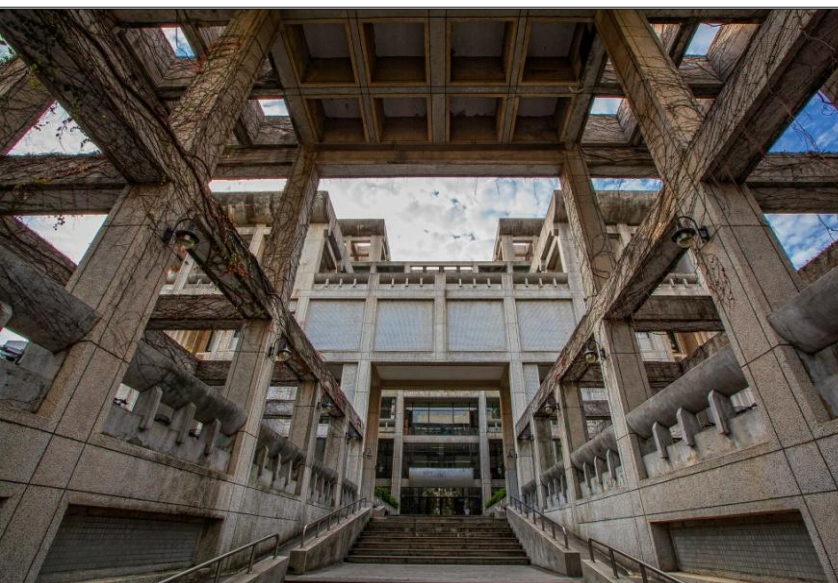


國立清華大學 物理學系  
Physics Department  
National Tsing Hua University  
清華五十，邁向一百  
贊助計畫書詳述



## 贊助款用途

### (一)學生獎學金:

設立宗旨為延攬優秀人才與協助傑出學生於求學期間，能有適當的資源支持，讓學子能安心專注於物理研究以及挑戰自我追求卓越。本系獎學金經費短缺，但每年獎學金發放均額為一佰萬元，長期拆東牆補西牆，只為培育未來社會之棟樑，期望校友與社會人士慷慨解囊，孕育物理賢達。每年需約100萬元。

### 獎學金用途:

- 1.吳大猷獎學金，鼓勵優秀高中畢業生與國際奧林匹亞競賽國手赴本系就讀，以及獎助本系具潛力的大學部學生赴國外進修。
- 2.菁英人才培育獎學金，鼓勵本系大學部與碩士班優秀學生申請直攻博士班，以及補助本系博士生赴國外參與研討會。
- 3.學生期刊論文獎，每年12月底舉行期刊論文投稿與評比，公開獎勵五名優秀論文，借由壁報論文活動達到學子們學術交流與見賢思齊之效。
- 4.還願獎學金，希望協助本系清寒學子減輕經濟負擔，於向學期間能專注於課業，使傑出人才不因經濟因素而休學或過度兼職。
- 5.校方獎學金-系所自籌款，由於國家補助經費有遞減之趨，原由校方或院補助之經費逐漸改由系所協助承擔，例如：理學院獎學金、港澳交換生計畫獎助、雙聯學位計畫獎助…等。

(二)綜合二館改建-「冷原子及雷射光譜前瞻研究中心」地下實驗室及「天文與粒子物理研究中心」五樓研究室之整建:

綜合二館本為校方圖書館使用，2013年圖書館正式移至學習資源中心-旺宏館，校方將綜合二館開放給各系所做為實驗室使用；物理學系獲分配地下一樓與五樓做為實驗室，綜二館緊鄰物理館與國家科學理論中心，物理實驗室設立後，研發合作與教學配合將更臻至善。物理學系進駐，需自備500萬元給校方的統籌款，以及1000萬元的實驗室整建與搬遷費用，於2015年底需約1500萬元。

(三)清華實驗室室內整建：

興建清華實驗室之目的，在於系所資源整併、產官學界的串連、跨校際的研究教學領域合作以及全球化交流平台窗口。2016年啟用後，將由物理系、材料系、化學系、化工系四系進駐，以進行跨領域的前瞻應用科學研究，期望藉由創造優質的實驗中心環境，孕育國際級頂尖人才，為創新科技建立基礎，提升國家競爭力。惟實驗室內部水電整建配管工程與基本桌椅設備，尚需約500萬元經費。

(四)新聘教授開辦費:

