

從地球千米波輻射到太陽大氣加熱

國家太空計畫室及國立成功大學物理系 李羅權

在理論天文和太空物理的研究領域中，經常有一些還無法解釋的觀測現象，以及一些尚未解決的重大問題。在我的研究生涯中，比較喜歡去挑戰這些重大問題，我的重要的研究成果包括：自然界中強烈無線電波的發射理論、磁場重聯理論、日珥的形成理論與爆發機制、以及太陽大氣（日冕）加熱理論。其中太陽大氣的加熱理論為 1995 年回國後的工作成果。

一、地球千米波輻射(Terrestrial Kilometric Radiation)理論

在自然界中，包括太陽、木星、土星、天王星及地球，經常發生強烈的無線電波，其產生的機制一直是太空及天文界之謎。1979 年，我和吳京生教授提出電子迴旋輻射理論，解釋強烈無線電波的產生，包括地球千米波輻射、木星十米波輻射、以及土星、天王星的電波輻射。我們的理論得到許多實驗和理論學者的認同，並將這個理論應用到其他領域。這個理論指出，電子的速度分佈及其相對論效應對於電磁波的產生十分重要，低電子密度區容易產生無線電波，這些預測均得到許多衛星實驗數據的證實。我們發表有關這個理論的幾篇文章已被引用六百次。

二、多重 X 線磁場重聯(Multiple X-line Reconnection)理論

在太空電漿體和實驗電漿中存在著許多爆發現象，在很短時間內釋出大量的能量，引起電漿的急劇變化。例如，太陽耀斑(solar flares)約在 $10^2 \sim 10^3$ 秒時間內釋放出 $10^{29} \sim 10^{33}$ 爾格能量。導致這些爆發現象的能源主要來自於磁場，磁場重聯提供了一種將磁能迅速轉化為電漿動能和熱能的有效機制。過去十多年來，我對二維及三維磁場的重聯，隨時間變化的重聯過程，及無碰撞電漿重聯中的有效電阻做了有系統的研究。

在 1978 年，ISEE 人造衛星於地球磁層頂觀測到磁通量傳輸事件(Flux Transfer Events)，這個觀測對磁場重聯的研究有非常關鍵性的影響。我在 1985 年提出了多重 X 線重聯(Multiple X-line Reconnection)理論，成功地解釋了磁通量傳輸事件的發生原因及各種觀測到的特性。我們發表有關這個理論的幾篇文章也被引用四百多次。

三、日珥(Solar Prominences)的形成理論

日珥是懸在太陽大氣中，密度高而溫度低的物質，日蝕時可以看到耳形的鮮豔紅色物質。日珥具有長條形而薄的結構，溫度只有 5000~8000 K，其密度大約 10^{11}cm^{-3} 。日珥懸在熱(10^6 K)而稀薄($10^8 \sim 10^9 \text{cm}^{-3}$)的太陽大氣中。日珥能懸在大氣中，主要是靠磁場的張力來托住它的重量，以前的日珥理論只限於靜態的平衡解。然而這些冷而重的物質(日珥)的形成，百年來一直是讓人迷惑的課題。

在 1992 年，我與我的研究生成功地提出一個動態的日珥形成理論，由此解開百年來日珥形成之謎。這篇文章得到一個國際性的最佳論文獎(Donald Billings Award)。之後我們也成功地研究日珥的爆發機制，並發表一系列文章在美國天文物理期刊。

四、太陽大氣（日冕）的加熱理論

太陽表面溫度為 6000K，但太陽大氣（日冕）的溫度約為 $3 \times 10^6 \text{K}$ 。由於太陽的重力不能把高溫的日冕(大氣)吸引住，導致高速太陽風的形成。日冕的加熱機制是個四十多年來尚未解決的問題。1998-1999 年間，SOHO 衛星觀測有新的發現：(1)在三個太陽半徑處， H^+ 離子的溫度約為 $3 \times 10^6 \text{K}$ ，而 O^{5+} 離子的溫度約為 $2 \times 10^8 \text{K}$ 。(2)離子溫度各向異性： O^{5+} 離子的垂直磁場溫度是其平行磁場溫度的 50 倍。(3)在

三個太陽半徑處， O^{5+} 離子的流速是 H^+ 離子流速的二倍。

在 2000 年，我和吳伯翰博士提出一個日冕加熱理論，由快磁聲震波(Fast Magnetosonic Shock)來加速質子及其他的少數離子(如 He^{++} ， O^{5+} 等)，快磁聲震波可由太陽表面的磁場重聯

產生。這個機制可以同時解釋 SOHO 的三種新觀測結果，也解決了日冕加熱的問題。

最後我要感謝國科會自然處、國家太空計畫室、成功大學物理系以及傑出人才發展基金會的支助與鼓勵，使我回國之後工作順利。