

Quarks and Origin of Universe

# 夸克與宇宙起源



侯維恕 著

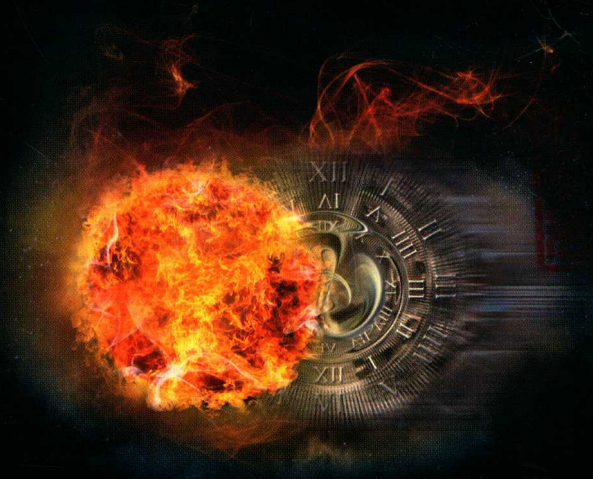
質子、中子裡還有夸克存在的？  
而夸克模型五十週年了，它與宇宙起源有什麼關聯呢？

最深切的思索，是「這一切從哪裡來？」以及「為什麼我竟能思索這個問題？」本書帶給我們的是對未來研究物理的憧憬和期望，並藉穿插知名物理學家的生命軼事，感受臺灣科學界躍上世界舞臺的喜悅。

QUARKS AND ORIGIN OF UNIVERSE

# 夸克與宇宙起源

侯維恕 著



科學叢書

## 夸克與宇宙起源

---

作者◆侯維恕  
發行人◆王春申  
副總編輯◆沈昭明  
編輯部經理◆葉颯英  
責任編輯◆徐平  
封面設計◆吳郁婷  
校對◆趙蓓芬

---

出版發行：臺灣商務印書館股份有限公司  
23150 新北市新店區復興路 43 號 8 號  
電話：(02)8667-3712 傳真：(02)8667-3709  
讀者服務專線：0800056196  
郵撥：0000165-1  
E-mail：ecptw@cptw.com.tw  
網路書店網址：www.cptw.com.tw  
網路書店臉書：facebook.com.tw/ecptwdoing  
臉書：facebook.com.tw/ecptw  
部落格：blog.yam.com/ecptw

局版北市業字第 993 號  
初版一刷：2015 年 1 月  
定價：新台幣 400 元

---



ISBN 978-957-05-2979-1

版權所有·翻印必究

# 序一：物理的聖杯

臺灣大學前校長 李嗣涔

1976年9月中我負笈到美國史丹福大學電機系念博士，三個星期以後的10月初諾貝爾物理獎宣布，史丹福大學物理系的Richter教授與丁肇中博士以共同發現 $J/\psi$ 粒子而得獎，電機系系館就在物理系館隔壁，我也常去物理系圖書館找書，可以感受到一些興奮的氣氛，對我這個剛從臺灣到美國念書的年輕學生而言，想到隔壁樓有一位新出爐的諾貝爾獎得主，就覺得與有榮焉。但是為什麼叫 $J/\psi$ 粒子這麼奇怪的名字就搞不清楚了，後來去史丹福書店買了一本科普書籍才慢慢了解到，原來丁肇中博士團隊先發現到新粒子，但為了慎重起見一再重複實驗而沒有發表論文，直到丁博士有一次到史丹福線性加速器中心聽到Richter團隊好像在同樣能量也發現新粒子，才立刻投出論文，結果兩團隊同時登出論文但是取了不同名字，導致後來用了合成的名字。為此還產生了到底誰先發現的爭議，雙方在新聞上大打筆仗。

1976年適逢美國建國兩百年，為了紀念這個大日子，媒體請了對人類文明進展有重要貢獻的美國人來寫紀念性文章，其中包含了1947年發明電晶體的三位諾貝爾獎得主，結果報上同時刊出兩篇文章，史丹福大學電機系剛退休的蕭克萊教授寫了一篇，另兩位得獎人巴定及布萊頓合

