

投稿類別：物理類

篇名：觀測天體物理學

作者：

黃韋翔。台南市私立崑山高級中學。資訊科三年乙班
邱子豪。台南市私立崑山高級中學。資訊科三年乙班

指導老師：

王世炫 老師

壹●前言

一、研究動機

看著天上的星星 如此閃耀光芒 那些恆星長什麼樣子?!它又是從哪裡來的呢?那些星系發生什麼事呢?我們該如何不用到外太空就可以看到星星?!

二、研究目的

了解太空的探索擴展了天文學疆界。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。

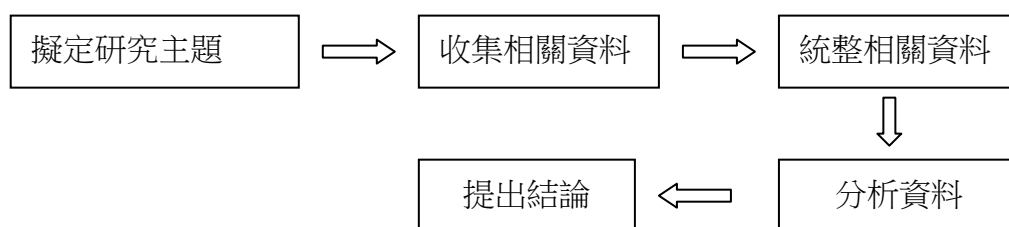
天體物理學是研究宇宙的物理學，這其中有星體的物理性質（光度，密度，溫度，化學成分等等）和星體與星體彼此之間的交互作用。應用物理理論與方法，天體物理學探討恆星結構、恆星的變化、太陽系的開始和許多跟宇宙學相關的問題。

三、研究方法

六日兩人相約家附近的圖書館找其相關的書籍，利用空閒時間上網查訊相關資訊

四、研究步驟

研究步驟圖如下所示：



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 λ/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（較次毫米波更長的範圍）

電波天文接收器的特徵，是受限制只能接收將干集光率 λ^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：

- 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；
- 用若干個天線進行孔徑合成，在傅立葉（ μ, ν ）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；
- 用多像元接受器，每一像元都能收集光率 λ^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。

(一) 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。他們常常是地平裝置，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 $\lambda > 7$ mm，對良短的波長，繞射像中的能量就不能良好的集中。



圖一:pico veleta 30 公尺望遠鏡

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

Pico Veleta 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 $35 \mu\text{m rms}$ 的天線，在波長 $0.87 - 4$ mm 之間都能達到繞射極限的象。

(二) 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 10^6 - 10^8 Hz）相對於光學波段的帶寬（約 10^{14} Hz）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。

(三) 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。位

次我們在這單獨討論，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。

（四）望遠鏡陣列

VLA 即（特大天線陣）。它位於美國新墨西哥州，這是家族中最新的一個，類似的陣列還有在康橋（英國），和 Westerbork（荷蘭）的。VLA 有 27 面可移動天線，他的工作頻率可以到 $\lambda = 7 \text{ mm}$ ，在這一段波分辨率可以達到 0.07 角秒最長可以達到 19 公里東南和西南陣列最長的偵測距離可達 21 公里在最大排列的時候它的觀測能力等於一個直徑 36 公里為直徑的單一大天線！



圖二:VLA 特大天線陣

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

VLA（特大天線陣）孔徑合成天線的鳥瞰圖，天線排列成 Y 字形，右邊一排是向北，左邊一排是像東南，上面一排是像西南，每一排由包含 24 個可放置天線的位置，整個陣列總共 27 面天線。

特長基線干涉測量（Very Long Baseline Interferometry, VLBI）為了延長基線已達到洲際的尺度這時已經不能用电纜傳輸信號到如此遠的距離 為了面對這個問題 科學家在 1967 年發展了這一特殊的耦合技術（VLBI）

