

# 恆星 嘉年華

宇宙就像個超大村落，無數的星星居民在其中歷經生老病死；而且就如同人類世界的各色人種般，這些村民也各具色彩，還有雙胞胎、多胞胎、巨人族和哈比族！

撰文 陳文屏

就像太陽系一樣，  
棕矮星也可能有自己的行星系統。

**事**情曾經很簡單，天上的星星彼此相對位置恆久不變的稱為「恆星」，而看起來似乎在恆星之間行走的稱為「行星」。金、木、水、火、土這五行，人類已經觀察幾千年了。

接著事情開始有點複雜了，人們發現地球也是行星之一；望遠鏡發明以後，又找到天王、海王，以及冥王星，所以共有九顆行星繞著太陽運轉。這時候我們說太陽是恆星，因為它靠著核反應而自行發光，行星則繞行太陽，靠

反射陽光而明亮。還有些小天體也繞著太陽轉，於是它們被稱為「小行星」。後來，人們知道其他恆星周圍也有行星繞行，目前已經發現百來個這樣的「太陽系」。最近，又發現海王星軌道之外其實還有好多天體，有的甚至比冥王星還大。這下有問題了，我們是把比冥王星大而又繞行太陽運行的也稱為行星呢？還是因為冥王星甚至比月球還來得小，所以乾脆把冥王星從行星除名？如果有小型天體並沒有繞行任何恆星，而在太空中自由遊走，我們又要怎

麼稱呼這些天體呢？

## 太陽的生與死

太陽源於一團星際雲氣。雲氣由於本身萬有引力收縮而使溫度升高，若是溫度高到足以點燃核反應，簡單的原子核便結合成為較複雜的原子核，例如氫原子核（也就是質子）彼此連鎖反應而形成氦原子核，同時釋放出能量，這就是「核融合反應」，一顆自行發光的恆星於焉誕生。

乍聽之下這似乎順理成章，但若仔細推敲，卻會發覺其中蹊蹺，因為質子帶正電，因此彼此之間存在排斥電力，距離越近排斥力越大，根本無法相互接近，要如何能夠融合在一起呢？更進一步想，一般原子核當中聚集了大量的質子，它們不也應該彼此排斥嗎？原來，在極高溫的環境裡，氣體運動快速，使得質子有機會彼此接近，若是距離接近原子核尺度時，它們之間會產生相吸的強作用力，遠大於排斥的電力，而熔合成比較複雜的原子核，新的原子核把自己「抓」得比較緊，因此釋放出能量。所以要引發核融合反應的關鍵，在於必須擁有極高溫的環境，氫原子核的融合反應，大約需要1000萬°C以上。環境溫度越高，熱融合反應的速率便呈倍數增快，所釋放的能量也就會急遽增加。

太陽的直徑約140萬公里，只有在核心處溫度才高到足以進行核反應，超過半徑1/4以外的區域，便不再有核子反應。在核心的融合反應會產生 $\gamma$ 射線（能量）向外傳遞，越往外面溫度越低，到太陽表面時，溫度約5500°C。核心產生的能量傳播到各區域，使氣體能夠快速運動，彼此碰撞的支撐力量（也就是氣體熱壓力）得以平衡向內的萬有引力，而達到平衡狀態（見84頁插圖）。太陽的體積龐大，核心所包含的氫足以讓它持續照耀約100億年，據估計太陽已經發光了近50億年，也就是已經過了大半輩子。一旦核心區域的氫全部變成了氦，提供能量的機制消失，氣體壓力再也無法抵擋萬有引力，太陽的核心便會向內塌縮，開始走向衰亡之路。

