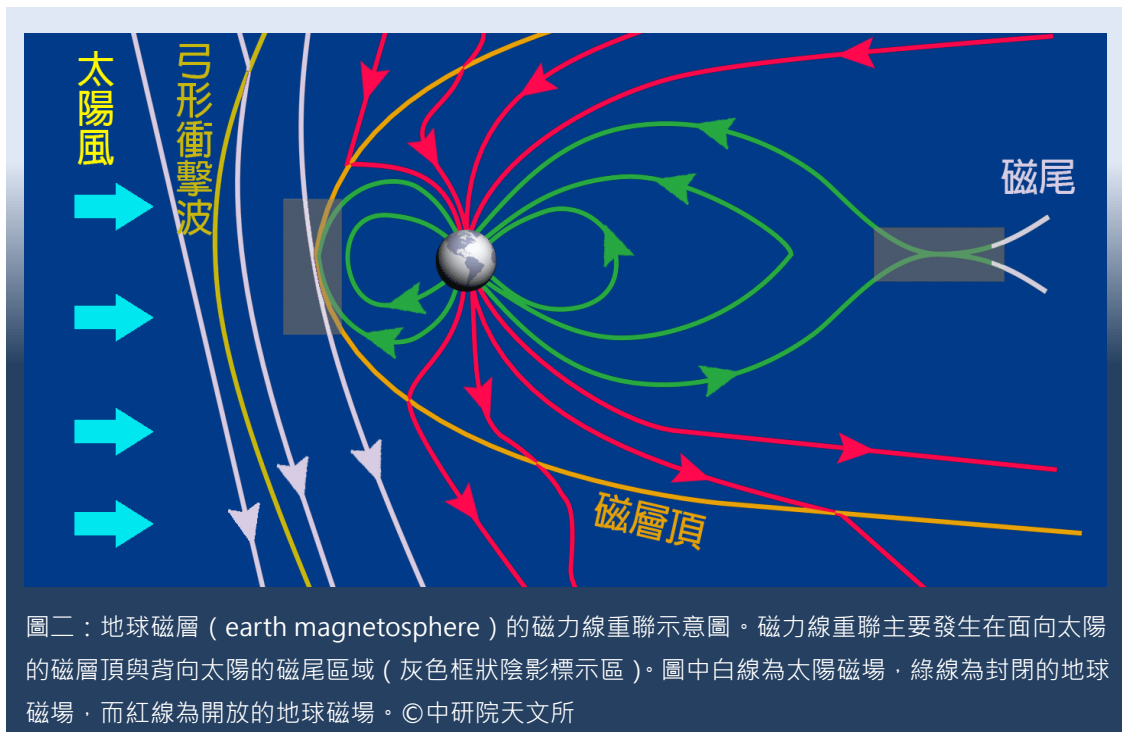
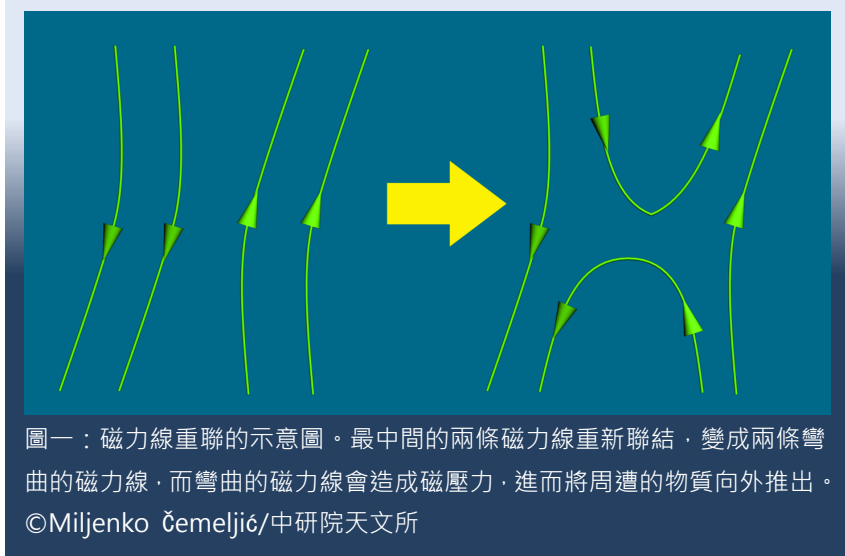


