

# 天聞

中研院天文所季報  
ASIAA Quarterly Press  
<http://www.asiaa.sinica.edu.tw>



中華民國 106 年 春季號

天文光譜學

哈伯極深空影像，可追溯到大霹靂 (Big Bang) 後約五億年的宇宙，幫助研究暗物質及暗能量。

©NASA; ESA; G. Illingworth, D. Magee, and P. Oesch, University of California, Santa Cruz; R. Bouwens, Leiden University; and the HUDF09 Team

# 天文光譜學淺說

作者／劉君帆

天文光譜學 (astronomical spectroscopy) 為利用天體在各個不同電磁波段強度的比較，而推得天體物理性質的科學。一般而言，依照涵蓋波段的寬窄，可以大略分為涵蓋多個波段的連續光譜以及僅僅出現在某些特定波長的線光譜。連續光譜的產生常常與天體的溫度 (或稱熱輻射) 相關；而線光譜則是來自原子與分子的能量改變，由於量子力學性質而僅在特定「能階」之間發生，可以說是原子與分子的指紋。

天文光譜學的應用大多與線光譜的都卜勒效應相關。由於光源與觀測者的相對移

動，線光譜對應的波長會隨著相對速度改變，相互接近時波長減短，相互遠離時波長增長，是為都卜勒效應。換句話說，如果我們已知某些特定線光譜的波長，再比較實際觀測到的波長，就可以推得天體與觀測者間的速度關係。