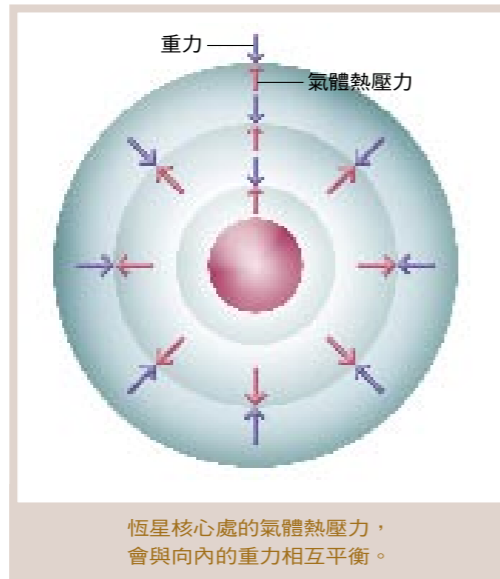
太陽核心的氫氣雖然消耗殆盡，但其實外圍還有氫氣，核心與外圍兩部份從此有不同的演化命運。核心一旦塌縮，溫度再度上升，要是核心夠大，溫度便能升高到足以引發氫的融合反應，星體再度有了向外支撐的力量。但是核反應速度太快，加上氫元素含量又少，這樣的平衡維持不久，於是核心再度收縮。質量夠大的核心可能引發一連串核反應，最後剩下由鐵元素構成的核心。這是核融合的終點，因為融合比鐵還重的元素並不會釋放能量，反而需要注入能量。

我們日常生活看到的東西可以分解成個別原子，原子的構造包括一個非常緊密的原子核，外面圍繞著電子。當太陽核心燃料用完後，萬有引力會將電子擠壓到緊貼著原子核的表面，而得以再度撐住星體內縮的趨勢。如此構成



的星體，物質擠壓得非常緊，體積很小，但是溫度很高，天文學家稱之為「白矮星」(white dwarf)。米粒般大小的白矮星物質重達上百公噸，相當於一輛貨櫃車！

天文學家喜歡用不同顏色來表示星體的表面溫度，例如以藍、白表示熾熱，而紅、棕表示溫、冷；另外用擬人法，以巨大或矮小表示星體的大小。例如前述太陽核心塌縮成為白矮星，但是同時外圍的氫氣則膨脹而且溫度下降，成為「紅巨星」(red giant)。當太陽演化成紅巨星時，龐大的體積連地球都將被吞噬。白矮星已經不再進行任何核反應了，因此其命運就是逐漸冷卻，光度也下降，最後就變成「黑矮星」(black dwarf)。



用而變成扁平的盤狀結構，盤中的灰塵彼此吸附、聚集，最終成為行星。有些行星像地球、火星一樣，體積小而有固態表面，另外一些則像木星、土星一般，體積大而主要由氣體組成。

然而要是雲氣不夠，以致收縮後溫度無法達到足以點燃氫的核融合反應，就無法形成恆星，根據計算，能夠形成恆星的最小質量，大約是太陽8~10%。例如木星的質量只有太陽的1/1000，因此雖然木星因為本身萬有引力收縮而會發出熱量（木星自身發出的能量，是它接收自太陽的兩倍），但是核心溫度卻不足以點燃氫核反應，因此木星只能「屈居」為行星。若是當時收縮成木星的那塊雲氣夠大，以致讓木星成為恆星，那和我們的太陽就成為雙星系統了。

