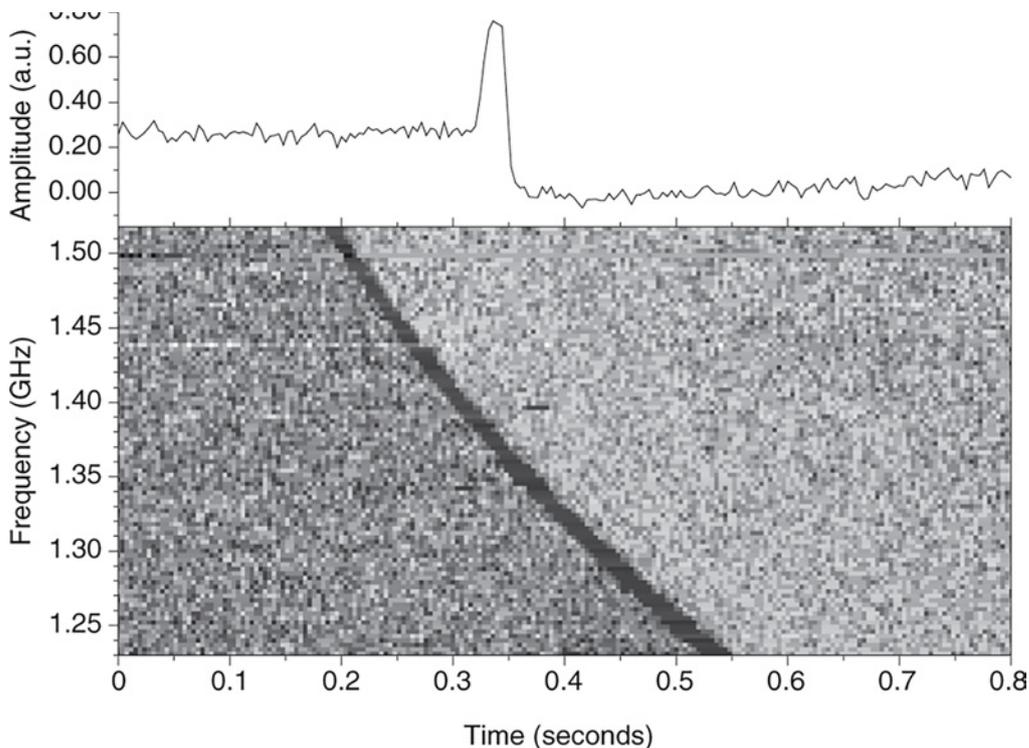


# 謎漾的快速電波爆發

快速電波爆發(Fast Radio Burst, 簡稱FRB), 是在無線電波段極其短暫的脈衝現象, 歷時僅百分之一秒, 非常難以捕捉。



圖一、洛里默團隊所發現的快速電波爆發FRB010724。上半部是電波脈衝，下半部則是在不同頻率，因為星際介質的折射，呈現不同的抵達時間。深黑色的線條即是FRB010724的短暫電波脈衝訊號。

來源：天文期刊《自然》。 <https://www.nature.com/articles/s41550-018-0607-9/figures/1>

**快**速電波爆發 (Fast Radio Burst, 簡稱FRB), 是在無線電波段極其短暫的脈衝現象, 歷時僅百分之一秒, 非常難以捕捉。一直到洛里默 (Duncan Lorimer) 所帶領的團隊在2007年有系統的爬梳澳洲帕克斯電波望遠鏡2001年觀測資料時, 才首次發現到在

2001年7月24日出現的快速電波爆發, 並以爆發日期命名為FRB010724 (見圖一)。

關於搜尋快速電波爆發, 最早可以回溯到1967年, 當時任職於劍橋大學卡文迪希實驗室的約瑟琳貝爾 (Jocelyn Bell Burnell), 使用電波望遠鏡觀