以下我們介紹使用天文光譜學作為研究方法的重要例子：

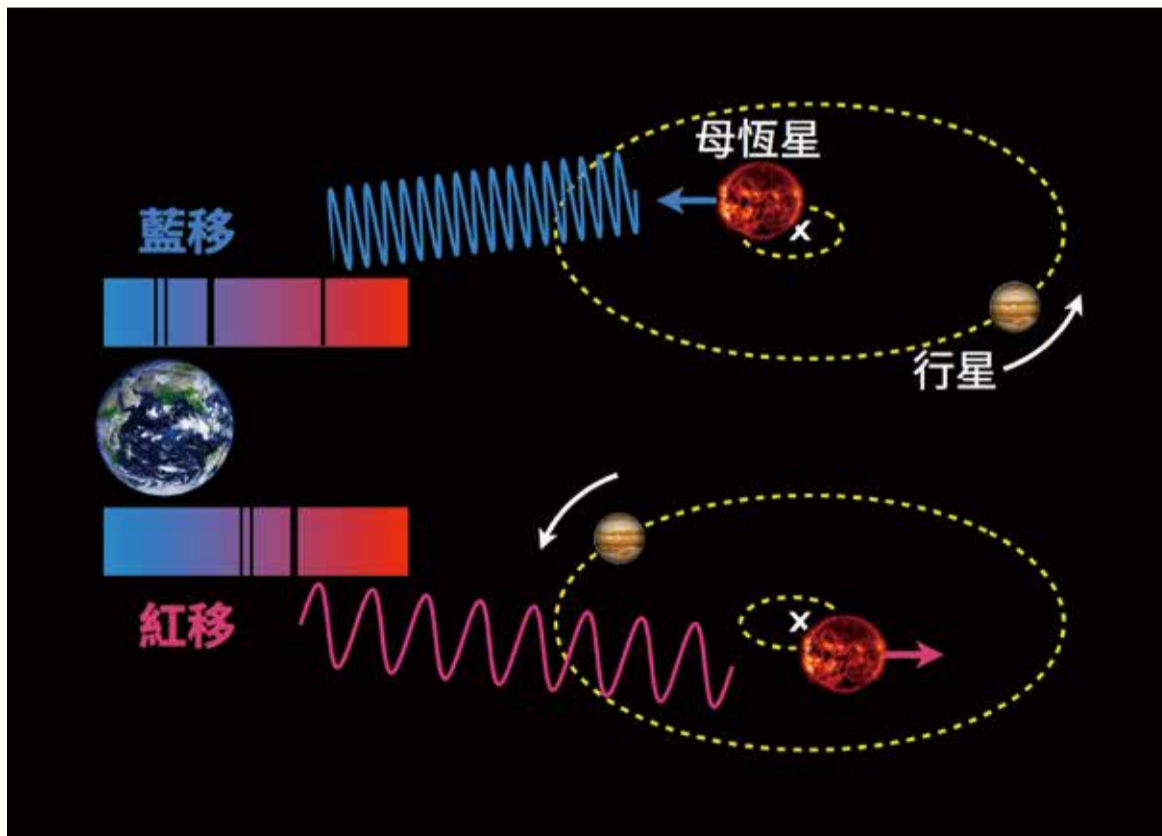
## 哈伯定律與哈伯常數測量

哈伯常數的數值與宇宙估計年齡息息相關，是當今宇宙學最重要的參數之一。測量哈伯常數仰賴哈伯定律，即星系距離本

銀河系與其遠離速度的關係，距離越遠，速度越快，紅移程度越大。早期測量紅移倚靠星系本身的吸收譜線，但越遙遠的星系亮度越弱，其光譜難以被觀測。現今觀測宇宙學大多仰賴「類星體 (Quasar)」測量高紅移星系的距離。類星體被認為是星系中心大質量黑洞周圍物質，在極大重力場下高速旋轉加熱而放出的耀眼光芒。這些光線游離了周遭的氣體，產生氫、氧、氮等元素的發射光譜。天文學家藉由這些發射光譜訂定星系的紅移，目前藉此發現的最遙遠星系大約在距今 130 億年前已成形。而早期的距離測量大多依靠星系中造父變星，但也有亮度微弱的問題。1980 年代，天文學家在大質量恆星形成區與星系中心發現電波的「邁射 (maser)」現象，具有特定波長的特性，可以精準地測量其速度與位置。由本所前所長魯國鏞院士領導的計畫團隊，精密解析環繞星系中心旋轉的強力邁射源 (megamaser) 的速度、距離中心位置、加速度，推算星系與本銀河系的距離。由此估計的哈伯常數精確度可達 10% 以內，大大增加了宇宙年齡估計的準確性。

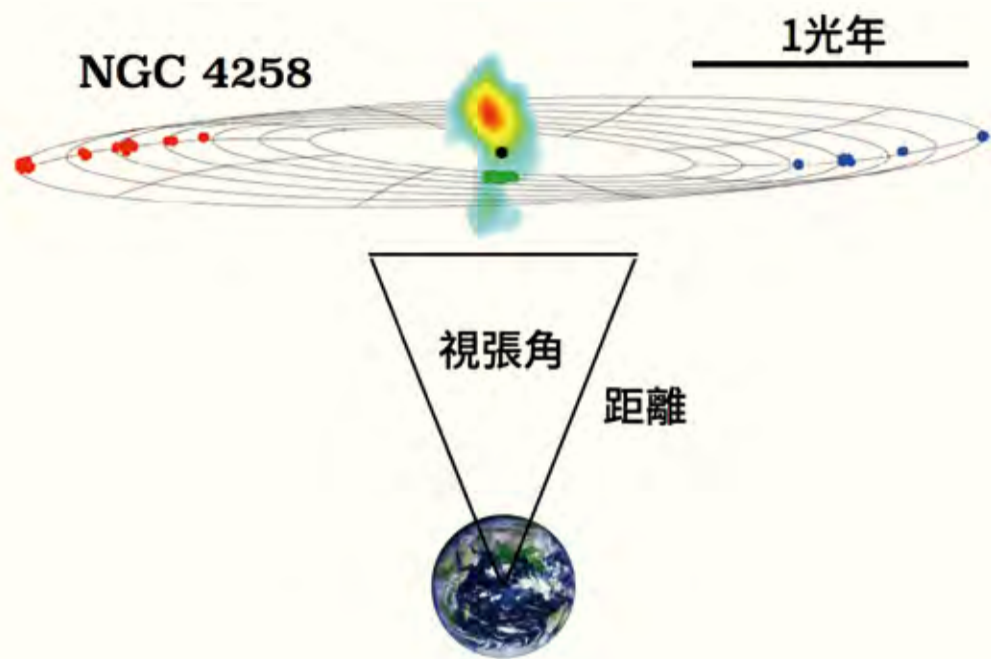
## 星系旋轉曲線與暗物質

大質量恆星 (通常為 O 型或 B 型恆星) 發出耀眼的紫外光，游離並激發周圍的氫氣，產生紅色的  $H\alpha$  發射光譜。螺旋星系中的大質量恆星形成於星系的旋臂中，環繞星系中心旋轉。螺旋星系為盤狀，若觀測角度可見其盤緣，則可看出其相對觀測者紅移或藍移的程度，得出旋轉速度。1970 年代，天文學家利用光譜儀觀測螺旋星系內的大質量恆星形成區域，測量