## 【宇宙的能量—磁力線重聯】

磁力線重聯 (magnetic reconnection) 是磁力線改變聯結方式的過程，其間磁場的能量會被轉換成動能或熱能，進而加熱或加速周圍的電漿。磁力線重聯被認為會發生在不同尺度的各種天體上，如今這個推測已經被觀測證實，而其作用所及範圍之廣，從太陽物理到宇宙學都得將之列入研究範疇。

磁力線重聯最早是在太陽閃焰中被觀測到，及至今日，其相關研究已擴及各領域：例如：恆星形成理論、原恆星的磁場產生及其與吸積盤交互作用的機制理論、中子星和黑洞、天體的熱能-物質-角動量傳輸、恆星形成理論中的紊流磁力線重聯、以及宇宙射線的加速等等。當磁場產生重聯現象時 (圖一)，被彎曲的磁力線就像

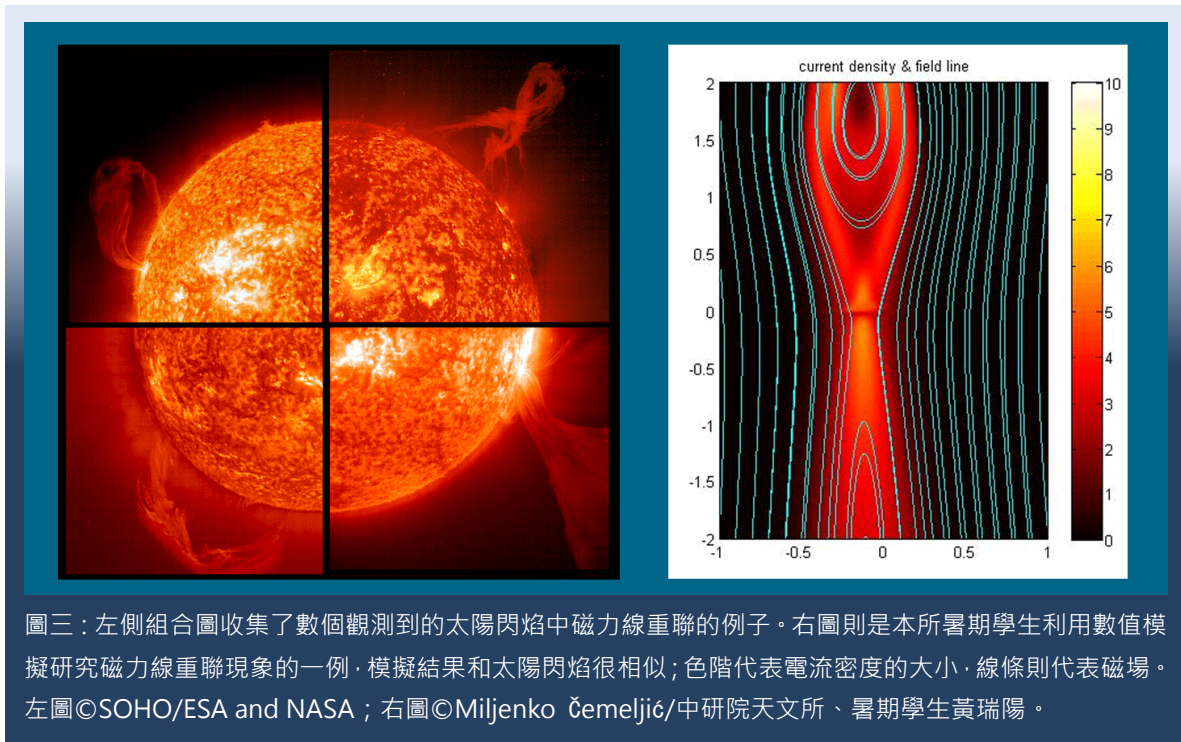
是拉長的橡皮筋一樣會產生 (磁) 張力，受磁力線影響的電漿物質因此被加速推開，其間，磁場的能量就被釋放出來了。



