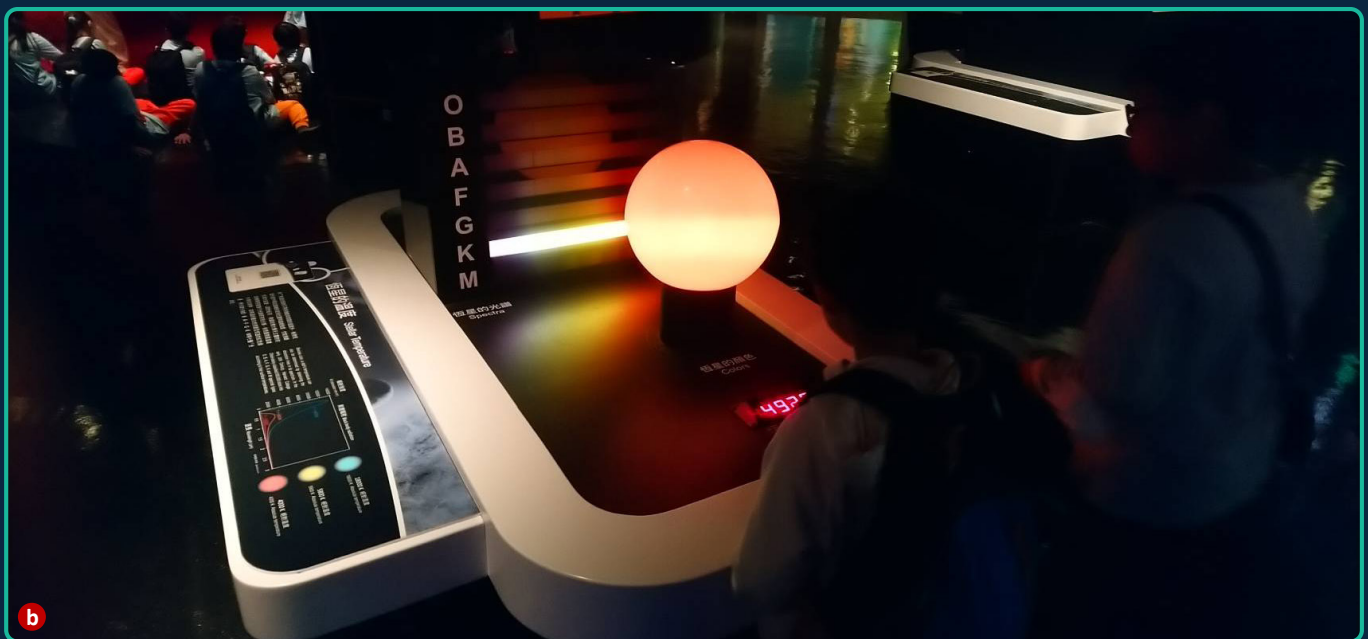


恆星光譜的秘密（下）

前篇光譜學的發展，讓天文學家不再只能「看」星星，更能「讀」星星。從一場預言準確的傳奇日食，到哈佛大學天文臺裡一群默默耕耘的女性研究者，她們如何從雜亂無章的光譜數據中，拼湊出恆星的秩序？而一位年輕女性的直覺，又是如何推翻當時的主流觀點，揭開恆星的組成真相？這段旅程的終點，將徹底翻轉我們對繁星的想像。

文／許晉翊



位於天文館二樓，介紹恆星光譜的展示品「恆星的溫度」，恆星表面溫度愈高，顏色就愈偏向白色、藍色，如圖 a。反之表面溫度愈低，顏色就愈偏向橘色、紅色，如圖 b。

太陽神的禮物 氦氣的預言

1868年8月18日，一場完美的日全食如期而至。這場日食最傳奇的地方在於，它的地點與時間是由暹羅國王拉瑪四世在兩年前就精確計算出來的，甚至比當時法國最頂尖的天文學家還要準確。拉瑪四世為了這場由暹羅皇室首次推動的科學觀測而染病過世，基於為科學的犧牲精神，天文學界後來將這一次日食定名為『暹羅王的日食』，泰國政府也追封他為泰國科學之父，如圖1。