協助新任教授建設研究間與實驗室，以及購置實驗儀器，讓延攬來的優秀教師能更快的步上研究軌道，嘉惠學子。每年需約200萬元。

(五)設置學術講座:

追求學術卓越，啟迪學人，是本系致力不怠的目標，設系至今累積成果豐碩；藉由延攬國內外學術成就卓著之大師級學者擔任講座，激發學術創新與學子啟蒙。

物理學系目前每年皆舉辦1-2場大師講座，除本系師生參與交流，亦邀請學術與業界系友共同感受大師風采；並舉行通俗演講，藉此積極培育優秀高中人才對物理研究的興趣與就讀憧憬。每年需約100萬元。

國立清華大學物理學系  
「冷原子及雷射光譜前瞻研究中心」  
Research Center for Cold Atoms and Laser Spectroscopy

## 前言

原子分子光學物理(atomic, molecular and optics physics, AMO)是近代物理學發展中歷史最為長久，基礎最為深厚的一支。同時，也是近年來發展極為快速蓬勃的領域。在近二十年內，頒發給這個領域的諾貝爾獎即高達五座，涵蓋的範圍從：實現波色凝結的物質新形態，到廣泛應用於現代生活的光纖通訊，與朝向未來的量子資訊科技。AMO 物理不僅是探索基本物理以及宇宙的運行的定律，也是關切到現代生活的光電科技的源頭。

清華大學物理系自創系以來即以原子分子光學物理為發展重點。我們著重於探討支撐起光電應用科技背後的基本物理原理，發展各式的前瞻技術。也為國內各教學研究單位與光電科技產業培養許多的人才。近來在簡單原子分子的精密光譜技術、量子資訊與超低溫原子分子等尖端研究領域皆有重大的收獲。清華大學的 AMO 物理應當是國內該領域中最高為領先的團隊，即便在國際的版圖上也已經占有不可忽視的位置。然而，這個優秀傳統與領先優勢，目前正處於高度的競爭與威脅中。

由於 AMO 研究領域是總是扮演前瞻科技的探索者，近年來吸引了世界各國投入可觀的資源進行發展，當然也包括了日、中、港、韓、新等亞洲國家。他們吸引長期投入的研究人才，累積技術與經驗。因應日益精巧的實驗技術，所需的嚴苛實驗條件，建立了新穎的實驗室基礎設施。因此，為了保持既有的優勢，並且進一步在全球的研究競爭中占有一席之地。清華大學物理系的「冷原子及雷射光譜前瞻研究中心」的構想，即是在這樣的思考下誕生。

在校方支持下，我們已經獲得綜二館(原圖書館)的地下室，作為中心的位置。以 AMO 研究來說，地下室的少震動低雜音，是特別珍貴且可遇不可求的空間。眾所週知，目前的物理館，當初的建造構想並不是以實驗室用途為導向，對於二十一世紀科學研究的嚴苛實驗要求，早已無法支應。因此我們希望利用這個機會，善加運用這個地下室空間，打造一流實驗環境，成為一個為前瞻研究而誕生的空間。

## 一、初步規劃

清華大學校方將綜二館地下室提交給本系使用，基於地下室具有防震及安靜等諸多有利於精密實驗的要素，特別適合冷原子及雷射光譜等相關實驗，本系擬將原子分子與光學相關實驗團隊搬遷過去，並藉此機會擴大成立為研究中心，以增進相互合作，資源整合以維持研究的領先地位，並增加國際能見度成為世界級的研究中心。

預計可建立實驗空間六個單位，小型會議室一個單位與辦公研究室一個單位。若是經費允許，我們希望將這個不是很大的空間以最高的實驗室標準加以建造。基於進行的實驗特性，我們將特別著重於防震、低雜音、室溫控制、濕度控制，並備有中央供應的冷卻水、氣路與乾淨穩定的電源供應為主要要求。

在軟體設施方面，我們希望能招募一到多名的實驗室技術人員。由於 AMO 實驗是個實驗技術非常繁複吃重的研究領域，唯有長期的技術人員作為穩定的支援方能加快實驗進程，同時累積實驗技術。也才有可能透過不斷累積達到先端技術轉移與商用化的能量。

我們也希望能有數個駐中心的博士後研究員，提供國內外相關領域的研究人才進修訪問。讓清華大學物理系的「冷原子及雷射光譜前瞻研究中心」成為在亞洲地區 AMO 物理研究的網絡中心。

