

哈佛天文台那些愛上星空的她

文／吳育雅

陽光耀眼的盛暑，在戶外的人群總是往樹蔭、花傘下鑽躲，非等到大雷雨洗滌過熾燙冒煙的大地，天邊露出了彩虹，才讓人仰起頭為那一抹淡淡的光彩流連，讚嘆著雨珠精巧打散的色光（圖 1）。想像一下比太陽遠了千萬倍、弱上萬億倍的星光，也會有這些紅橙黃綠藍紫的色譜，暗示著它的組成物質，甚至表態出它介於生老病死哪一階段，是否身旁有伴星牽引著互繞、也可讓哈伯找到宇宙膨脹的證據等等，透過恆星光譜來參透宇宙真的是可能的嗎？恆星光譜是中學生必須學習的主題，可惜在教學進度限制下，沒有機會了解天文學發展中鼓舞人心的故事，本文將簡要說明恆星光譜演進過程，尤其是幾位非凡的女性科學家的重要貢獻。



圖 1、雨後出現的虹霓
作者拍攝於新店攬秀樓

恆星光譜和組成元素

牛頓 1666 年發現用稜鏡能把陽光分散成彩色的光，1672 年發表的論文指出日光由很多種不同波長的色光組成，並將這些彩色光帶稱為「光譜」。相隔一百五十年後，當代最會研磨玻璃來製作望遠鏡的弗朗和斐 (J.von Fraunhofer, 1787-1826) 被要求接下一項挑戰，去測量他所製成的玻璃分光程度。在那時期並沒有太多有關玻璃的科學分析，玻璃製造在當時是藝術，還不是科學。弗朗和斐採用在玻璃前加上狹縫的裝置觀測各種光源，在分析太陽光時，發現太陽光譜裡有 574 條暗線，且總是在相同的位置，隔著特定的距離出現。經過多次的試驗他知道這些暗線並非裝置的問題，是太陽光的本質。他很仔細把比較明顯的線用字母標示編號，最顯著的是在黃光區域有兩條相鄰的暗線，編號為 D（圖 2），當時還沒有人可以解釋這些暗線是怎麼回事。

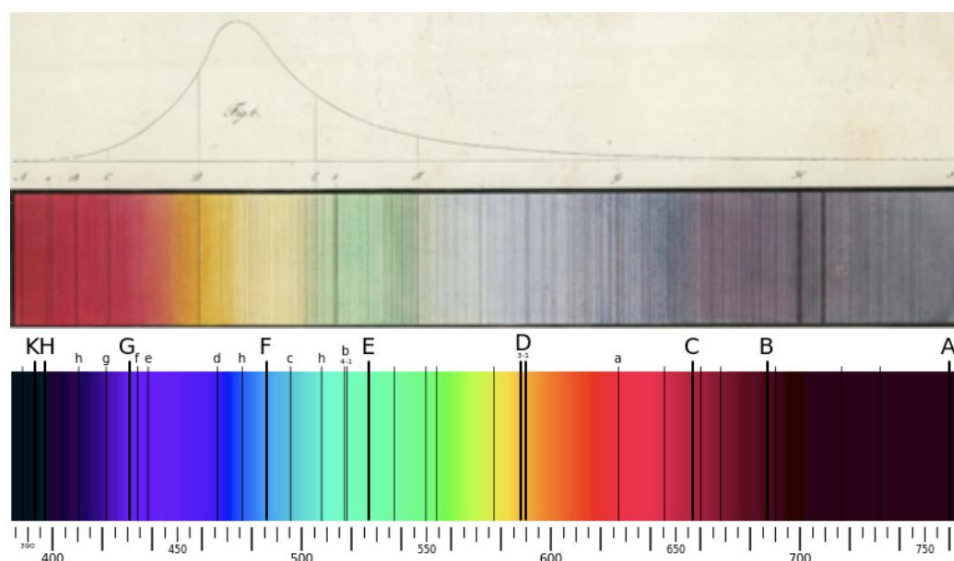


圖 2、弗朗和斐太陽光譜

又過了四十年，海德堡大學的本生 (R.W.Bunsen,1811-1899) 與赫希荷夫 (G.R.Kirchhoff,1824-1887)的實驗解開光譜中的一條條暗線分別與不同金屬元素有關，燃燒鈉金屬產生的蒸氣光譜線與太陽光譜 D 線出現的在相同的位置。終於，人們可以分析光譜暗線和哪些元素有關，也了解弗朗和斐的太陽光譜暗線是太陽大氣層的元素造成，不同元素會分別選擇吸取太陽光特定的波長，各種暗線的強度代表被不同元素吸取的程度，而可得出各種元素的多寡，現今我們由此得知太陽的組成比例，稱為太陽的元素豐度。

望遠鏡和星空攝影技術

在伽利略 1610 開始用望遠鏡觀測星空之後，越來越多行星、彗星、星座等等在望遠鏡觀測中發現，天文觀測者需將望遠鏡所見的影像，藉助徒手素描加上文字紀錄來分享資料。有了攝影技術就可促進天文觀測資料加速的累積，畢竟用目測描繪一區域的恆星，可能要花上數個星期甚至數月，但是曝光僅一小時獲得的照片，就比直接目測的恆星數量增加了許多。

熱衷於恆星攝影，並且應用光譜來拍攝星空的早期先驅是德雷伯家族，約翰威廉德雷伯 (John William Draper,1811-1882) 本身是勁頭十足的業餘天文學家，在 1840 年代乾版攝影術(Dry photographic plate)剛問世不久，他就是首先利用這新技術拍攝太陽光譜影像的人，他的觀察還提出弗朗和斐暗線並非保持彼此的距離，應是分別出現在特定的「波長」位置。

除了太陽，宇宙所有發光天體也可以透過光譜來分析組成元素，只是恆星相對既遠又暗，捕捉恆星光譜當然遠要比太陽更難，對於現代使用智慧手機隨時拍照的人，肯定很難想像恆星光譜攝影在初問世時，使用望遠鏡拍照有多繁瑣。直到 1872 年才成功拍攝到第一個恆星光譜影像，是由約翰威廉的兒子亨利德雷伯 (Henry Draper, 1837-1882) 獲得的織女星四條線光譜影像。亨利在家後院自己蓋天文台，這個家庭成員對天文興趣非常濃厚，他在結婚後的第二天，帶著太太一起去選購自製望遠鏡的玻璃，後來太太成了他最得力的助手，亨利德雷伯為了專心拍攝恆星光譜，甚至辭去了紐約大學的工作。德雷伯家對恆星光譜的熱情，成就了後來哈佛天文台對宇宙恆星分類偉大的貢獻。