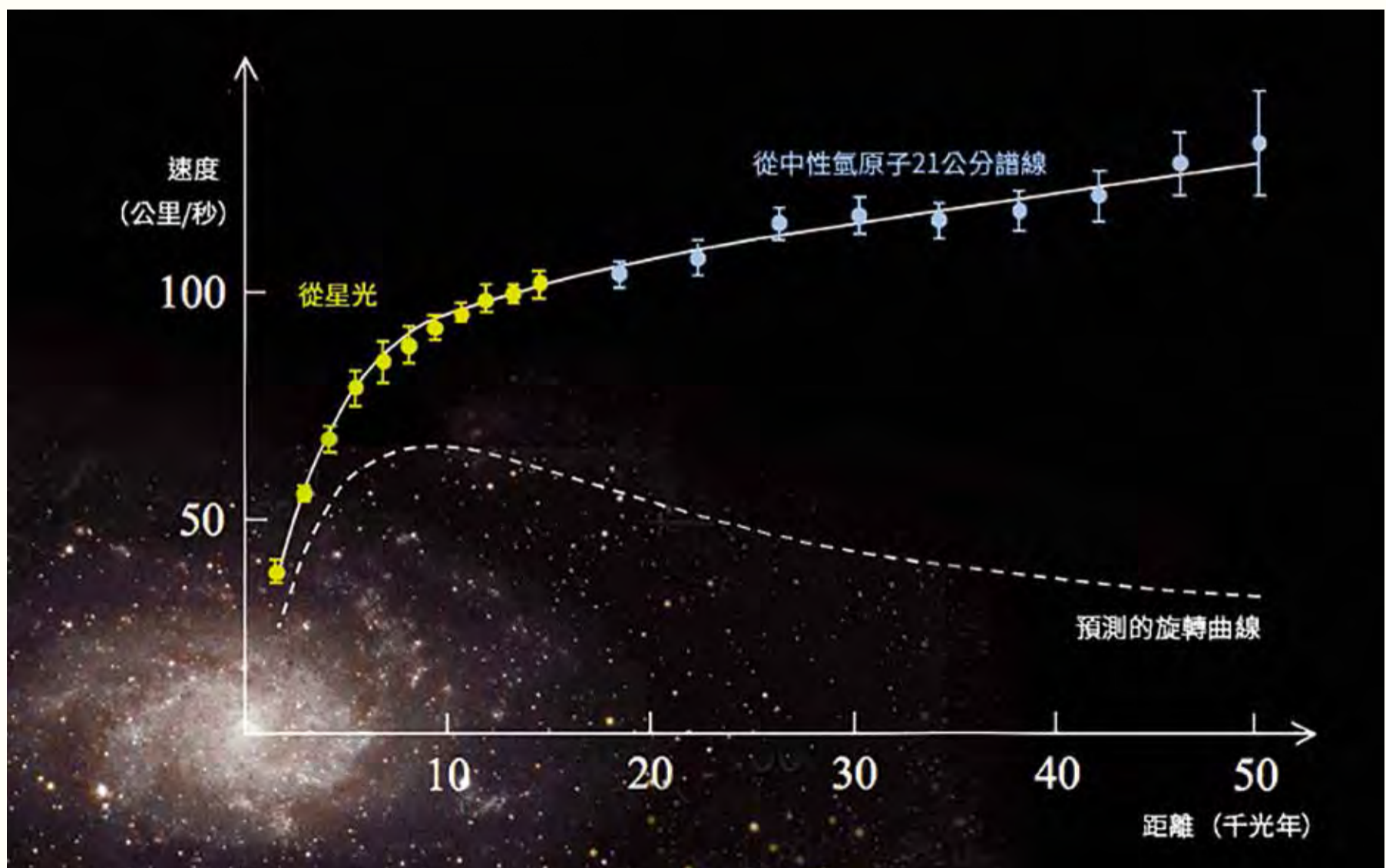


光 (電磁波) 的都卜勒效應示意圖 (未按照比例)。在一特定波長範圍內，特定氣體可有特定位置之吸收線。天體向觀測者靠近時，所有吸收線向短波長處移動，是為「藍移」；天體遠離觀測者時，所有吸收線向長波長處移動，是為「紅移」。可應用於使用恆星光譜尋找系外行星：恆星與行星皆繞其系統質量中心 (如圖中 x 所示) 運轉，恆星的圓周運動會造成與地球視線方向上的週期性遠離與靠近，造成光譜的紅移與藍移。(© 中研院天文所)

