



有關白矮星的種種

● 傅俊結*

宇宙中有一種很特殊的天體，稱為白矮星，它的特殊性就是密度非常非常的大，質量跟太陽差不多，但是大小卻跟地球類似。在這樣的星球上，人類站上去可能都扁平了，這篇短文我們就要簡單的介紹有關這個星球的種種。

白矮星是宇宙中一種極為緻密的天體，它們是中等質量恆星（如太陽）演化到生命末期的產物。白矮星的質量與太陽相當，但其體積卻與地球相近，因此密度極高。白矮星的形成過程涉及恆星演化、核反應、以及物質的量子力學行為，是天文學和物理學研究的重要課題之一。我們將從白矮星的形成、結構、特性、以及它們在宇宙中的角色等方面進行探討，並介紹一些與白矮星相關的觀測和理論研究。白矮星是如何形成的呢？白矮星的形成與恆星的生命週期密切相關。恆星的生命週期取決於其初始質量。對於質量在 0.5 到 8 倍太陽質量之間的恆星，它們在生命末期會經歷以下幾個階段：

1. ****主序星階段****：恆星通過核聚變將氫轉化為氦，釋放出能量。這是恆星生命中最長的階段，我們的太陽目前正處於這一階段。
2. ****紅巨星階段****：當核心的氫耗盡後，恆星外層膨脹，核心收縮並開始將氦聚變為碳和氧。此時恆星的體積顯著增大，表面溫度降低，呈現紅色。
3. ****行星狀星雲階段****：恆星的外層物質被拋射到太空中，形成行星狀星雲。
4. ****白矮星階段****：恆星的核心收縮，形成一顆緻密的白矮星，外層物質逐漸冷

* 傅俊結，南臺科技大學電子工程系副教授

卻並消散。

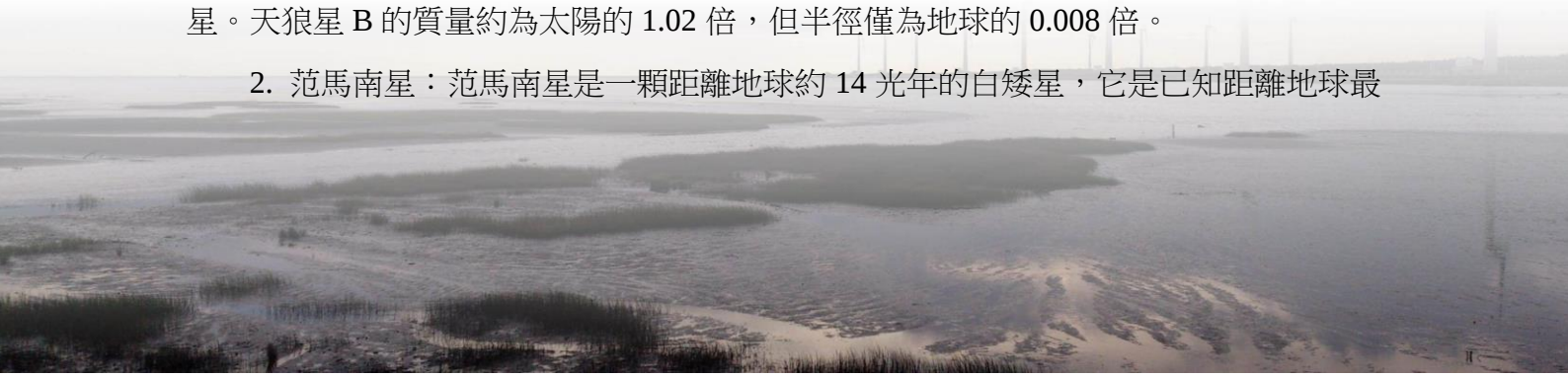
當恆星的核心無法再進行核聚變時，核心的熱壓力無法抵抗引力，導致核心收縮。然而，由於量子力學中的電子簡併壓力，白矮星的核心不會無限收縮。電子簡併壓力是由於電子遵循泡利不相容原理，無法被壓縮到同一量子態，從而產生的壓力。這種壓力足以抵抗引力，使白矮星保持穩定。白矮星的核心主要由碳和氧組成，這是恆星在紅巨星階段通過氦核聚變產生的。白矮星的質量通常小於 1.4 倍太陽質量，這一上限被稱為錢德拉塞卡極限。如果白矮星的質量超過這一極限，電子簡併壓力將無法抵抗引力，導致進一步的坍縮，可能形成中子星或黑洞。

