

# 天體物理學

任教科別：數學科 作者：陳長德

## 摘要

天體物理實驗數據大多數是依賴觀測電磁輻射獲得。比較冷的星體，像星際物質或星際雲會發射無線電波。大爆炸後，經過紅移，遺留下來的微波，稱為宇宙微波背景輻射。研究這些微波需要非常大的無線電望遠鏡。實測天體物理目前持有全球最尖端的科技來進行研究，技術的演進，天體物理實驗數據已經可以採取多種管道獲得，包含了地面各類望遠鏡、太空望遠鏡及太空探測船。此外，由於需求的緣故，實測天體物理學家是目前建造超級電腦的最積極人士，全球最尖端的超級電腦有大批是由實測天體物理學家所建造及持有，其次則是高能物理學家所建造及持有，多數的實測天體物理學家同時也是電腦專家及理論物理學家，經常會透過全球虛擬天文台的數據互換來進行研究，超級運算的領域當中，有許多出身於實測天體物理學的工作者。

## 壹、前言

了解太空的探索擴展了天文學的疆界。太空中的觀測可以讓觀測結果避免受到地球大氣層的干擾，科學家常透過使用人造衛星在地球大氣層外進行紅外線、紫外線、伽瑪射線和 X 射線天文學等電磁波波段的觀測實驗，以獲得更佳的觀測結果。天體物理學是研究宇宙的物理學，這其中有星體的物理性質（光度，密度，溫度，化學成分等等）和星體與星體彼此之間的交互作用。應用物理理論與方法，天體物理學探討恆星結構、恆星的變化、太陽系的開始和許多跟宇宙學相關的問題。

## 貳、正文

### 一、望遠鏡：

望遠鏡是用於觀測系統中的一個單元。它主要的任務有兩個，就是收及電磁波的輻射和成像。它首先是由可見波光段所發展出來，然後在 1950 年擴展到電波波段，在加上 60 年代因為太空探測的發展，而含蓋到了全部的電磁光譜。因為發現和預言重力波和微中子的存在，讓我們能去想像，去建造一種可以探測這些形式能量的系統的可能性，而這些系統將和經典的望遠鏡扮演相同的角色。但在目前仍然發展技術的初期階段，這樣說就有一點濫用名詞，因為在目前收集能量、探測能源，以及確定這些源在太空中的位置等工作，仍無法個別獨立的去進行討論與分析，因為探測一直還是最主要的障礙。在整個電磁光譜中，如何才能達到最大的接收面積是每個人都關心的問題。這一個限制，除了成本之外，通常是來自技術。其實是有三個基本要素是需要注意的：

- (一) 實際光學表面與理想值的偏離，要保持小於工作波長，這樣才有可能取得最佳的消像散相似。
- (二) 角分辨率隨  $\lambda/D$  而變，其中 D 是儀器入口的大小（在單光瞳的情況下），或儀器在空間的延展（在干涉儀的情況下）。為了要比較天體在不同波段的性質和形態，我們希望所有的波段都達到相似的角分辨率，例如 0.1 角秒。然而要達到這個目的，望遠鏡的尺寸和技術就會有很大的不同。

### 二、電波望遠鏡：

電波天文接收器的特徵，是受限制只能接收將半集光率  $\lambda^2$  之內包含的波的空間模式，而且每次只能探測一個偏振方向，所以要成像就要使用下列方式之一：

- (一) 用單一望遠鏡（或稱天線或碟）對源做二維掃描，每一指向方向是對象中的一個像元取樣；
- (二) 用若干個天線進行孔徑合成，在傅立葉  $(\mu, \nu)$  平面上掃描，此時的角分辨率或像元中最小的像元的角度大小，是根據取樣的最小空間頻率而來的；
- (三) 用多像元接受器，每一像元都能收集光率  $\lambda^2$ 。另外，波長大於一公分時，大氣對波的相位造成的變形是可忽略的，但在短波長時則須列入考慮的，尤其是應用在長基線時必須注意。

1. 單天線：天線常常是拋物面，有一個大口徑的圓形入瞳，接收器在他的焦點上。他們通常

是地平裝置，追蹤源的周日運動。成像則要用柵狀或電視類型的掃描才能完成。現在在世界上口徑大過 15 公尺的單天線望遠鏡已經超過 20 台，有些仍在建造，有些則投入運作。Effelsberg 電波望遠鏡（美國）這是世界上最大的望遠鏡這個直徑 305 公尺的儀器有很好的表面精度（用金屬板）。工作範圍在  $\lambda > 7\text{mm}$ ，對良短的波長，繞射像中的能量就不能良好的集中。PicoVeleta 30 公尺毫米波望遠鏡（西班牙）這是一個剛結構之稱呂拋物面，加工精細度達到  $35 \mu\text{mrms}$  的天線，在波長 0.87-4mm 之間都能達到繞射極限的象。