星系沿著中心向外各個區域的旋轉速度，描繪旋轉速度與距離星系中心位置的圖，即為旋轉曲線。1980年，美國天文學家魯賓（V. Rubin）發表測量多個星系旋轉曲線的結果，發現隨著距離增加，星系的旋轉速度，並未顯著降低，反而近似恆定。當時一般的假設為，星系主要質量與恆星分佈一致，皆向星系中心集中，如此會得到旋轉速度隨距離增加而遞減的結果，而魯賓等人的結果與此假設牴觸。若要維持轉速固定，在星系較外緣光度較暗的區域，必然有不會發出電磁波的物質存在。此研究成為「暗物質」存在的重要證據之一。之後經由觀測星系更外圍的中性氫原子的發射線光譜，發現旋轉曲線仍然大致維持恆定，證實魯賓的結果具有普適性，也成為20世紀最重要的天文發現之一。



利用邁射測量距離之示意圖（未按照比例）。由觀測可以得知邁射的位置及與星系中心的相對視張角大小。再測量邁射的速度與加速度，利用圓周運動性質，即可得到邁射與星系中心的真實距離，藉由視張角與實際長度估計得到觀測者與星系的距離。本圖上方為星系 NGC 4258 的邁射分布圖，中央黑點為星系中心之大略位置，上下各有向外發送的噴流，左右藍點與紅點分別為繞星系中心旋轉，而呈現藍移與紅移的邁射位置。（© 中研院天文所；NGC 4258：J. Herrnstein, NRAO, CfA）



螺旋星系 M33 的旋轉曲線。觀測資料由較內部的大質量恆星形成區（黃色點），與較外部的氫原子雲氣（藍色點）組成；實線為觀測曲線的擬合結果，虛線為依照主要恆星分佈而預期的旋轉曲線。（© Stefania.deluca）