白矮星的結構相對簡單，主要由以下幾部分組成：

1. ****核心****：白矮星的核心由碳和氧組成，處於高度壓縮的狀態。由於電子簡併壓力，核心的密度極高，約為一百萬到十億克/立方厘米。
2. ****外層****：白矮星的外層由氦和氫組成，這些元素來自於恆星演化過程中未被拋射的物質。外層的密度較低，溫度也相對較低。白矮星的主要特性如下：
 1. ****高密度****：白矮星的密度極高，一茶匙的白矮星物質重量可達數噸。
 2. ****高表面溫度****：白矮星的表面溫度通常在一萬到十萬絕對溫度之間，因此它們呈現出白色或藍白色。
 3. ****低光度****：儘管表面溫度高，但由於體積小，白矮星的光度相對較低。它們的光度主要來自於殘餘的熱能輻射。
 4. ****緩慢冷卻****：白矮星沒有核聚變反應，因此它們會逐漸冷卻，最終成為****黑矮星****。然而，由於冷卻過程極為緩慢，目前宇宙中尚未觀測到黑矮星。

對白矮星的觀測主要依賴於光譜分析和光度測量。由於白矮星的表面溫度高，它們的光譜通常呈現出強烈的連續譜線，並且由於重力紅位移，光譜線會向紅端偏移。此外，白矮星的光度變化也可以用來研究其內部結構和冷卻過程。我們可以觀測到的白矮星，主要有下列兩個

1. **天狼星 B**：天狼星 B 是已知最著名的白矮星之一，它是天狼星雙星系統中的伴星。天狼星 B 的質量約為太陽的 1.02 倍，但半徑僅為地球的 0.008 倍。
2. **范馬南星**：范馬南星是一顆距離地球約 14 光年的白矮星，它是已知距離地球最





近的白矮星之一。

白矮星在人類宇宙學的研究中扮演著重要角色。由於白矮星的冷卻速率可以通過理論模型精確計算，因此它們可以用作宇宙時鐘，幫助天文學家估算星系的年齡。此外，白矮星也是**Ia 型超新星**的前身星，這類超新星被用作測量宇宙膨脹的標準燭光。

白矮星在形成後會逐漸冷卻，最終成為黑矮星。然而，由於冷卻過程極為緩慢，目前宇宙中尚未觀測到黑矮星。根據理論估算，白矮星冷卻到黑矮星所需的時間遠超過當前宇宙的年齡（約 138 億年），在某些情況下，白矮星可能會經歷爆發事件。如果白矮星處於雙星系統中，並且從伴星吸積物質，當其質量接近錢德拉塞卡極限時，可能會引發 Ia 型超新星爆發。這類超新星爆發釋放出巨大的能量，並且由於其光度的一致性，被廣泛用於宇宙學研究。

最後我們簡單做個結論。白矮星作為中等質量恆星演化的最終產物，是宇宙中極為重要的天體。它們的高密度、高表面溫度和緩慢的冷卻過程，使得白矮星成為天文學和物理學研究的寶貴對象。通過對白矮星的觀測和理論研究，我們不僅能夠更好地理解恆星的演化過程，還能夠利用它們來探索宇宙的年齡和結構。未來，隨著觀測技術的不斷進步，天文學家將能夠更深入地研究白矮星的內部結構、冷卻機制以及它們在宇宙中的角色。白矮星的研究將繼續為我們揭示宇宙的奧秘提供重要的線索。