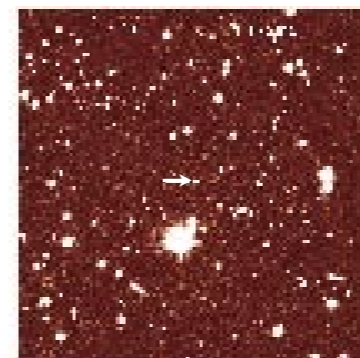
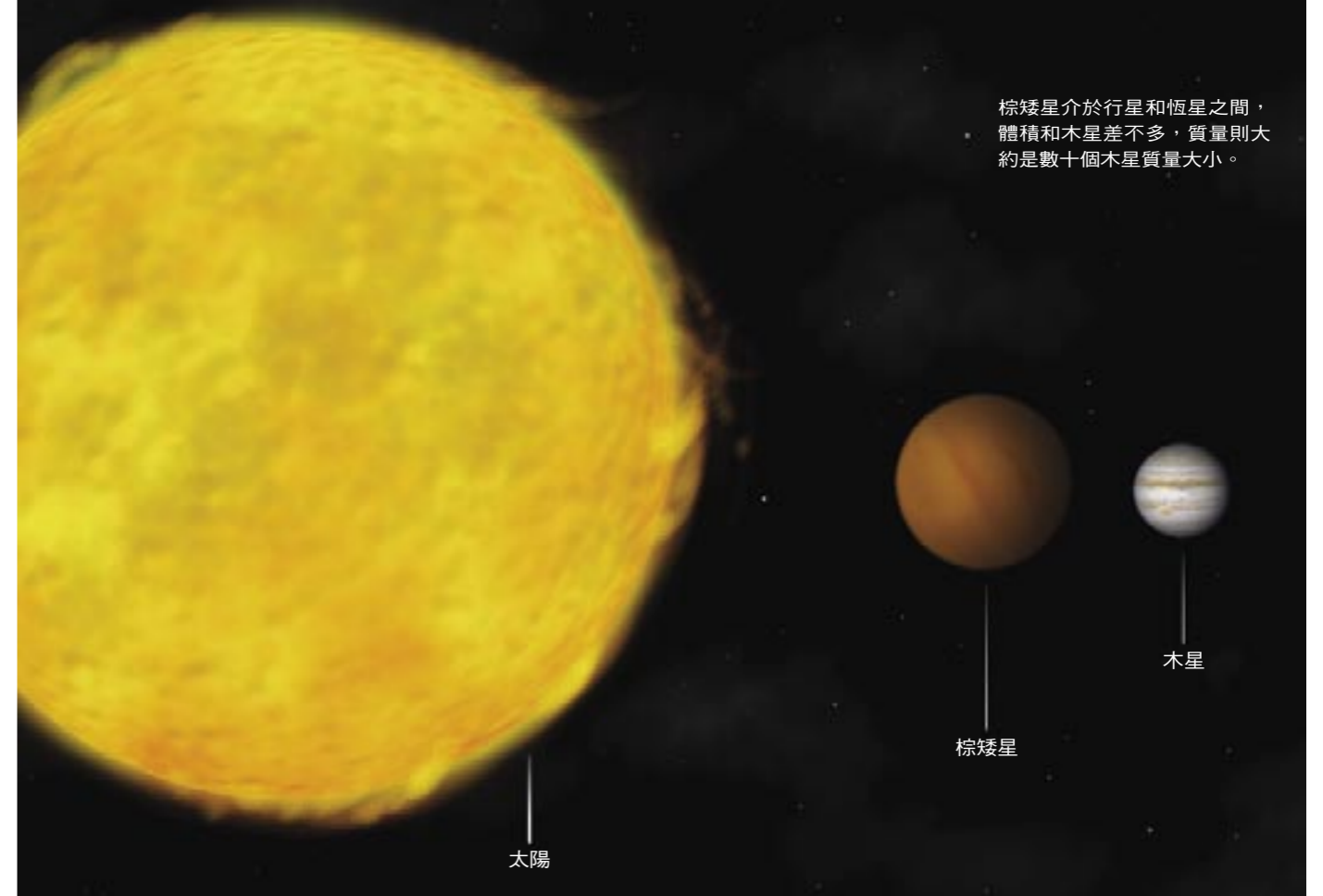
所以，是否進行核反應的一團發光雲氣就稱做恆星，否則就算是行星呢？事情當然沒如此簡單，原來氫有個同位素氘 (deuterium, 化學符號為<sup>2</sup>H或D)，原子核包含了一個質子與一個中子，由於屏障作用，氘核融合的起始溫度比氫來得低，只有100萬°C。換句話說，有些天體雖然無法點燃氫元素的融合反應，卻可以進行氘反應。這樣的天體，表面溫度低（1000°C左右），體積也小（與木星差不多），所以稱做「棕矮星」(brown dwarf)。氘反應在1000萬年內很快結束，之後棕矮星不再有核能源而逐漸冷卻，亮度也就變暗。現在天文學家一般相信，質量大於13倍木星質量的棕矮星才能夠進行氘核融合，質量更小者就和行星一樣，完全沒有核反應，但是和行星比起來，棕矮星的密度比較大。讀到這裡，您如果還沒有頭昏的話，應該體認到白矮星是像太陽這樣的恆星行將衰亡的天體，和地球一般大小，黑矮星是冷卻後的白矮星，至於棕矮星則是沒有成形的恆星，和木星一般大小，這三者是迥然不同的天體。說起來它們的顏色都忠實反映了實際情況，但「矮」的程度卻各自不同！

