理中心，在夏威夷島海拔4,300公尺的毛納基峰上合作建立的「次毫米波望遠鏡陣列」(Submillimeter Array, SMA)，已經在2003年11月正式啟用。這套設備是由8座直徑6公尺天線組合成的次毫米波干涉陣列，具有優異的空間和速度分辨率，能穿透分子塵埃的阻擋，可進一步觀測行星盤物質的分布及運動狀況。

而智利帕拉拿天文台裡面的4座光學望遠鏡，每台反射鏡口徑8公尺，可以單獨使用，也可以合起來形成干涉陣列，把它當作基線200公尺的望遠鏡陣列使用，一般稱為超大望遠鏡(Very Large Telescope, VLT)。惟其所得影像在感光上較差，需做較多的影像處理。這套設備在較早幾年的天文觀測上貢獻很大，可是現在已無

法滿足研究需求。新的國際合作計畫，號稱有史以來最大規模的地面天文台，正在智利北部高原的阿塔卡馬(Atacama)沙漠中進行。

阿塔卡馬大型毫米及次毫米陣列(ALMA)，綿延3公里，包括由至多64座直徑12公尺天線組成的「12公尺一陣列」，和一個由4座12公尺及12座7公尺天線組成的「Atacama一密集陣列」，預計2012年完工，期望運轉50年以上。ALMA望遠鏡可做0.3毫米至9毫米波段的天文觀測，這是哈柏太空望遠鏡無法觀測的範圍；其所提供的最佳角分辨率(angular resolution)高達0.004角秒，是哈柏太空望遠鏡所能達到的10倍；而其具備的極佳靈敏度，可達目前相同波段望遠鏡的1萬倍。

天文學者認為利用ALMA探測星系中氣體的運動，可深入探討如星系如何交互作用、為何造成星爆、星系中超大質量黑洞如何產生等各種天文課題。

總結來說，要辨認黑洞須觀察重力和事件視界上放出的輻射線；要確認黑洞需看它的質量和大小；要解開對黑洞的種種疑惑，必須使用下世代的最新望遠鏡，也就是正在智利高原沙漠上建造的大型毫米及次毫米陣列，值得一提的是，台灣也參與了這項國際合作計畫。 □

本文取材自國科會「2006展望系列春季演講第八場」中央研究院天文及天文物理研究所籌備處處長曾樸主任的演講內容。

張志玲

本刊特約文字編輯

誌謝

感謝中央研究院天文及天文物理研究所籌備處曾樸博士協助文字審閱。

圖片來源：http://archive.ncsa.uiuc.edu/Cyberd/NumRel/Images/EinsteinCross_1aj.jpg

愛因斯坦十字型 觀測類星體時，當類星體(光源)、宇宙星系(透鏡)及觀測者三者位置幾近一線時，會呈現如圖中的「愛因斯坦十字型」(Einstein Cross)效果。