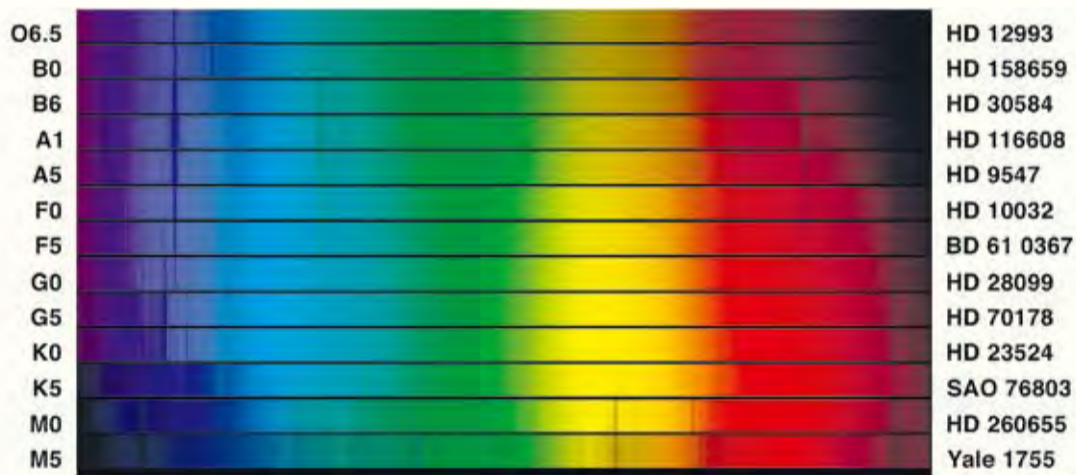
# 天體的指紋— 量測天體的化學豐度和特性

作者／周美吟

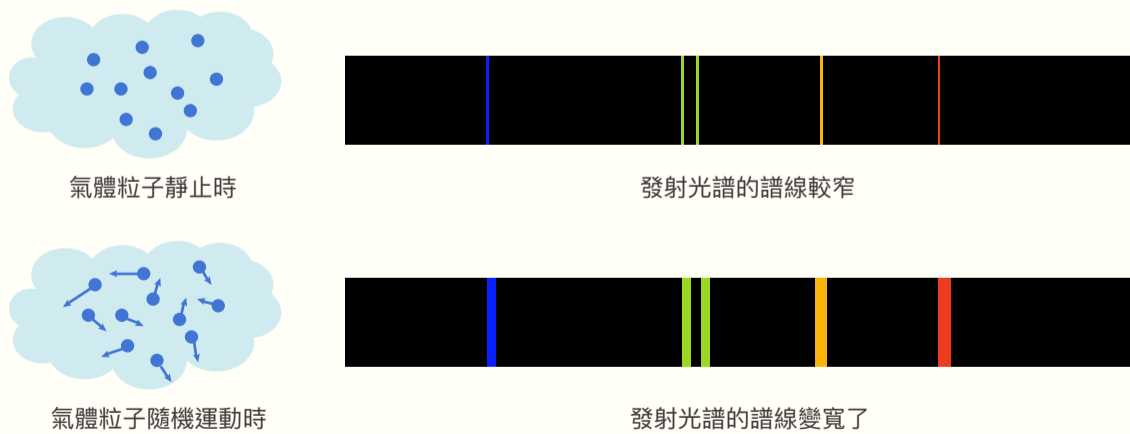
遙遠的天體，例如恆星、星系或氣體雲等，要怎麼知道它們含有那些成分呢？19世紀初的科學家發現太陽光譜上有一些暗線，並記錄了五百多條譜線的波長及特徵。之後利用實驗室中各化學元素產生的譜線測定其波長，與太陽光譜比較後確認了每一條太陽光譜線是由哪些對應的元素造成，並推論出這些暗線是由於太陽外層的大氣，其中含有的元素吸收了特定能量所造成。因此，只要觀測天體的譜線，量測出相對

應的波長，就能得知該譜線是由何種元素或分子所造成。恆星中某種元素的含量較多，也就是該元素的化學豐度（chemical abundance）較高時，會吸收較多相對應波長（能量）的光，所以這個元素就會造成較強的吸收譜線。若是一團高熱的發射星雲，化學豐度較多的元素，含有的原子數目較多，造成的發射譜線也會比較強。所以天文學家測量天體譜線的強弱程度，就可以推測出這個天體的化學豐度是多少。

天文學家在觀測恆星光譜時，發現看到的譜線特徵都不盡相同。恆星溫度較高時，觀測到的光譜暗線較少，這是因為高溫讓很多元素都游離了，而且含量最多的氫吸收線不明顯。觀測低溫的M型星時，因為其中有很多分子跟金屬元素的吸收線，所以光譜的暗線很多。而星系是由許多恆星、氣體跟塵埃所組成的，所以星系的光譜看起來，就好像很多恆星、氣體跟塵埃的光譜疊加在一起，除了有恆星的吸收譜線，也會有一些高熱氣體的發射譜線。

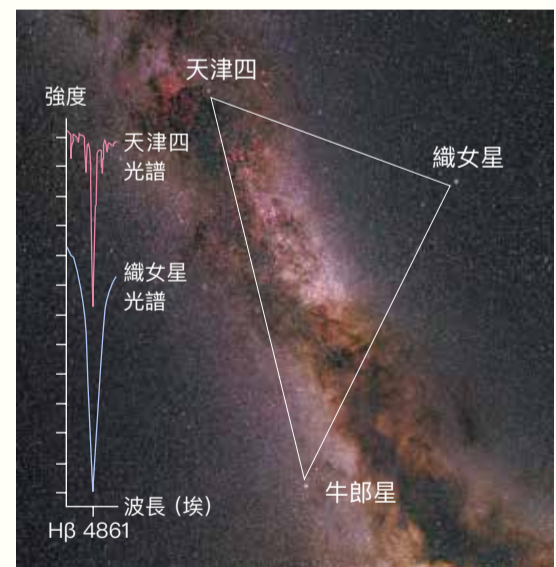


不同光譜型的恆星光譜，波長範圍為 4000–7000 埃 (1 埃 =  $10^{-10}$  公尺)。左側為恆星光譜型，右側標示光譜對應的恆星名稱。恆星溫度由上而下降低，上方的 O 型星溫度最高，下方的 M 型星溫度最低。每條暗線都是由不同的原子或分子吸收特定能量所造成，可以從暗線的分布得知組成恆星的化學元素。若進一步分析每條譜線，能得出恆星的詳細化學豐度。(© NOAO/NSO/NSF)



