

# 星星有多遠？

## 量度天體的尺（下）

上一期的天文展品導覽為大家介紹了16世紀以來科學家使用三角視差法來測量恆星、行星、太陽的距離，但隨著天體距離我們越遙遠，視差角度便會小到難以測量，難道天文學家就此束手無策了嗎？這一期的天文展品導覽就帶大家看看天文學家如何用間接的方式，用「標準燭光」來推算天體的距離。

### 亮度隨距離遞減：平方反比律

星光離開恆星之後會平均地將能量傳向四面八方（不考慮恆星表面狀態），單位面積所分到的光能量會隨著距離的平方遞減，於是我們觀測到的天體亮度也因而下降。因此，如果能知道天體在基準位置的實際亮度，便能藉由比較觀測到的亮度推算天體距離我們多遠。但問題來了，我們如何知道遠方恆星實際上有多亮呢？

### 宇宙間的標準蠟燭：造父變星

天上遙遠的星星由於亮度與位置在人們眼中幾乎永恆不變，因而被稱為「恆星」。但在1638年霍爾瓦達（Johannes Phocylides Holwarda）發現鯨魚座的蒭蒿增二亮度會以長達11

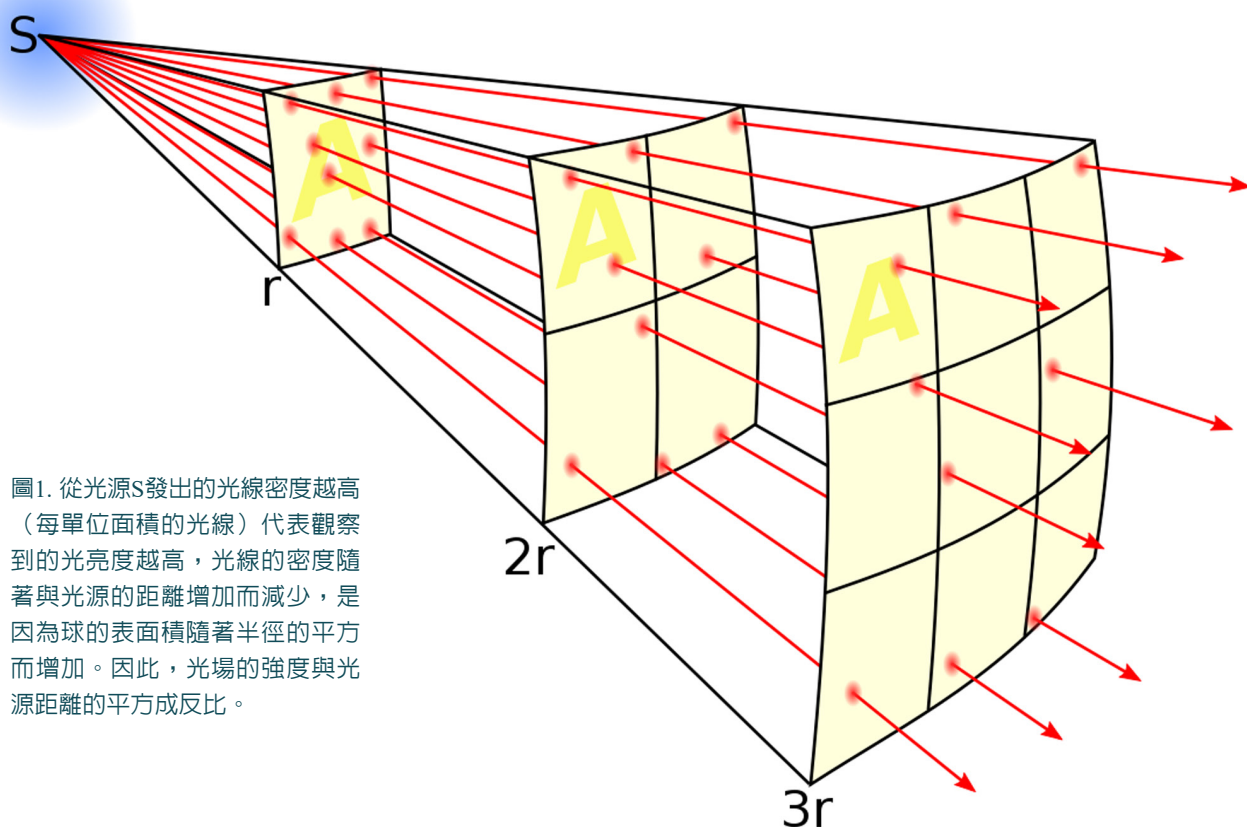


圖1. 從光源S發出的光線密度越高（每單位面積的光線）代表觀察到的光亮度越高，光線的密度隨著與光源的距離增加而減少，是因為球的表面積隨著半徑的平方而增加。因此，光場的強度與光源距離的平方成反比。

個月的週期大幅變化之後，天文學家才注意到原來有些恆星的亮度並不是永遠不變。19世紀攝影術被用於天文觀測之後，包含哈佛大學天文臺在內的研究機構開始利用這種可以客觀紀錄星星亮度的方式來測量恆星的亮度與觀察其中是否存在變化。