## 二、研究主題

本中心將以雷射冷卻及光譜技術為核心，在冷原子中進行理論與實驗的探討，並探索可能的應用。研究含三個主要方向：1.量子流體物理：探討冷原子系統中因原子波函數交疊所產生的許多不尋常的量子現象。包括--慢光的多體物理性質，波色-費米混和氣體，冷分子系統的多體物理，強相關聯系統的數值計算。2.原子與光子的量子資訊操控：運用冷原子所具有的弱光非線性光學的研究，及所衍生的光儲存技術。研究光子（攜帶量子訊號）與原子（量子電腦的位元或量子通訊中的發射、接收元件）交換波函數的方法，這些研究對量子資訊的操控有重大的影響與應用。3.冷原子系統中的精密量測：與雷射光頻梳結合，進行簡單原子，離子與分子的光譜量測，檢驗其中的基本物理定律與理論計算。

### 1.量子流體 [王道維、陳柏中、那允中、李瑞光教授]

冷原子系統是最佳的一個量子模擬系統，可以準確調控許多參數以研究複雜的多體物理性質，所以對應的數值模擬也變得相對地重要。物理系陳柏中教授已與王道維教授及光電所李瑞光教授組成一個堅強的理論與數值模擬的團隊，可以進行許多前緣的研究計劃。目前所進行的題目包括：長程交互作用下渦流的行成、孤立子晶格的特性、對稱破壞下的彎月波與其分數量子角動量、無序系統中的局域化、與非線性能帶特性等。這些研究將為日後的實驗提供物理理論上的解釋與方向上的引導。

### 2.量子資訊 [余怡德、褚志崧、李瑞光、那允中]

量子資訊就是量子力學的波函數，電子、原子、分子或更大的粒子可以攜帶波函數，但這些粒子在傳送的過程中很容易受到環境的電場、磁場影響，使得波函數改變，所攜帶的資訊也就失真。另一方面，光脈衝也可用來攜帶波函數，當一個光脈衝所含的光子數目很多時，光的行為是古典的電磁波，但光子數目很少或甚至是單光子時，則顯現出量子特性，量子光學就是探討光的量子行為之研究領域。速度快、頻寬大及不易受到環境干擾的特性使得光子是極佳的訊息傳遞者，我們可預期未來光脈衝是操控量子訊息的重要工具，可以是量子計算系統中量子邏輯閘(quantum logic gates)之間的波函數傳送媒介，也可以是量子網路內通訊元件的收發訊號。近期利用電磁波引發透明(electromagnetically induced transparency, 簡稱 EIT) 效應所發展的慢光(slow light)開啟了弱光非線性光學的研究所衍生的光儲存技術也可作為了光子(攜帶量子訊號)與原子(量子電腦的位元或量子通訊中的發射、接收元件)交換波函數的方法，這些研究對量子資訊的操控有重大的影響與應用。

### 3. 精密量測 [劉怡維、王立邦、施宙聰]

簡單原子及分子系統裡精密能階的測量可用來驗證少體 (few body) 理論計算，測試量子電動力學(QED)以及探測原子核結構。我們計畫進行多項氦原子，鋰原子及  $\text{HeH}^+$ ,  $\text{H}_3^+$  分子的光譜測量。結合冷原子及光頻梳技術以達到世界一流的精密度。此外我們參與的 CREMA 國際合作實驗，預計將於 2014 進行第一次的渺-氬光譜試運轉。同時，將分析完成渺-氬的實驗數據，此將有助於進一步釐清質子大小的相關問題。此外在冷分子的形成與光譜方面，我們發展出碰撞偵測技術與大量的冷分子，可以探索外磁場對分子碰撞的影響。未來將可進一步研究超冷狀態下分子的化學反應及相關動力機制。

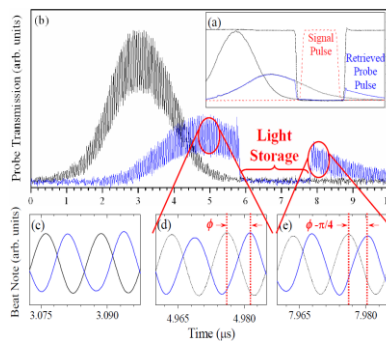
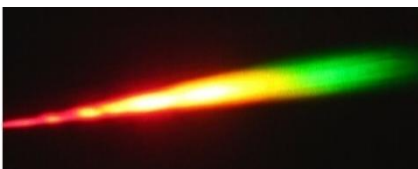
### 三、預期的貢獻

