

# 「宇宙學與粒子天文物理學」追求學術卓越發展計畫

黃偉彥  
台大物理系

教育部追求學術卓越發展計畫，已於 2000 年一月一日開始執行；「宇宙學與粒子天文物理學」(Cosmology and Particle Astrophysics, 以下簡稱 CosPA)，以其主題明確，能充分掌握該領域國際現況而尋找學術發展之最佳切入點，而能幸運地獲致審查者之青睞，而得以在 26 件自然科學領域優秀計畫中脫穎而出，獲得全數通過之支助。

類似學術卓越計畫之推動，鄰近之中國大陸(以九七三計畫等方式)、南韓等，近年來皆不遺餘力，不惜巨資，以求取突破發展，國內為因應未來十年或二、三十年之可能激烈競爭，也無法踟躕不前。顯然已通過之計畫，受到 921 震災影響，幅度仍然太小，能否因應外來之挑戰，個人仍然覺得很不樂觀，但這次追求學術卓越發展計畫總算跨出了歷史性的第一步。

「宇宙學與粒子天文物理學」卓越發展計畫之通過，對我們這一群主持人、共同主持人而言，固然一則以喜，其實因期待而衍生之壓力其實更大，但也祇能戒慎恐懼，希望在國內物理界之支持下，可以在四年後交出一份差強人意之成績單。

以下謹將該計畫之內容，依總計畫及五項分項計畫之順序，向各位讀者依序摘錄，除了讓物理界同仁，包括年青後進，可以有大致之了解，日後可以提出建言，甚至參與我們努力之行列；當然也有拋磚引玉之意，讓物理界之一些先進，可以提出更突破性之追求學術卓越發展計畫。

## 宇宙學與粒子天文物理學(總計畫)

最近十年以來，天文與天文物理在台灣有了長足之進展。本計畫以台灣應該可以作出決定性貢獻之領域「宇宙學與粒子天文物理學」為主要研究方向，希望藉以將天文與天文物理在大學之研究與教學提昇至國際一流水準。

在天文物理中許多領域裡，由於高科技帶來之觀測技術，其結果又衝擊前沿知識之快速進展，宇宙學成了近年最活躍之研究領域之一；最近的例子是 1998 年年底完成初步分析之超新星宇宙學計畫(Supernova Cosmology Project, Perlmutter, S. et al. Astro-ph/9812133)，證明宇宙之膨脹速率其實仍在增加中，也可能表示另一種叫 Quintessence 之物質之存在[Steinhardt et al. Phys. Rev. Lett. 82, 896 (1999)]。

台大物理系(與電機系)目前在粒子物理，天文物理，及微波工程技術等方面之實力與專長，加上中研院 receivers 實驗室已經建立，正好提供了足夠之能力可以在實驗與理論宇宙學於最近未來作出意想不到之決定性貢獻。我們的計畫係建造一個極其特殊之宇宙背景輻射陣列望遠鏡(分項計畫一)，用以觀測宇宙背景輻射之 Sunyaev-Zel'dovich 效應；完成 CP 不守恆之實驗研究，及直接偵測冷黑暗物質之可行性研究(分項計畫二)；與以上兩方面實驗息息相關之理論宇宙學與粒子天文物理研究(分

項計畫三)；藉著這些全面性之推動，台大物理系應可吸引此一領域特別傑出之年青學者加入行列，也積極訓練資質優秀之學生，藉以建構一個卓越而活躍之天文物理研究群。

台大物理系集中在宇宙學與粒子天文物理學之積極研究，也將刺激台灣其他大學之進一步發展。這種刺激可以分為兩個方向，其一係初步由台大、中大、清大及中研院共同組成之台灣各大學天文聯盟(TUCA)，以 TUCA 之名義與國外光學及紅外線天文望遠鏡尋求進一步之合作，取得所需觀測時間，與前述 AMIBA 分項計畫可以達到相輔相成，健全發展台灣天文之正面效果(分項計畫四)；另一個方向，則是將中大在鹿林前山之計畫提昇為全國各大學共用之設施，也與各參與單位快速網路連線，甚至建構遠傳視訊之高科技研究與教學的大環境(分項計畫五)，在訓練學生與年青天文學者上可以跨出一大步。

在每一分項計畫裡，我們希望藉著微波工程、偵測器、冷凍術、高精準控制、高速計算、資訊管理、影像處理、光電等(當代及下一代)天文觀測所需高科技之研發，訓練出下一個階段高科技之年青人力，讓天文與天文物理研究，在台灣可以繼續更上層樓，維持永續之健全發展。

本計畫係基礎於既有之科學卓越以及已被充分證實之發展途徑，我們相信藉著本計畫將可以把大學裡天文與天文物理相關研究與教學提昇至國際上真正一流之境界。

分項計畫一：宇宙背景輻射陣列望遠鏡之建造與操作，及數據擷取與分析

自從 1990 年初起，COBE 衛星的觀測結果將宇

宙學推進一步嶄新的境界，不同的理論模型得以用最先進的科技來檢驗。由於最近幾年台灣科學界及工程技術界的全面進展，也讓台灣能適時進入宇宙學這個蓬勃發展的領域。台大物理系結合台大電機系及中研院天文所因此提出了一個別具匠心的實驗計畫，AMIBA。此實驗為特別設計專以微波背景輻射為光源的毫米波干涉儀實驗，大大不同於現有的電波干涉望遠鏡實驗，也因此已經得到國際學界的注意。