20世紀初期，身為哈佛大學天文臺計算員之一的勒維特 (Henrietta Swan Leavitt) 收到了以位於秘魯的24吋布魯斯望遠鏡所拍攝的麥哲倫星系的底片。經過她仔細地分析，在1908年正式發表在底片中找到的1,777顆變星位置與亮度，並發現部分變星的變光週期和亮度存在相關性。進一步檢視之後，勒維特發現小麥哲倫星系中的25顆變星和常在球狀星團中發現的變星特性十分相似。

這些後來被分類為造父型變星的天體在變暗的過程緩慢，變光週期中大部分時間會維持在最小亮度，之後迅速變亮，週期則為數日至數十日不等。更重要的是，將該型變星的亮度最大值、最小值與變光週期的對數等資訊畫在圖表上，亮度與週期的對數竟然高度正相關。由於25顆變星都位在小麥哲倫星系中，因此可以視為距離相同，影響變星

亮度的因子就只有恆星本身的物理性質。換句話說，測量未知距離的造父變星的亮度變化週期，利用與亮度對應的「週光關係」就能換算未知距離的造父變星放在基準位置的實際亮度。因此只要透過視差測量距離地球較近的造父

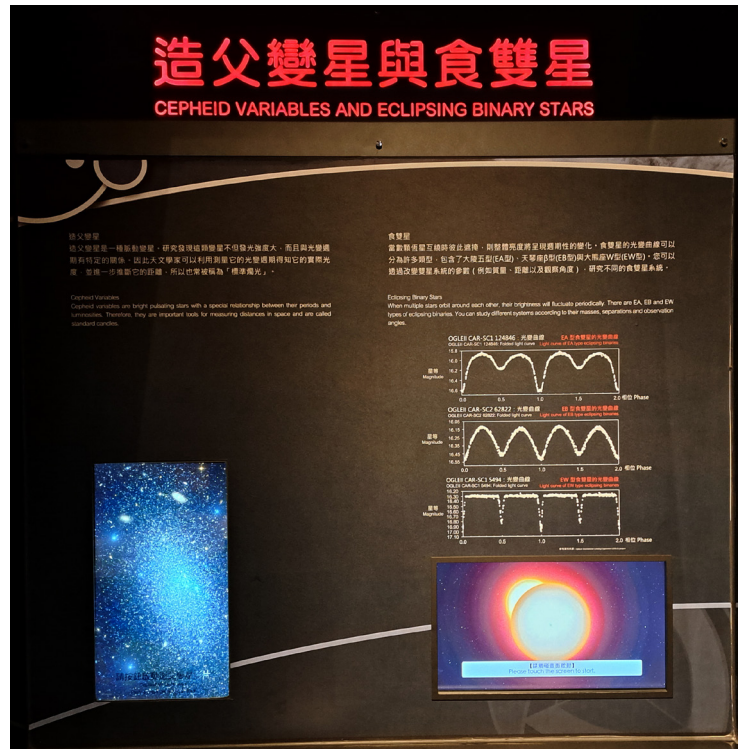


圖2. 展示場2樓的造父變星展項透過影片方式解說造父變星的變光機制。

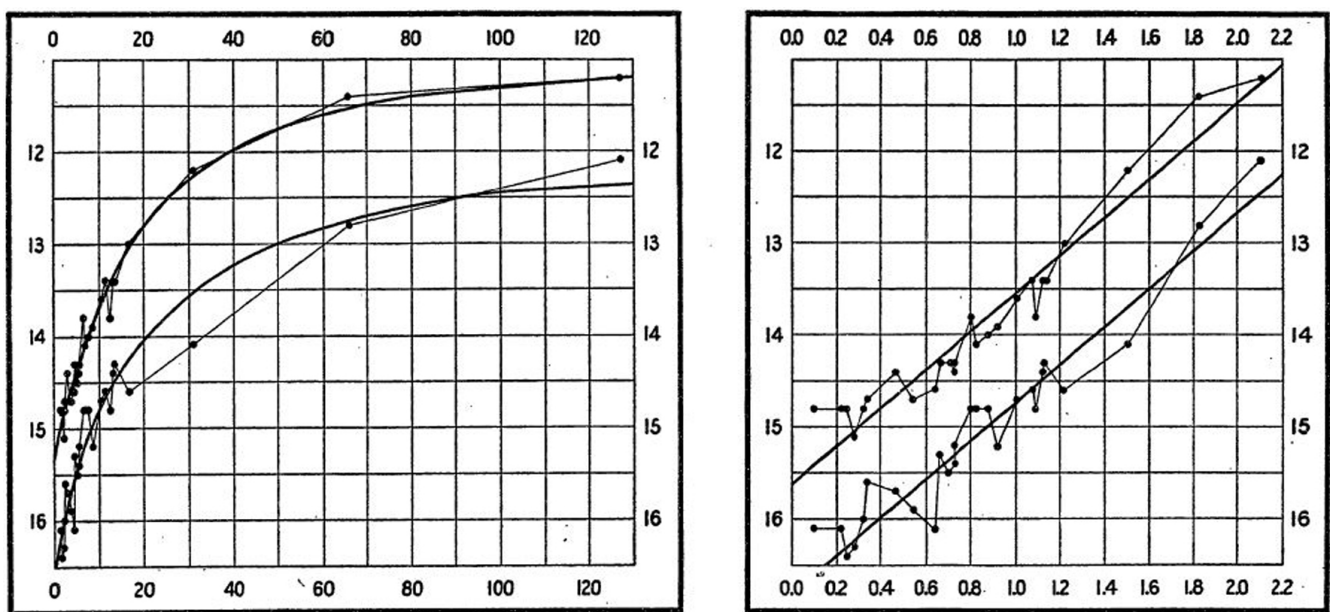


圖3. 左圖的橫軸是變星的變光週期，右圖的橫軸則是對週期取對數，縱軸為星等，變星最大亮度與最小亮度是以數據點和對應的均方根值描繪的直線。這張圖顯示了造父變星週期與亮度呈現高度正相關的週光關係。圖片來源：Leavitt, H. S. and Pickering, E. C.(1912)

變星距離來當作基準，就能透過平方反比律比較和推算出其他有造父變星的宿主天體（星團或星系）的距離。