哈佛天文台的 HD 星表

當亨利德雷伯 1882 年因肺炎辭世後，遺孀安娜德雷伯 (Anna Draper, 1838-1914) 在哈佛天文台建立亨利德雷伯紀念基金會，提供資金四十萬同時捐出亨利的望遠鏡給天文台。恆星名常見以 HD 為首，例如 HD 39801 即為獵戶座的參宿四。HD 即亨利德雷伯星表編號 (The Henry Draper Catalogue)，由哈佛天文台在 1890 年完成第一版 (圖 3)，最終在 1924 年共出版九卷，包含近 25 萬顆恆星的大量資料收藏，是世界上第一個收錄恆星光譜的大型星表。這項成就由皮克林 (Edward Charles Pickering, 1846-1919) 上任哈佛天文台台長之後達成。

皮克林 1877 年二月起擔任台長，任職長達 42 年。他十九歲在哈佛大學獲取物理學士學位，開始在麻省理工學院擔任物理教學與天文觀測，特別擅長於教導學生物理實驗。他知道用眼睛一直盯著望遠鏡的能耐有限，持續不了太久的時間。而攝影可以長時間曝光，人眼看不到的暗星，經過長期曝光就能累積足夠亮度呈現影像。

皮克林很早就注意到恆星光譜攝影的機會，在他接任台長時，各地天文台之間的競爭已經熱身，每一座望遠鏡都比先前更大、更好。哈佛天文台沒有新的望遠鏡，但他感受到當代對於天文觀測紀錄十分零散，相信哈佛唯有靠他們累積大量的觀測數據在天文學的聲譽，這是他對天文進展可提供的最大貢獻。他是天生的領導者，到處募款拓展天文台的觀測，除了爭取到德雷伯的捐贈，1888 年又爭取到柏伊登 (Uriah A. Boyden) 捐款，建了一座在秘魯的天文台以觀測南半球星空，使哈佛天文台能獲得全天空的恆星數據。從 19 世紀 80 年代到 20 世紀 40 年代，哈佛大學天文臺積累了 50 萬塊攝影玻璃板，重約 300 噸，儲存著數千萬顆恆星的影像。

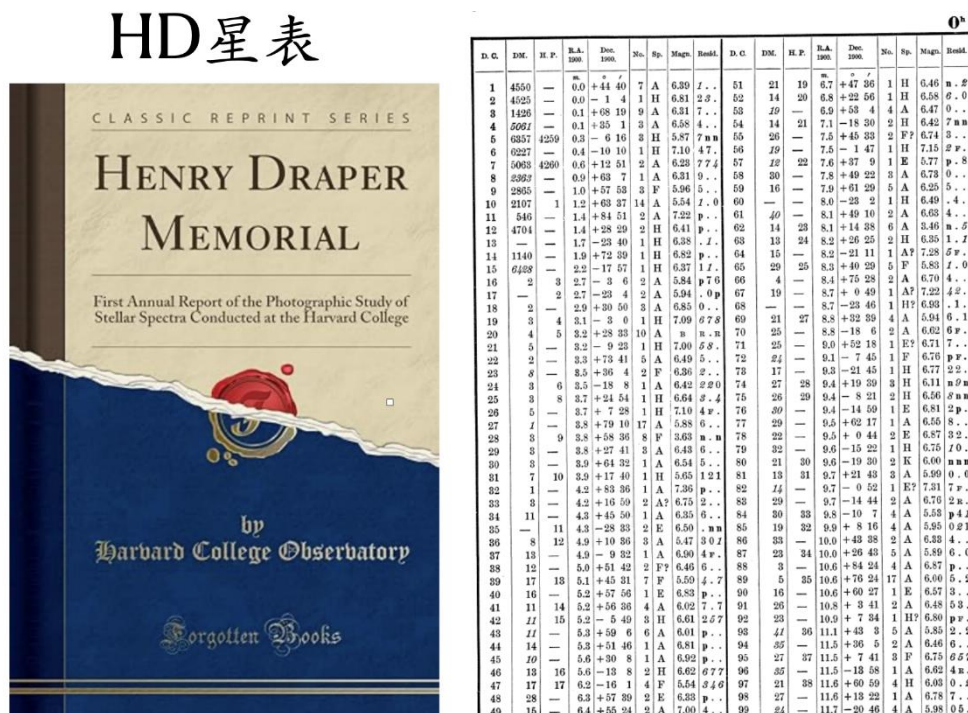


圖 3、哈佛天文台完成的亨利德雷伯 HD 星表

皮克林的願景在大量數據湧進來時，工作量遠超過他手下人員的分析計算能力。他懷疑這些笨手笨腳的助手能力不足，有一回他無法忍受助理又犯錯，怒言道：「讓我的蘇格蘭籍女僕來，可以做的比你好！」這位蘇格蘭女僕大家喊她蜜娜，是一位單親母親，在幫忙皮克林家務時，皮克林夫人就發現她有些特別之處，不僅受過良好教育，又十分聰明。果然蜜娜佛萊明證實皮克林所言，表現出乎意料地精彩傑出，她即為哈佛天文台恆星光譜影像檔案的奠基之母。

皮克林掌管哈佛天文台期間，先後雇用八十多位女性，她們每天的工作就是大量謄寫和計算，因而被稱為計算員（圖 4）。她們計算大氣折射和散射對影像亮度的影響，從每一張影像拍攝的日期、曝光時間長度、影像所佔的天空範圍、其中每一個星的座標、星等、光譜型等等，都小心翼翼嚴謹測量、再三檢查後登錄在表格內。這群女性開啟了哈佛天文台的歷史，從北方和南方天空的照片中，挖出了一座天文資料金礦，她們開發了至今仍在使用的恆星分類系統，對天文學做出了巨大貢獻。



圖 4、哈佛天文台計算員的工作情況。

左起第三位戴放大鏡：安東妮萊禮

中央站立者：蜜娜佛萊明

最右側：安妮卡儂

哈佛計算員 (Harvard computers)

一群愛上星空的女性天文學家

下文以五位在哈佛天文台的女性科學家為例，按她們進入哈佛天文台的前後，分述她們探究星空及天文發現的重大貢獻。

一、從女僕變成天文台影像主管：蜜娜佛萊明

蜜娜佛萊明(Williamina Fleming, 1857-1911)在蘇格蘭公立學校就讀時即是相當傑出的學生，14 歲時被指定為『學生教師』協助教導其他學生的數學、科學及語言，19 歲結婚，1878 年跟著丈夫橫渡大西洋抵達波士頓。幾個月後，挺著大肚子的佛萊明被她的先生遺棄了。為了生活費用和供養孩子，當代女性唯一的工作機會就是女僕。她的經歷不論在哪一時代都令人覺得是悲慘，但她的不幸卻轉變為意想不到的機會。

