

# 台灣新建的宇宙望遠鏡 AMiBA

台灣大學物理系暨天文物理研究所 吳俊輝

## 一、簡介

台灣的「微波背景非均向性陣列」計畫(Array for Microwave Background Anisotropy, 簡稱 AMiBA), 俗稱「阿米巴」宇宙望遠鏡, 旨在探索宇宙的本質, 是中央研究院和台灣大學在科學合作上的一項重要指標, 自 2000 年起由台灣建造, 目前座落在夏威夷大島上的毛那羅瓦峰上(Mauna Loa), 在國際上極具競爭力, 備受矚目。

## 二、科學目標

此望遠鏡的科學目的即在藉由探測「宇宙微波背景輻射」(Cosmic Microwave Background, 簡稱 CMB), 來研究宇宙的本質。1978 及 2006 年的諾貝爾物理獎即是頒給和 CMB 觀測有關的成就。CMB 可看作是宇宙大霹靂後即已存在的古老光子, 約在宇宙年齡 40 萬歲時被釋放, 自由地往四面八方穿梭在宇宙的各个角落, 以至於在約一百四十億年後的今日, 我們仍可以觀測到它們。因此, 我們現在所看到的 CMB, 實際上乃是由極遠處出發, 在宇宙中穿梭了約一百四十億年才到達地球, 而距離我們較近的那些光, 實際上早已到達並通過我們。也就是說, 現在所觀測到的 CMB 可看作是一個來自極遠處的背景光, 凡是自大霹靂後 40 萬年至今的一百四十億年間所曾經發生過的物理現象, 都會被這個背景光一一地給投映出來。這就好比在黑暗的房間中, 我們看不到飛行中的蒼蠅, 但是如果它後面的牆會發亮的話, 那麼它的身影就會被那背景光給投映出來。因此, 透過對這些宇宙中背景光的仔細分析, 我們就能掌握宇宙過去一百多億年來的演化歷史, 並進而推導出宇宙本質。

AMiBA 計畫主要要探究的科學主題, 包括:

1. CMB 非均向性(CMB Anisotropy)的詳細特徵: 2006 諾貝爾物理獎就是頒給在 90 年代透過 COBE 人造衛星計畫(Cosmic Background Explorer)發現這個非均向性的

Mather 及 Smoot。AMiBA 所要量測的, 包括在強度(temperature intensity)上及偏極化(polarization)上的非均向性。由目前的宇宙學標準模型來看, 這些非均向性乃源自於宇宙年齡約  $10^{40}$  秒左右時所發生的「暴脹」(Inflation)過程(一個宇宙加速膨脹的過程), 而其基本特徵乃由宇宙的基本組成物質及演化歷史來決定。因此, 如果將此非均向性量測得很精準, 我們將可估計宇宙基本組成物質的含量(如重子 baryons、暗物質 dark matter、暗能量 dark energy 等), 並推導出宇宙目前的膨脹速率, 甚或宇宙早期的演化史如「再游離化」(re-ionization)等過程。

2. 星系團性質的探索: 利用 Sunyaev-Zel'dovich 效應(簡稱 SZ 效應)來觀測星系團, 並藉以研究宇宙結構形成的歷史、星系團演化過程、尋找無蹤重子, 及以推估宇宙基本組成物質的含量。
3. 尋找宇宙弦(Cosmic Strings)等宇宙殘陷(Cosmic Defects): 宇宙殘陷是宇宙中能量不均分佈的一種形式, 可源自於幾個基礎性的物理理論, 如統一理論(Unification Theories)、暴脹理論、及弦論(String Theory)等。也就是說如果這些理論是正確的, 那麼在宇宙極早期會發生所謂的自發性對稱破滅(spontaneous symmetry breaking), 這個過程極有可能產生宇宙殘陷, 而這些殘陷會與 CMB 產生交互作用而在其中留下可偵測的特稱。所以如果在 CMB 中可以觀測到宇宙殘陷的跡象, 則可以間接證明這些基礎理論, 並對其進行更進一步的探究。