AMIBA 實驗的科學目標為：(1) 決定哈伯常數，宇宙物質密度，並設宇宙常數的上下限；(2) 瞭解宇宙在紅位移  $100 < Z < 5$  空窗期的演化；(3) 檢驗宇宙缺陷的存在與否；(4) 設暴漲宇宙期的能量下限。

AMIBA 實驗為毫米波干涉陣列，由 19 個一米大小的接收碟所構成，操作頻率為 90GHz，頻寬 15GHz，並座在 8 米的旋轉平台上。AMIBA 將置於夏威夷的莫納基山上，但設計為可移動式。此干涉實驗的電波放大器(HEMT)為台大電機系負責，硬體機械裝置由中研院航發研究所負責，控制及資料分析軟體由台大物理系負責，而訊號相關器由中研院天文所負責。澳洲的國家天文台也被邀請加入 AMIBA 的製造及技術研發。

此計畫的施工期預計為三年，第四年將正式開始觀測。

分項計畫二：「早期宇宙、黑暗物質、宇宙膨脹」之實驗粒子物理相關研究

本計畫在未來四年中從事下列三個相關方向之研究

1. BELLE 矽頂點偵測器(SVD 2)升級。這與 CP

破壞研究非常相關。

2. JLC 束管量能器 (BPC) 研發。這在 SUSY 粒子偵測上十分重要。
3. 以晶體偵測器搜尋『冷暗物質』(CDM) 之可行性研究。

這三個工作在時間上形成一個很好的組合。SVD 的工作，預期兩年達成，工作內容為 SVD1.1 系統測試，SVD 2 之抗輻射性、可彎印刷電路板製作、頂點測定軟體、再發器以及 EFC 前之矽軌跡平面。這些工作在後兩年自然延伸到 JLC BPC 之研發與原型製作，而在 2003 年成為 JLC 的 TDR 的一部份。在本地從事 CDM 搜尋很吸引人，但必須先行研究低背景系統之可能性及適當地點之尋找。

CP 破壞、SUSY 粒子及 CDM 搜尋與初期宇宙 (如重力不對稱問題)、暗物質及膨脹等問題直接相關。而這個以硬體研發為主的分項計畫將使台大高能組從現有之 EFC 經驗擴展至 BELLE 之核心，預備我們參與 JLC 製作另一個重要子系統，並且或許建立國內之 CDM 偵測計畫。在我們的物理分析團隊投入 B 物理與 CP 破壞之競爭性研究的同時，本計畫讓我們保持並擴展已建立之硬體研發競爭力，並提升台大高能實驗室之研究與教育基礎結構 (infrastructure)。台大物理系在本計畫執行第一年將遷入新館，此舉在時間上與本計畫的配合更是巧妙之至。

[本組負責興建之 Partial EFC 已於 KEKB 加速器啟動過程中，分別於 1999 年 3/26 及 4/17 之束流對撞中偵測到約 10 個 Bhabha 事例，確証對撞成功，並提供亮度資訊！]

分項計畫三：「宇宙學與粒子天物理學」理論整合

## 研究

我們擬對各種非平衡與非線性現象在早期宇宙所扮演之角色進行深入而廣泛之研究與分析，從而建立早期宇宙之精準宇宙學模型。與 AMIBA 分項計畫及超新星宇宙學計畫相關之理論將是我們強調之重點。研究題材將包括(1)相變之非平衡效應，(2)拓撲模型，(3)宇宙背景輻射之原始與引致之異向性，(4)大尺度結構之重力模型，(5)黑暗物質之研究，(6)超弦理論所引致之重力理論修正。本計畫將強化 AMIBA 分項計畫之執行與分析，同時也將提供有關熱膨脹模型之起始條件及黑暗物質之進一步系統性之理解，以及其他背景對宇宙背景輻射引致之異向性。

## 分項計畫四：尖端光學與紅外線天文觀測

台灣大學，中央大學，清華大學，和中央研究院，將聯合組成一個協會。這個協會將以透過投資合作發展新儀器的方式，獲取使用大型光學紅外線望遠鏡的管道。最適合的合作對象是加拿大-法國-夏威夷-望遠鏡 (CFHT)，他的後端裝有許多先進而易使用的儀器。它的調適光學系統和極佳的大氣寧靜度，使其在紅外線波段的角分析力，比太空望遠鏡還好，在研究宇宙論，觀測星系團上，CFHT可以在許多工作上與AMIBA互補。利用S-Z效應偵測到的星系團、其紅位移Z如果小於0.8，可以用CFHT多天體光譜儀來測量。經由小心的校正和濾光鏡選擇，CFHT紅位移測量的極限可以延伸到Z=1.4。這種數據對於宇宙論參數的測定，和宇宙大尺度結構演化模式的檢驗。都非常重要。另外一個例子是應用將要完成(視野達到一平方度)的廣角攝影機，來研究鄰近星系團外緣區域，對背景星系造成的微弱重力透鏡效應。其