佛萊明沒有接受過任何天文學或光譜儀的知識，但她一直是認真的學習者，她很快學會如何掃描光譜攝影乾版，計算波長的技巧等。以她天生俱有的靈敏心智及明亮的眼力，她飛快地掌握了光譜差異的辨識竅門。為了讓所有恆星攝影圖版能被有效的讀取資料，她找出一種恆星光譜分類的方法，並且據以作為收藏保存的歸類。

乾版光譜影像是夠過望遠鏡收集光線再經由稜鏡將不同色光分離，產生的光譜影像

留在玻璃板上。當時在這些影像版上每一恆星只能得到一段僅僅數毫米寬的黑白光譜影像，放大仔細觀察才會發現其中有一條條深色線條，在光譜的灰色背景上看起來就像一個模糊的二維條碼（圖 5）。

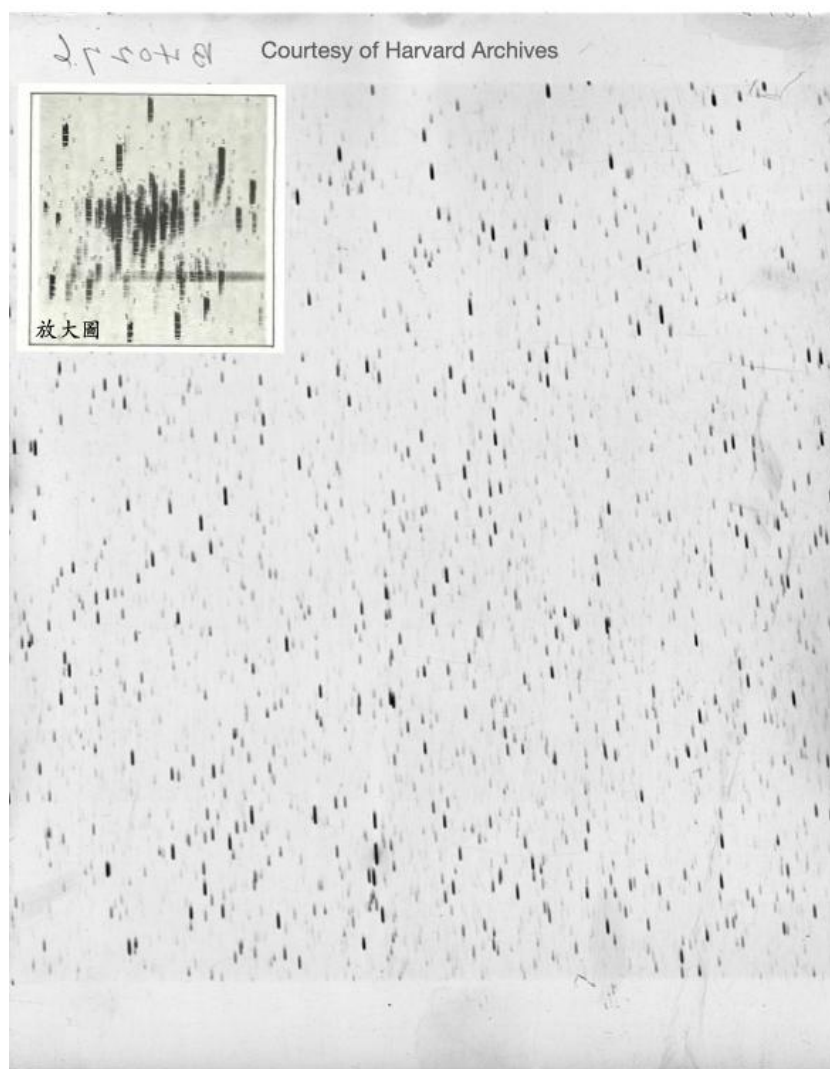


圖 5、玻璃板上的恆星光譜有如模糊的黑白二維條碼

佛萊明 1881 年正式成為哈佛天文台正式員工，她在天文台工作的前十年就已經分析出超過一萬個恆星的光譜，她的記錄整理成為 1890 年發表第一版的星表。她開發了一種根據光譜中氫吸收線的相對強度對它們進行分類的方法。例如，如果氫是光譜中最主要的元素，那麼她將恆星歸類為 A，再根據吸收暗線譜線出現的波段及氫的譜線強度，由 A 按字母排序到 Q 共分為 17 類，稱為皮克林-佛萊明光譜分類系統。

佛萊明不僅是有天份的天文學家，更有行政的才華。她擔任計算員團隊的主管，儘管過了十二年才獲得一個沒有加薪的頭銜：檔案管理主任。到 1911 年去世前終身都在哈佛天文台工作，在那段期間她前後培養了近 50 位年輕女性加入恆星光譜的計算分析。

每當哈佛天文台收到攝影圖版，佛萊明都立即仔細檢查，她負責編組天文台這群女孩，安排她們每天的工作，校對她們的計算結果，並檢查她們的表格謄寫資料。她是最早發現著名的馬頭星雲的人，是她注意到隱藏在那些汗漬玻璃攝影版中的 50 多個星雲之一。在 1897 年 6 月 18 日哈佛位於秘魯的南部站攝影版上發現了可能是有史以來第一個流星的光譜。1907 年她出版了她所發現的 222 個變星成果，1910 年則由天文攝影版首次發表白矮星的發現，她個人發現了 79 個恆星，10 個新星，59 個氣體星雲，94 個 WR 星（質量為太陽 8-25 倍的恆星），皇家天文學會因而推舉她是第一位美國女性天文學家。

二、改進光譜分類的高手：安東妮萊禮

安東妮萊禮(Antonia Maury, 1866-1952) 是亨利和安娜德雷伯的侄女，也是約翰威廉德雷伯的孫女，1887 年從瓦薩學院 (Vassar College) 獲得物理學、天文學和哲學榮譽學位後，她很高興能從事由她舅媽資助紀念舅舅的星表專案。她的首要任務之一是分析北斗七星中開陽 A (Mizar A) 的光譜。皮克林曾注意到開陽 A 的光譜線有時會分列成兩倍，安東妮萊禮追蹤幾個月的資料，證實開陽 A 不是一顆星，而是兩顆星。這是第一個被發現的“光譜雙星”：一對恆星，它們圍繞對方的軌道轉動。因為兩星相近到無法在視覺上區分，但透過檢查光譜卻能奇蹟般地分辨出來。萊禮計算了它們的軌道週期和速度，她很快就發現了隱藏在朦朧光譜中的這種雙星，為哈佛找到了一種觀察天體雙星的全新方法。