美國天文學家沙普利（Harlow Shapley）得知這項發現後便開始造父變星基準標定工作，接著利用前段說明的原理推算了球狀星團的分布，進而發現球狀星團是圍繞在位於人馬座方向的某個中心，太陽並不是宇宙的中心。1929年哈伯（E. P. Hubble）發表的論文更進一步將造父變星用於M31星系的距離測量，證實當時所認知的「螺旋星雲」其實是遠在銀河系之外的其他星系，我們所在的位置一點也不特別就此成為人們的共識。（詳見《臺北星空94期》〈宇宙尺度大辯論〉）

勒維特透過她的老闆皮克林在1912年3月發表的成果，就此讓看似平面的星空有了明確的距離感，讓造父變星像一支蠟燭一樣照亮了宇宙的大小，在短短的二十年間迅速改變人類對宇宙的想像。可惜的是勒維特來不及看到自己的研究對天文學造成的影響，在1921年因病逝世，儘管曾有科學家想向諾貝爾獎提名勒維特，但諾貝爾獎不追封已逝者的規則也讓她錯失了這項殊榮。

## 其他的距離測量工具

除了造父變星之外，白矮星吸積導致的Ia型超新星由於在恆星物理模型中具有一定的質量上限，推估爆發的能量相同，因此也常被當作宇宙中的標

準燭光。在利用亮度的平方反比律比較之外，部分科學家也曾利用都卜勒效應，測量球狀星團在視線方向上的徑向速度，同時比較星團的視直徑大小，藉此推算星團的距離。

應用都卜勒效應的另一個經典例子則是來自哈伯與勒梅特（Georges Lemaître）的發現。兩人分別發現星系遠離觀測者的速率與它們的距離成正比，這是因為宇宙空間正在膨脹的緣故，因此現今不少研究也會利用遙遠星系的遠離速率（紅移值）來推算它和我們之間的距離有多遠。

王彥翔：臺北市立天文科學教育館



圖4. 在展示場3樓可以透過影片解說輔以觸控來了解如何利用標準燭光測量星系的距離。

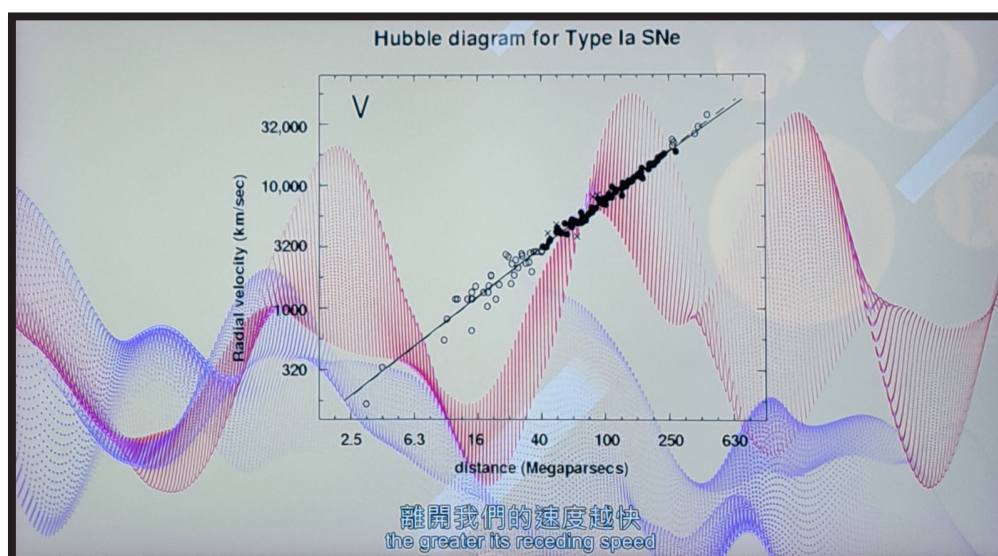


圖5. 在展示場3樓透過影片方式解說哈伯—勒梅特定律的意義。