

電波天文學入門

原著：R. C. Jennison

譯者：唐 山

73

遠東圖書公司印行

電波天文學入門

Introduction to Radio Astronomy

原著：R. C. Jennison

譯者：唐 山

遠東圖書公司印行

本公司經內政部核准登記
登記證為內版台業字第三二號
中華民國六十四年元月一版

有 著 作 權
不 准 翻 印

電波天文學入門 (全一冊)

定價新台幣陸拾陸元

(外埠酌加運費)

譯 者 唐

發行人 浦 家

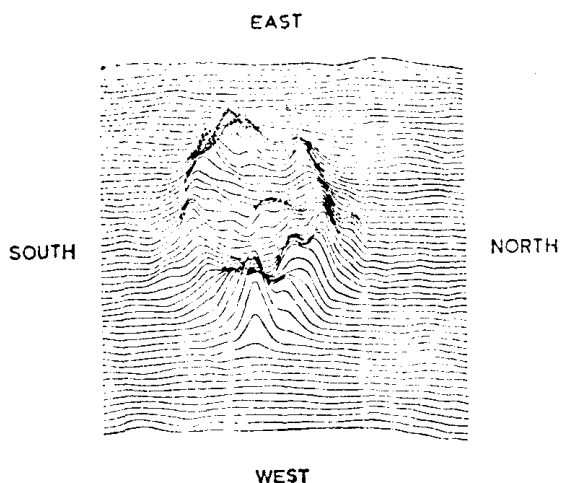
麟 山

印刷者 遠東圖書公司

臺北市重慶南路一段六十六之一號十樓

發行所 遠東圖書公司

臺北市重慶南路一段六十六之一號十樓



封面內頁：仙后座A電源的剖面，用自動曲線製圖機繪出。這是劍橋 Ryle、Elsmore 及 Neville 等人的第一個成績，電源在1400 Mc/s 上的亮度分布的綜合，因在本書付梓後收到，故不及在本書內加以討論。請注意在明亮邊緣四周以及東偏北環上的缺口的發射峯，其位置大致和焰的早期觀測脗合。（見第五章）

（圖由 Ryle 教授等許可複印）

原 序

電波天文學（無線電天文學、射電天文學Radio Astronomy）是一門迷人的科學。遠古時代，人類以敬畏的心情注視天空的神奇，而且奮力不懈以求解開神秘以及天體的運動，這些天體，他們能夠看見，而作科學的沉思和假定，乃至以他自己爲主角作哲學和詩情畫意的描述。用肉眼研究宇宙已不知有多少世紀了，自從遠鏡發明以來，在深度和細緻上增加了極大的範圍，也使人類獲得不少智識，同時益發增加其神秘感。巨大而新型的光學遠鏡使拓荒者推入更遠更深邃的太空，還藉攝影底片和進步的分光術加強了色彩。用這些技術，使天文學在二十世紀中葉成爲一門不是推測而是精密的科學，天文學上使用的各式儀器已接近其設計習慣式樣能力的極限。

在這個時代，電波天文學誕生了，是一門剛在壯年的新科學，它源自無線電工程，但已經完全確定而和最古老的科學結上了有力的親戚關係。它並不損害天文學，而且還給它一種新的原動力，使古老的天文學不再處於夢想之中。

在電波天文學上已有甚多的大衆化書籍面世，以期滿足對這門迅速進步的目標有最新的說明，和更詳細的處理方法

與希望。至於電波天文學的教科書，數量甚少，有的在撰寫上祇供這方面的專家使用，有的則是多年前的老作品。這本薄薄的書目前在作為過於大眾化和教科書之間那個缺口的橋樑。是對那些非專家而希望在大眾餐盤的配料裡，找到些食物，以滿足渴望之忱，這就是電波天文學入門這本書的目的。由於它不是一本教科書，故有些方面并未作嚴格的處理，其間還使用一些數學，特別是最後一章，但它的結果祇是作口頭上的說明，所以凡不能消化數學的人，應能夠搜集計算上的意義而回到理論上的探討。

這本書對於電波天文學技術方面所包含的并不比其他的書籍為多。在處理上分為兩個水準，一是第二章標題：「基本工具」，文中介紹基本的觀測技術，使讀者對於後面所敘述的觀測有較佳的了解，此外便是最後一章「處理技術」，凡精巧老練的技術都用中等程度的解析，以應讀者的渴求。其他六章大部分是着重在無線電及雷達天文學方面。