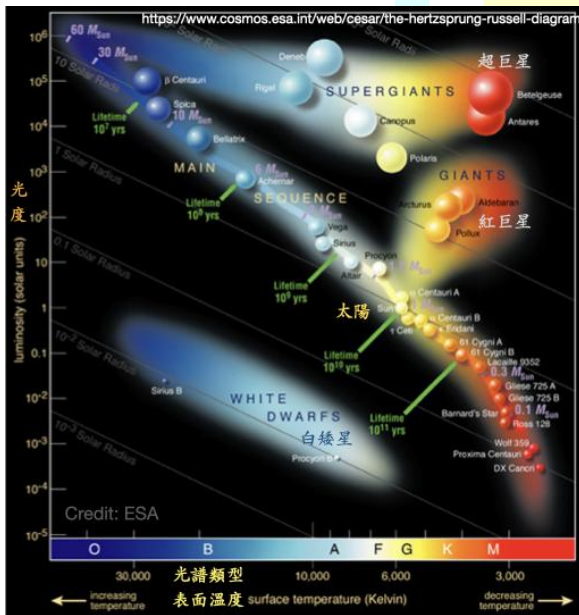
萊禮對光譜分類排序有很大貢獻，她認為皮克林-佛萊明光譜系統過於簡單，因為它沒有考慮到光譜線的寬度和清晰度的差異。她將其中 M 型按譜線的寬、窄、銳利或模糊重新分為三類，以 a, b, c 加上註腳。a 代表有較寬且清晰的譜線，b 強度(與 a)相當，但較為模糊，c 則代表有氫及氦(當時人們尚不認識氦這個元素，以“Orion line”稱之)較窄且銳利的線，且鈣線明顯，ac 則兼具 a 和 c 的特徵。她深信光譜中這些特徵具有很重要的物理資訊。她也相信光譜中若有 c 的特徵，應該代表恆星的某一種物理特性。

遺憾的是皮克林只想趕緊建立龐大資料，堅持萊禮注意到的新細節不重要，皮克林台長不喜歡他的計算員有個人想法，甚至拒絕和她討論分類系統的改變。安東妮萊禮毫不屈服，利用她自己的時間去發展新的分類系統，她很想知道光譜類型為何會不同？那些不同特徵的光譜線和恆星組成的關係是什麼？具有什麼物理意義？她想學微積分，想上課，延伸她的知識，但是皮克林教授不允許，在哈佛工作只要求不斷重複機械式的計算，未能如她所願。

她是哈佛計算員中最有獨立想法的人，因而常激怒皮克林，兩人關係緊張，造成她

在哈佛工作斷斷續續。在與皮克林衝突的最高點，安東妮萊禮辭去了哈佛的工作，1891 年成為劍橋 Glman College 老師，利用瓦薩學院的設備持續自己的研究，當她開始仔細研究恆星光譜時，她意識到如果光譜分類按照高溫到低溫排列，B 型應放在 A 型之前。最後獨立發表了她的光譜分類，她刪除了皮克林-佛萊明光譜系統十七個類別中的幾個，提出了一套新的恆星類別，這些類別建立在雙重方法的基礎上，將恆星分類為七個主要類別，並重新排列分類類型字母，弗萊明的 B 類應該先於 A。

其他天文學家立即認同安東妮萊禮這項分類的重要性。丹麥的赫茲史伯朗 (Ejnar Hertzsprung, 1873-1967) 根據恆星位置的明顯變化 (稱為自行運動) 的分析，發現相同顏色的恆星必須分成兩組，因為它們即使顏色相同，但其實光度差異很大。赫茲史伯朗認為它們的光譜應該有一些差異。當他查閱萊禮的星表時，他發現她賦予 c 特徵的恆星確實是具有最高光度的恆星，我們現在稱它們為巨星和超巨星 (另一類則是矮星)，赫茲普龍將它們形容為類似於魚群中的鯨魚。他寫信向皮克林說明，對於萊禮的研究誇讚不已，指出萊禮的所有 c 型恆星的自行都可忽略不計，這種位置幾乎不變的星代表它們離地球很遠，因此必然比其他相同顏色和視星等的恆星發光度更強，並告訴皮克林拒絕萊禮的分類就如同動物園管理員知道鯨魚和一般魚類不同，還是堅持把兩類都歸屬於「魚類」一樣。



1905 年赫茲史伯朗使用安東妮萊禮光譜型分類，建立了一張依據光譜型、恆星大小與星等的分群圖，他提到紅色星可以分為兩種：很近的矮星或很遠的巨星。其中很遠的紅巨星就是安東妮萊禮分類的 c 星。他說：『依我看，萊禮分出的 c 及 ac 是最重要的恆星分類進展。』這張後來人們稱為赫羅 (H-R) 圖的成果，提供了恆星誕生、演化及死亡的研究途徑基礎，是恆星演化最重要的關係圖 (圖 6)。

圖 6、赫羅圖 (Hertzsprung-Russell diagram) 恆星以光度為縱軸和光譜型 (代表溫度) 為橫軸的關係，這張圖對恆星演化學說非常重要。

1897 年萊禮根據她檢查了 4800 張圖版，針對北方較亮的 681 個恆星分析發表的文章是首度女性出現在哈佛出版品，但也必須與皮克林同列為作者。萊禮獨立思考和強烈

正義感的性格，使她不得不多次離開天文台，又為了有機會查視大量影像資料而回來，皮克林與萊禮最終互相妥協，1918 年萊禮回到哈佛工作，兩年後，哈洛薩普利 (Harlow Shapley, 1875-1972) 接管哈佛天文台，他看出萊禮分類系統的價值，立即接納她的分類，不再完全依照皮克林-佛萊明的字母順序。萊禮才得到她應得的認同，在哈佛繼續工作直到 1952 年去世。

三、用造父變星推算天體距離的亨莉艾塔樂維特

數千年來，觀星者都會好奇恆星到底在多遠的地方？亨莉艾塔樂維特 (Henrietta S. Leavitt, 1868- 1921) 的發現使得天文學家找到測量恆星距離的方法。