正是在這場日食的觀測中，法國天文學家詹森與英國天文學家洛克耶，分別在印度與倫敦利用光譜儀對準了太陽，他們在光譜的黃色區塊中，發現了一條詭異的亮線。這條線的位置非常接近鈉，但卻不是鈉。洛克耶大膽斷言：這是一種地球上從未見過的新元素！他以希臘神話中的太陽神『赫利俄斯』（Helios）為它命名為Helium（氦），如圖2。

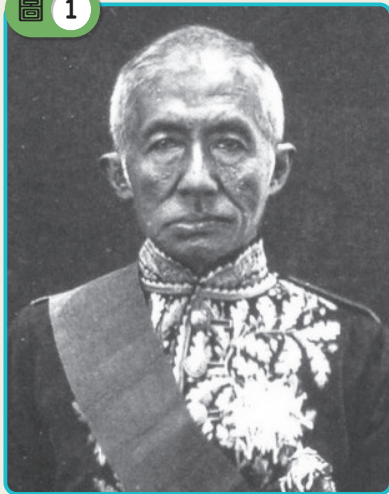
想像一下當時科學界的震驚：我們竟然在距離地球一億五千萬公里外的火球上，找到了一種當時認為在地球上不存在的物質。直到27年後的1895年，科學家才終於在地球的鈾礦石中找到了氦氣。氦的發現，證明了光譜學不只是化學工具，它更是一把開啓宇宙化學之門的鑰匙。它告訴我們：宇宙的組成法則在遠方與在腳下，竟然是完全一致的。

織星的女性 哈佛計算員與安妮·坎農

隨著攝影技術與光譜儀的結合，哈佛大學天文臺臺長愛德華·皮克林（Edward Pickering）收集了成千上萬張恆星光譜照片。然而，面對堆積如山的數據，他手下的男助手們卻進度緩慢，傳聞皮克林在一次憤怒中大喊：「我的家務女僕都做得比你們好！」

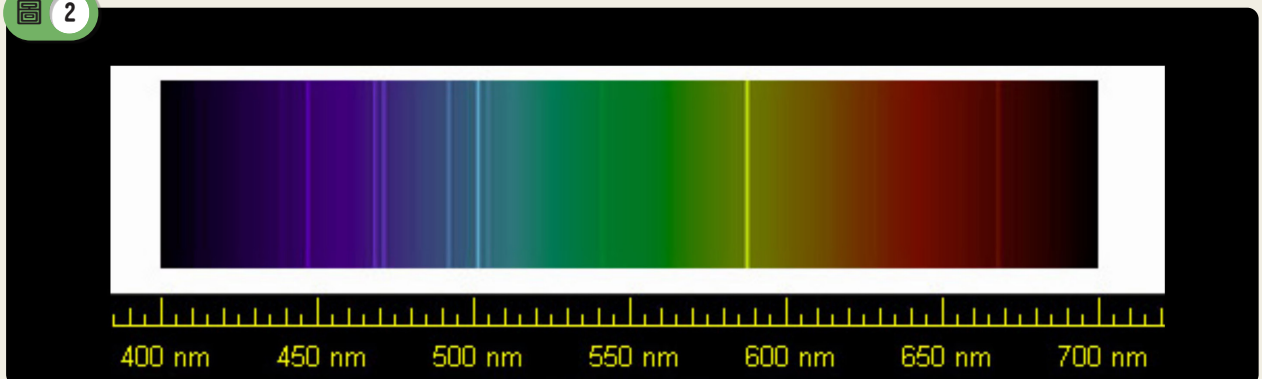
這不只是氣話，他真的雇用了他的女僕——威廉敏娜·佛萊明（Williamina Fleming）。佛萊明展現了驚人的天賦，她帶領著一群被稱為「哈佛計算員」的女性，開始了人類史上第一次大規模的恆星

