

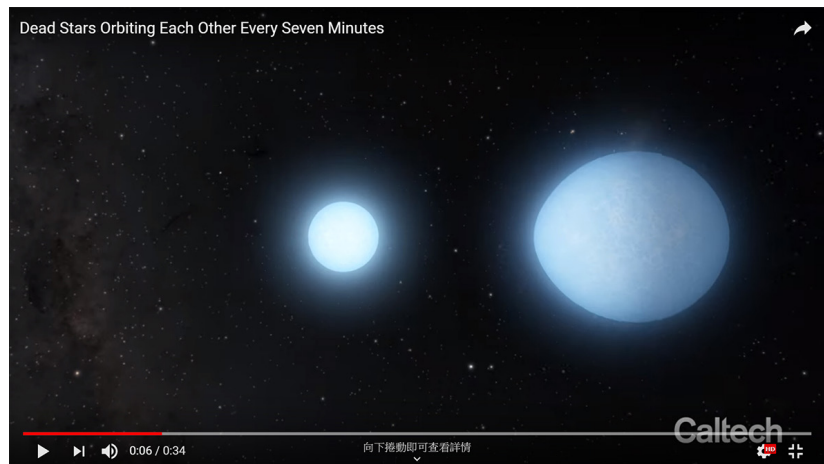
天文學家發現 最短週期的食雙星系統

最近，天文學家在**自然期刊**上揭露了週期不到七分鐘的食雙星系統（請參考網路天文館一天文新知：[發現週期最短的食白矮雙星，未來將是重力波探測目標](#)）。這個系統是由兩個互繞的白矮星所組成。它們的軌道距離非常的小，小到可以放進木星裡面。本文透過論文第一作者凱文·博齊的視野，帶著讀者們一探這個發現的幕後花絮。

緣起

茲威基巡天計畫（Zwicky Transient Facility, 簡稱ZTF, 中央大學、清華大學亦參與其中）是發現這個食白矮星非常重要的推手。雖然ZTF在去年三月中才開始執行，但是凱文（Kevin Burdge）早在那之前，就已經使用其他光學計畫的時域資料，來搜尋能釋放出可偵測重力波的天體候選者（以下稱重力波源），以供未來的重力波偵測計畫使用。

在過去，一般搜尋重力波源的方法，不外乎是透過光度資料來尋找爆發中的激變變星、或是透過測光所獲得的顏色佐以光譜驗證的方式來尋找極低質量的雙星系統。但是凱文另闢蹊徑，檢視大量的測光資料，透過週期性的變化，來篩選這些特別的食雙星。早在ZTF計畫開始之前，凱文就已經透過帕洛馬巡天計畫（Palomar Transient Factory, ZTF的前身），找到了一個雙白矮星系統，並證明這樣的方法確實可行。但是，這些測光資料來自數



Dead Stars Orbiting Each Other Every Seven Minutes

https://www.youtube.com/watch?time_continue=3&v=iZ0RqO4VCAk

年的觀測記錄，而凱文要搜尋的訊號週期僅有數分鐘之久，這背後的電腦計算時間曠日廢時。在經過一些嘗試之後，凱文發現與其使用電腦的中央處理器（CPU），繪圖晶片（GPU）更適合這樣大量運算的工作。相較於傳統的CPU計算，採用GPU的演算法可將搜尋的效率大大提升：本來凱文僅僅只能將演算法運用在數千個天體上，但現在能一口氣搜尋百萬個天體。

雖然ZTF早在去年三月中就

開始有資料進來，而且搜尋瞬變天體（像是搜尋超新星）的天文學家們，早就開始著手進行分析，但是凱文卻得耐心等待。這是因為要一直等到ZTF對同一個天體累積資料足夠多，至少超過五十筆以上的觀測資料，週期分析才有意義。不過凱文也沒有等很久，在去年六月六號，便有足夠的資料可供分析。話雖這麼說，這三個月的資料足足花了凱文兩天的時間才下載完，然後他便迫不及待地在六月八號星期五的晚上開始分析。感謝GPU