亨莉艾塔樂維特 1892 年畢業於哈佛為女性學生成立的拉德克利夫學院 (Redcliffe college)，能輕鬆的將拉丁文、希臘及德語轉變為英文，高等代數、幾何都能輕易解題，物理、天文也學得很好，天文課誘發了她最大的興趣，畢業後自願在哈佛天文台當義工。皮克林很高興多一個計算員，何況無需支薪，便讓她參與恆星亮度的計算。樂維特 1895 年到哈佛天文台工作，做了七年不支薪的義工，1902 年才聘為正式雇員，然而時薪也僅僅 0.3 美元。1921 年癌症病逝 生前共發現 2400 顆變星，當時全世界所知變星的半數是她找出來的。

哈佛天文台許多女性負責恆星的光譜分析記錄，但樂維特的工作是分析恆星的視亮度或星等——光度測量。她最初的工作要註記影像版上每一個星的星等，那時並沒有標準步驟，面對攝影版上的眾多星點，她決定以以北天整夜都不下沉（恆顯區）的恆星為標準，這方法到 1913 年被認同為「哈佛標準」：北天以北極星 2 度以內的恆星作為星等參考，因為該區的恆星整晚都可見，以它們的亮度為標準來決定其他恆星的星等。

1902 年她專注掃視由秘魯所拍攝的數百片光譜攝影版之一，秘魯的攝影技工拍下在南半球才可以看到的小麥哲倫星系（當時稱為星雲）的影像，船運送到哈佛天文台分析。1904 年，她仔細查看不同時間拍的照片，當她翻到前面再翻回來反覆檢查時，看到了讓她興奮的事情，有幾顆恆星看起來在不同時間影像大小不同，它們看起來會變大、萎縮然後再脹大，小麥哲倫星雲中有幾個這樣的恆星。當她研究越多攝影版就發現越多，六年後她發表在小麥哲倫星雲中找到 1777 個變星，普林斯頓的天文學家 Charles Young 不禁嘆道：樂維特是一個變星惡魔！畢竟那時對於變星還有太多不了解的問題，對天文學家來說這些變星實在是麻煩！

然而真正的革命發展並不只是大量的變星，樂維特自己寫著：「值得注意的是越明亮的星變化週期越長！」這句彷彿獨白的側寫，是那些年天文學最重大的發現！假設在小麥哲倫星雲裡的恆星和地球的距離都是相近的，那麼星等變化就可以作為『光度』變

化，而從亮暗變化週期可以得知恆星的光度，樂維特如果對了，那麼天文學就找到測量銀河以外天體距離的方法了！

可惜在樂維特尚未品嚐到成功時就病倒了，她回到溫暖的家鄉養病，但是她不希望中斷天文台的工作，透過密娜協助把影像版和目鏡、觀察木框等裝箱寄給她。在病中她一天工作兩到三個小時，但是累積了足夠的數據找出變星週期與光度的關係，並且證實有 25 個造父變星脈動的速率直接與恆星的光度正相關（圖 7）。1912 年哈佛發表一篇短文宣告樂維特小姐的成果，文章作者只有皮克林列名，在文中以「以下有關變星的週期是由樂維特小姐準備」一句話帶過，皮克林仍然不認可她是真正的研究者，也依舊拒絕她去進修可以幫助她進一步了解的理論基礎。樂維特的這變星光度週期關係是造父變

星的特徵，是極為重要的發現，之後廣泛作為量天尺測量應用，赫茲史伯朗應用這個方法決定恆星距離，哈洛薩普利用來測量銀河系大小，哈伯用來提出膨脹的宇宙。

1913 年她再度發表光學測量的標準，闡明她比較恆星亮度等級的方法，一位同事形容她是哈佛天文台心智能力最高的人，最遺憾的是瑞典諾貝爾獎委員 Gösta Mittag-Leffler 1925 年寫信想要提名她受獎時，才被告知她已在四年前死於癌症。

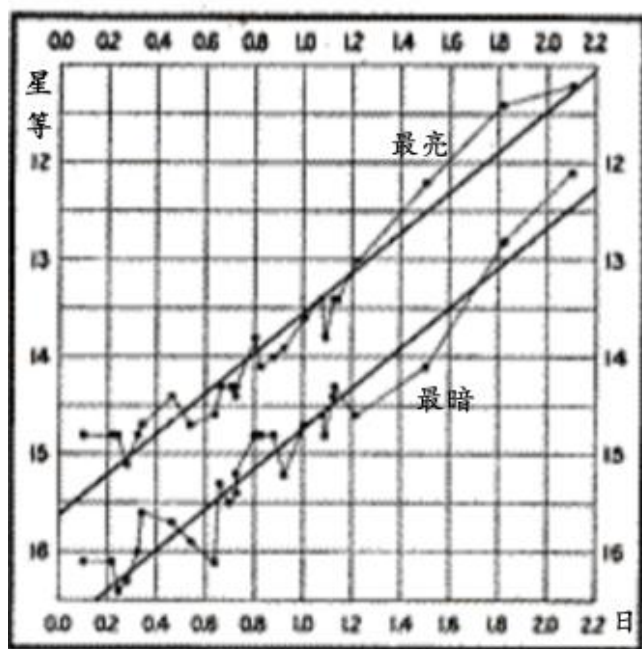


圖 7、恆星的光度變化（縱軸，數值越小越亮）與週期（橫軸）正相關

四、為恆星尋找光譜歸屬的安妮卡儂

安妮卡儂(Annie Jump Cannon, 1863-1941) 1896 年進入哈佛天文台工作，她住在鄰近哈佛天文台的雅緻小宅，天花板懸掛著美麗的玻璃柱水晶吊燈。每當日光穿過玻璃水晶吊燈，陽光投影在牆上拆解成多色的譜帶，便成了眾多纖細的彩虹帶（圖 8）。卡儂在哈佛天文台的工作正是整理玻璃板上的恆星光譜影像，不過玻璃版片上的恆星光譜只能呈現出灰黑條帶，通常是昏暗又模糊的一團，長度不會超過一吋。卡儂檢查這些恆星光譜上的暗線分佈，她很快便能從暗線的分佈型態決定出該恆星的歸屬類別。

卡儂剛開始這項工作時，恆星光譜只能用「混沌一片」來形容，超過 20 種不同的分類方法被天文學家提出，哪一種才是正確的呢？分類是人為的，就好比全球人類應如何分類？有意義的分類是具有預測性系統，可以代表該類所具有的特性。例如電話簿可依姓氏筆畫分類，但同樣姓氏筆畫的人不具有相同特性。這些光譜影像其實也很難看得清楚，僅僅是一小條一小條模糊黑白色帶。而卡儂不論吃飯、睡覺或者呼吸，恆星紛雜的光譜都與她共同生活著，她用放大鏡檢查，一一告訴旁邊助理她的判斷結果。由於卡儂對於恆星光譜的熟稔深切，最終有 40 萬顆恆星分類編入 HD 星表，1922 年 IAU 接受哈佛這套分類統，結束了十九世紀天文學的混沌狀態，這套編碼至今仍適用。

