

清華大學「質子確實比較小」研究成果記者會致詞

清華大學今天很高興連續第二星期到國科會向大家報告科學工作的突破，這次是本校物理系劉怡維教授及其研究團隊，參與瑞士、法國、德國、台灣、葡萄牙與美國跨國團隊研究計畫的突破成果，論文已刊載於1月25日「科學」(Science)期刊 (Science 339, 417 (2013)) 上，題為 Proton structure from the measurement of 2S - 2P transition frequencies of muonic hydrogen. 這是劉教授與同一團隊於2010年在「自然」(Nature)期刊發表 The size of the proton (Nature, 466, 213-216 (2010))後又一重大突破。2010 論文被選為「自然」當期封面，至今已被引用超過130次。

質子的大小，在2010年透過鈔氫的精密雷射光譜，發現比過去所公認的數值小了百分之四。該結果讓物理學的基礎出現了裂縫。至今，即使在眾多理論學家與實驗學家的努力之下，仍然無法解決這個不一致。稱之為：質子大小之謎 (proton size puzzle)；日前，該團隊經由另一個鈔氫原子的躍遷，再次量得質子的大小為：0.84087(39) 飛秒，與之前的數據相符，但將精確度提高了1.7倍，與CODATA的差異擴大到7個標準差，並得到了質子的磁半徑 (magnetic radius)。也因此更加深化了質子大小與習知理論不符之謎。

質子，由三個夸克所組成，是一個有著空間展延的物體。帶著電核與磁性的夸克，在空間上的組合方式，也就造成質子的電荷與磁性在空間上的分布。也就是質子的大小。該研究團隊利用鈔子（一個特性像電子，但是質量為其200倍，並且生命週期非常短的基本粒子）與質子組合成鈔子氫原子，透過雷射光譜學的方法，量測鈔子氫原子的能階，精確地決定了質子的大小。在這樣的奇異原子中，鈔子較大的質量使得它比一般氫原子中的電子更加接近質子，也就更強烈地受到質子的影響，進而造成能階的位移。該實驗利用瑞士保羅謝勒研究所的加速器所提供的高照度鈔子束產生鈔子氫原子，結合新的碟型雷射 (disk laser) 科技與精密光譜技術。最新的實驗結果，經由另一組躍遷能階的量測，得到了鈔子氫原子的超精細結構光譜，不僅確認了較小的質子大小，同時將精確度進一步加以提升。這也是首次利用鈔

子氫原子的雷射光譜獲得了質子的磁半徑： $0.87(6)$ 飛秒。此結果與其他實驗方法所得相符，並有著相當的精確度。

今天全球的物理學家正積極尋找質子大小之謎的解答。過去以一般氫原子，或是電子-質子散射所進行的量測都被重新分析、檢視，甚至將重啟過去的實驗。來自不同領域的理論物理學家也試圖從不同的角度來解釋這項物理學中的不一致，包括超越標準模型的有趣理論架構。或是設想比現今更加複雜的質子結構，試圖在理論上進行補救。然而，這些都需要新的實驗加以驗證。在未來，新的國際研究團隊 CREMA，包括清華大學物理系劉教授團隊在內，將利用既有的實驗設備加以改良，進行鈔子氫原子的實驗。目前實驗已經在準備中，預計實驗結果將可以對解決質子大小之謎指出一個較為明確的方向。

清華大學物理系劉怡維教授的原子操控實驗室（AMO 研究群）加入該計劃超過十年，與各國際間的研究團隊建立起緊密的合作關係。在許多不同的面向上參與實驗，特別是關鍵性的雷射系統與精密光譜技術。值得特別注意的是劉教授是該研究計畫現有三十六位物理學家團隊最初三個成員之一；同時本系列研究成果論文，在 2010 年於「自然」期刊發表，此次成果則在「科學」期刊發表，這兩本國際頂尖期刊競爭非常激烈，同一系列不同階段的研究成果，很難先後在這兩個期刊發表，劉教授這篇論文能夠「跳槽」期刊發表，極為少見，可見其重要性與突破性；另外瑞士是一僅有七百萬人口的蕞爾小國，但長期對本項研究強力支持，領導跨國團隊獲得亮麗成果，並非偶然；最後要感謝國科會長期支持，讓劉教授能發揮卓越的研究技能，為物理學添新頁。