

陳文屏

「黑洞」這個東西

朱慶琪：昨天與工作人員確認今天流程時，詢問是否會錄影？他們回答：「會」，我就有點緊張了，因為他們發了一個手冊給我，是上一次的「挺進南北極」，我驚覺在上次活動中胡說八道的話，全部被寫進那小冊子。我超緊張，所以想今天要謹言慎行，可是有些東西是掩蓋不住的，待會兒若還是胡說八道，就請大家多多包涵。

由我主持的部分有三位講者，第一位是我們天文所的陳文屏教授。私下跟大家分享，全國甚至全世界，我覺得講科普演講講得最好的，陳教授絕對在前三名，其實我偷偷把他排第一名。陳教授講科普演講的功力非常有名，今天他就是我們的第一場講者，來告訴我們「黑洞」究竟是個什麼東西，讓我們歡迎陳教授。

陳文屏：謝謝朱老師，她剛提到胡說八道，但其實不胡說八道就沒東西可以講。「黑洞」是什麼東西？其實我也不知道。如果我問水有多大，水可以是一杯，也可以是個海洋，它沒有大小；空間有多大？也一樣，其實黑洞也類似。它不是「一樣」東西，而是「一種」東西。先講結論：黑洞就是在某個地方塞進太多東西，那地方太擠了，以致於萬有引力強大到任何東西都跑不出來，連跑得最快的光也跑不出來，那地方就叫「黑洞」。剩下

的就是細節了。黑洞很擁擠，把空間都扭曲了。對了，今天的演講涵蓋了科學、哲學與人文，覺得好像叫「科文哲」啊！

在這場合，我非常期待能聽到別人怎麼想像黑洞。黑洞是個日常生活的用語，譬如報紙上會看到什麼東西淪為黑洞：財政黑洞，意思就是東西掉進去了，出來的不多。字典這麼形容黑洞：某個地方引力非常強，以致於沒有東西，沒有能量、物質能夠逃脫，它就叫黑洞。

我要在一、兩分鐘內，把這張投影片講完，我了解這個場合有點不一樣，不過我老師魂上身，一定要解釋簡單的物理。講黑洞能不能不講物理？可以！不過那太乏味了。我們了解一些東西的道理，也滿有意思的。大家都知道物質有三態，冰、水、蒸氣，這三種性質都不一樣，溫度升高以後，從固態不太能亂動，小東西原子跟分子不太能亂動；溫度再升高，它們還是黏在一起，可是它可以稍微動一下；若溫度繼續升高，有了能量，分子就可以自由地跑，成了蒸氣，這就是三態。第四態是什麼呢？第四態就是把這個東西再加熱，原子當中的正電、負電就分開來了，這就是所謂的電漿態。

為什麼叫四態？因為這四態的性質都不一樣，今天講的黑洞是另外一種態。先來一點物理：東西含得越多質量越大，或者是體積縮得越小，在某個體積裡面塞越多東西，它的表面引力就會很大。我們站在地球的表面就會有地心引力，如果把一個銅板往上丟，到達最高點停下來就會掉回來了；如果我丟很用力，它越爬越高就越來越慢，可是當它爬高時，受到的引力也越來越小，把它拉回來的趨勢越來越小。所以如果以某個臨界速度來丟，銅板會持續變慢，但它不會停下來，一直慢慢地跑，就跑出去

了。發射火箭一定要大過這個臨界的速度，在地表這是時速4萬公里，比這個快就回不來了，比這個慢就要掉回來。真空中的光速，是宇宙間傳遞訊息最快的了，每秒30萬公里，相當於時速10億公里，從地表發射光線，當然一去不回。

所以黑洞是什麼？沒有東西跑出來，連光都不行，把剛才的物理丟進去算，得到黑洞的大小，取決於它所包含物質的多寡；也就是說，把太陽這麼多東西，塞進三公里大小，就成了黑洞。但是大家都學過密度、體積，這樣的黑洞密度是每CC裡面包含了1後面跟著16個0（ $2 \times 10^{16} \text{ g/cm}^3$ ），這麼多東西。這是多少呢？比了才知道，水是1（ g/cm^3 ），大家就知道這有多緊密了。可是很妙，黑洞的大小跟質量成正比，但密度隨著體積變大而變小（很多）。例如兩倍太陽質量的黑洞，直徑成了兩倍，也就是6公里，因此體積成了8倍（三次方），密度也就下降成了（ $2/8$ ）成了四分之一，密度變小了。所以一億倍太陽質量的黑洞，半徑為 3×10^8 公里，一除，它的密度是跟水差不多，這種黑洞一點都不可怕，是吧。