強大的運算能力，不到兩天資料就分析完了。在六月十號，一個星期天的早晨，凱文坐在電腦前看著一個又一個的分析結果，直到發現了一個非常奇怪的天體（如圖1）。凱文於是將這個發現寄給合作者，並在電子郵件附上以下的註解：『其實我還不能肯定這是什麼天體，但它的週期非常短，而且亮度跟我們預期的食白矮星非常接近。』

在此同時，凱文也提出觀測申請，使用最近剛完成的儀器 -- 位在基特峰兩米望遠鏡的電子倍增相機 -- 取得更詳細的高速測光影像。隔天早晨（六月十一號星期一），凱文收

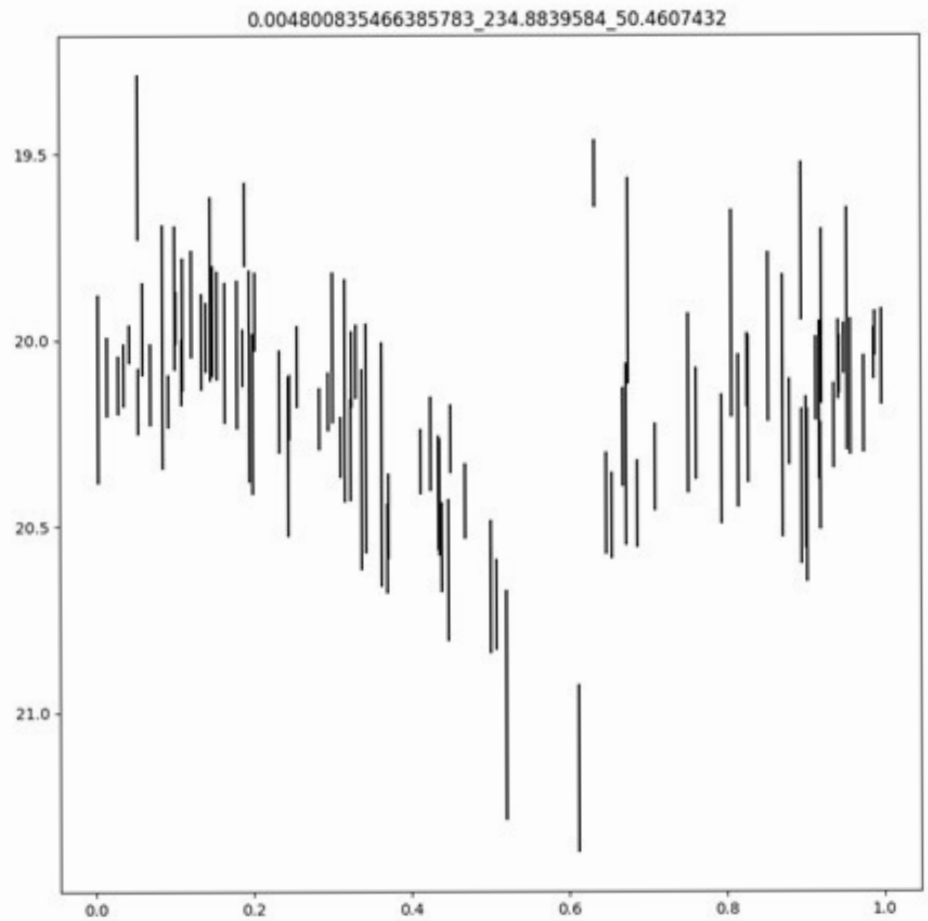


圖1、ZTF所觀測到的ZTF J1539+5027光變曲線。

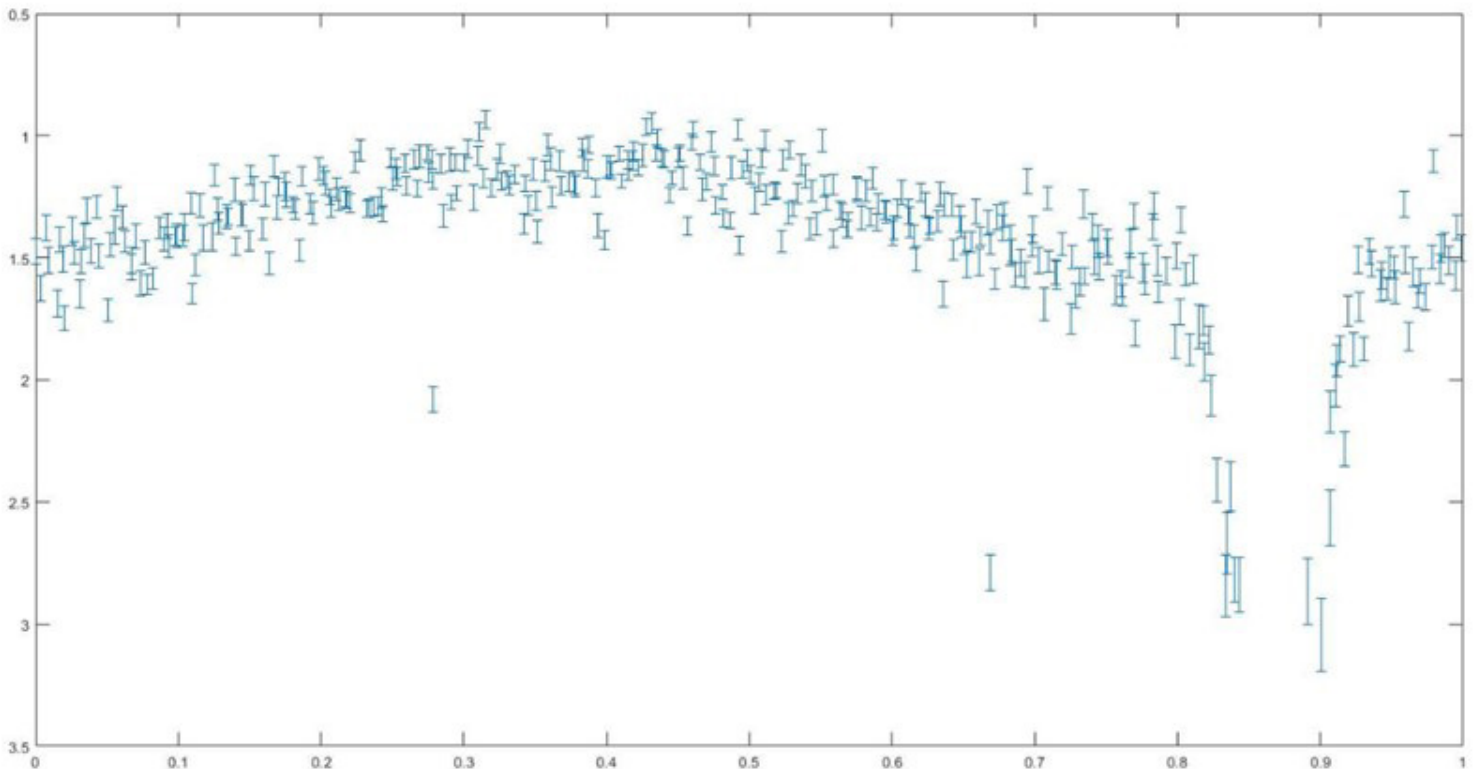


圖2、透過基特峰兩米望遠鏡的高速相機，所取得的ZTF J1539+5027詳細光變曲線。

到基特峰傳來的資料，初步分析完後，便得到如圖2的結果：

直到此刻，凱文才意識到這是個非常特別的天體。在圖二中，當光變曲線的相位介於0.8-0.9時，可以看到這個天體明顯的變暗。這是典型的食雙星特徵，也因此凱文確認這是一個食雙星無誤。而特別的是，它的週期僅僅只有6.91分鐘！這個發現的過程對凱文來說太不真實了。一方面，沒有人預期在ZTF的早期資料裡面能有如此重大的發現。另一方面，從資料下載到完成分析，以及後續觀測，整個過程僅僅花費不到一個禮拜！凱文也試著用基特峰望遠鏡的影像，製作了這個天體的影像動畫 (https://www.noao.edu/news/2019/img/KPED_animation.gif)。