圖一：pico veleta 30 公尺望遠鏡

## 2. 孔徑合成

雖然邁克早在 1920 年在可見光波段就已經做了開創性的實驗，但這一技術直到 20 世紀的 50 年代因電波天文學的出現才獲得了真正的發展；因為到這時候天線信號才能經由電纜保存著相位進行傳輸，也才能在後來將他們重新結合。所用的頻帶（約 106-108 Hz）相對於光學波段的帶寬（約 1014Hz）是比較窄的。所以他的相干長度也比較長，這意味著我們較容易由兩信號得到一個干涉信號，而著兩個干涉信號來自兩個離的相當遠的天線。

## 3. 光學和紅外波段的孔徑合成

這一領域最近才開始發展，因為它牽涉到非常新的技術的困難。為此我們在這單獨討論，但這領域如前所述，為一的差別實際上只是光瞳的安排。由於我們難以製造超過 20 公尺的鏡面結構，至少在地面上如此，高角分辨率只能經由分立的光瞳來得到。因此研究的方向只針對在地面上的儀器，涵蓋任何波段。

## 三、地基光學望遠鏡：

在天文領域中最早的反射鏡是用在可見光區的望遠鏡，到了上一世紀 70 年代已經擴展到近紅外（大致到  $\lambda < 25 \mu\text{m}$ ）這是因為有了靈敏的探測器，同時也發現了一些能提供很好穿透窗口的台址。在此比較又意義的視探討了現代技術的幾個發展方向，這些發展方向深刻的影響了一些概念，這些概念原先以為已經達到所能追求的極限了。

### （一）大光學望遠鏡：

技術上的困難大氣湍流引起的象質降低，和太空觀測的出現，似乎使得建造地基望遠鏡變

得沒有什麼意義。電這一觀點現在已經過時了，理由如下。

1. 利用新的材料（如陶瓷玻璃），克服了建造大口徑反射鏡面的技術困難，而且由於主動控制的 可能性導致了大幅度的減輕重量。
2. 在上世紀 80 年代末期，出現了改正大氣湍流影響的方法（自適應光學），和 70 年代發展了 改進像的後處理方法（散班干涉法）。克服了湍流的影響使我們可以利用角分辨率，使他的進不能 與望遠鏡口徑  $D$  成正比。
3. 在高分辨率的光譜學中，靈敏度關鍵地依賴於口徑  $D$ ，雖然仍會受到天光背景亮度的影響，但 仍然是可接受的。因此在從事低分辨率的的光度或分光光度觀測時，到太空去觀測的急切性就沒有 那麼高。
4. 太空的發射的成本，至少目前還是口徑與地基擦不多的儀器櫃一個量級。當然哈伯望遠鏡得到 的漂亮的結果，但仍然無法與地面上所有可能達到的程度相比。

非常大口徑的反射鏡面的建造建造 8-10 米及鏡面的策略，是將它造的更輕，這就要用薄鏡面。但不管所用的技術方案是什麼，在主徑變得太輕之後，就不能保證它自身的剛性。鏡面由於自身重力變形會導致很大的差，因此技術上可選擇可以是一單鏡面，或者用拼接面的方法 去得到一個大的口徑（ $>8$  公尺），電必須在鏡面後方用控制機械支撐的方法來修正這一變形 這一修正可以事先以溫度和鏡面高度做函數寫好程式來修正重力效應，但主要的修正還是要即時分 析鏡面所給出的星像，這也就是主動光學的概念，也使今天大口徑望遠鏡發展的基礎。

#### 四、數據分析

現代由於觀測數據過於龐大，估計數百年內都無法分析完成，實測天體物理學家亦開始分工進行數據分析，分為專職進行觀測的研究者及專職進行數據分析的研究者，分工項目相當的細 密，並且多數使用分散式運算或超級電腦來進行分析，目前通常一批觀測數據都要處理多年才 能完成，往往某類天文重大發現都是在兩三年以前就已經取得觀測數據。

#### 參、結論

天體物理學其實是天文學的一個分支。它研究天空物體的性質及它們的相互作用。天空物體包括星 星，星系，行星，外部行星。用全部電磁譜作為手段研究發光性質。並研究天體的密度和溫度及化 學成分等。天體物理的研究的範圍非常廣泛，要應用到許多物理原理，包括：力學，電磁學，統計 力學，熱力學和量子力學，相對論，核和核子物理，原子和分子物理。望遠鏡的種類有很多種（電波望遠鏡地基光學望遠鏡太空望遠鏡等）這些望遠鏡的使用功能各有特 色！有的是用紅外線、有的是用電波，目前世界上很多國家都是使用電波望遠鏡來收集太空的資 料，其他的望遠鏡則比較少，因為在科學上電波望遠鏡功能比 2016 年最大的電波望遠鏡完成，讓世 界的科學可以更進一步的邁進。

## 肆、引註資料

資料來源：〈觀測天物理學〉 孫維新胡景耀譯

資料來源：〈無線電波天文學網站〉

<http://obser.nmns.edu.tw/05/present-pop12.htm>

資料來源：[維基百科，自由的百科全書 \(wikipedia.org\)](http://wikipedia.org)