Roger C. Jennison

譯 者 序

電波天文學是科學上全新的一面，雖然它由無線電工程繁衍而來，但處理的對象是天體，在天文學上解不開的許多問題，給予莫大的助力。所以有人形容它是一門打開天門的鎖鑰或工具。

可惜，有關這方面的中文書籍實在太少了。許多年前，譯者為廣文書局編譯的天文學問答，其中一本提到電波天文學，好像未再看到別的书專對這方面作比較詳細的敘述。這也許是大學增科設系沒有天文學這一門有莫大關係。其實這是一門十分重要的科學。

本書作者張尼遜（Roger C. Jennison），曾獲得科學學士（B. Sc.）學位，哲學博士（Ph. D.）及英國皇家天文學會會員（F. R. A. S.），目前是義大利 Canterbury 康德大學（University of Kent）的物理電子學教授，也是周德爾堤（Jodrell Bank）電波天文學的高級講師。一九五四年以後還擔任 Institution of Electronics 的校長，對於天文學的論著甚豐，此外尚兼及太空研究與相對論方面，可謂飽學之士。

譯者不敏，對於無線電學之素養尤付乏如，譯文缺失，

乃在意料之中，敬請專家不吝指正。幸甚。

唐 山

六十三年十月於省立屏東高工

電波天文學入門

目 錄

原 序

譯者序

第一章 緒 論 1

第二章 基本工具 6

第三章 電波太陽 20

 安靜太陽 20

 緩慢變化的成分 25

 活動太陽 27

第四章 月球和行星 34

 月球 35

 行星電波發射 36

 月球及行星雷達 43

第五章 銀河電波發射及第一顆電波星 52

第六章 光譜量測	71
氫線	74
河外及銀河際分光術	84
其他譜線	88
第七章 河外電源	90
第八章 處理技術	129
單條天線	129
藍利標準	133
口徑與極坐標圖	136
干涉計	139
簡單干涉計系統的缺點	146
相角開關干涉計	151
無線電連結干涉計	155
相感覺干涉計	158
非直線干涉計	164
強度干涉計	165
副波干涉計	177
多重元件系統	183
協和射束	186
各種電波遠鏡	192
附錄：福瑞爾變換式	196

第一章

緒 論

在短短幾十年裡，電波天文學在增進人類宇宙智識方面，比遠鏡發明以來任何一個單獨因素爲多。全新的輻射光譜，現在已可加以利用，而離開了光學天文家的研究工作，延伸了許多倍的光譜，仍然充滿神秘，就是在本書出版之時，還不斷有許多新的神秘發現。它是一門年富力強的科學，連同太空研究，使古天文學返老還童。不過，天文學不是它的親科學（parent science）；它是無線電工程衍生而來，在天文學和它認親之前，於第二次世界大戰末期由無線電的業餘人員所孕育。

不顧無線電工程目標方面的基礎，人們通常以所看見的宇宙關係來解析電波天文學；在從事這門較新科學討論之前，讓我們對老的先看一下。

當我們窺視宇宙之時，就會從太陽系開始，有些我們都已知，然後再超越太陽系朝恒星和銀河系以外看去。

月球在平均二十四萬哩的距離上繞行地球，而光速每秒十八萬六千哩，所以月光以一秒半的時間到達地球，雷達從地球發射，再由月球反彈回來的回聲，時間幾乎三秒。月球直徑約二千哩，角直徑（angular diameter）爲半度；換句

話說它和半辨士（halfpenny）在距離十呎處所顯示的大小相同。月和地球都繞行太陽，和其他的行星完全一樣。全部行星繞行太陽皆為橢圓軌道。由太陽至地球的平均距離，通常稱為「天文單位」（astronomical unit），大約等於九千三百萬哩，陽光花八秒從左右到地球。太陽的直徑為八十六萬哩，所以它的角直徑幾乎和月球相同，這個純粹的巧合，偶然為我們帶來了日全蝕的神奇現象。太陽至最外行星冥王星（Pluto）的距離，大約三十六億七千五百萬呎。太陽所發射的電波是不斷的，偶而也有爆炸。月球和各行星亦發射相當微弱的電波，要用相當大的電波遠鏡（無線電遠鏡 radio telescope）從短波才收得到。木星亦發生奇妙的爆