本中心將使用冷原子及雷射光譜技術持續研究原子分子及光學領域重要的物理問題，成果將能使我們繼續學術卓越的領先地位，並對科學發展有重大的貢獻。

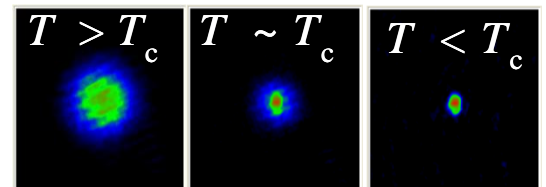
## 冷原子及雷射光譜前瞻研究中心

### 量子資訊

### 精密量測



### 量子流體



國立清華大學物理學系  
天文與粒子物理研究中心

Institute of  
Cosmology, Astronomy, Particles and Strings  
(ICAPS)

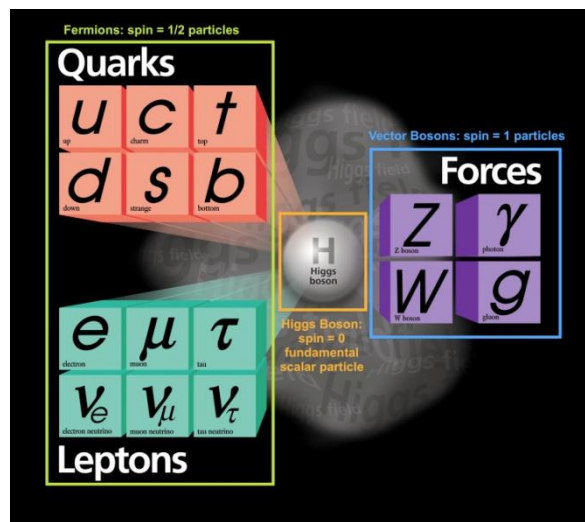
## 一、背景

二十世紀初期，由於相對論與量子力學的建立，理論物理達到了前所未有的成功局面。相對論是描述極高能量系統以及時空與重力的理論，量子力學則是描述微觀世界的理論。

這些理論對於人類社會與文化的影響是非常深遠的。假如沒有狹義相對論中著名的  $E = mc^2$  方程式，就不可能有核能的利用。也只有把狹義與廣義相對論的各種效應納入考慮之後，全球定位系統(GPS)才有可能如此精確。相同地，我們到處都可以看到量子力學的應用，其中包括了各種雷射與電晶體的發明，可以說我們使用的各種電子產品都是量子力學的應用。

雖然這些理論帶給人類前所未有的能力來使用各種物質與能量，可是它們卻無法完全解釋我們現在所觀察到的宇宙中許多現象。

我們已非常瞭解各種原子，而且長久以來也認為我們已經知道宇宙是由什麼所組成的。幾十年來，物理學家相信物質是由十二種最基本的粒子所構成，它們無法再被分成更細微的結構，是組成宇宙的基本單位。這些基本粒子稱為輕子與夸克(圖一)，它們藉由交換帶有作用力的粒子而感受到各種交互作用，即重力、電磁力、弱力和強力。現在我們又更進一步了解這些基本粒子的質量源自與希格斯粒子的交互作用，Francisco Englert 和 Peter Higgs 在約 50 年前從理論上預測了希格斯粒子的存在，最近也在日內瓦的大型強子對撞機(LHC)中被發現，兩位科學家因此獲得 2013 年的諾貝爾獎。這些瞭解構成了基本粒子物理的核心，並以此建構出所謂的標準模型。



然而，今天我們知道這個圖像是不正確的；最新的觀測表明，宇宙的組成中只有不到百分之五能夠以標準模型解釋，餘下未知的部分不會發光，只能夠以重力效應偵測其存在，故科學家將其稱為暗物質和暗能量。暗物質與暗能量的概念在 1930 年代被提出，之後天文學和宇宙學有越來越多令人信服的觀測支持其存在，到 1970 年代早期已被廣泛接受。

標準模型尚不能作為最終的理論，除了不夠完備之外，它也無法回答許多根本而重要的問題。這些問題包含：為何是十二種基本粒子，而非別的數量？這些粒子真是最基本的嗎，或是還能再分出更精細的結構？質量的來源是什麼？粒子如何獲得重量？以及最重要的，究竟能不能把重力量子化？