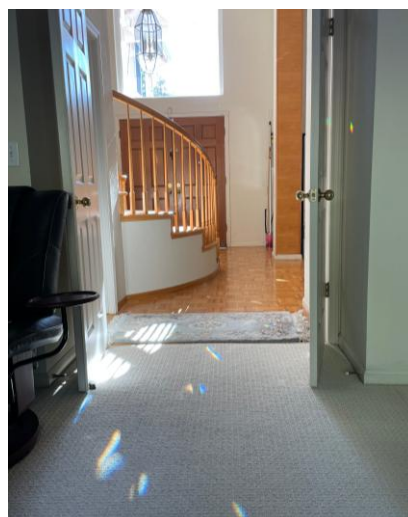


圖 8、陽光穿過玻璃水晶燈，投影在牆上拆解成光譜，成了纖細多色的彩虹帶。本文作者攝於舊金山

卡儂沒有自己獨立的分類系統，而是盡職盡責地接受但改善了皮克林-弗萊明系統。她後來有了秘魯的 13 英寸博伊登折射鏡和多達三個稜鏡拍攝的高色散光譜（色散範圍從 2.24 到 7.43 公釐不等），對其光譜分類進行在十進位制上的細分，她注意到弗萊明的十七個恆星類型有所重疊，看似不同的類別中隱藏著共同特徵。

恆星光譜雖然能夠被卡儂歸入不同類屬，然而在當時各界對於光譜類別卻沒有太多的見識。十九世紀末的天文學家覺得卡儂的分類似乎與恆星的年齡有關，也有人認為是對應到不同的元素組成。卡儂依據光譜上的暗線分類，暗線代表某一光波的缺失，是恆星發出的光波被某些方式吸收掉了造成的結果。在這個時期，每一個原子的電子吸收某一特定的能量、電子有特定的能階、吸收的光波必須恰恰好是不同能階之間相差的能量，已是科學家眾所周知的常識。

1915 年卡儂寫了一篇有關「星光的故事」，說明原本完全不了解的遙遠恆星，藉著星光以最大的速度在太空中旅行多年來傳達它的訊息，最終天文學家可將恆星的神奇故事透過攝影版上的光譜解碼，不但知道地球上所熟悉的元素也存在於遙遠的星球上，甚至可以逐一參透恆星的距離與運動（圖 9），這篇文章道盡她對星光的著迷與熱愛。

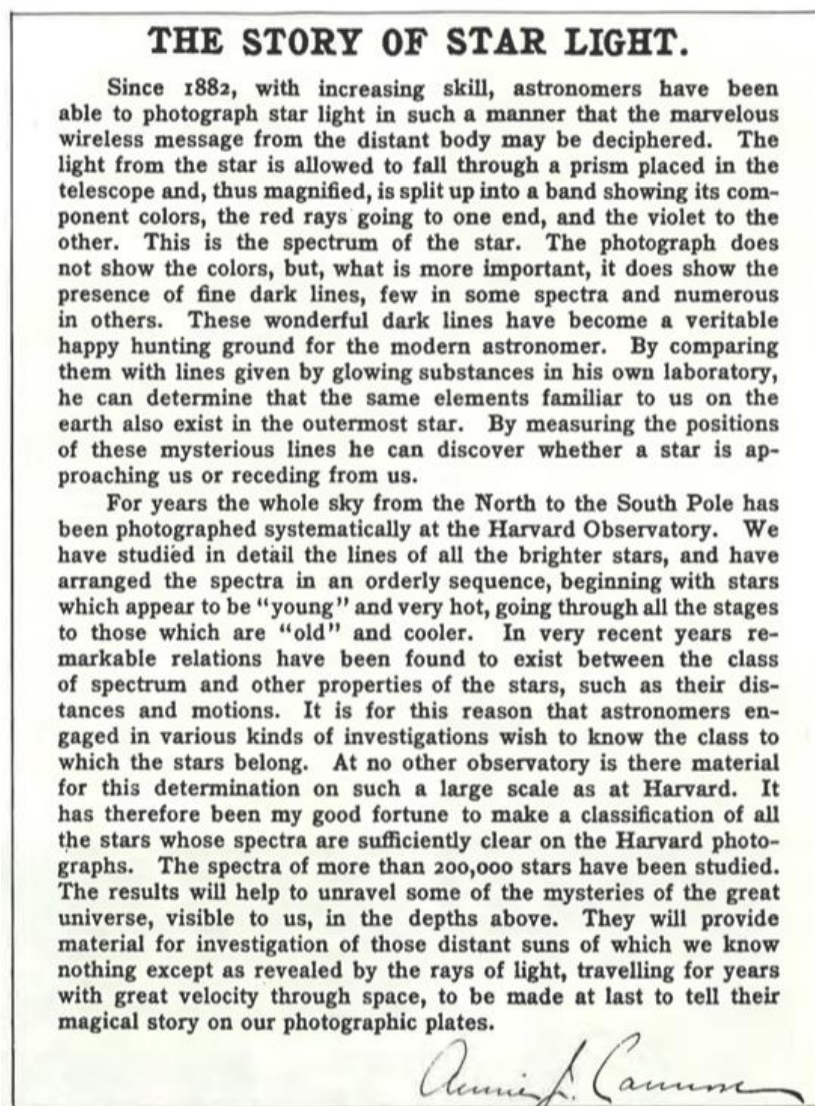


圖 9、卡儂寫的「星光的故事」

在衛斯理雜誌上曾報導卡儂在這方面的天賦，談到從 1911 年她擔任攝影檔案室的主任，重新有系統地檢查所有攝影版，所有比九等星亮的恆星都給予光譜類型，她的工作效率極其卓越，在 1911-1915 年間，平均每一個月便能完成五千顆恆星分類。恆星影像比較疏散的區域，她每一分鐘就可決定出三個恆星的類別，恆星密集地區則大約一至兩個。雖然卡儂對自己在這方面的傑出天賦態度十分謙虛含蓄，但是在內心深處必定以效率與正確為榮來嚴厲地要求自己。到了 1915 年她個人已完成 22 萬 5300 個恆星的分類，經過數度確認檢查之後，1918-1924 年才陸續成冊發表。

