

2022 年邵逸夫天文獎

邵逸夫獎 (The Shaw Prize) 由香港電影人邵逸夫爵士於 2002 年創立，於 2004 年開始頒發，表彰全球有重要成果的科學家，也稱之為「東方諾貝爾獎」，獎項分為天文學、生命科學與醫學，及數學。諾貝爾獎本身有物理學獎，其中也包括天文物理，主要是「物理」，例如宇宙學的內容，而邵逸夫獎提供了額外了解宇宙的成就。天文學有部分在於認識我們的所在以及周遭的環境，也就是「地理學」，另外探索天體的來龍去脈，也就是「歷史學」。我們在學校學的歷史、地理，限於與人有關的知識，天文學則包含地球、太陽、銀河系等天體，甚至所有這一切的宇宙本身的生、老、病、死。

2022 年第 19 屆邵逸夫天文獎獲獎者為萊納特·林德格倫 (Lennart Lindegren 瑞典隆德大學) 和邁克爾·佩里曼 (Michael Perryman 愛爾蘭都柏林大學)，表彰他們一生對天體測量學的貢獻，尤其在歐洲太空總署「依巴谷號」(Hipparcos) 及「蓋婭號」(Gaia) 兩個太空望遠鏡的構想和設計中所扮演的角色。

「天體測量學」英文是 **astrometry**。嚴格說起來天文觀測就是某種測量，舉凡亮度、光譜、偏極等等，但是這裡特指天體的位置與運動。Hipparcos 是歐洲太空總署的任務，望遠鏡口徑 29 公分，於 1989 年到 1993 年運作，是第一個專精於精密天體測量的太空望遠鏡，全名是 **High Precision PARallax Collecting Satellite**，這個繞口的名稱明顯就是紀念希臘學者 Hipparchus，中文譯名不一，這裡依英文譯為依巴谷，是三角測量學的始祖，也公認是古代最偉大的天文學家，在西元前一、兩百年就測量了月球距離，甚至發現了春分點的歲差運動。

Hipparcos 衛星重複在軌道不同角度度量同樣星體的位置，以視差現象來估計其距離，並同時測量星體本身在太空的運動，也就是一段時間後移動了多少角度，天文學稱為「自行運動」。依巴谷衛星達到恆星位置的經度為 0.001 角秒。360 度張角就環繞一圈，而其中一度的 60 分之 1 為一角分，而一角分的 60 分之一就是一角秒；所以一角秒是很小的角度，相當於 1 度的 3600 分之一，相當於 10 元硬幣在 5 公里之外的張角。依巴谷望遠鏡的測量精度比這再好 1000 倍，也就是在 5000 公里之外看同樣硬幣的張角。依巴谷望遠鏡團隊於 1997 年發表將近 12 萬顆恆星的目錄。

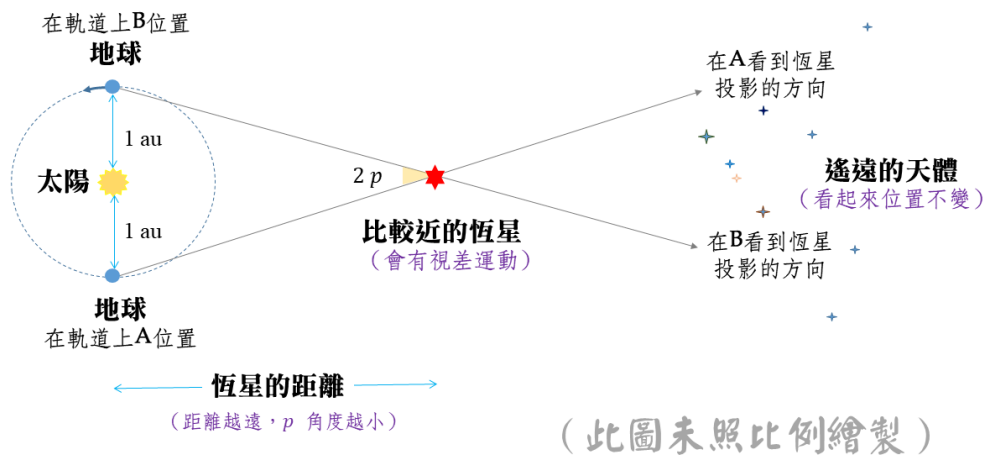
歐洲太空總署之後於 2013 年進一步發射蓋婭衛星，將天體測量更上層樓。蓋婭望遠鏡並非如依巴谷望遠鏡般繞行地球，而是位於 L2 軌道，也就是跟著