在此同時，天文學上的觀測不只在世紀交接時帶來了暗能量的概念，也持續提供研究極端環境下物理理論正確性的機會。這些極端的環境包括了中子星或黑洞系統裡的超強重力，超強磁場，以及極高的物質密度。恆星形成區域和系外行星系統的觀測也進一步地增進了我們對於恆星及其行星系統形成過程的瞭解，這當然也包括了我們所在的太陽系。

本中心將匯集宇宙學、天文學、粒子物理與弦論中各領域的專業學者，研究這些科學的根本問題，並更進一步，為了解宇宙的構造和演變中做出貢獻。

## 二、內容

本中心的目標是對宇宙的幾個大問題得到更深刻的理解，這包括：宇宙的基本定律、它的起源、它的命運、未知的組成如暗物質、暗能量等；宇宙中極端系統的研究，像是中子星與黑洞，以及恆星和行星系統的構成。

### （一）研究主題

#### 1. 時空的量子性質

宇宙學的標準模型奠基於廣義相對論，根據此模型，我們的宇宙創生於 140 億年前的大爆炸，同時創造出時間、空間、能量與物質，目前有廣泛而有力的證據支持這個假說，例如：現今的宇宙仍在不斷地擴張。然而古典大爆炸理論的圖像中有個基本的矛盾：宇宙必須起源於一個無限大密度、無限高溫度的奇異點，廣義相對論的連續平滑時空概念在奇異點會被破壞而不再適用。一般認為在此極限下必須也考慮量子力學的效應，時空幾何的量子起伏能夠抵銷奇異點，使得不合理的無限大值消失。尋找結合量子力學以及廣義相對論的更基本理論，已成為本時代中最艱鉅，也最為重要的科學挑戰之一。

弦論是目前最被看好，也頗有進展的候選理論。它比粒子表象的理論更具有對稱性。在弦論的架構下，不同的物質和作用力場可以被自然的統一，它們只是單一弦的



不同振動模式。更重要的是，重力可以自然地從弦論中得出，所以弦論也是極有希望的量子重力候選理論，可以對關於時空和重力的根本問題提出更進一步的解釋；諸如：古典時空的起源是什麼？為什麼有一個特別的時間維度？我們計畫透過研究弦論，來更加了解宇宙起源時的時空量子性質。

## 2. 宇宙的組成

自文明起源以來，人們一直相信構成我們周遭一切的物質原子，也是構成整個宇宙的素材；但今天我們知道這是相當謬誤的想法，事實上，一般的物質原子只佔了宇宙組成的僅僅不到 5%；剩餘的未知物質稱作暗物質，約佔了 23%；最後的 72%則是暗能量，被認為是造成宇宙加速膨脹的主因。除了這些未知的組成之外，一般物質也仍有許多未解之謎，例如：為什麼大爆炸同時產生了物質與反物質，但自然界中卻沒有觀測到後者？對宇宙組成的更深刻了解也是本研究中心另一個重要的研究目標。

## 3. 緻密星體

物理理論試圖解釋宇宙中各種組成彼此如何交互作用以及如何以各種奇妙的現象展現它們的存在，尤其是在遠超過地球上所能達到的極端條件下。一般恆星質量或者是大部分星系中心的超大質量黑洞附近高度彎曲的時空正測試著強場極限下廣義相對論的正確性。我們不只要知道時空如何彎曲，同時也要知道時空如何旋轉，這樣才有可能瞭解這些系統中相對論性噴流如何形成與出現在很寬的頻率範圍內的各種準週期震盪現象。中子星或者是尚有待證實的夸克星都是由極高密度物質組成的。在它們的內部，密度高到連核子都會被擠壓破成碎片，物質只能以夸克甚或更基本的結構形式存在。在中子星周圍，磁場強度經常是超過地球的一兆倍以上。帶著極強的磁場與極強的重力，中子星也會造成相對論性噴流以及準週期震盪的現象。因此，中子星與黑洞系統的觀測與理論工作可以探討極端環境下的物理。這是本中心主要的研究主題之一。