當代關於卡儂的傳奇故事，卡儂小姐記得每一個她分類的恆星，對於她特別檢查過的恆星，幾乎可以毫不遲疑地立即說出是在哪一個序號的玻璃版上。在她晚年天文學家羅素 (Henry Norris Russell, 1877-1957) 曾說：「哪個人必須去查出卡儂小姐究竟是如何決定每一個恆星光譜分類的！」，卡儂的年輕同事佩恩*回應：「卡儂小姐可能無法提供

答案」。對於卡儂來說，這些恆星的影像就彷彿她的親友臉龐，她一眼即能認出某一張臉是屬於哪一家的，佩恩認為她並不是根據譜線去分類，只是輕易就能辨認歸屬類型。毫無疑問的是卡儂不僅有好眼力，她的記性也是天賦異稟！

*佩恩(Cecilia Payne Gaposchkin, 1900-1979)後來冠夫姓加波施金，本文涉及內容是她結婚之前的事蹟與成果，故以她娘家姓氏 Payne 稱之。

但卡儂聽力很差，她帶著當代僅有的簡陋助聽器，有時她會取下助聽器，這樣她就不會分心，用她的放大鏡在一塊又一塊的光譜上掃視，她的同事知道在那間緊迫吵雜的空間她需要專心的工作，大家就會降低音量，雖然喪失了聽力，但是她是大家公認最快樂的人！

每一筆有關卡儂的紀錄都顯示她沈靜、摯愛友伴、親切迷人的本質。像是有一種特殊能力可以和任何人發展溫暖且持久的友情，她與家人、童年友伴、大學同學以及專業或業餘天文學家，幾乎都是長期大量通信。雖然終生未婚，但她十分喜愛兒童，會定期為孩子們在她的星空小宅中辦派對宴會。在一張哈佛天文台照片中，卡儂逗弄著膝頭上一個幼兒，四周圍滿了帶著宴會小帽的孩童（圖 10）。她本人也是位熱情的攝影家，曾經有一本她的攝影作品小冊，在 1893 年世界博覽會做為一家相機公司的紀念品。



圖 10、安妮卡儂使用放大鏡專注檢視恆星光譜攝影圖版（左），在她的星空小宅為兒童舉辦派對（右）。

卡儂在天文學的巨大貢獻是超過三十五萬個(另一說 39 萬 5 千個)恆星光譜分類，1900 年她也開始負責變星分類，當時僅有 14000 個變星，四十年後她把變星增加到 25 萬個，她自己發現的變星就有 300 個，外加 5 個新星。她的專業與豐富的作品，在哈佛天文台工作超過四十年，卡儂的貢獻長期並未被哈佛正式認可，直到 1938 年退休那年，才被提名為為哈佛威廉邦德天文學家。值得慶幸的是她的光譜分類貢獻在全球的聲譽不斷提升，1914 年倫敦皇家天文學會將卡儂授予榮譽會員，1919 年她擔任美國天文學會財務長，是學會中唯一有頭銜的女性，她是第一位獲得英國牛津大學榮譽博士學位(1925

年)的女性，也是第一位獲得美國國家科學院亨利德雷伯榮譽獎章的女天文學家(1931年)。

五、定出恆星組成豐度的哈佛首位天文博士：希西莉雅佩恩

希西莉雅佩恩加波施金(Cecilia Payne Gaposchkin, 1900-1979)在 1919 年還是劍橋大學的學生時，有一晚聆聽了一場著名天文學家愛丁頓的公開演講，佩恩說她能去聽演講是一場意外，她的學院只分配到四張票，在最後時刻其中一位不能去了，這位朋友把機會讓給了她，如果說這場演講改變了她的一生，應不算誇張。

聽完演講之後，佩恩在自傳說：『當我回到房間，發現我可以把演講內容一個字一個字的寫下來...有三個晚上我完全睡不著，我的世界被整個震撼了，我好像神經衰弱一樣的經歷』，這個震撼讓她決定成為一個天文學家！

1919 年那場公開演講的講座是亞瑟艾丁頓爵士 (Sir Arthur Stanley Eddington, 1882-1944)，帶回他著名的日全食影像來說明星光在重力場彎曲，證實愛因斯坦的廣義相對論，也使愛因斯坦一夜成名。

過了一陣子佩恩再次遇到演講者愛丁頓，告訴他她想成為天文學家的願望，愛丁頓沈思片刻，回應她：「我認為沒有什麼不可克服的異議。」佩恩希望愛丁頓能推薦閱讀的書，他提到幾本書，她已經都讀過了。於是他提到一些期刊，佩恩動作很快，不久之後就逮著一個問題騎著腳踏車到天文台，看見愛丁頓跨在在屋檐上修理，她對他大喊：我來了！來問為何恆星光譜中看不見史塔克效應 (stark effect) *佩恩 1923 年離開英國前往哈佛讀研究所，已經找到去那裡要研究什麼！

*原子和分子光譜譜線在外加電場中發生位移和分裂的現象，分裂和位移量稱為史塔克分裂或史塔克位移。史塔克效應又可分為一階和二階史塔克效應。

佩恩是物理班上唯一的女孩，拉瑟福到這一班上課，會盯著坐在第一排女士保留座位的她，意味深長地用“L-a-d-y and Gentlement”開場，男同學們就會踩著他們的腳大叫來揶揄她，男同學和教授粗魯地對待讓她終生都感到沮喪，但她在自傳中寫道「我還是在任何演講廳中，設法站在最後面參與。」

佩恩完成了本科課程，1923 年發表了一篇論文，但她沒有獲得學位，因為劍橋大學不授予女性學位。因此佩恩啟航前往美國，來到哈佛天文台，哈洛薩普利 (Harlow Shapley, 1885-1972) 時任哈佛天文台的台長，建議她攻讀天文學博士學位，但哈佛大學並沒有天文學博士課程，薩普利專門為她組建了一個論文委員會，分配給佩恩的任務是解決恆星化學組成的問題。佩恩使用天文台恆星光譜分類目錄進行研究，在卡儂與萊

禮的指導之下，針對鐵、鎂、氫及其他元素的多寡加以比較。她不屬於計算員，是研究生的身份。卡儂和其他科學家很快意識到，佩恩在教育背景和天文學方法的思考是獨一無二的。在劍橋，佩恩曾接受諾貝爾獎物理學者的教授，包括拉瑟福和波耳，都是量子力學新興領域的巨人。因此，佩恩習慣於接觸激進的新科學思想，並處理詳細的理論計算。