寫了一篇，兩篇各講各的發明故事，針鋒相對互相批評。我當時還偶然可以在電機系大樓見到蕭克萊教授，這兩件事情在我心靈上產生了重大的衝擊，為何重大的科學發現往往導致個人或團隊的衝突，後來我慢慢理解原來這是在奪取聖杯的過程中，由於歷史定位的大帽子壓力下，人性最赤裸裸的自然展現。發現宇稱不守恆的楊振寧與李政道交惡的過程，也跳不出這最基本的法則。從此以後我就愛看基本粒子物理的科普書籍，不僅是了解科學最前沿的發現過程，還要去感受人性的衝突與淬鍊。1982年回國任教以後就會等出國開國際會議的空檔到書店蒐購新的科普書籍，樂此不疲。網路購物興盛以後直接從網路訂購電子書省了我不少麻煩，不過前沿物理發現的故事雖然很好看，但是那是別人的故事，與我沒有關係，與臺大沒有關係。

這本書不同了，臺大物理系的侯維恕教授以他在錢思亮先生紀念演講的內容為大綱寫成了這本基本粒子最前沿的科普書籍，在上帝粒子—希格子的發現過程中，侯教授不但是參與的科學家之一，還扮演重要的角色，而我在臺大校長任內曾提供經費支持侯教授的計畫，讓我覺得與有榮焉。

2006年臺大在教育部邁向頂尖大學的支持下，希望在五到十年中進入世界百大，而我深切了解要成為世界一流大學，最重要也是最根本的問題是要改變師生的心態，從跟隨者（me too）轉變成領航者（follow me）。研究題目的選擇與團隊的組成是成功的第一要素。因此我推動了領航計畫，由上而下選擇了近二十個團隊計畫予以支持。侯

教授的計畫是其中之一，也是我最看好的計畫，他把四代夸克的搜尋帶入希格子 CMS 的實驗中讓我充滿了希望，臺大也終於有機會參與大發現的過程，這才是領航的精神，這才是成為世界一流大學應有的表現。

希格子的聖杯已經於 2013 年頒給了英格列及希格斯，看來四代夸克的可能性已經黯淡，侯教授仍不退縮，寄望 2015 年大強子對撞機維修完成重新啟動以後，能在更高能量下看到新物理，我衷心的祝福他，也掩不住仍保持淡淡的期望，人一生中能夠參與聖杯的追尋是一件令人感動回味的經驗。也希望讀者能從本書中感受到臺灣科學界躍上世界舞臺的喜悅。

## 序二

臺灣大學物理系 熊怡教授  
中華民國物理學會前會長

侯維恕教授請我為這本新書作序，這是我人生第一次為朋友的新書寫序，當然就義不容辭地一口答應下來，並好好地拜讀之。自從侯維恕教授於2012年榮獲第十六屆教育部國家講座，研究教學之餘，既積極投入科普通俗演講以及撰寫科普的介紹性文章。

《夸克與宇宙的起源》一書侯維恕教授以說故事的方式，深入淺出地介紹了近代粒子物理中幾個舉足輕重的重大發現：從拉塞福的實驗「石破天驚」地打開了原子結構的奧祕以及原子內在的原子核，開啓了這一百年來對粒子物理實驗與理論的研究。進而產生了夸克模型，三代夸克與輕子的預測及發現，也因而引進了粒子物理中所謂的「標準模型」。1974年的11月革命丁肇中先生的實驗所發現的新粒子「J 粒子」，在此扮演了舉足輕重的角色。然而對三代全席「標準模型」的驗證，人類又花了數十年時間的努力，建造了一代又一代的高能粒子加速器及各種實驗探測器並有了新的發現，才得以建立起現今粒子物理的物質與反物質的微觀世界。

到底夸克終究和宇宙起源有多大關聯？侯維恕教授以其親身參與理論及實驗研究的心歷路程，並略帶詼諧的語

氣帶領大家進入更深入的探討：宇宙反物質的消失之謎、宇稱不守恆和 CP 破壞現象、四代夸克的追尋、質量之起源與希格斯粒子（神／譴之粒子）的發現等近代粒子物理中的重大問題。物理乃實驗科學，探討宇宙和自然界的基本現象，不論是實驗發現了新的物理現象或是對自然界物理現象的新解釋，都必須經由各種實驗反覆的驗證及檢驗。俗語說「真金不怕火煉」，自然界的真理與定律一樣不怕反覆的實驗驗證及檢驗（Trial and Error），這就是物理這門科學的實證精神！這裡面有許多不怕失敗的心歷路程，也有許多最後成功的例子！也唯有這種鍥而不捨的實證精神才能一步一步地解開自然界的真實現象甚至宇宙起源之謎！