(上) 溫度很低時，氣體粒子間的運動幾乎靜止，對應出來的譜線較窄。(下) 溫度較高時，氣體粒子隨機運動的速度較大，造成譜線有些微的紅移跟藍移，所以觀測到的譜線較寬。溫度越高，隨機運動速度越大，譜線越寬。

每個天體的光譜都不太一樣，就像人類的指紋。光譜除了跟天體的化學成分和豐度有關，天體的自轉速度、溫度和密度也會影響譜線的寬度。所以我們可以從觀測到的光譜波長、譜線的強度和寬度等特性，辨別出不同的天體，甚至可以推測出這個天體形成的環境或是它目前的演化階段為何。



觀測同一條譜線時（如圖中的氫原子吸收線  $H\beta$ ），溫度相似的主序星（如圖中的織女星）跟巨星（如圖中的天津四）的譜線寬度就有明顯不同，主序星的密度大，原子彼此因碰撞機率大而造成粒子運動速度較大，所以觀測到的譜線較寬。反過來說，因為紅巨星的體積大、密度小，所以原子彼此間碰撞的機率比較小，譜線較窄。(© 中研院天文所 / 王為豪)

## 堅持卓越的身影—— 紀念魯國鏞院士 (1947 年 — 2016 年)

作者／賀曾樸院士 翻譯／黃珞文

魯國鏞院士出生於南京，正是戎馬倥傯的 1947 年，中學教育在香港完成，旋即赴美，專攻電波天文學，於 1974 年取得美國麻省理工學院博士學位。自此開啟他春風化雨，誨人不倦的科學事業，也曾協助歐文斯谷電波天文臺建置毫米波干涉。1986 年擔任伊利諾大學香檳分校天文學教授，1995-1997 為天文系系主任。

魯國鏞院士於 1997 至 2002 年間擔任本所籌備處第三任主任。1990 年代，不少海外華人天文學家致力於為臺灣天文學開創新猶，本院 1949 年遷臺後雖然重建，但天文研究所並無新設。1993 年，在吳大猷前院長的支持下，邀請李太楓、袁旂、魯國鏞三位合力籌建天文所，並先後擔任本所籌備處主任。

其時，臺灣天文學十年計畫成形，定以電波天文學為本所重點領域。院士先後領導「次毫米波陣列」(SMA)及「宇宙微波背景輻射陣列望遠鏡」(AMiBA)計畫。之後大力促成「中美掩星計畫」，及和加法夏望遠鏡(CFHT)團隊合作的「廣角紅外線相機」(WIRCam)計畫，自此讓臺灣走向了國際級天文設備的使用。

2002 年，魯院士接受美國國家電波天文臺臺長(NRAO)一職。華裔天文學家擔任頂尖學術機構的領導人，意義非比尋常。在他的協助下，臺灣得以加入世界最大的阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列(ALMA)計畫。魯院士也擔任本所的學術諮詢委員會主席，並對許多亞洲天文機構多方協助，其影響力廣及於全亞洲天文



本所 1997 年成立四週年誌慶茶會中，李遠哲前院長(左)、魯國鏞院士(中)及吳大猷前院長(右)一同觀看計畫海報。

學界，對提昇臺灣的國際學術地位，居功至偉。

魯院士一生堅持卓越，並要求部屬和同事凡事盡最大努力，雖治學嚴厲，但是對學生盡心照顧。擔任籌備處主任期間，更身體力行，廣邀同仁進行午茶研討，增進學術風氣。個人研究方面，他最有興趣的題目是：銀河中心黑洞、藉毫米波分子躍遷研究鄰近星系，及利用水邁射測量哈伯常數。