黑洞真是個奇怪的東西，只要數學上滿足這個條件就叫黑洞，有些很可怕，有些黑洞沒什麼特殊。剛才說光線跑得很快，地球抓不住，太陽也抓不住，所以我們才看到太陽。太陽死掉之後，因為沒有核子燃料，就會縮下去，而變成白矮星，差不多只有地球般大小，密度很高，引力很大，發出來的光線會稍微有點彎曲。比我們太陽質量大的星球，死掉以後會變成中子星，它的光就彎曲得更厲害，但都不致於讓光線「彎回去」。

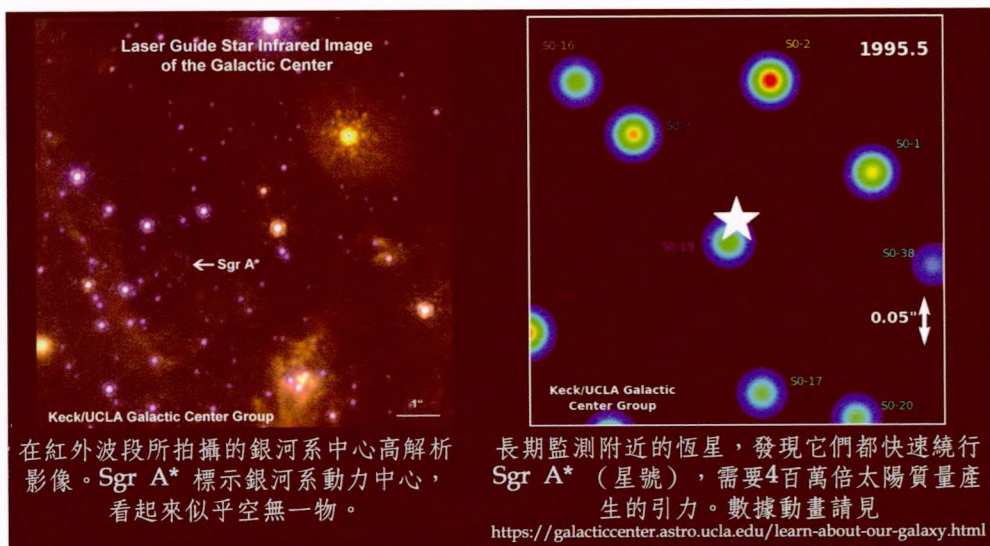
黑洞就是它的光彎回去了，這樣外面的觀測者就看不到它，它就叫黑洞。黑洞就是沒有發出光線的東西，如果沒有發出光

線，我們怎麼「看得到」呢？答案就是靠它吃東西的時候，東西掉進黑洞，黑洞本身雖然不發光，可是吃的東西掉進去的過程，沒有吃乾淨，一部分掉進去，一方面就噴出來，我們就看到噴出來的現象，或者是鄰近黑洞的東西發光，我們就看到黑洞的剪影。人類觀測到黑洞的第一張照片，就是看到黑洞旁邊的光線。我們沒有直接看到黑洞，雖然中間有個黑黑的。

有一部很好看的電影《星際效應》，黑洞特效很棒。在這張影像出來時，人類還沒有真正觀測到黑洞的照片，是想像所製作出來的。中間有個黑洞，周圍的東西發光，東西吸進來，形成盤狀結構，於是有了了一個盤狀發光的樣子，這是電影特效。

到2016年，已偵測到兩個黑洞合併，造成引力改變，時空受到扭曲。我們在地球上的實驗，利用雷射干涉原理，偵測到時空變形改變了儀器的長度，也就是觀測到由萬有引力所產生的重力波。這是我們銀河系的中心，有個很大的黑洞。在還沒有看到影像之前，我們就猜它是黑洞了，為什麼呢？因為我們去量它周圍的星星都繞著這個中心轉，就發現在空無一物的地方一定得有四百萬個太陽質量這麼大，才有引力讓旁邊的星星以那樣的軌道繞行。我們今天拿一個石頭來轉，手一定要握著，不然石頭會飛走，一定要給它這樣的力量，才能夠維持轉的運動，就是這個道理。銀河系中心有個四百萬倍太陽質量的黑洞，而有些星系的中心甚至有數億倍太陽質量的黑洞。

這就是2019年第一張由「事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope, EHT）」拍攝的影像。黑洞光線跑不出來的邊界就叫「事件地平」，因為那裡面發生什麼我們都不知道。這個EHT它取得一個叫做M87的星系影像，它是個很遠很遠的星系，它有噴