這本書並沒有為「夸克與宇宙的起源」劃下句點。反而帶給我們的是對未來研究物理的憧憬和期望！

2014 年 6 月寫于 CERN, Geneva



# 前言（代序）

大概是2012年11月底吧，接到校長室蔡秘書的電話，說臺大李校長邀請我給2013年2月18日在臺大舉行的「錢思亮先生紀念演講」。其實之前我從未參加過這個聯合由臺大—中研院交替舉辦的演講，但顯然這是個不容拒絕的榮譽點召，我當然一口答應了。因為即使是為臺大高能實驗組的緣故，也是義不容辭的。但我既而查了一下資料，發現歷來的講者，都是院士級的，倍感榮幸之餘，心中不免恐懼戰兢。錢思亮先生、院士曾長期任臺大校長與中央研究院院長，又有多位成就非凡的子嗣，確實是我國學界的標竿。

當時我一方面正在為《科學人》雜誌撰寫〈四代夸克的追尋〉一文，另一方面又邀請了臺大與中大所參與的大強子對撞機CMS實驗的前發言人，珪多·托內禮（Guido Tonelli）教授在臺大給「發現希格斯粒子：在大強子對撞機回溯宇宙的起源」的通俗演講。因此，當學校秘書室追問我講題的時候，我很自然的將題目訂為「夸克與宇宙起源」。因著人類的好奇心，「起源」無疑是抓住人心的題材，人類置身宇宙，「宇宙起源」有獨特的魅力。而我多年研究的題材，可以說是從**b**夸克起首的各種重夸克。

因為是紀念故臺大校長與中研院長錢思亮先生的演講，不敢怠慢之餘，個人認為，雖然演講題目與內容必須

具科普性質，但也必須呈現當下的尖端科學研究。因此在演講的前半段，我從原子核起，介紹了人類從質子、中子到夸克的發現過程，以及拓展到第三代夸克的認知。在這個層次，夸克與宇宙起源的關連其實不深，特別是三代夸克雖帶出了所謂的 CP 破壞，是與宇宙反物質的消失——為何我們不用擔心周遭有反物質與我們湮滅——有關連，卻吊人胃口似的遠遠不足。我從這裡切入研究主題，包括從參與「B 介子工廠」Belle 實驗得到特異直接 CP 破壞現象的啟示，發現若有第四代夸克存在，則似乎可以提供讓宇宙反物質消失的足量 CP 破壞：暴漲千兆倍以上（四代夸克「通天」）。更深刻的研究，則是源自 2008 年起臺大高能組以四代夸克和極重新夸克的搜尋作為團隊參與大強子對撞機 CMS 實驗的策略性目標。在好奇心的驅動下，我在 2012 年前半發現極重四代夸克果然像有人曾經猜測的，可藉四代夸克—反四代夸克對的凝結導致電弱對稱性自發破壞，是可以取代有名的希格斯場的。若然，則夸克便有兩個 天大的理由可以與宇宙起源有關（特重夸克凝結）。然而無獨有偶，就在 2012 年 7 月，中研院參加的 ATLAS 實驗以及 CMS 實驗共同宣布發現「似希格斯粒子」且與粒子物理標準模型的預期相符，這是公認難與四代夸克的存在相容的！但是，根據 2012 年 11 月 ATLAS 與 CMS 公布的實驗數據來看，事情其實還未完結，因為所發現的新粒子是否確實引發電弱對稱性自發破壞，還有一個重要的驗證是無法藉 2011—2012 的實驗數據達到的。因此，依據兩大足以「通天」（即與宇宙起源的關連）的理

由，我逆勢宣稱大自然另闢蹊徑的可能，而已出現的新粒子會是真實的「新物理」。

我很簡短的敘述了「夸克與宇宙起源」演講的內容。那為什麼要把這篇演講再寫成書呢？其實最深入、最反映個人研究的四代夸克—反四代夸克凝結部分，當天因時間的緣故，基本上沒講。而我為《科學人》撰寫的〈四代夸克的追尋〉一文，雖道盡了研究過程的起伏，敘述實驗的進行則比較多。還有一部份原因是熊怡教授（他也是臺大高能團隊的一員）一句話的激勵——時任臺大物理系主任