## 4. 恆星與行星形成

除了宇宙的起源與演化之外，我們太陽系以及其他行星系統的起源與形成也是本中心關切的主題。恆星是由星際間的分子雲重力塌陷聚集而成的。在恆星形成的同時，這些星際物質也會形成拱星盤，這盤裡的物質會再進一步地聚集成塊並且黏結來形成行星。許多的觀測和理論工作一直在檢驗與精進這樣的想法。過去二十年來系外行星系統的發現不只清楚表明了太陽系不是唯一的，而且也提供了珍貴的例子讓我們研究行星系統的演化。了解太陽系的形成與演化是本中心的另一個重要研究主題。

## (二) 研究活動

本中心的核心成員是本系粒子物理與天文領域的教師。以下幾項是本中心的主要活動與計畫。

1. 定期活動：本中心將定期舉辦演講，研習班，與學術研討會。這些活動將聚焦在新的研究課題，希望能將最新的研究成果與方法呈現給參與的人員。如此將能強化參與

人員研究領域的深度與廣度，並且促成進一步的研究與合作，以達成本中心的目標。

2. 博士後研究員：本中心的研究主題皆是正活躍發展的領域，因此與相關研究的最新發展及動向保持同步是非常重要的。為此我們計畫聘任一些博士後研究員來協力進行研究。透過與清華大學和國家理論中心的科學家的互動，這群組能彼此砥礪激盪，也將回饋專業知識，使我們更接近研究目標。

3. 訪問學者：我們也計畫邀請國際知名的學者前來訪問，這些互動可以讓本研究中心掌握最新的研究發現及趨勢，並能鼓勵研究者們與來自不同團隊的學者進行跨域合作；這些合作也將有助於提高學術知名度，讓台灣與清華大學更揚名於國際研究圈。

## 預期的貢獻

本中心將研究一些宇宙中最深入也最根本的問題，成果將能使我們對整個世界能有更深入的理解。我們很難精準預測下個研究突破的時間表，但諸研究課題都已發展出極有希望的方向，本中心成員們也都有優異的研究紀錄，我們很樂觀地相信，重大的科學突破已在不遠。

除此之外，本研究中心也能幫助相關領域的研究生和大學部學生接觸專業學術研究，更能有效訓練研究能力；中心對基本問題的進展無疑地也將鼓舞台灣的學子，稟賦優異的學生會更有熱忱投入基礎科學的研究，他們將推動台灣的科學發展，成為下一代的優秀科學家。

近幾年來，基礎物理學越來越受到一般民眾的注意，本中心也將透過在知名科學期刊發表文章、公開教學、以及其他科普活動等管道，增加社會對宇宙基本問題的接觸與理解，提升公眾的科學素養。

## 設立理由

### 1. 為何是現在？

有人說宇宙學正處於黃金時期，以前所未見的速度發展，投入了前所未見的物力，並得到豐富且空前精確的數據支持。一些原先只被認為是哲學上，或是只能被臆測的問題，今日已能從嚴謹的理論架構去分析理解。

我們對量子重力的理論已有許多深刻的進展，弦論即是相當有希望的候選理論，它不只限於廣義相對論所假設的古典時空概念，更提供了研究時空量子性質的方法，這奇妙的性質正是理解宇宙起源的關鍵，乃至於其演化與命運。

此外，現行標準模型無法解釋的暗物質與暗能量，我們對基本粒子的專業知識將有助於解讀最新的實驗數據，抽出其精華，以至於重新詮釋暗物質與暗能量的真正意義。

## 2.為何在清華大學？

在台灣各地不少的天文團隊與粒子物理團隊之中，我們擁有最為廣泛的各領域研究者，本研究團隊涵蓋了傳統粒子物理、弦論/量子重力、粒子與天文物理學、暴漲宇宙學、數值方法與觀測宇宙學。獨一無二的跨域合作使得我們在追索基本問題的答案中，扮演特別的角色。

另外，台灣國家科學委員會所資助的國家理論中心也位於清華大學校園中，一些台灣最為優秀的科學家們受任於國家理論中心，此中心也得到許多著名學者如楊振寧教授與丘成桐教授的高度評價與支持，清華大學和國家理論中心的研究者們也因此有著密切的合作與交流。

今年五月，本大學建立了新的圖書館，舊圖書館的地下室與五樓將劃分給物理部門使用；我們因此提出本企畫書，計畫在舊館五樓的位置設立宇宙與粒子物理研究中心。舊圖書館的位置鄰近於國家理論中心，且兩設施之間有走道互通，非常有利於學術交流。可預見的是，本研究中心與理論中心的研究者們將緊密凝聚，合作努力為科學發展做出貢獻。