結果對於探討星系團的黑暗物質的分佈，非常有價值。由此可見，本計劃所提之紅外線與光學觀測，和子計劃一與二中提出的宇宙論電波及理論研究，正可相輔相成。何況我們更不可忽視，CFHT對現代天文學中其他的重要課題，例如：研究太陽系外側的彗星新故鄉古伯帶。以及對分子雲之濃密核心中星球誕生區域紅外線成像等，都可以發揮極大的威力。另外三個可能的對象為英國在夏威夷的UKIRT望遠鏡，以及亞利桑那大學Steward天文台或夏威夷大學天文研究所擁有的各種望遠鏡。

本計劃對於台灣光學紅外線天文學的研究架構之改進也很重要。臺灣電波天文學的成功發展，證明了下面這個三段式的發展策略的正確性：(1) Berkeley-Illinois-Maryland-Association 毫米波觀測管道的獲得，為臺灣吸引了一隊活躍的電波天文觀測工作者。(2) 與 SAO 合作，依照美方的設計，建造世界第一臺次毫米波陣列之努力，建立了我國電波天文儀器研發製造的能力。(3) 本總計畫中的重點，設計建造具有高度競爭力的專用陣列-AMIBA，則表現了台灣在此一領域中不管科學或技術上，均已逐漸成熟。本子計畫提議獲取大型光學紅外線望遠鏡的使用權，和設計後端儀器(例如CFHT紅外線廣角相機)，正是模仿電波天文利用國際合作成長之三步驟策略，在台灣發展光學紅外線天文學的步驟(1)和(2)。為了建立研究的大架構，ASIAA將要利用他的技術能力來支援儀器的發展，而中央大學則將改善玉山國家公園鹿林山的光學天文台(子計畫五)，供協會中所有成員訓練和測試使用。在促成國際合作上，主持人將利用他在發展臺灣電波天文上所累積的經驗，而兩位共同主持人則將發揮他們進出世界舞台的能力。我們另外還有諮詢小

組，由數位活躍於宇宙論研究和儀器製作之世界級華裔天文學組成，他們已經決心透過提供諮詢，共同合作研究，協助評估，來臺教學，開放實驗室訓練我方人員等途徑來幫忙。如果本計畫能順利執行，這裡所提的步驟，一定能夠在下世紀初讓台灣透過重要的紅外線光學窗，來進行突破性天文研究。

#### 分項計畫五：國內天文研究大環境軟硬體系統之建立

為配合教育部與國科會對國內大學研教之架構作大步革新，提昇在世界舞臺的科技競爭力，追求卓越的大前提下，以中央大學天文所為首的數個大學單位，計畫將位於玉山國家公園管理區內之鹿林前山天文台，協力開發成可供全國天文學術機構合用的天文研究設施。本分項計畫中申請之經費主要將用於改善鹿林前山天文台的聯外道路、水電設施及建立遠距通訊環境，提供未來進行遠距天文觀測等必須之軟硬體，將鹿林前山天文台建設成為國內完善的遠距天文觀測中心；並配合適切的科學專題研究，與總計畫及其他分項計畫互相呼應。

除了中短期的基礎架構工作，我們較長遠的(中長期)構想和企圖心是要利用這個千載難逢的機會，把台灣建設成中小型天文望遠鏡的一個國際中心，儘量發展本土的優勢，用以切入天文學前沿的計劃。這包括 2-m 之 NEO (近地物體) 望遠鏡之推動，小型望遠鏡之區域性及全球性之規劃和落實。本項計劃陸續將會舉辦數個極具科學前瞻性的國際研討會，其中包括與 Princeton 及華沙之天文學家(及其他天文單位)合作之 IAU Colloquium (Small Telescope Astronomy on Global Scales) 之籌劃。

為改善國內天文研究大環境，本計劃將與其他

分項計劃特別是有關 CFHT 等可能之國際合作密切配合，使得國內天文研究所之師生能有利用最新型觀察儀器之機會。除此之外，亦將極力爭取其他校際合作之管道（如討論中之中大及亞利桑那大學之合作協議），以增加台灣天文工作者之國際合作交流。

目前參與本計畫的大學單位為中央大學、清華大學及台灣大學，這些大學均各有重要的天文研究課題進行中，也是國內推廣天文教育的重鎮。未來我們將把合作對象擴大到其他國立及私立大學，以本土天文架構配合台灣的獨特經度條件（longitudinal coverage），提供給國內的天文學

工作者一個優越的追求卓越環境和發揮條件。

## 結 語

Taiwan CosPA Project 提供了國內天文界、高能物理界、以及相關理論物理界，一個絕佳發展之契機；只是能否真正跨出重要的一步，其實仍待參與人員（含尚待加入陣容者）長期的努力，藉以建立起來之團隊，也必需有其素質上之基本要求，而各項會計與人事之措施，也必需有足夠彈性因應，追求世界一流，並非一蹴可幾的，更不應該是曇花一現的。