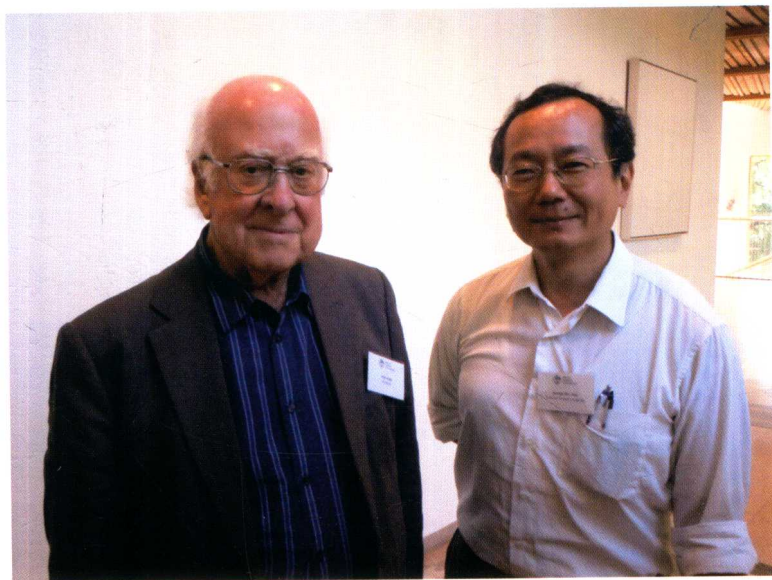
2013年2月18日「錢思亮先生紀念演講」合影，右起：陳竹亭教授伉儷、錢復院長伉儷、侯維恕、李嗣涇校長、中研院陳建仁與彭旭明副院長及陳丕榮教授。

與中華民國物理學會會長的熊教授在演講之後對我說：「你一定花了很多時間準備。」確實是花了不少時間準備。而且，帶科普任務的學術演講，免不了要藉比較多的圖片來克服「達意」的挑戰，然而即使是圖片，若不加以詮釋，也是無法讓人清楚的。其實我一向認為寫書乃是其他更通達之人的事，輪不到自己的，但因以上種種的原因，在我心裡形成了寫書的催促力量。這回也就不揣淺陋了。

本書的撰寫在2013年有不少耽擱。我原本認為希格斯粒子要獲獎還可能有爭議，但2013年3月冬季高能物理大會中，人們宣布不再是發現「似」希格斯粒子，乃是證實「一顆」希格斯粒子。從這裡可以清楚感受到推動希格斯粒子得諾貝爾獎的釜鑿痕跡。而兩年一度的歐洲物理學會高能物理大會於2013年7月正好在斯德哥爾摩舉行，邀請了彼得·希格斯本人就電弱對稱性自發破壞的希格斯、或BEH（布繞特－盎格列－希格斯）機制的發現過程做報告，地點正是傳統上舉行12月份諾貝爾演講的斯德哥爾大學大講堂。報告結束後發問期間，一位帶口音的女士沒有提問，卻對希格斯的報告內容大加讚揚。自此而後，我毫不懷疑希格斯與盎格列將會獲得2013年諾貝爾獎（布繞特已逝於2011年，無緣獲獎）。果不期然，諾貝爾委員會在十月初宣布二人得獎，我受邀在臺大給相關專題演講，以及在臺大科教中心與科學月刊撰稿。這些都使我在暑假後終於開始的撰稿進度大受影響。但最大的影響，其實還是自2012年7月宣布的新粒子（希格斯粒子）的發現在我心中造成揮之不去的陰霾。