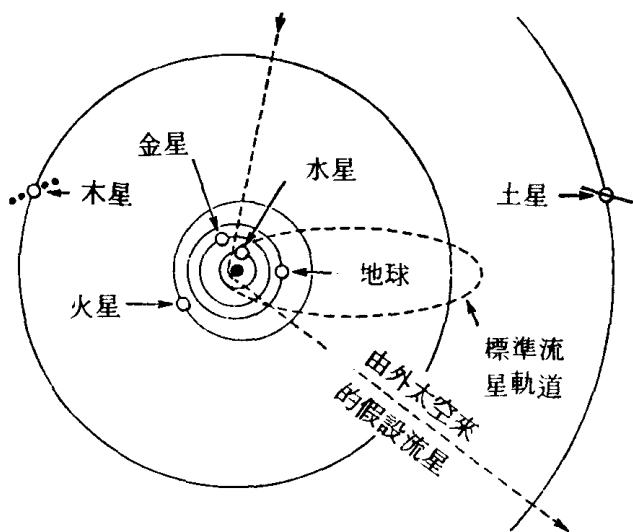


圖1 太陽系內部分行星軌道。

發，波長較長，檢出也較易。

行星軌道爲非常扁的彗星和流星流的軌道所橫越。除非我們花掉生命的大部分時間凝視星空，如果有生之年能看到一枚彗星，就算運氣了，但流星則司空見慣，尤其秋夜，晴空萬里之時更容易看到。大部分流星看來都是很小的壓實塵片，大小爲針尖；在環軌上到處都有很微小的塵流分佈着，推測是一顆彗星解體後遺留下來的碎片。流星流的軌狹而長，地球全年運行太陽的軌道，和它們交叉兩次。進入地球大氣層時，它們的速度大致爲每秒二十公里，在距地面一百公里高處便燃燒殆盡，祇留下我們所看見的光痕，電離氣柱，可以用雷達檢到。圖 1 地軌經常和特殊的流星雨（meteor shower）在同一點或兩點相交。基於這個原因，大部分流星雨每年都定時出現，尤其一特殊流星雨的全部流星的彈道，均大致平行；因此，當我們從地球觀測時，它們是在天空一點輻射而出，這一點稱爲星雨的輻射點（radiant）。所有流星雨都用星座取名，也就是以輻射點座落的星座爲各該流星雨之名。例如英仙流星雨（又名傳舍雨 Perseids），獅子流星雨（Leonids），輻射點分別在英仙座和獅子座內。測量流星進入大氣層時的速度，便可計算其軌道的形狀。如速度超過了某一限制數值，即拋物線極限（parabolic limit），流星軌道便不再是橢圓形繞太陽而轉，而是運行於雙曲軌道上。就是說這特殊的流星不再是太陽系的屬員，不再爲地球所攔截，當它行近太陽之後，便在群星之間消失了。

如果我們能走出太陽系旅行，在遇到最近的一顆恒星之

前，我們要旅行四個光年的路程。一光年就是光一年所走的距離，如果我們用一秒十八萬六千哩的速率，四個光年的距離就是 6,000,000,000,000 哩左右，我們可以由此想到這個比例多大，正如太陽在空間好像是一個枱球（彈子 billiard ball）放在倫敦裡一樣，最近的恒星就像在愛丁堡（Edinburgh）的一個枱球。太陽和最近鄰星的間隔，是本銀河系內大多數星群的標準間隔，迄今我們已知本銀河系內含有 100,000,000,000 顆恒星。這些恒星都分佈在有旋渦結構和一個巨大核心的扁平圓面上，除了有兩個旋渦臂，真像個巨大的車輪（Catherine wheel），不同的是後者有一條旋帶，太陽系統位在個大觸鬚由銀核起至圓面邊緣的三分之二處。太陽距核心的實際距離約二萬五千光年。當我們在晴夜注視天空看一看銀河（星河 Milky Way），所看見的實際是在圓面上的星星；再看銀河兩邊，如果是對圓面垂直的角度透過近星外看，星數便比較少。有人會問，我們為什麼看不見銀河系的亮核？答案是看得見，祇是在電波波長上才可看到，光學波長上它被塵雲掩蔽。這些塵雲，內容有別，但形狀和地球領域內的雲相似，雲之橫距平均三十光年左右。塵粒子間的距離，可能為幾哩，但在阻擋後面來的星光已經夠黑。在每一旋渦臂內的塵雲都侷限在一個極薄的層內，和銀河面脗合，當我們仰視銀河，在星帶中顯出許多洞穴。別的銀河系亦可看見類似的塵雲，如照片一祇看到其刀口狀邊緣。和塵雲大概一致的透過銀河系而形成一個薄層的氣體雲，這種氣體幾乎完全是氫，其平均密度大約每立方公

