

天文物理學

鄧海屏

無限電波原是廿年前所發現的，但那時它們的性質仍不清楚，氫的超精密結構21厘米線已經預測了，可是還未曾觀察出來，星球和星團的演進理論仍很粗陋：元素的起因是一個謎，宇宙線的特性也很模糊。

時至今日，無限電、X射線和宇宙線的研究顯示出一個完全的，新的宇宙外貌，其中高能質點和磁場實具有基本的地位。藉着21厘米線的幫助，我們銀河系的地圖已經繪製出來，重要的星球演進現象至少半性質性的了解了，星球中元素的形成過程也解釋成功，以下讓我們看一看過去廿年發展中天文上的進步。

星球的演進：星球結構最基本的研究形式是有關靜態、球狀、大團氣體的分析，這樣一塊物質的穩定是依賴兩個條件—星體任何部分所受的力必須平衡；整體向外流出的熱能必須由內部產生的能量補足。第一個條件產生了壓力梯度及星球重力的關係式，第二個條件連繫着熱流，它是氣體內部各物理量的複雜函數，其輻射速率和星體內部核子反應的速率有關。由於過去廿年來在低能核子物理學上的進步，現在這些輻射速率都可精確的計算出來了，藉着快速計算機的幫助，不同質量成分的星球，其結構已能高度準確的決定，模型中剩下的未定部分，則大都因緣於我們對星球不透明物質知識的缺乏，然而對真實的星體而言，轉動和磁場所產生的效應可能更為重要。

核心創生 (Nucleogenesis)：在誕生之初，星球中所含的大部分是氫，其內部的核反應使氫變為氦，當一顆星用完了它可資熔合的氫，因其內部很熱，它將會繼續輻射能量，所以其總能量將會變為更負的值，根據維里 (virial) 定理 (用在理想氣體準靜狀態)，重力位能 E_g 等於動能 (熱) E_{th} 兩倍的負值，所以總能量 $E = E_g + E_{th} = \frac{1}{2} E_g = -E_{th}$ 。嚴格的處理這定理只能應用在靜止的形態，但對大部分準靜改變的情形它可以得到很佳的近似值。當星球損失了輻射能而無法以核子能補足時，則星球將會收縮，以增大 E_g 值，同時 E_{th} 變大，即溫度增高使得次一核子反應產生，故氫燃盡後

氫將燃燒成碳，之後再熔合成更重的元素。

終止：有兩種情況會使星球的演進停止；對質量不太大於太陽的星球，其物理情形使電子開始退化 (degenerate) 此時壓力主要隨退化電子而變，而不再和溫度有關，因為有了這種情形，星體輻射後得不到壓縮的補償將會變冷，這冷化使得退化物體佔了全部星球最後狀態中很大的比例，它們即普遍觀察到的白矮星，其密度大於 10^6g/cm^3 。較大的星體不會產生退化的情形，故而熱核反應繼續進行直到元素熔合成鐵及其附近的元素，並達到非常高的溫度，因為鐵是元素中單位核粒結合能最大的元素，所以此刻熱核子反應不能再進行，但事實上溫度再大鐵將破碎，這個反應以及微中子的作用將使得溫度同時也是熱能達到極限值，然而能量依舊輻射，星球繼續收縮，重力位能不斷增加的結果將使維里定理不再成立—星球將會崩潰，過去十年來有許多推論認為這種崩潰就是超新星的爆炸，剩餘的星體是一個中子星球，其密度約為核子的密度，但觀察上的證據直到目前仍幾乎完全缺乏。

收縮：我們已經明白星球在用盡其核心的氫後一定會收縮，詳細的研究顯示真正的情況更為複雜，核心收縮而相對稀薄的覆蓋部分膨脹，如此星球就變成所謂的紅巨星，紅巨星的包裹部分是相當稀鬆的連續着，很小的擾動就足以使其中一部分脫離星球，如此的質量損失已由分光儀對許多紅巨星光譜的分析上證實了，更巨大的質量損失則可由超新星得到。質量損失的重要性是它們使重元素重新進入星際天空，所以星際氣體中的重元素是長期在增加中，我們因此預期新近形成的星球將會比老星球具有更多的重元素，這是過去廿年來觀測上驚人的發現，在銀河系中一些老星球大氣中所含的重元素約為新星球 (如太陽) 的數百分之一 (以氫作基準)。

許多問題仍留下來需要解決，各種特殊類型的星—最令人注目帶有磁場的A型星，顯示非常奇特的分配，其稀土族的元素 (以鐵為標準) 約為太陽之一千倍，光譜中冬青色線條特別多，這些現象的明白須對核子物理及星球結構更進一步的研究。