待解的謎團

在揭露這個奇異食白矮星系統的同時，凱文及同事也發現了更多的謎團。首先，這個食雙星系統是由兩個不同的白矮星所組成。其中一個是較熱的碳氧白矮星，溫度高達50,000K。凱文等人推測這可能是因為這個白矮星剛從伴星吸積了物質，導致表面溫度上升，但這個假設仍有待證實。而他們也提出了哈伯望遠鏡觀測計畫，希望透過太空望遠鏡取得紫外線光譜，來獲得吸積的證據。

而這個系統中的另一個氮白矮星也同樣令人困惑。這個氮白矮星的溫度實在是太低了，低到光變曲線上幾乎看不到它的存在。但是在雙星系統中，這個氮

白矮星應該會受到重力潮汐的作用，而增加其表面溫度。凱文等人估計這個潮汐加熱的作用，將會使得氮白矮星達到約15,000K的溫度。但是這與光變曲線表現不符：光變曲線上幾乎看不到這個氮白矮星帶來的光度變化，暗示這顆白矮星的溫度遠低於15,000 K。也許這個系統能夠幫助我們更了解白矮星潮汐力的物理作用。

最後一個謎團，則是關於食白矮星的數量，以及像ZTF這樣的巡天計畫能偵測到多少個食白矮星系統。這對於食白矮星系統、雙星系統、白矮星本身的形成過程及演化理論至關重要。同時也能做為我們構思未來觀測計畫（無論是可見光巡天、或是重力波偵測器）的重要基礎。但是我們必須了解，ZTF J1539+5027是一個非常特殊的例子，尤其是兩顆白矮星的溫度差距非常大、讓光度變化非常明顯，也因此凱文設計的搜尋演算法能夠輕易地挑出這個週期性的光度變化訊號。但是其他（或者說一般的）食白矮星系統，光度變化就沒這麼明顯，而演算法也許就不能輕易的找到。也因此，凱文目前的演算法在挑選食白矮星系統上是有系統性的偏好，在反推食白矮星的數量時，就必須先修正演算法的選擇效應。但是當下確認的食白矮星系統數量非常少，因此現在也暫時無法修正這個選擇效應。

後記

ZTF J1539+5027的發現提供了一個契機，讓我們了解極短週期的雙星系統，但在此同時，也

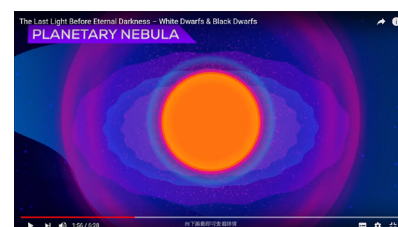
有更多未解的謎團，相信當我們把這些謎團一一解開的同時，也能學到更多關於雙星系統以及白矮星的物理。對凱文來說，最讓他興奮的，不止是發現這個非典型的雙星系統，更重要的是它有著非常不一樣的特徵，來挑戰我們現行的理論。放眼未來，有許多人僅僅將食白矮星當成測試LISA(雷射干涉太空天線)靈敏度的重力波源，但是凱文可不這麼認為。他表示：『光是一個ZTF J1539+5027就已經對我們現行的白矮星理論提出挑戰。當LISA升空時，將會發現千千萬萬個這樣的系統，不僅大大挑戰我們的理論，更能提供新的觀測證據，讓我們修正理論，對白矮星提供更深入的了解。』

資料來源：

BEHIND THE PAPER,
[Discovering the shortest orbital period eclipsing binary known](#)

李見修：美國國家光學天文臺
助理科學家

YouTube相關影片：



[The Last Light Before Eternal Darkness – White Dwarfs & Black Dwarfs](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=qsN1LglrX9s>