



中子星

● 傅俊結*

這篇科普短文要介紹人類在上世紀發現的一種很詭異的星球。浩瀚宇宙中，存在著一種令人難以置信的天體，這種天體的出現是宇宙中一種極端的奇觀現象，它也是宇宙中一個最緻密的天體，我們人類稱它為中子星。這些天體雖然體積小巧，直徑僅約 20 公里，相當於從台北車站到中正紀念堂的距離，卻蘊含著驚人的質量。一顆典型中子星的質量可達太陽的 1.4 倍，這意味著僅僅一茶匙的中子星物質，重量就超過 10 億噸，相當於地球上所有人類體重的總和。1967 年，天文學家喬瑟琳·貝爾在進行射電天文觀測時，意外發現了一個規律閃爍的無線電源，這個無線電的來源後來被證實是人類發現的第一顆脈衝星，也就是快速旋轉的中子星。這個發現不僅為貝爾的導師贏得了諾貝爾獎，更開啟了高能天體物理學的新紀元。

中子星的誕生開始於巨大質量恆星的死亡。當一顆質量是太陽 8 到 30 倍的恆星走到生命盡頭時，它的核心會經歷一場驚天動地的變化。在恆星生命的最後階段，核心處的核聚變反應會產生越來越重的元素，最終形成一個主要由鐵構成的核心。這個鐵核就像一顆定時炸彈，當其質量超過某個臨界值時，就會在瞬間崩塌。這個崩塌過程快得令人難以想像，僅需幾毫秒的時間，核心就會從原本的大小坍縮成一個直徑僅 20 公里的緻密天體。在這個過程中，核心物質被壓縮到極致，電子被強行壓入原子核，與質子結合成中子，這就是"中子星"名稱的由來。與此同時，恆星的外層物質會以接近光速被拋射出去，形成我們所見的超新星爆發。人類歷史上最著名的超新星紀錄來

* 傅俊結，南臺科技大學電子工程系副教授



自中國宋朝的天文學家。他們在公元 1054 年觀測到一顆異常明亮的"客星"，它的明亮程度即使在白天也是清晰可見。這其實就是形成今日蟹狀星雲的那次超新星爆發。現代天文學家發現，這個美麗星雲的中心正是一顆快速旋轉的中子星。

中子星的內部結構至今仍是科學家熱烈研究的重要課題。我們知道，中子星的外殼由鐵原子核組成的超硬晶體構成，其硬度是普通鋼鐵的 100 億倍。在這個堅硬外殼之下，物質的排列方式變得更加奇特，科學家們甚至用"核麵食"來形容這些奇特的物質狀態，包括像意大利麵條般延展的核和層狀結構的核。中子星的核心區域更是充滿謎團。這裡可能存在著超流體狀態的中子，甚至更奇特的夸克物質。有些理論認為，在最極端的條件下，中子可能會分解成更基本的夸克，形成所謂的"夸克星"。這種物質狀態在地球上完全無法複製，使中子星成為研究極端物理的天然實驗室。這些中子星的物理參數之極端，完全超出日常經驗範疇。中子星的密度高到難以想像，如果將地球壓縮到這樣的密度，整個星球將會縮小到僅有 200 公尺直徑。它們的磁場強度同樣驚人，普通中子星的磁場就比地球磁場強一萬億倍，而特殊的中子星——磁星，其磁場強度更是達到難以置信的一千萬億高斯。中子星在宇宙中扮演著各種不同的角色，展現出豐富多樣的特性。最常見的是脈衝星，這類中子星會像宇宙燈塔一樣，以極其精準的週期發射無線電波。這種現象源自中子星強大的磁場與快速自轉的相互作用，當其磁極發射的輻射束掃過地球時，我們就會接收到規律的脈衝信號。蟹狀星雲中的脈衝星 PSR B0531+21 就是一個著名例子。這顆中子星每秒旋轉 30 次，其發射的脈衝如同精確的宇宙時鐘。另一個里程碑式的發現是 PSR B1913+16，這個由兩顆中子星組成的雙星系統，其軌道衰減完美驗證了愛因斯坦廣義相對論預言的引力波輻射。在眾多中子星中，磁星可說是最狂暴的一類。這些天體擁有宇宙中最強的磁場，其強度足以在數十萬公里外就將人體內的原子撕裂。2004 年 12 月 27 日，磁星 SGR 1806-20 發生的一次爆發，在短短 0.1 秒內釋放的能量，就超過太陽在 10 萬年間釋放能量的總和。這次爆發如此強烈，以至它雖然位於 5 萬光年外，仍然導致地球高層大氣被電離，部分衛星儀器甚至暫時失靈。

中子星不僅是物理學家的研究對象，它們還在宇宙物質循環中扮演關鍵角色。2017 年 8 月 17 日，天文學家觀測到一次劃時代的天文事件 GW170817。這是人類首次





同時探測到來自雙中子星併合的引力波和電磁輻射。這次碰撞產生的"千新星"爆發，證實了中子星併合是宇宙中金、鉑等重元素的主要來源。換句話說，我們佩戴的金飾、使用的電子設備中的貴金屬，很可能都源自數十億年前某次中子星的劇烈碰撞。這個發現將中子星研究提升到新的高度，將天體物理與地球上的日常生活緊密聯繫起來。

儘管我們對中子星已有相當認識，但仍存在許多未解之謎。其中最根本的問題就是中子星核心的物質狀態。現有理論預測，在極端壓強下，中子可能分解為更基本的夸克，但這仍有待觀測證實。近年來，一些天文學家提出可能存在比中子星更緻密的"夸克星"，這類天體如果存在，將徹底改變我們對緻密天體的認識。另一個活躍的研究領域是快速射電暴（FRB）。這些持續僅毫秒級的強烈射電爆發，其起源長期困擾著天文學家。2020 年，科學家首次將一個銀河系內的 FRB 與一顆磁星聯繫起來，為這個謎題提供了重要線索。然而，大多數 FRB 仍保持神秘，它們與中子星的確切關係還需要更多研究。為了解開這些謎題，世界各國正在規劃和建造新一代觀測設施。中國的"慧眼"X 射線衛星已為中子星研究貢獻諸多發現。未來，如平方公里陣列（SKA）等巨型射電望遠鏡將以前所未有的靈敏度搜尋更多脈衝星，而更先進的引力波探測器將幫助我們"聆聽"更多中子星碰撞事件。

中子星就像宇宙賜予我們的一扇獨特窗口，透過它，我們得以窺見物質在極端條件下的奇異行為。這些天體不僅挑戰著我們對物理定律的理解，更將遙遠的宇宙現象與地球上的日常生活聯繫起來。從驗證愛因斯坦的相對論，到解釋地球上貴金屬的起源，中子星研究不斷帶給我們驚喜。隨著觀測技術的進步，我們或許將發現更奇特的中子星變種，甚至可能找到連接中子星與黑洞的"缺失環節"。無論如何，這些宇宙中的極端天體必將繼續激發科學家的想像力，推動人類對宇宙認知的前沿不斷拓展。在這個過程中，我們不僅在探索遙遠的星辰，更在追尋物質與能量最根本的奧秘。