圖 1



暹羅（泰國古名）國王拉瑪四世（1804～1868）。圖片來源：維基百科

圖 2



氦元素的發射譜線，可見發射強度最強一條譜線就落在黃色光區域。圖片來源：維基百科

分類。最初，她們採取最直覺的方法：依照光譜中「氫譜線」的強度，由強到弱排下去，簡單地給予A、B、C、D...的代號。然而，這套系統在數據增加後變得混亂。這時，故事的關鍵人物——安妮·坎農（Annie Jump Cannon）登場了，如圖3。

安妮·坎農患有嚴重的聽障，但這讓她更能專注於眼前的光譜。她憑藉敏銳的直覺，觀察譜線中電離氫與中性氫等元素的特徵，將混亂的代碼重新洗牌。這串看似無意義的字母序列OBAFGKM（由於沿用了舊分類代碼），後來才被證明決定光譜樣貌的關鍵因素是「溫度」。

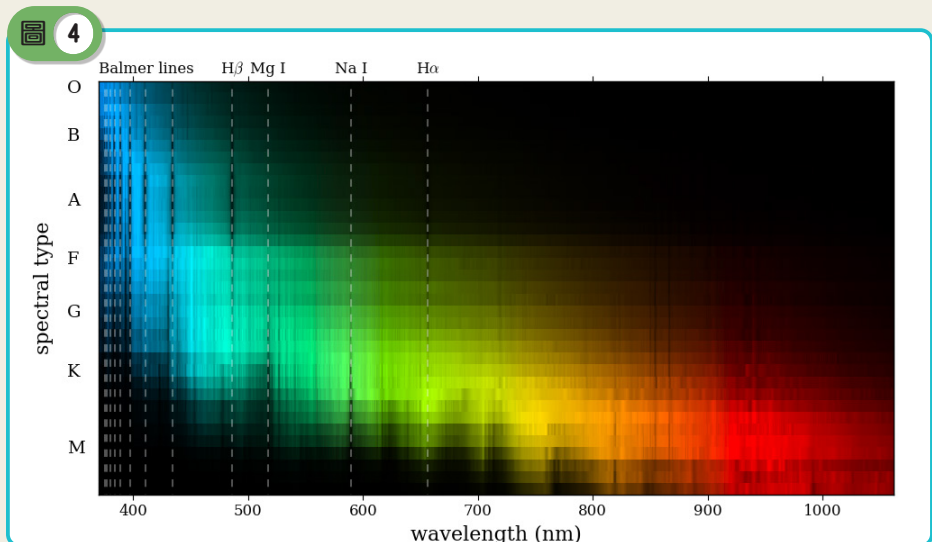
這串看似無意義的字母，代表了恆星從極熱（O

型，藍色）到極冷（M型，紅色）的序列。安妮的一生分類了超過35萬顆恆星，她被稱為「恆星分類的守護聖者」，這套分類法至今仍是天文學界的標準，如圖4。雖然科學家藉由光譜揭示恆星表面氣體的成分與狀態，直到20世紀初期，人們已可辨識恆星光譜中包含鐵、鈣、鈉等元素，但仍普遍認為恆星的化學組成應與地球類似，即主要為「鐵與其他金屬，氫與氦只是少量氣體」。

當安妮·坎農在哈佛天文臺的桌前專注觀測時，1923年，一位年輕的英國女性越過大西洋來到了這裡，她叫塞西莉亞·佩恩（Cecilia Payne），也將挖掘出那個足以動搖整個天文學界根基的秘密。



安妮·坎農在她的辦公室拍攝的照片。影像來源：Smithsonian Institution Archives



主序星假色光譜，圖中的每一橫列代表一種光譜類型，亮度對應於該波長下的光強度。由於可見光波段約落在380nm~750nm之間，因此圖中紅色部分代表的實際為紅外線波段。影像來源：維基百科

真理的堅持 塞西莉亞·佩恩

故事的最終章，屬於塞西莉亞·佩恩，如圖5，20世紀初的英國，女性即便在劍橋大學完成了所有學業，也無法獲得正式學位。為了追求科學真理，23歲的佩恩毅然橫越大西洋，來到了美國的哈佛大學，佩恩在那裡遇到了已經成名的安妮，兩人一見如故。安妮將自己累積數十年的光譜分類經驗傾囊相授，而佩恩則帶著當時最先進的原子物理學知識，準備在這些分類好的光譜中添加新的一筆。