## 三、硬體系統及基地設施

AMiBA 利用干涉原理來偵測 CMB 的訊號, 以減低大氣的干擾。其觀測波段在挑戰性高的 84-104 GHz 上, 具雙道寬頻極化接收機, 解

析度最高可達 2 弧分。其雛型(prototype)具有兩個 30 公分的碟形天線，在 2002 年已完成建造並進行測試。目前的正式系統(production type)，已完成裝載 7 個 60 公分的碟形天線，未來一年內將擴充至 13 個 120 公分的天線，如果經費許可，盼能增建至 19 個天線。其硬體結構主要由六腳機架、平台、碟型天線、接收機、相關器、混波訊號源處理器、中頻訊號處理器及電腦控制等九大系統所組成，所使用的零件來自於中央研究院天文所/臺灣大學/磁震公司/澳洲國家天文台/美國國家天文台/美國卡內基美倫大學/美國國家噴射推進器實驗室等，由中研院負責整合組裝。

AMiBA 望遠鏡座落在夏威夷大島的毛那羅瓦峰(Mauna Loa)上，海拔約 3400 多公尺，在基地上大多可看到雲海。其基地設施包括：一間控制室、一間小辦公室、兩間可供夜宿的貨櫃房、一工具間、望遠鏡本體、望遠鏡保護棚等。在山下的西羅市(Hilo)亦設有辦公室及實驗室。基地安裝測試工作由中央研究院天文所、台大物理系派遣人員赴夏威夷執行。

由於上山的路況不佳，山上亦無完善的民生設施，因此無法在山上居住，只能臨時性地過夜。所以，所有的工作人員必須每天開車上下山，來回車程約兩個半至三個小時。其中有一半的路程並非柏油路面，而是由火山岩漿凝固而成的顛跛表面，車程中極為辛苦。山上的氣壓約為 0.6 大氣壓力，通常工作人員需先有一段訓練及適應期，方能在山上長時間工作。山上的氣溫通常在攝氏零下至十度之間，偶而有暴風雨及暴風雪。

#### 四、計畫背景及發展現況

此計畫在 2000 年創始時，由中研院天文所籌備處處長魯國鏞擔任主持人(目前他是美國國家無線電波天文台 NRAO 台長及中研院院士)，當年為教育部卓越計畫 CosPA (Cosmology and Particle Astrophysics；主持人為台大物理系黃偉彥教授)的第一分項子計畫。在中研院院長李遠哲的大力支持下，已於今年進入最後的整合測試階段，並於今年 10 月 3 日落成啓用。很巧合地，瑞典皇家學會也在這天宣佈將 2006 年的諾貝爾物理獎，頒給在 90 年代發現 CMB Anisotropy 的 Mather 及 Smoot。

目前此計畫的主要經費來源為國科會(後卓越計畫)及中研院(主題計畫)，所使用經費前後總計近四億新台幣，主要由中央研究院天文所及台灣大學物理系籌措。現任主持人為中研院天文所籌備處處長曾樸處長，計畫管理人及夏威夷當地的負責人為陳明堂博士，首席科學家先後由台大物理系闕志鴻教授及吳俊輝教授擔任，共同負責電腦模擬、觀測、及資料分析等的統合作。目前闕志鴻教授在國科會補助下，正主持一項計畫研發新的數位相關器及相關系統，盼能使用在 13 個天線的擴建計畫中，以大幅提昇系統的靈敏度及競爭力。以下是計畫歷年來的重要里程碑：

- 1999.8 中央研究院天文所與台大物理系合作共同提出計畫書
- 2000.4 獲得教育部卓越計畫經費(為 CosPA 第一分項計畫)
- 2002.10 計畫設計規範暨成本時程審查會確認望遠鏡系統規格
- 2002.12 計畫設計規範暨成本時程審查會確認望遠鏡系統規格
- 2003.7 與美國國家海洋暨大氣管理機構(NOAA)簽訂合約取得在毛納基峰上建造 AmiBA 陣列望遠鏡及科學觀測權利
- 2004.1 獲得國科會後卓越計畫經費及中央研究院主題計畫經費
- 2004.4 望遠鏡基地破土開工
- 2004.12 望遠鏡機座運抵基地安裝
- 2005.8 望遠鏡機座與平台組合測試
- 2005.9 計畫科學目標暨發展策略研討會確認擴建至 13 座天線之必要性
- 2006.9 第一次取得木星、土星、金星、蟹狀星雲等觀測測試資料
- 2006.10 開幕啓用