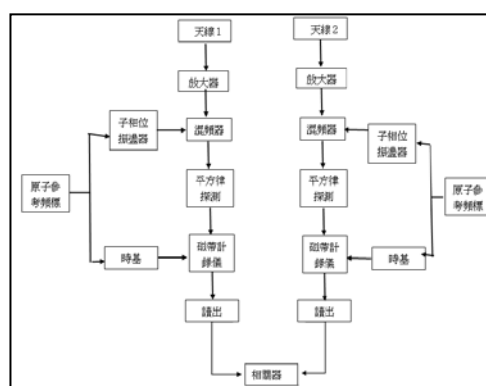
VLBI 測量是利用目前分布在全球的大型電波望遠鏡，因此位置多少有些隨意，所以 ω 只能有部分覆蓋 但是隨著地球的自轉可以改進

將 VLBI 擴展到一個有趣的前景，在圍繞地球近似橢圓的軌道上放置一個望遠鏡，他與地基的望遠鏡偶合起來，由於他在軌道上能掃過空間頻率平面的一大部分，所以能測量很高的空間頻率。衛星上的參考相位將由地面提供，其相位將由地面的鐘來提供，其相對穩定度大致為 10^{-14} ，將

用雙向遙測將信號送向衛星再到地面。在我們努力的提高分辨率之前，想要觀測的源的亮度和緻密度必須先弄清楚，以保證一分辨率單源能夠發出夠強的功率，超出儀器雜訊之外。

每一個中頻（I F）信號都在當地與一個鐘的信號同步紀錄下來，而處於兩地的兩個鐘要事先同步。這些信號紀錄在磁帶上，然後將磁帶帶到一公共地點，通常在觀測後幾個星期內，在相關器上做干涉。

我們必須做許多修正，以保證相關函數的確在測量這兩電場的相干；這就必須處理許多效應，例如地球的自轉、鐘的相移、本振頻率的漂移等等。鐘的穩定性結合了大氣隨機的相位起伏，是洲際基線上長時間積分得最終的限制。



圖三: VLBI 組合的方塊圖。

資料來源:自行整理

三、地基光學望遠鏡（可見光和紅外線）

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，這些概念我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。這一觀點現在已經過時了，理由如下。

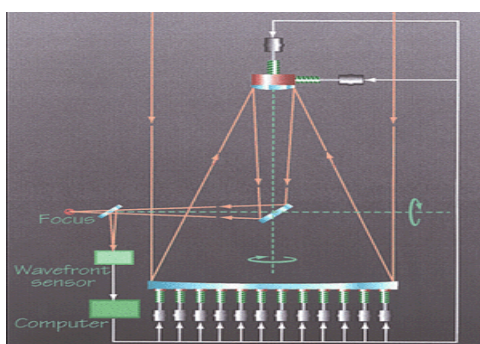
1、利用新的材料（如陶瓷玻璃），克服了建造大口徑反射鏡面的

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（散斑干涉法）。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象差，因此技術上可選擇可以是一怪單鏡面，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



圖四:鏡面示意圖

資料來源：觀測天物理學 孫維新 胡景耀

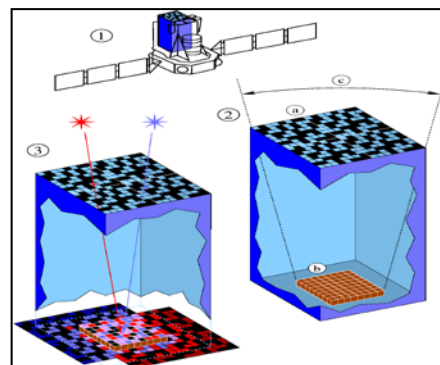
這一修正可以事先以溫度和鏡面高度做函數寫好程式來修正重力效應，但主要的修正還是要即時分析鏡面所給出的星像，這也就是主動光學的概念，也使今天大口徑望遠鏡發展的基礎。

(二) γ -射線望遠鏡 ($>10\text{keV}$)