分一個原子，即爲空氣密度無數億分之一，是無線電波發射主要來源之一。

擁有無數星星的本銀河系，祇是散佈空間數百萬個類似銀河系之一，它們延伸了可見宇宙（observable universe）的極限，利用目前最大的遠鏡加強搜索，所見越來越多。天空某些部分，這些星系（Galaxies）集團出現，如照片二，相差很大，但標準銀河系之間的距離，并不比每個銀河系的體積大許多倍，所以有時候會發生相撞。天鵝座（Cygnus）內的電源（radio source），也是「電波星」（radio stars）之第二最亮者，被判斷是曾發生上述相撞的大變動的例子之一，但要申述其理論則有許多困難，現在認爲雖然這種相撞，在宇宙中極爲平常，但却不一定就是電波星。

至天鵝座電源的距離超過五億光年。至仙女大星雲（Andromeda nebula）這個距離最近的河外銀河系，約爲二百萬光年，星雲直徑約爲十三萬光年。在本書寫作時最遙遠的可見銀河系，在牧夫座（Boötes）這個方向內，距我們的有四十五億光年。由這個銀河系來的光，以及來自其他遙遠銀河系的光，紅化很多。紅化（Reddening）現象隨距離而增大，是因譜線波長比例移位引起，但不能用光在空間的單純散射來解它。它是由退行的杜伯納位移引起的結果，是膨脹宇宙（expanding universe）中必然發生的現象。

第二章

基本工具

電波天文學家檢出具有散亂電波「噪聲」(noise)的訊號，但他難得聽到訊號的聲音，且它們的型式與強度，却不容易使天文學的儀器求出該一電源在瞬間的二次元圖形。通常他祇能做的是，將儀器保持固定，或緩慢對一電源以一次元的掃瞄進行帶寬(band width)和射束寬度以內總輻射的暫時變化的研究工作。掃瞄作業因地球繞軸自轉而簡化，故將天線固定在地球表面上，一天便可掃視天空一圈。這種掃瞄是在赤徑(right ascension)方面。在赤緯(declination)的掃瞄，可將天線系傾斜，而與赤徑掃瞄成直角的平面內使得，也就是使它傾向或傾離地極便行。

目前在電波天文學上使用的若干電波遠鏡是相當精巧的系統，其作業方法新奇而精美，將在第八章討論。其他的遠鏡則極簡單。第一次對天空作詳細測量的是李伯(Grote Reber)，他於一九四〇年用自製的拋物線體在他家後花園進行觀測。拋物線體被用作電波遠鏡，和三百年前牛頓的反光遠鏡作用類似的電波遠鏡，帕羅馬山(Mount Palomar)的二百吋光學遠鏡和英國周德爾堤(Jodrell Bank)的二百五十呎電波遠鏡，都是牛頓的反光遠鏡的後裔。

爲了電波天文學上許多試驗，遠鏡比牛頓反光遠鏡更爲簡單，所以祇是一個簡單的天線系統。由太陽爆炸（見照片六）來的訊號是地球上接收的最強的宇宙訊號，可以用非常簡單的儀器檢查。

由安靜太陽（quiet Sun）來的電波噪聲訊號，它的強度在較長波長上減弱，而來自太陽焰（solar flares）的輻射則不規則，擾動的太陽在表現上，強度是隨波長增加而愈強。要檢查頻率由每秒 $30 \sim 200$ Mc/s 內太陽電波發射之大部分，一個偶極子（dipole）或“H”天線連在安定接收機（stable receiver）上便可以滿足。接收機的帶寬，應儘可能大，並避免人爲干涉。性能優秀的電視機的帶寬和全部性能，可以勝任大部分目的。檢測器（檢波器）電路應供以定時一秒的電流，以「聚集」（integrate）噪聲輸出將訊號送到筆型記錄器或其他祇適當形成永久記錄的裝置（見圖二）。

如檢波器具有平方律（Square law）特性，則直流（d. c.）輸出之增強與天線的噪聲功率（Power）之增量成正比，直流輸出上的噪聲漣波（Ripple），在音度上有極小變化，並依前置檢波器（Predetector）波帶寬及聚集時間（integration time——記錄器上平滑線路 smoothing circuit 的時間常數）之乘積的平方根成反比。要檢出噪聲進入天線的極小變化，可以用極大的天線以增加輸入的增量，或寬波接收器，此接收器在檢波器上有大的時間常數，故使接收器充分安定，而且沒有干擾。