好了，我的書寫完了。不敢稱為驚人之作，因為我確實也談不上有什麼文筆。但一方面介紹了人類如何認知了夸克的存在，一方面帶入了宇宙起源的關連。關於前者，我要承認，第二章介紹夸克的登場，恐怕是最難讀的一章；夸克存在在質子裡面，卻無法用傳統方式分離出來，本來就很不直觀。我試著用南部、葛曼與費因曼（被我不敬的在標題中戲稱南木、葛蔓與蕃蔓）三位偉大理論家來串場，也確信更多篇幅的解釋只會使讀者更頭昏目眩而已。我相信接下來幾章比較讓人容易親近，即使我在第五章引進了公式來解釋為何引入四代夸克可讓 CP 破壞增加千兆倍以上，也是不太困難的，希望我盡了科普之責。結束前的第六章，可又困難起來了。但，請你不要跳過它。雖然題材較困難，而且最終多半不會得到大自然青睞，然而我在這裡誠心交代當下的尖端粒子物理研究，並真實呈現一位研究者的執著。我相信，不論你是十來歲還是九十來歲、是媽媽還是孩子、是學生、老師還是社會大眾，都會在閱讀當中有身歷其境的感受，這是我科普之餘的一大目的。而第六章所描述的研究，碰觸到當下最大的問題。在大強子對撞機 LHC 正在運轉的年代能就「電弱作用對稱性自發破壞之源」做真實的探討，提出學說，一生已然無憾。

或許你讀這本書的時候，四代夸克已壽終正寢、蓋棺論定，但對我而言，即便如此，一切的努力也是值得的。對讀者你而言，希望你也感受了真實的當代研究。但如果所發現的「希格斯粒子」被驗明並非電弱對稱破壞的真實源頭，而四代夸克復活，則本書的主題可就是切中要害了。



2013年7月於斯德哥爾摩與希格斯先生合影（郭家銘攝）

感謝吳俊輝教授的引介，使我獲邀撰寫《科學人》雜誌的〈四代夸克的追尋〉一文（附錄三）。感謝李湘楠教授的推薦，使我獲邀撰寫《科學月刊》的2013年諾貝爾物理獎專文〈把「光子」變重了——基本粒子的質量起源〉（附錄二）。感謝李嗣涇校長的提攜，使我有榮幸給2013年紀念錢思亮先生一百零五歲誕辰的演講，並中研院彭旭明與陳建仁兩位副院長當天的蒞臨，更感謝錢復院長及眾家人的聆聽。感謝臺大科教中心及陳竹亭主任多方的協助，並多位友人的鼓勵。最後，感謝廖映婷小姐對本書完成多方的貢獻。

# 目錄

序一：物理的聖杯 李嗣涔 臺灣大學前校長	I
序二 熊怡 臺灣大學物理系教授	IV
前言（代序）	VI
壹、從 1908 化學獎說起：Rutherford 石破天驚	I
拉塞福	3
拉塞福掌握新工具	4
My Hero：拉塞福「石」破天驚	7
宇宙的「演化」	13
貳、南木、葛蔓、蕃蔓的洞察	19
原子核乃是一滴「核子」	21
南部的驚人洞察	25
1950-1960 年代的強子動物園	28
1964 年夸克模型	29
1969 年深度非彈性散射：電子自質子大角度散射	33
部分子模型與夸克	37
夸克與宇宙演化	41
參、丁的發現與小林－益川的拓殖	43
從「輕子」到革命前夕	45

1974 年 11 月革命	49
三代的預測與發現	59
基本費米子	64
<b>肆、沙卡洛夫與宇宙反物質消失</b>	67
反物質的預測與發現	69
什麼是反物質？	70
宇宙反物質消失之謎	75
宇稱不守恆到 CP 破壞	78
沙卡洛夫觀點	85
CP 破壞、宇宙物質當道與你	88
<b>伍、四代夸克「通天」</b>	91
B 介子工廠與三代夸克 CP 破壞的驗證	93
小林自承不足與三代夸克雅思考格不變量	99
四代魔法——千兆倍的 CP 破壞	102
<b>陸、神／譴之粒子？——特重夸克凝結</b>	109
神之粒子：質量之源	111
大科學	115
希望抑幻滅——神譴粒子？	120
費米子質量產生	125
希格斯場的本性？	130
四代夸克散射與「自能」	133
強湯川耦合與對稱性自發破壞	138
真假聖杯與四代夸克的追尋	144



柒、結論與展望	149
附錄一：鍥而不舍的精神典範	155
附錄二：四代夸克的追尋	160
附錄三：把「光子」變重了	174
——基本粒子的質量起源	