地球一起繞著太陽，這樣容易維持穩定軌道，也減少地球的「光害」，目前預期任務將超過原本設定的 2024 年。蓋婭望遠鏡持續提供將近 10 億顆星體目前為止最精準的三度空間目錄，主要是恆星，另外還有太陽系內的行星、彗星、小行星，系外行星，以及鄰近星系（當中的恆星）與類星體等等。計畫原名稱是 Global Astrometric Interferometer for Astrophysics（全域天文物理測量干涉儀），後來雖未採用干涉技術，但仍沿用 Gaia 的縮寫。蓋婭的名稱來自神話女神，是大地一切生命之母，借喻此太空望遠鏡將提供生命發展（地球）所在的宇宙「地理」，周圍天體的方位、距離，以及運動狀態。

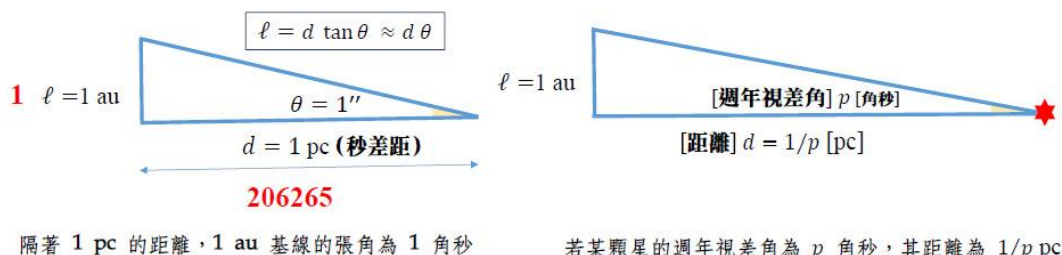
蓋婭望遠鏡對於天體位置的測量精度達到百萬分之一角秒，比依巴谷號又提高了一千倍。值得一提的是，一般望遠鏡採用圓形光學元件，所以星球的影像為圓形，但是偵測器（數位相機）各像元則為方形，這使得估計星點落在各像元內的光量（以及所在的精準位置）產生誤差。蓋婭望遠鏡的光學元件採用特殊的長方形光學元件，例如主要鏡面的尺寸為 1.45 公尺乘以 0.5 公尺，最後成像方形星形。在可見光波段極限大約為 21 星等，這包含了大約銀河系中 1% 的恆星。除了成像，望遠鏡另外配備了光譜儀，提供星體光度、溫度、表面重力、成分等資訊，是研究銀河系天體的劃時代珍貴數據。

這次獲獎的成就是「把天體位置量得準確」，以往地面觀測受限於大氣擾動，模糊了星點，影響了定位。蓋婭望遠鏡在軌道不同位置，重複測量星球坐標，據此估計星球的距離以及運動。圖一示意在地球附近觀看距離比較近的恆星，似乎投影在太空（天球上）某個方位，過了一段時間以後，由於「視差現象」，造成這顆恆星投影到另外一個方位，地球繞太陽一年當中，這個方位差別的最大角度，稱為「週年視差角」，在圖一中，此恆星的週年視差角 p 的三角形對邊是 1 au，利用三角學原理便能估計這顆恆星跟我們的距離 d 就是 p 的倒數，也就是 $d = 1/p$ ，這裡分子的 1，來自以 au 為單位，張角一角秒所在的距離為 1 秒差距 (parsec)，差不多等於 3.26 光年。這樣選取單位的話，週年視差角的倒數，在數值上就等於以秒差距為單位的距離，使用上很方便。

距離是瞭解某天體的基本資料，例如從看起來的亮度，有了距離才知道天體實際發光的情形。但隔著太空，我們僅依賴來自天體的訊號（光）來估計距離並不容易。例如在暗黑的晚上，我們從後照鏡看到微弱光點，會無法判斷是遙遠的路燈，還是跟在後面的摩托車。利用視差現象是估計天體距離最直接的方法，但是天體越遠，週年視差角越小，是工程技術上測量微小角度的挑戰。



圖一：當地球繞行太陽，在不同位置看到距離比較近的恆星（紅星符號），會有「視差現象」，也就是距離近的恆星會改變方位（天球坐標），而遙遠恆星則不會。在地球軌道上（基線為 2 au）測量的紅星一整年的最大視差角為 $2p$ 。紅星距離越遠， p 角越小。