（陳文屏提供）

流，而噴流就是我剛才講的，吃東西掉出來的東西。這是M87由望遠鏡拍到的影像，以及EHT拍到的黑洞。這是黑洞的剪影，黑洞在中間，實際大小比這個黑色部分還小大概四、五倍。可是它旁邊的東西吸進來的時候發亮，因為它會轉，所以兩邊的亮度有些不一樣。

EHT利用地球表面不同的望遠鏡的訊號，彼此干涉來獲得清晰的影像。干涉的意思就是，用這個望遠鏡看一個角度，再用不同的望遠鏡看不同角度，所見的影像聚集起來，做建設性的干涉以後，就能看得比較清楚。所以在地球上用不同的望遠鏡，相當於把地球當作望遠鏡的基線來觀測，當然就看得比較清楚。EHT用不同的電波望遠鏡，構成干涉陣列，取得高解析度的影像。



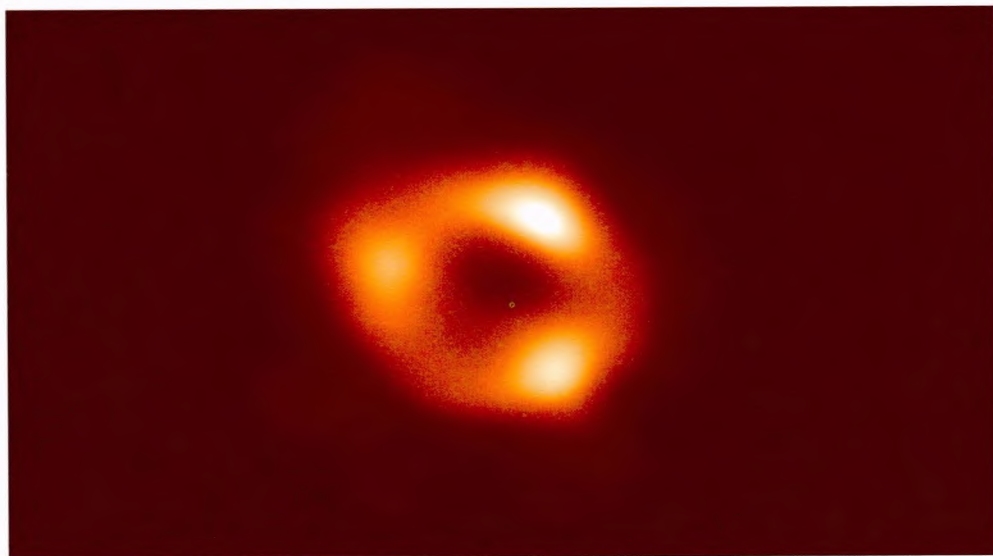
星際效應電影中的黑洞特效
(Image credit: Paramount Pictures)



EHT 望遠鏡實際拍到的M87黑洞影像
(Image credit: EHT Collaboration)

(陳文屏提供)

2022年發布了銀河系中心的黑洞影像。銀河系中心離我們比較近，大概三萬光年，M87當中的黑洞則離我們五千多萬光年，之所以先發表遠的，是因為看銀河系中心的視線，有很多塵埃、氣體遮擋，資料處理困難得多。有意思的是，銀河中心的黑洞也像個甜甜圈的樣子，也都跟物理理論預期一致。



2022年5月，事件視界望遠鏡（EHT）公布人馬座A星（Sagittarius A*）的黑洞照片。
(陳文屏提供)

結論，黑洞就是在某個地方塞進太多東西，以致於時空極度的彎曲。東西可以讓空間彎曲，沒有質量的光就跟著彎曲的空間走，就連光線也跑不出來了。黑洞本身不會發光，但它會影響周圍的天體，而讓周圍的天體發出訊息，我叫它「吃東西漏屑」。透過吃東西，我們就可以推測黑洞存在。恆星級的黑洞，就是恆星不再發光後的屍體，它們的密度非常高。這種黑洞很可怕，科幻小說裡面的都是這種黑洞，因為掉進去就出不來了，掉進去就變黑洞的那種物質狀態。這種黑洞沒辦法直接看到，實在太小了。但是有很多間接的證據，像是噴流等。質量越大的黑洞，密度越小，很多星系中間的超大質量黑洞，密度跟水差不多。

在2019年和2022年發布的M87以及銀河系中心的黑洞，就是直接取得的證據。我們還是沒有看到黑洞，但是可以看到黑洞的影像符合理論的預測，這是科學的勝利。謝謝。