察到規律且週期極短 (約1.3秒) 的電波脈衝訊號--波霎。而經過多年的研究, 目前公認波霎來自快速旋轉的中子星。

受到波霎的啟發, 許多科學家紛紛提出在無線電可能偵測的天體現象。像是霍金提出的黑洞可能會蒸發, 馬丁黎斯

爵士便據此計算，推測蒸發的黑洞在無線電波段可能會發出短暫且明亮的電波脈衝。而史特靈高爾傑特 (Stirling Colgate) 也預測超新星爆發時會發出強烈且短暫的電波脈衝。

基於這些理論，天文學家紛紛使用電波望遠鏡搜尋這些訊號，可惜早期的電波望遠鏡觀測的範圍較小，加上資料處理耗費時間，因此未能如願。而這一切在新一代大視野的電波望遠鏡問世，加上電腦硬體以及資料搜尋演算法的進步下，逐漸變得不再那麼遙遠，終於在2007年讓天文學家們找到第一個快速電波爆發。

雖然在十年前就已經找到快速電波爆發了，而在這之間也陸續發現了約六十來個快速電波爆發，但是我們對於它們的本質還是知之甚少。不要說它們到底是什麼樣的天體發射出來的，我們連它們究竟是從哪裡來，是銀河系內呢，還是其他遙遠的星系傳來，都不甚確定。

這是因為我們手上握有的資訊，就僅限於那短暫的電波脈衝訊號。而電波望遠鏡也很難精準的定位，約有幾十角分的誤差。在這誤差範圍內，可以有多達數十個星系存在，所以也很難界定哪一個是快速電波爆發的宿主星系。

既然如此，天文學家們只能從那短暫的電波脈衝訊號著手了。電波望遠鏡觀測時可以同時接收不同的頻率（如圖一）。而

天文學家發現，快速電波爆發的訊號最先在高頻率接受到，而越低頻傳得越慢，造成電波脈衝訊號的時間延遲。這是因為在星際間的介質會影響不同頻率的折射率，就像是太陽光經過三稜鏡被色散成不同顏色（頻率）一樣。可以想見的是，經過的星際介質越多（也就是越遙遠），那麼電波脈衝訊號在不同頻率的時間延遲（或者說色散的程度）也就越強烈。這個概念可以用一個簡單的數學公式來表達：

$$DM = \int_0^d n_e dl$$

在這裡DM就是色散的強度，d是快速電波爆發從產生傳到地球上觀測者的距離， $n_e$ 是星際介質內的電子密度。這裡我們可以看到當距離d越大，也就是快速電波爆發離我們越遠，色散就越強。

另外一個決定色散強度的還有星際介質內的電子密度。一般來說星際介質在太空中是均勻分佈的，所以色散的強度主要還是取決於距離。藉由其他天體的觀測，我們可以估計星際介質中電子的平均密度是多少，因此從色散的強度，我們可以約略推算出快速電波爆發的距離，大致落在紅移值=0.1 – 1 之間。天文學家因此得以推斷快速電波爆發是來自銀河系以外的天體所造成的。

