

希格斯粒子與底夸克的交錯

台灣大學高能實驗室

位於歐洲高能中心 CERN 的 CMS (緊緻渺子線圈) 實驗今天將新的發現投遞 *物理評論通訊*，是希格斯粒子與標準模型粒子交互作用測量的又一里程碑。無論硬體建造或物理分析，台大高能實驗室都深入參與了 CMS 實驗。

CERN 大強子對撞機 LHC 的 ATLAS 與 CMS 實驗在 2012 年 7 月 4 日分別宣布發現希格斯粒子，造成全球轟動：在理論預測的半個世紀之後，確證了標準模型的最後一塊拼圖，同時也揭開了測定這新粒子性質的新階段實驗工作。在今年 6 月 4 日於 *物理評論通訊* 發表首次直接偵測希格斯粒子與標準模型最重粒子頂夸克的耦合作用之後未久，在 CERN 今天的一場演講會中，CMS 實驗組宣布了又一新里程碑。

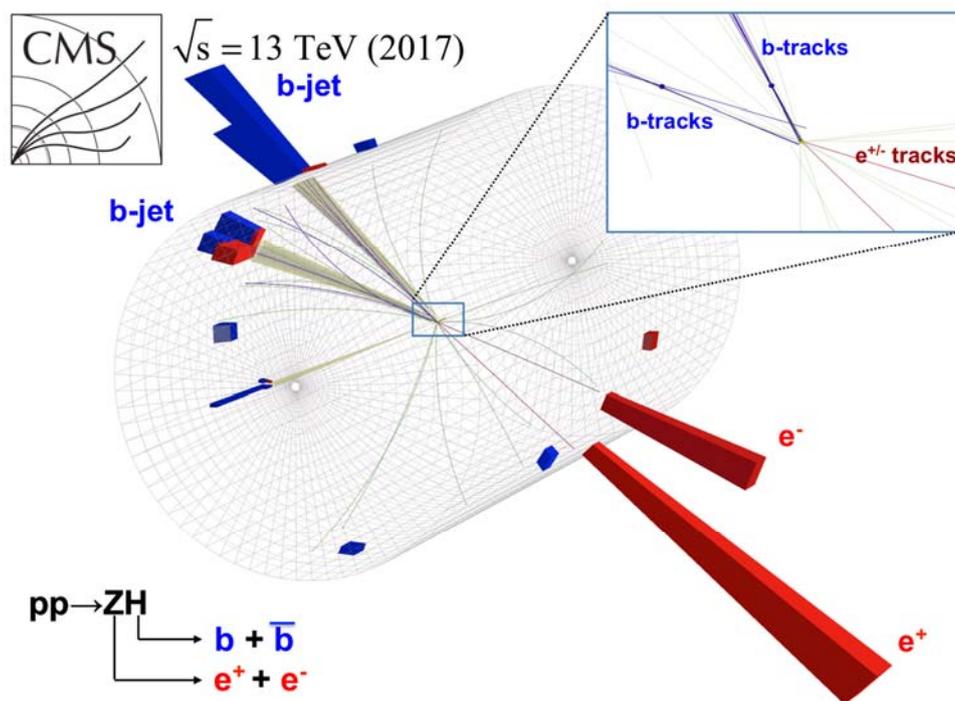
在標準模型裡，希格斯粒子與費米子相耦合，其強度與費米子質量成正比。底夸克的質量不到希格斯粒子的一半，因此希格斯粒子可直接衰變到一對底夸克與反底夸克，其衰變速率與耦合強度的平方成正比。CMS 以及 ATLAS 實驗組宣布的正是偵測到這樣的衰變，兩個實驗組都在今天將實驗論文投出。

希格斯粒子所有可能衰變模式中，直接衰變到一對底夸克與反底夸克其實是最常見的，但要確認偵測到它，則是極大的實驗挑戰。這是因為有大到不行的許多其他標準模型過程 (稱為「背景」事例) 可產生底夸克 - 反底夸克對。因此，必須專注地搜尋特別的標記事件，譬如希格斯粒子與一向量玻子 (W 或 Z 粒子，如圖所示) 的協同產生，才得以將背景壓的夠低。但因這樣的事例極少見，因此必須篩檢極大量的碰撞事件方能找出訊號。大強子對撞機在 2016 及 2017 年的優異表現，讓這發現得以實現。

CMS 實驗組發言人喬爾·巴特勒說：「能早於預期的跨越這個里程碑，乃是 CMS 的科學家充分利用當代尖端分析工具，譬如機器學習技術，以及將前述標記與其他希格斯粒子有效過程組合分析的成果。偵測器的成功運作與可供分析的極大量數據自不在話下。」

台大高能實驗室負責人侯維恕教授說：「台大 CMS 團隊在 2000 年代與中央大學合力建造了前置量能器，在 2010 年代藉科技部學術攻頂計畫參與了更核心的像素偵測器第一階段升級製作，兩者在此次實驗成果均發揮功能，台大也積極深入物理分析。台大高能實驗室的物理研究一直圍繞和底夸克相關的 B 物理，台大團隊藉科技部卓越領航計畫參與日本 KEK 高能實驗室 Belle-II 實驗也已開始運轉，預計明年重回 B 物理競爭前沿。」

在確證了希格斯粒子與底夸克之耦合後，加上早先已偵測到的頂夸克與濤輕子耦合，最重的三類費米子偵測以然到位，CMS 實驗探索希格斯粒子性質又向前邁進一大步。雖然測得的耦合強度與標準模型相符，但因精確度仍有限，來自新物理源頭的貢獻仍是容許的。隨著將來數據量的增加，精確度也會改進，我們期盼探討希格斯粒子會否洩漏超越標準模型物理的天機。為此，CMS 實驗正在積極推動偵測器第二階段升級計畫，台大及中大高能實驗室在科技部及校方支持下也積極深入參與製作高粒度量能器。



希格斯粒子與 Z 玻子協同產生事例，底 - 反底夸克對由希格斯粒子衰變而來，e⁺e⁻正負電子對則由 Z 玻子衰變而來，是協助壓制背景的利器。