2016 年冬，魯院士抗癌 20 年歷程終了，肺癌辭世，留下朋友和同事無限追思。

## 紀念美國女天文學家薇拉·魯賓 (1928 年 — 2016 年)

作者／蔣龍毅、顏吉鴻

如果問起現今天文物理學最重要的課題，暗能量和暗物質絕對是 21 世紀的聖杯。相較於這個世紀才漸漸揭開神秘面紗的暗能量，科學家早在 1930 年代就有了關於暗物質的假說。暗物質，顧名思義是指不發光、只能透過自身質量產生重力效應的物質。1970 年代，美國女天文學家薇拉·魯賓(Vera Rubin)觀察了幾十個螺旋星系之後，發現處於星系邊緣的恆星，繞著星系中心的公轉速度遠超出預期。根據萬有引力定律，這些位於星系邊緣的恆星，必定繞著一個極大質量的物體公轉，而且這個質量遠大於星系中恆星跟氣體的總和。據此，她推論必定有不可見的「暗物質」存在，她的觀測結果就成為宇宙暗物

質存在的確切證據。

雖然研究成果在科學史上舉足輕重，她的學術生涯卻是命運多舛。她最初申請普林斯頓大學研究所，但院長卻以研究所不接受女性，和女性學習天文學沒有意義為由拒絕。魯賓只得另尋他處，最後在康乃爾大學取得碩士學位，在喬治城大學獲得博士學位。她也是第一位正式訪問帕洛瑪(Palomar)天文台的女性客座研究員。在那個全是男性天文學家的年代，魯賓備受輕視。在被告知天文台只有男性廁所後，魯賓把裙子形狀的剪紙貼在廁所的標示上，然後很霸氣的說道：現在已經有女性廁所。

除了自身的研究工作外，魯賓四處奔走、倡議為女性在科學領域爭取空間。她敦促聖地牙哥天文台雇用更多女性；經過她的遊說，更多女性科學家才得以進入國家科學院任職。前同事 Neta Bahcall 回憶起魯賓：「每當她遇到一個很少或沒有女性演講者出席的會議時，她總會打電話給籌辦單位，告訴他們沒有女性出席是有問題的，這要改變」。

2011 年，諾貝爾物理學獎頒給發現宇宙暗能量的研究團隊。而發現暗物質的魯賓，卻遲遲等不到諾貝爾獎的肯定，在 2016 年的聖誕節與世長辭。即使她在世已經拿遍了所有重要的物理獎項，也無法成為歷史上第三位女性諾貝爾物理學獎得主。

# 安裝在 Subaru 望遠鏡上的主焦點光譜儀

作者／王祥宇

為了更有效率地獲得天體光譜資料，位於夏威夷毛納基峰上口徑 8.2 米的 Subaru 望遠鏡，正在開發主焦點光譜儀（Prime Focus Spectrograph，簡稱 PFS）。PFS 是由光譜儀和光纖定位器組成，透過光纖取得的訊號可以轉送到 4 座固定式光譜儀。PFS 總共有 2394 條光纖和定位器，可以同時觀測到 2394 個天體的光譜。這座觀測範圍涵蓋可見光至近紅外波段的光譜儀可望達成多項重要觀測目標，包括暗物質、暗能量、星系歷史等。

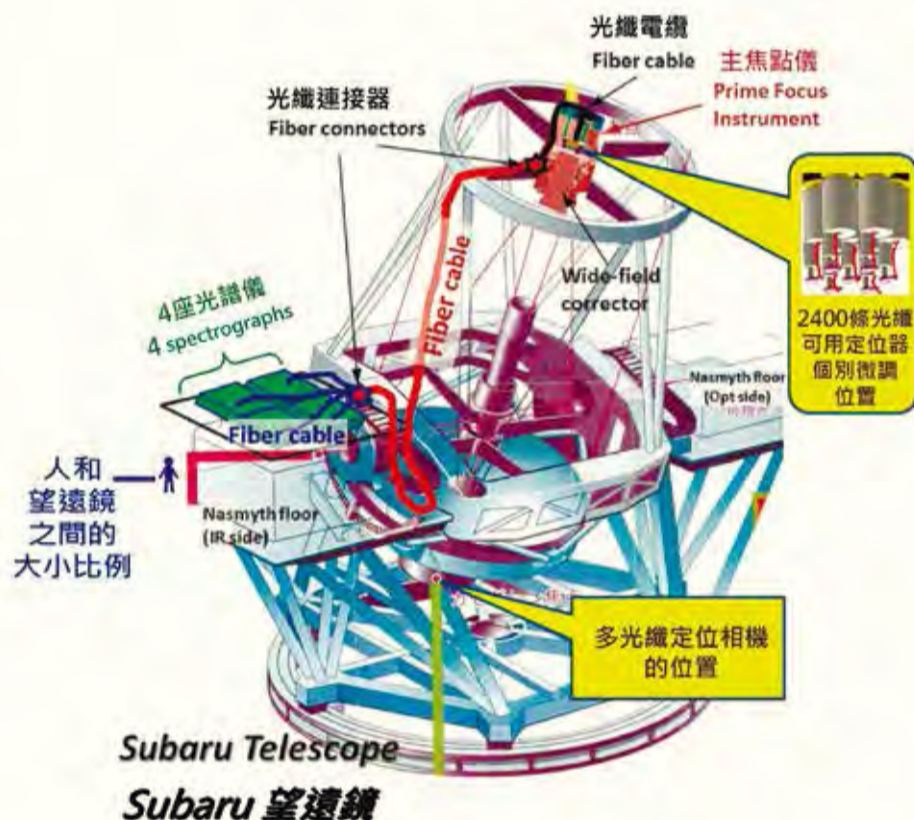
透過 PFS，天文學家將進行 300 個晚上的普查，包含測量大尺度的星系位置及速度分布，來研究宇宙膨脹和暗能量的本質。而 PFS 的星系演化普查將會使我們更了解星系是如何從宇宙誕生演化成現在的模樣。PFS 也會普查銀河系和鄰近的仙女座星系裡的恆星速度和化學組成，幫助我們探討暗物質的本質以及其對星系形成的影響。