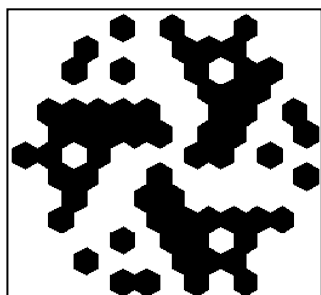
γ 波段的望遠鏡和其他波段不一樣，它不能再用反射鏡。多層膜的反射鏡面將來有可能發展到 100keV ，但不可能再高了。只能用其它成像的辦法在這個波段，光電效應占盡優勢的，而主要的技術則是（編碼遮罩 coded mask）。對於康卜吞散射或對生占主要地位的波段，這些現象的動力過程中可以用來成像，這時望遠鏡和探測器就合而為一。立子對效應將給出每一光子的方向資訊，康卜吞散射原則上只能給出事件發生地是在添球上的某一圓內，而光電吸收則無法給出入射光子方向的資訊，只有用斑馬遮罩才能產生如望遠鏡的作用。然而，在其他波段所用的反射鏡，不僅能成像還能收集輻射，但在 γ 波段要找替代方式做到這一點是非常困難的。

(三) 編碼遮罩 (coded mask)

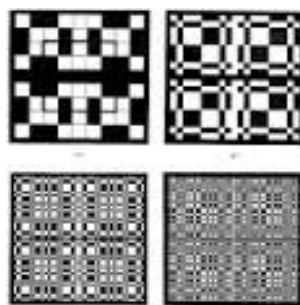
原理和古老的針孔相機 (steno) 或按相 (camera) 相似：在遮罩上打一個小孔，再屏上就能成一個假像，在某一範圍內，當孔越來越小則分辨率越高，但同時光度降低了。當然若孔太小了，繞射也會使分辨率降低。但在 X 和 γ 波段，繞射是可以忽略的，同時為了提高光度可以用許多孔，使得透過遮罩的光子可以達到 50%，如此則最終的成像是每一小孔的像線性疊加而成的。我們在遮罩讓孔的分布組成一個孔徑，使得我們能夠根據測量到的強度分布毫不模糊地重建一個天體的影像，編碼遮罩就提供了解決著一個問題答案，遮罩的表面是由可辨的穿透函數來描述。



圖五：編碼遮罩
資料來源：維基百科



圖六：示意圖
資料來源：維基百科



圖七：示意圖
資料來源：維基百科

令 P 使遮罩的圖樣，我們用它來調製一個展源的流量。在探測器上所分部的 I ，可以看做是下列摺積：

$$I = P * S + N$$

其中 N 是探測器的雜訊。我們使用一個解碼器 D 來獲得源 S 的預期值 S' ：影相重建的好壞，再將依賴於 P 和 D 的選擇，當雜訊不在時，在 S' 和 S 之間一定存在著一個一對一的，亦即要求 $D * P = \delta$ ；而我們希望雜訊的影響對退摺機像要均勻。遮罩的 P 若能滿足這兩點，則可以說是最佳化的，一些不同類型的最佳化模板在圖六和圖七中給出。

參●結論

一、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多希望 2016 年可以看到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。

二、心得

這次的小論文製作，讓我們學習到很多有關天體物理學的資訊，雖然過程中我們有許多爭吵、不和。但這也是團隊合作必定經過的過程。當我們去學習的時候，必須要更加了解我們所學習各種事物的更深層意義，像是每個物理現象背後所隱含的規則，也許被視為冷冰冰的科學，在這其背後也有溫熱近人的一面。其中讓我們也了解到望遠鏡是一種通過收集電磁波以協助觀測遠方物體的工具，在已經知道的第一架實用的望遠鏡是 17 世紀初在荷蘭使用玻璃鏡片發明的。他們的發現可以應用在陸地和天文學。

三、建議

這份論文裡有許多我們統整出來的資料，當然不是整理的很完整，但我

們還是希望在未來可以有更多人在研究這塊領域，在新世代的科技中，研究出價格便宜且更好更完善的研究工具，不斷的進化，希望可以進步再進步。可以選擇發明讓望遠鏡不用任何材料就可以看的很遠，我們也相信未來的人，一定可以發揮出內心存在的力量製造出最大最精準的望遠鏡。

肆●引註資料

註一：〈觀測天物理學〉 孫維新 胡景耀 譯

註二：〈無線電波天文學網站〉<http://obser.nmns.edu.tw/05/present-pop12.htm>

註三：〈維基百科〉

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%A9%E4%BD%93%E7%89%A9%E7%90%86%E5%AD%A6>

註四：〈互動百科〉

<http://www.baike.com/wiki/%E5%A4%A9%E4%BD%93%E7%89%A9%E7%90%86%E5%AD%A6>