佩恩循著卡儂的分類去找出這些分類基模，最後引導出一個完全沒料到的結果。卡儂根據某些元素產生的特別線給予分類，佩恩則指明某些特別的線缺失不能說明缺少該元素，應該是該原子處在一種不尋常的狀態。那麼，決定原子是否有正確能階的因素是什麼？答案是高溫，在較冷大氣的電子位在最低能階，但隨著溫度升高，它們的能階也會逐漸往上升，因此唯有溫度適當的恆星，卡儂才看得見某一元素的譜線。佩恩的博士論文研究期間，原子物理界正好開始提供化學元素能階的實驗數據，她們洞察到溫度會是最大的影響，有了這項洞察之後，才知道恆星光譜類別原來與恆星表面溫度有關。也認識恆星光譜類型的差別，是因為表面溫度不同。O 型最熱，M 型最冷（參考圖 6）。

佩恩開始研究時知道太陽有三十多種元素，尚未知道不同元素相對的豐富程度(豐度)，畢竟每一條線代表固定能階，因此每一譜線的變暗強度應與元素豐度有關，她的博士論文主要論述即是決定各種元素的細節。「氫」這個元素造成她很大的困擾，這個最簡單的元素雖然不是地球上最豐富的，佩恩卻發現在許多恆星裡，氫都是最主要的組成。她發現所有恆星幾乎都是由氫這個元素獨佔絕大比例，其他元素相對都很稀少(圖 11)，可是沒有人相信她。她在英國遇到的天文學家都不相信，愛丁頓讓她走上這條研究生涯，然而她的這位人物典範不接受這個結果！她的指導老師之一羅素(就是創建赫羅圖的 Russel)還寫了一封信告誡她：「我深信妳所呈現的說法有很大的錯誤，很明顯的氫比其他金屬(天文的金屬專指原子序 >2) 多百萬倍是不可能的！」面對當前權威的反對意見，佩恩只好撤走她的結論，在自己的論文中委婉地寫著『發現氫有不可思議的高含量，看來應該不是真的』("almost certainly not real") 如此的不同意語氣，也是非常不尋常。

四年後，羅素發表了一篇論文，根據他自己的計算，證實佩恩畢竟是對的，氫是宇宙最主要的元素。他終於承認了她的結果是確實的，但他的名聲如此之大，以至於多數人認為是他最初發現的。幸好佩恩以書籍形式發表了她的博士論文，科學家們最終認識到她工作的非凡意義。

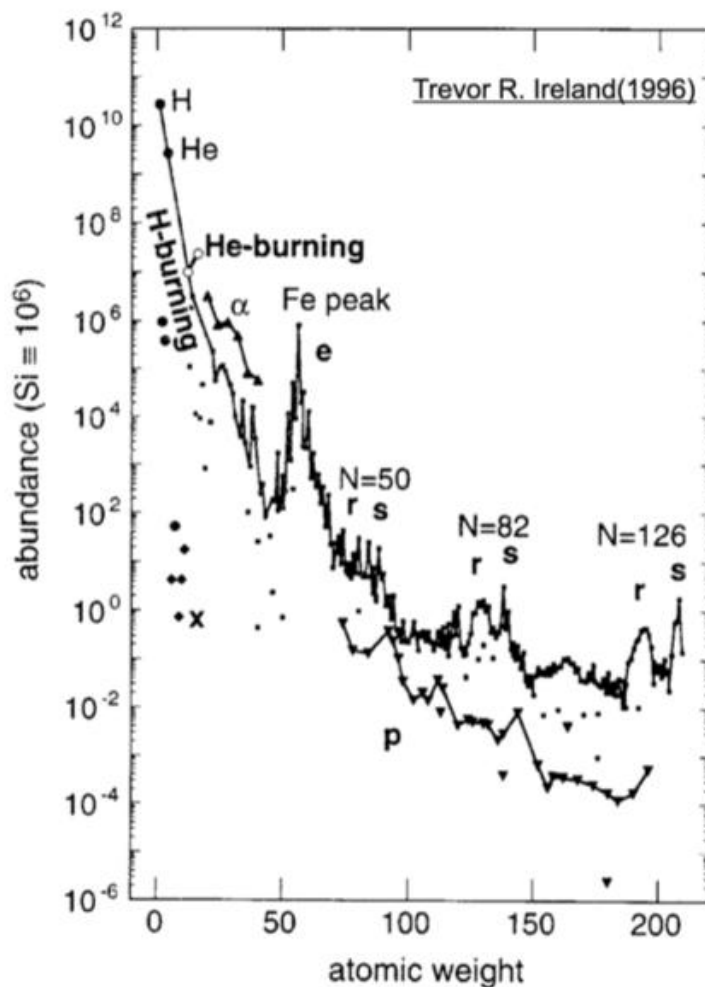


圖 11、恆星的元素豐度，91.00%的組成是氫，8.87%是氦。

結語

本文是作者教授天文光譜學的女性天文學家延伸故事之一，哈佛天文台的計算員是其中一個經典。她們的貢獻卓越，但早期社會對待女性是非常不公平的，哈佛早先出版的《德雷伯目錄》卻只有一個作者的名字出現：愛德華·皮克林。皮克林認定這群女性的工作在本質上就是秘書或簿記，他漠視她們的貢獻，反對她們追問好奇的科學問題，不同意她們去學習微積分或更多理論，提供的薪資也非常不平等。很遺憾長期任職天文台主管的皮克林把她們視為只管計算和登錄的員工，未能賞識也限制了她們發揮才華。

遙想一個半世紀前這群女性前輩 (computer) 日以繼夜在攝影圖版上，用放大鏡檢查一個一個星點，用刺繡穿針引線的眼力和耐心，將恆星攝影成像的光譜編織成了我們所知的宇宙最主要的內容。卡儂是一個純粹的觀察者，她不企圖以科學觀點提出解釋，能專注於辨識光譜型態，而萊禮是一位夢想家和詩人，總是強烈譴責不公正，永遠為善

而戰。佩恩和卡儂專注於恆星的組成，樂維特則打開了一扇通往宇宙的窗戶，通向了時間的起點。令人鼓舞的是即使沒有合理薪資與地位，因著她們對星辰的熱愛，專注地投入分析和研究發現，成果有如暗黑中的星空滿天閃耀！

吳育雅

國立臺灣大學師培中心兼任助理教授

延伸閱讀

- [1] E. Dorrit Hoffleit(2002) Pioneering Women in the Spectral Classification of Stars.Phys. perspect. 4 ,370-398
- [2] Ghose, Shohini(2023) Her Space, Her Time, Chapter 1 Finding space: Stellar recorders who cataloged the Universe. MIT Press.