無限電及 X 射線源：兩種主要的無限電源是超新星的剩餘體及無限電星團，第一個被認出的剩餘體大約在廿年前，命名作蟹狀星雲，它是迅速膨脹的星雲體，起源於我國於一〇五四年史載的超新星爆炸而成，其無限電輻射為線性極化的，它的始源是一個神秘，直到在同步加速中觀察相對運動電子的輻射才辨認出來，磁場強度為 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 高斯，輻射電子的能量為 0.1~1 兆伏，最早被觀察到的 X 射線也是來自蟹狀星雲，最初的推論均集中於認為 X 射線是由超新星所遺留的熱中子星體所輻射的，但是之後發現 X 射線源廣泛分布在空間除去了這種可能性，另兩種輻射機構被建議過：由同步加速器中高能電子或高速氣體突然減速的結果。一個令人信服的結論必須等待射線極化測量之後。在任何一種輻射過程中，需要能原補足輻射和熱膨脹的損失，對一個大量輻射無限電波的星雲而言，其功率約為 10^{44} ergs/sec. 輻射體積大小橫跨一億光年，星球年代至少超過 10^5 年，其總輸出功為 10^{58} 爾格，又因產生輻射的相對運動電子能量僅部分輻射，故相對質點在無限電星雲中的能量約高達 10^{60} 爾格或更多，相當 10^5 個太陽的靜止質量，如此大的能

量其來源及轉變為相對質點的途徑仍是未知，但是由一些無限電星團觀察出大部分能量是產生於星團的中心。

去年（一九六七）曾由無限電星團 M87 發現到射線，如此表示無限電源和 X 射線乃是同一物理現象的外觀，目前 X 射線探測器的靈敏性和分析能力大約等於廿年前的無限電天文儀器，不久的將來可期望它有很大的進步。大約五年前宇宙中又發現了似星體（Quasistellar Object）的存在，這種非常藍的星狀物體有時伴隨着小角徑的無限電波，由似星體的光譜分析上顯示星雲輻射線有很大的紅位移，同時在某些情況下也吸收該子的光譜線，一些研究者相信這是宇宙膨脹的現象，所以指出似星體是遙遠的、超亮的、高度壓縮的無限電星雲，其他對紅位移仍有種種不同的解釋，然而不論如何理論上的關鍵在於任何一種輻射情況下，單位體積所釋出的能量是相當大的，研究這些問題將可能帶給我們宇宙中基本的新事物。其他可資觀覽性的進步中，我們僅僅提及的是星團螺旋結構的理論，星團結構和演進上的新發展以及均等性瀰漫宇宙輻射場的發現。

原 子 分 子 及 電 子

胡 耀 文

你可知道二十年前原子、分子及電子物理的情形嗎？當時氫原子的精密能階仍根據 Dirac 理論導得不亦樂乎而找不出有決定性的反證；當時連最簡單的分子如氮、一氧化碳的解離能尚屬未知；當時你能把有一電子伏特能量誤差的電子束稱為「單一能量束」“monoenergetic beam”，而仍得到聽眾讚同的微笑。

各方面估計顯示原子、分子、電子物理屬於近代物理中最古老的研究範圍一已經有了極迅速的發展，一九六五年有個研究小組估計在美國對這方面科學家（原子、分子物理及量子電子學）的訓練於三年內增加了一倍。國際的發展速率目前為每三年半倍增一次。「物理學摘要」„physics abstracts”在它每年一次的目錄中，列了將近二百六十篇有關原子、分子物理的論文（一九四七年），這數字約佔該年全部論文的百分之七，在一九六七年約有三千七百八十篇這方面的論文佔全部的百分之十。

「我們所不知的」：

二十年前我們知道如何寫出原子系統的漢密頓式 Hamiltonian 但僅限於「有心場」“Central field”或者是「類氫原子」的近似法。我們知道負離子的存在，却只知氫原子的束縛能。在一九三〇年左右利用光譜在「精密結構」hyperfine structure 方面的研究已經展開，但有關「分子束」，「微波腔」“microwave cavity”及「雙共振」“Double resonance”的技巧才剛發展，天文學家對於原子物理在天文學上所將產生的極大影響尚未認清，兩年後 Martin Karplus 及 Norman Kroll 在量子電力學中計算至第四級的修正項，又是若干年後經由 H. Richard Crane 和其同僚們傑出的研究使得理論及實驗有令人滿意的配合。

電子顯微術於當時已是一門迅速發展的知識，但對電子的干涉，繞射現象的充分重視這只不過是