

星光的秘密

文／施逸昕

摘要

本文以星光的性質為主題，介紹恆星的亮度、顏色等性質。天文學家以星等來表示亮度的強弱，文中介紹如何粗估星等差所代表的亮度關係，以及從何定義其發光能力。而恆星的顏色，則是天文物理學研究上的重要突破，其性質可以代表恆星的表面溫度，且可由關係式換算而得。藉由這星等、星色兩大性質，天文學得以大幅躍進，赫茨普龍(Ejnar Hertzsprung)和羅素(Henry Norris Russell)兩位天文學家各自提出的圖表分析，使恆星的演化型式可以有系統的加以演繹。

關鍵字：星等、星色、赫羅圖

您是否曾經在寧靜的夜裡，仰望清澈星空之時，發現星光的美好？大多在城市裡生活的人們少有這樣的經驗。但若您曾佇足山頂，在晴朗夜裡細數著繁星點點，可能想要知道得更多，且讓筆者簡單介紹星光中的浪漫科學。

看星星是一件簡單的事情，只需晴朗夜空，和一雙視力正常的眼睛。夜空中的星星大多是恆星，仔細看看便會發現，每顆星星的亮暗程度不一樣，顏色也不盡相同。由於這些性質易於觀測，加上科學的進展，如今亮暗、顏色等性質已可被紀錄且量化成星等、星色，以供科學家研究。而本文中提及的特性皆應用在恆星上，行星、彗星等小天體不在此討論範圍。

星等

西元前 2 世紀，古希臘的天文學家希巴卡斯(Hipparchos, 190 B.C. - 120 B.C.)，便將恆星的亮暗程度大致歸類為 6 個等級，即一等星、二等星……至六等星，其中最亮者為一等，最暗者為六等。當時希巴卡斯所分類的方式只是排名的概念，並沒有量化的意義在其中，就像班上第一名的同學和第二名的同學相比，並不能確定兩人得分相差多少一樣。

這對科學研究來說是受限的，只能知道誰亮誰暗，卻不知道亮多少。要如何估算其他性質呢？這樣的困擾維持了約 2000 年，直到 1856 年，英國的天文學家波格森(N. R. Pogson, 1829-1891)才重新定義，一等星的亮度為六等星的 100 倍(Pogson, 1856)。由於是以指數關係定義的，且一等星和六等星差距為 5 個星等，因此藉由對數關係可以反求得到：每差一個星等，亮度為 $100^{1/5}$ 倍(約 2.512 倍)，此知名的量甚至被稱為「波格森比例」(Pogson ratio)。

星等可以被量化後，全天的星星就可以重新被測量，而有了精確的星等數值。那些由肉眼分辨不出來，實際上比一等星還亮的星，被測量後得到的星等就會比 1 還小，可以是 0 等(圖 1)，可以是 -1 等。而有了望遠鏡後，可以看到肉眼所看不見的暗星，因此星等才會有 7 等、8 等……。這些星星看起來的亮暗程度，被稱為「視星等」。



圖 1. 天琴座中的織女星¹，為 0 等星，常作為天文觀測中的標準星。(圖中可見最亮的星即為織女星)

至此，天文學家還不滿足，因為視星等只能表示星星「看起來多亮」，不代表它們的發光能力！就像路燈看起來比星星亮，不代表路燈發光能力強過星星（實際上恆星的發光能力要比路燈強得多）。這是因為其中還有一個變數，即光源與觀察者的「距離」。兩光源的距離不同時，看起來的亮度就不能代表發光能力。為此，天文學家在測量恆星的發光能力時，都必須把恆星移動到同一距離（約 32.6 光年，或說 10 秒差距），這樣才能比較發光能力。而恆星在 32.6 光年的亮度，就被稱為「絕對星等」。在研究中，絕對星等佔有較重要的地位，因為它直接反應恆星本身的特性（其發光能力），不受距離影響。

星色

不同的星星，顏色也有所不同。肉眼看見星星的顏色以藍、白、紅 3 種顏色為主（有時星星在地平線附近時，會因穿透較厚的大氣而散射出其他顏色的光線，但不能準確代表該星本身的性質）。例如在冬季星空常見的獵戶座參宿四（圖 2），或夏季星空裡天蠍座的心宿二，看起來就十分的紅；緊鄰獵戶座的大犬座主星—天狼星，看起來就較偏藍色。這種現象讓人直覺聯想到是否其組成成份不同，就像紅花、綠葉那樣。但事實上，恆星的成份大都是氫、氦，故此種說法並不成立；其次，紅花綠葉的顏色都是「反光」的結果，恆星卻是「自行發光」，這一點也有所不同。