磁力線重聯現象可以在距離我們最近的地球大氣和太陽表面觀測到。和磁力線重聯有關的現象之一就是著名的「極光」：由太陽發出的帶電粒子，通過地球磁場與太陽磁場發生重

聯的區域，然後被地球磁場捕捉，朝地球南北兩磁極加速，撞擊高層大氣原子，產生極光（圖二）。此外，科學家也借助衛星希望精確測量磁力線重聯發生的時機及範圍。例如 2000 年由歐洲太空總署發射、直到 2014 年前仍會執行的 The Cluster 任務，其搭載了測量儀器的四組太空船可以測量電漿在地球周圍的立體空間分布，此任務負責測量向陽側的磁層頂（magnetopause）與背陽側的磁尾處（magnetotail）的磁場尺度。另一個在 2008 年 2 月所執行的 THEMIS 任務，則是由五顆組成衛星負責觀測地球磁氣層於高緯度短暫發生的磁層亞暴（magnetospheric substorms），其收集到的紀錄，證實了磁力線重聯是觸發地球電離層中極光強化的原因。

太陽表面最顯眼的磁力線重聯現象當屬閃焰。在磁迴路中，方向相反的磁場通量（magnetic flux）先是累積，然後再以巨大閃焰的形式釋放出來（圖三），此過程藉由磁力線重聯讓磁場能量直接轉換成動能與熱能。太陽閃焰的觀測結果間接證實了磁力線重聯的發生，卻為最早的磁力線重聯模型（1957 年由 P. Sweet 和 E. Parker 提出）帶來待解的難題。當時這個簡單模型所提到的重聯，是發生在兩組均勻分佈而方向不同磁場之間的一層薄電流層內；此雖然可以成功解釋磁力線重聯的發生，但後來實際觀測到的重聯速度，卻比這個模型所預測的要快得多。



在典型天文物理條件之下，此模型所預測的磁力線重聯速度過慢，而其中磁力線重聯的速度主要是取決於大尺度幾何構造。為此，科學家正在努力研究其他物理模型，想要解釋觀察到的快速磁力線重聯現象。主要修改途徑有兩類。第一類是修改微觀電阻率（microscopic resistivity）並引起較厚的電流層；第二類則是改變幾何構造，進而縮小特徵尺度，這類中最早的例子是 H. Petschek 於 1964 年所提出的快速磁力線重聯模型。

像磁力線重聯這種複雜的問題，無法用早期簡化的解析模型（analytical models）解釋。想要有所突破，必須藉由數值模擬，而且是三維數值模擬，才可能完整呈現整個問題的樣貌。經由三維數值模擬的計算，較能逼近觀測上預期的快速磁力線重聯。類似這樣的快速重聯

機制就可能解釋磁場擴散並從原恆星雲氣帶走磁場通量的現象，並解釋宇宙射線中所有或部分高速粒子的來源，因此備受矚目。

此外，我們也需要發展新的數值方法。目前的模擬程式碼有數值擴散性過強的問題，以致無法準確描述磁力線重聯的物理過程。本所的理论研究部門—高等理论天文物理研究中心（TIARA）正在致力發展最新的數值方法，希望突破現有程式碼的極限，以便能正確估計磁力線重聯的時間。

（作者/Miljenko Čemeljić；翻譯/王亮堯、劉君帆；審校/尚賢）



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，  
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。  
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。  
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。