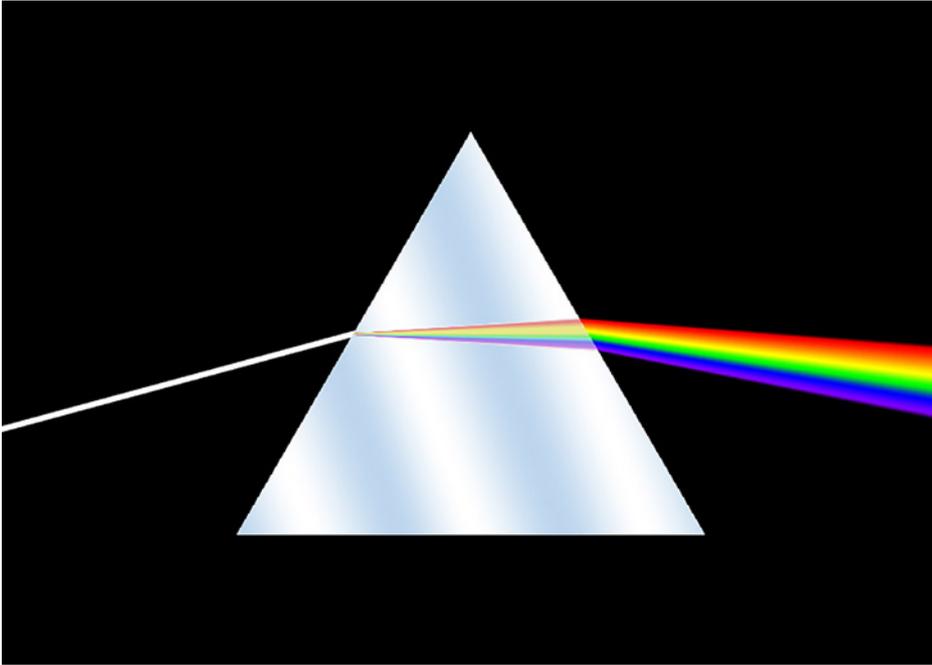
而在眾多的快速電波爆發中，有一個特別的FRB121102，是目前唯一知道會重複發生的電波爆發，雖然每一次爆發之間並

不規律。也因為它不斷的重複爆發，天文學家們得以精準的量測它的位置，達到小於一個角秒的誤差。再搭配大型可見光望遠鏡的深度追蹤觀測，最後由雙子星北望遠鏡捕捉到宿主星系，成功的定出它的距離在離地球紅移約  $z=0.19$ 。

而FRB121102不斷重複的電波爆發，也讓天文學家猜測或許電波爆發產生的機制有很多種。也許其他決不重複的電波爆發，是來自黑洞蒸發，或是超新星爆發等恆星演化末期的爆炸，那這種現象因為恆星爆炸消失了，所以決不可能重複。而FRB121102則是來自其他非星球爆炸的機制，所以才能一而再、再而三地重複。當然這一切都還有待後續的觀測才能驗證不同的電波爆發機制。

除了色散強度之外，另一個觀測可以直接告訴我們的資訊是偏振的程度。天文學家在觀測FRB121102時，發現它的電波脈衝有很強的偏振，這告訴我們電波的來源有很強的磁場，天文學家們因此得以推斷這個不斷重複的快速電波爆發FRB121102是來自中子星。

雖然我們對於FRB121102這個不斷重複的快速電波爆發有深入的了解，但是對其他一瞬即逝的快速電波爆發卻知之甚少。而其中最主要的原因就是定位不夠精準。也因此，天文學家們期待下一代的大型電波陣列計畫，希望透過電波陣列，來達到次角秒的精準定位。像是位於南非的狐



圖二，三稜鏡（不同介質）將白光色散成不同顏色（不同頻率）的光束。  
圖片來源：維基百科  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Dispersion\\_prism.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Dispersion_prism.jpg)

獾計畫（MeerKAT），便計劃使用64座13.5米的電波望遠鏡，來對單一次快速電波爆發事件進行小於一個角秒的精準定位。

除此之外，MeerKAT更搭配了可見光波段的即時觀測，透過MeerLICHT計畫（荷蘭文中

的「more light」）的一座65cm口徑可見光望遠鏡，可以即時拍攝2.7平方度的星場，完全覆蓋MeerKAT的電波搜尋範圍，同時提供可見光與電波兩個波段的觀測，非常適合研究像是快速電波爆發等瞬變天體現象的多波段性質，期望透過不同的波段，能

夠對快速電波爆發的本質有更進一步的了解。

李見修：現任美國國家光學天文臺助理科學家

### YouTube相關影片：



CHIME Fast Radio Bursts

<https://www.youtube.com/watch?v=TOvKxSQ-Etg>



Fast Radio Bursts: Mystery Solved?

<https://www.youtube.com/watch?v=hhX4zszNwew>