¹ 伊利諾大學榮譽教授 JAMES B. (JIM) KALER 所拍攝 <http://stars.astro.illinois.edu/>



圖 2. 獵戶座²，可見左上角的亮星（參宿四）特別偏紅。

這個性質一直到了 1900 年才有了較完整的詮釋。1900 年是普朗克提出量子論的重要年代³，其理論可以合理地解釋黑體輻射的能量分布，並得到一個簡單結論：一個並非絕對零度的物體，在各個電磁波段所發出輻射量的分布和溫度有關。而不同波長的可見光有著不同的顏色，因此，天文學家明白恆星的顏色反應了恆星的表面溫度。有了量子論的加持，天文學家得到了可將顏色與溫度關係加以量化並對應的概念：溫度越高者，看起來越藍；溫度越低者，看起來越紅。⁴

至此，天文學家已了解恆星最重要兩大觀測性質所代表的意義，並擁有估算能力。隨著量子論發展越加成熟，恆星光譜的意涵也越加清晰（光譜含有各波段能量分布的資訊）。其實自 1868 年起，各地天文學家早已開始將恆星的光譜分類（依照 A 型、B 型……等分類），但量子論來得晚，使得恆星重新依照溫度排序時，是以 O、B、A、F、G、K、M 的順序排列（溫度由高至低）。此種光譜分類法後來由哈佛大學天文台加以發展，其研究涵蓋了數十萬顆恆星的光譜，為天文學家廣泛使用(MacRobert, 2006)。

² Matthew Spinelli 發表於 <http://apod.nasa.gov>

³ The Nobel Prize in Physics 1918 Max Planck
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1918/planck-bio.html

⁴ 根據韋恩定律(Wien's Law)，其最大輻射波長大致和溫度成反比，簡易數學式可表示為

$$\lambda_{\max(cm)} \approx \frac{0.29}{T_{(K)}}$$

赫羅圖

有了絕對星等及恆星光譜的分析，可以說已經知道了恆星的發光能力（以絕對星等代表）與表面溫度（和光譜型對照）的特性。天文學家如此看重這兩個觀測性質，造就了歷史上的巧合。在 20 世紀初期，丹麥天文學家赫茨普龍(Ejnar Hertzsprung, 1873-1967)和美國天文學家羅素(Henry Norris Russell, 1877-1957)，不約而同地將這兩個性質繪製成圖表，縱軸代表絕對星等，橫軸代表恆星光譜，將其所觀測的恆星依此兩性質標示在圖中，就成了天文學界中最著名的恆星分析圖表－赫羅圖(H-R diagram，見圖 3) (Russell, 1914)。

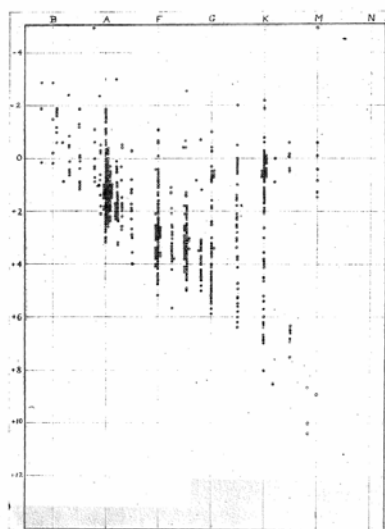


圖 3. Russell 於 1914 年論文中所繪製的「絕對星等-光譜型」圖表

有了赫羅圖，天文學家得以在圖上分析各種恆星可能所處的狀態，包括發光能力、表面溫度、恆星大小、可能的演化路徑等等，因此可以說赫羅圖是研究恆星的里程碑。而今，雖然在天文學上仍有其他的圖表用以分析恆星，但其原始的概念仍然建立在赫羅圖的邏輯之上。

如今，知道了那些恆星真實的樣貌，當我們再抬頭看著閃閃星光，除了傳頌祖先流傳下來的神話故事之美，偶爾不妨訴說它們的過去，也聊聊它們的未來。

參考文獻

MacRobert M. A., 2006. *The Spectral Types of Stars*. Sky and Telescope.

Pogson N.R.. 1856. Magnitudes of Thirty-six of the Minor Planets for the first day of each month of the year 1857. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 17: 12-15.

Russell H.N., 1914. Relations Between the Spectra and Other Characteristics of the Stars. *Nature*, 93(2322): 227-230.