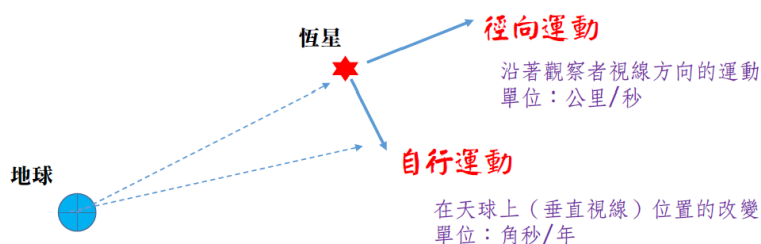


圖二：圖一當中有關基線、距離，以及週年視差角的關係。左圖是「秒差距」(parsec) 的定義，也就是 1 au 的張角為 1 角秒，所在的距離，相當於 3.26 光年，紅色數字表示 1 au 跟 1 pc 的比例差不多為 1 比 20 萬。右圖示意某星的週年視差角為 p 角秒，則這顆星的距離為 $1/p$ 秒差距，也就是數值上等於週年視差的倒數。

但是星球本身在太空也會動，如圖二所示，可以分成沿著視線方向的（徑向）分量，以及與此垂直（也就是投影在天球上）的分量，稱為「自行運動」。其中徑向運動，可以利用都卜勒效應來估計，單位就是「快慢」。例如 **km/s**。自行則是天體位置（方位）改變的快慢，單位例如是角秒/年。同樣的自行運動數值，比較遙遠的天體在太空動得比較快。蓋婭望遠鏡在不同時間測量同顆星的位置，就能推導出這顆星的距離，另外測得自行運動。蓋婭測量自行運動的

精度，依天體亮度而異，可達每年毫角秒。由距離與自行運動，便算出投影在天球的空間運動；加上蓋婭的光譜估計得出徑向運動，就算出這顆星的三度空間運動，再加上坐標與距離，因此得到六度（空間位置以及運動狀態）的資訊。

恆星本身在太空的運動



圖三：在地球觀測到恆星在太空運動的情形。其中沿著觀測者視線方向的分量，稱為「徑向運動」。而垂直於此方向（也就是投影在天球上）的分量，稱為「自行運動」。恆星距離越遠，自行運動（角度變化）越小。

以上原理說起來簡單，實際上執行有諸多困難。得到準確的坐標只是第一步，在不同時間量到的座標數值必須同時解出視差角及自行運動。顯然資料點數量越多，橫跨的時間越久，結果會越精確（太陽在太空也會動，那怎麼扣掉太陽的運動呢？這就是準確的問題了）。另外從週年視差（角）估計距離也並非簡單的倒數，這是因為測量總有誤差。假設測量結果是 $p \pm \delta p$ ，即使誤差 δp 呈現常態分布，倒數也不是，而有個統計分布，這樣估計距離就不簡單了。例如某顆遙遠恆星（ p 數值小），一般來說比較暗，光點不清晰，當然位置就量得比較不準，據以估計的視差角與運動誤差也比較大。由於 p 數值小，那麼在 δp 範圍內，有些會是負值，這樣以倒數來計算距離（負距離）當然沒有意義。這表示天體測量學不但需要尖端工程技術來取得精確的數據，也需要準確的校正，然後利用獨到的數學與統計分析來推導出結果。。

今年獲頒邵逸夫天文獎的兩位學者是依巴谷號以及蓋婭號兩個太空任務的關鍵推手，他們在天體測量學歷來有重要貢獻，各自已經獲獎無數，這次同時獲獎學界都認為實至名歸。林德格倫是隆德 (Lund) 大學教授，在以上兩個太空望遠鏡任務都扮演重要角色，

於 1993 年與佩里曼提出蓋婭望遠鏡的構想，在 2000 年獲得通過，而於

2013 年發射成功。在 2022 年 6 月 13 日，蓋婭釋放了第 3 批數據，包括了全天將近 15 億顆天體的座標、自行運動、週年視差角（距離）、三個不同波段的星等，另外還有恆星參數，像是表面溫度、表面重力場、消光、光譜型態、化學成分、徑向速度，以及推導出部分恆星的質量、年齡、可能雙星、自轉等等。因為有來自不同時期的資料，因此也提供了一些物理量隨時間變化的可能（例如亮度、徑向速度）。除了恆星，蓋婭數據也包含了太陽系天體，以及一些遙遠類星體的參數。這些讓人讚嘆的龐大數據庫，對於天體性質，以及銀河系結構將有革命性影響，而這些還只是蓋婭望遠鏡 2014 年 7 月到 2017 年 5 月的結果，預期日後仍將帶領一代天體測量學之風騷。

本次邵逸夫天文獎授予兩位科學家，實際榮耀當然歸於整個團隊，也向人類精密工業致意，共詠探索宇宙歷史與地理的努力。