1925年，25歲的佩恩發表了被譽為『天文學史上最卓越的博士論文』——《恆星大氣》。她運用了當時最新、最深奧的薩哈電離方程式，解開了困擾科學家已久的謎團：為什麼有些恆星光譜的線條那麼明顯？她得出了一個驚天動地的結論——**恆星幾乎完全是由氫和氦組成的**。

當時的天文學權威羅素看到論文後大為震驚，因為那時的人們相信恆星是由鐵、矽等重元素組成的，就像一顆燒紅的地球。在權威的壓力下，佩恩被迫在論文末尾寫下：『這個結論幾乎肯定是不真實的』(almost certainly not real)。

然而，真理是藏不住的。四年後，有其它的觀測證據證實她是正確的，羅素也大方承認了自己的錯誤，佩恩的發現讓我們明白，恆星不是遙遠的地球，而是宇宙中最原始、最純粹的氫氣熔爐。雖然她的學術之路充滿了性別歧視——她曾長期領著低薪、擔任沒有正式名分的教學工作。在女性主義高漲的1960年代，她的老師沙普利也積極為她開路，最終打破了天花板，成為哈佛大學文理學院史上第一位透過常規的晉升管道獲得正教授職位的女性，隨後更成為首位女性系主任。

今天，在我們天文館的圖書室裡，還收藏著她於1963年出版的教科書《恆星與星系演化》，如圖6。這不只是一本科學著作，更是

一位女性在寂靜的光譜中，對抗偏見、解鎖宇宙奧秘的生命見證。下次當你看著那七彩的光譜或彩虹時，請記得這群守望星空的女性科學家，是她們讓我們看懂了宇宙給我們的提示。

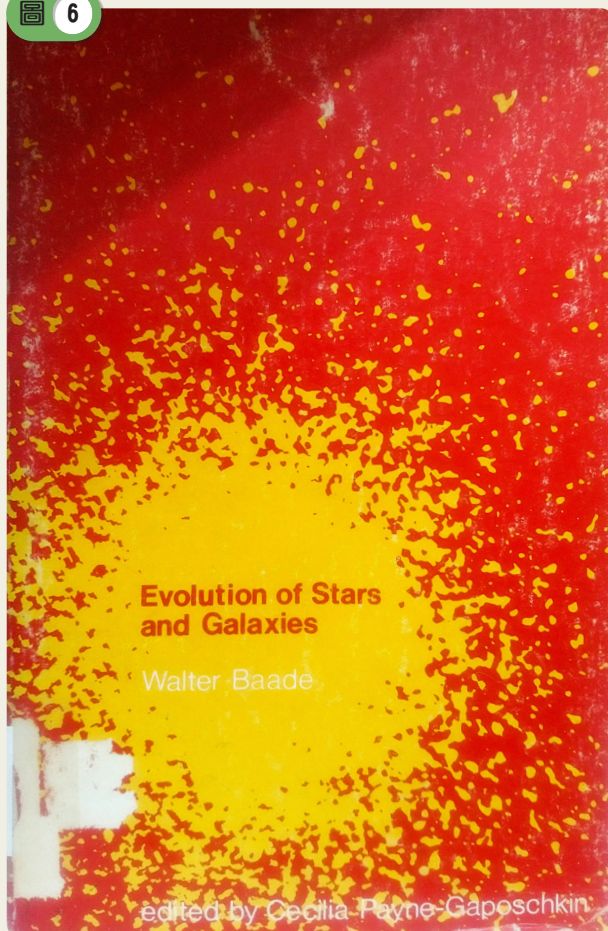
許晉翊：臺北市立天文科學教育館

圖 5



塞西莉亞·佩恩於哈佛大學天文臺拍攝的照片。影像來源：Smithsonian Institution Archives

圖 6



《恆星與星系演化》原文書