PFS 將使用 Subaru 望遠鏡新一代超廣角相機（Hyper Suprime-Cam）的廣角修正鏡組（Wide Field Corrector），具有獨特的高解析度和超廣角特性，PFS 共有四座光譜儀能同時進行三個波段的解析，波長範圍涵蓋 0.38 到 1.26 微米，觀測的平均解析力為 3000，也就是在波長 6000 埃（1 埃 =  $10^{-10}$  公尺）時，可以分辨出兩條距離 2 埃以上的譜線。PFS 將是在口徑 8 到 10 公尺等級

的望遠鏡中，唯一能在同一時間內觀測到多達 2394 個天體光譜的儀器。

本所代表臺灣加入 PFS 合作團隊，負責光纖定位相機系統（metrology camera system）和主焦點儀器的大部分元件及整合測試。光纖定位相機系統的作用是将主焦點光纖

的陣列拍攝成像，先藉由測量到光纖位置，再透過定位器指令去微調光纖位置，直到光纖和選定觀測天體目標能準確對齊以便接收天體訊號。光纖定位相機將在本所設計製造，並送往 Subaru 天文台進行測試，之後與主焦點儀器系統進行最後階段的系統整合，預計在 2020 年正式啟用。



PFS 將挑戰在 1.3 度視角下，同時間完成最多 2394 個天體之光譜觀測的極限任務。每條光纖的入口端裝設有微透鏡，能讓大角度的光訊號無損地藉由光纖來傳遞至光譜儀上；此外，在光纖定位器的運作下，每條光纖都能精確無誤地調整至所對應的位置上。每個定位器上都配備兩個壓電式旋轉馬達，藉由背向照明之光纖，以「光纖定位相機」反覆校正以達成光纖定位。光纖會把光輸送到一組四個相同的快速 Schmidt 式光譜儀。

天聞季報編輯群感謝各位閱讀本期內容。本季報由中央研究院天文所發行，旨在報導本所相關研究成果、天文動態及發表於國際的天文新知等，提供中學以上師生及一般民眾作為天文教學參考資源。歡迎各界來信提供您的迴響、讀後心得、天文問題或是建議指教。來信請寄至：「臺北市羅斯福路四段 1 號 中央研究院／臺灣大學天文數學館 11 樓 中央研究院天文所天聞季報編輯小組收」。歡迎各級學校師生提供天文相關活動訊息，有機會在天聞季報上刊登喔！

發行人 | 朱有花。執行主編 | 周美吟。美術編輯 | 楊翔伊、王韻青。執行編輯 | 曾耀寰、劉君帆、蔣龍毅。

發行單位 | 中央研究院天文及天文物理研究所。天聞季報版權所有 | 中研院天文所。ISSN 2311-7281。GPN 2009905151。

地址 | 中央研究院／臺灣大學天文數學館 11 樓。（臺北市羅斯福路四段 1 號）。電話 | (02)2366-5415。電子信箱 | epo@asiaa.sinica.edu.tw。