發光星體的整體發光能力（也就是光度）和兩個因素有關係：表面積及單位面積的發光率。星體越大，表面積就越大（正比於直徑的平方）；而星體表面越熱，則單位面積的發光率就越強（正比於溫度的四次方）。棕矮星既然體積小，溫度又低，除非離我們很近，否則亮度會非常黯

## 豐富的恆星生態

質量比較大的恆星由於萬有引力強，核心溫度高，核反應快速而大量釋放能量傳遞到表面，因此大質量恆星表面溫度高、光度強，發出藍白色光芒。然而大質量恆星內部雖然擁有較多氫氣，卻因為消耗核燃料速度快得多，所以壽命比較短，像是台灣冬季入夜後在天頂附近看到的藍白色天狼星，位於獵戶座的左邊（東方），乃是天空除了太陽以外最亮的恆星，它的質量大約是太陽的兩倍，壽命不到20億年，要比太陽短命得多。而在獵戶座的右邊，在金牛座方向的昴宿星團（俗稱「七姊妹」）當中的明亮藍白色的星球，它們的質量高達太陽的10倍，壽命更是短到只有數千萬年。如果把太陽的100億年壽命比喻為人的100歲人生，那麼天狼星只能活20歲，而昴宿星團裡的明亮恆星只能活幾個月！有趣的是，天狼星有顆伴星和它互相繞著旋轉，而這顆伴星就是顆白矮星，它的質量和太陽差不多，但是直徑卻和地球一般，只有一萬多公里。雖然溫度高，但體積實在太小，所以這顆白矮星亮度很低，只有天狼星的萬分之一。

形成恆星的雲氣若是夠多夠大，局部可能各自收縮形成恆星，若兩顆恆星彼此吸引而互繞，這就是一對「雙星」，而要是雲氣非常大，就可能同時形成一群質量不同的恆星，稱為「星團」。當雲氣收縮時，旋轉越來越快，因此除了在中央形成恆星以外，整體星雲由於離心力作



左圖中箭頭所指，為中央大學天文所利用鹿林天文台一米望遠鏡，透過紅色濾光片拍攝的棕矮星照片。這顆星編號為2MASS06023045+3910592，位於御夫座方向，距離地球300光年。

淡而不易觀測。正因為如此，雖然在1960代理論就已經預測棕矮星存在，卻直到1990年代中期，由於靈敏儀器的進展（尤其關鍵的是紅外偵測器，因為棕矮星的輻射多半集中在紅外波段）才由觀測確認，目前已經指認出上百顆棕矮星。

## 棕矮星選邊站

棕矮星乃是介於恆星與行星之間的天體，那麼它們彼此怎麼分別呢？從觀測上當然看不出來星體內部是否進行著核反應，或在進行哪一種（氫還是氘）核反應。不同質量的恆星其光度、大小、表面溫度都有很大差別，最冷的恆星其表面溫度下限約為3000~4000°C，否則在結構上，其內部就無法熱到足以熔合氫元素。對任一恆星來說，只要

內部在進行氫核反應，表面溫度就變化不大。但是棕矮星則可以一直變冷（暗），所以光度小於太陽萬分之一的星體應該就不是恆星。至於和行星的分野，棕矮星除了密度比較大以外，也放出比較強的紅外與X射線輻射。棕矮星和恆星一樣，周圍也可能有扁平的雲氣結構，其中也可能形成行星。

我們對於恆星與行星有了不少認識，因為太陽系裡這兩種天體都有，能夠就近研究。對於棕矮星的探究，則無論是地面大型望遠鏡、太空中的先進紅外與X射線儀器，或是理論的發展，近年來皆蓬勃發展。然而正如很多事情，認識越深反而問題越多，恆星、棕矮星與行星並沒有明顯的分界線，正如彗星、小行星與行星也越來越難以分別。國內中央大學天文所教授江瑛貴對於棕矮星的形成理論有獨到研究；我的研究群也著手探討棕矮星的光度變化，並利用紅外相機在年輕星團中搜尋棕矮星；台灣加入夏威夷大學的「泛星計畫」(Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System, Pan-STARRS)，對於發現棕矮星、監測它們的光度變化，以及在太空中的運動，都可以提供珍貴資料。尤其江瑛貴正籌劃在2007年舉辦有關棕矮星的國際研討會，可以預期，未來兩、三年內我們也將加入「認識越深，問題越多」的行列！

陳文屏 中央大學天文所教授