#### 五、國際競爭及未來展望

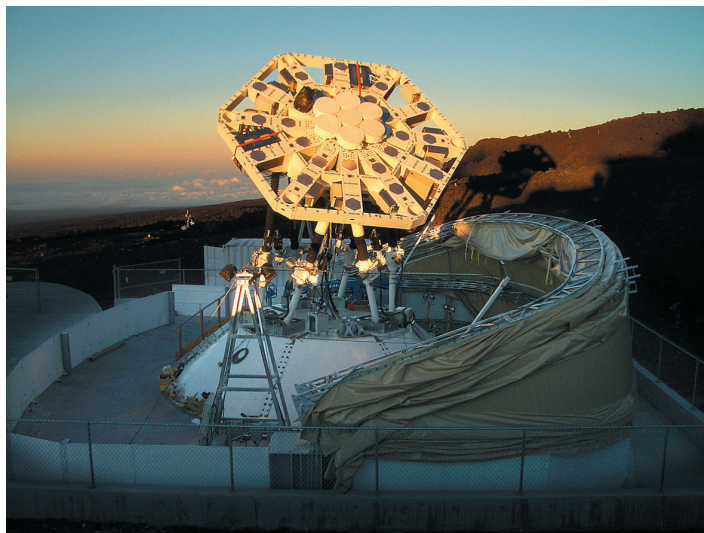
目前全世界共有十多個 CMB 計畫正如火如荼地在進行著，如 APEX、SZA、AMI、BICEP、SPT、POLARBEAR、EBEX、PLANCK 等，其旨皆在探究宇宙的起源和本質。每一計畫自經費籌措、建造、到實際觀測取得數據乃至發表成果，都花費多年的時間。目前 AMiBA 已建構的

七天線系統，在科學競爭力上雖稍不如其它的計畫，但卻是台灣在宇宙學領域發展中的一項重要突破。俗話說人要先學走路再學跑，我想我們正在學走路。即便如此，在未來的一年內，AMiBA將擴建至十三天線系統，具較高靈敏度，可大幅提高競爭力。

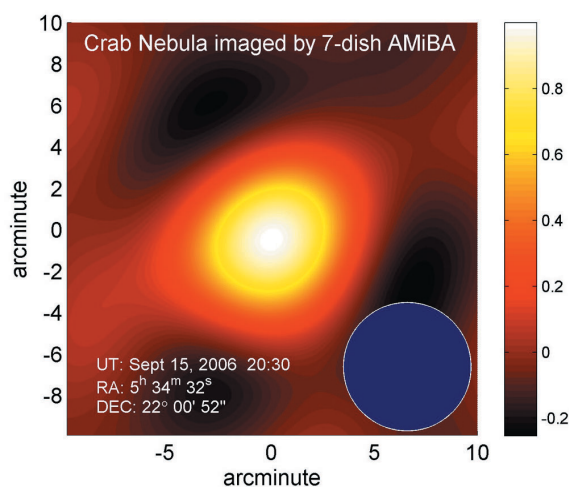
目前的十三天線擴建計畫正由中研院天文所及台大物理系關志鴻教授所主持的國科會計畫分別進行中，前者使用目前已建構的硬體設計

進行複製性的擴建，後者則進行全新的嘗試及設計期能大幅超越原設計的靈敏度，以和國際上諸多正在籌建中的新計畫競爭。雙管齊下，未來的成果將指日可待。

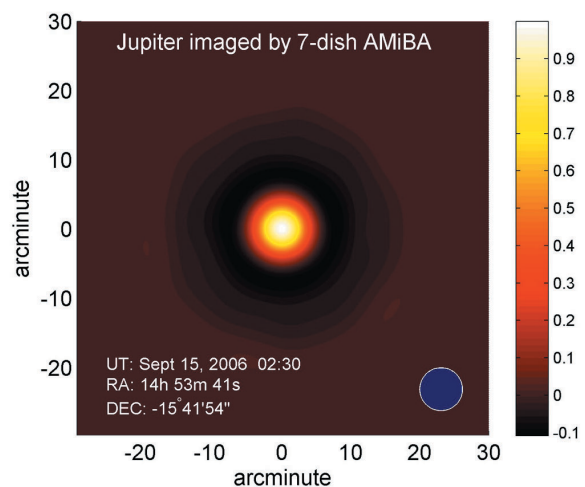
現在 AMiBA 的七天線系統，已在最後的測試及調校階段，如果一切順利，將可在未來的數月內，取得其第一批科學觀測數據，期能在不久的未來，首次獲得國人自力取得的宇宙學觀測研究成果。讓我們一起期待！



圖一 具有七天線系統的 AMiBA



圖二 AMiBA 於 2006.9 所拍攝的蟹狀星雲



圖三 AMiBA 於 2006.9 所拍攝到的木星