



## 標準模型

### ● 傅俊結\*

科學家已經知道，在我們的這個宇宙中，有四個基本作用力在支撐這整個宇宙，分別是，萬有引力，電磁力，強作用力與弱作用力。理論物理學家一直想要有一個方法，可以統一這四個基本作用力，就像早期馬克斯威爾用四個方程式統一電力和磁力一樣，這樣一套完美的理論，被稱為萬有理論。這個萬有理論的希望，到目前為止，純粹是空中樓閣。如果去掉萬有引力的話，科學家倒是有一個辦法來統一電磁力，強作用力與弱作用力。這個辦法被稱為標準模型。這個辦法，基本上到目前為止，可以解釋有關上面三種基本作用力的實驗結果，算是蠻成功的一套理論，而且，對這個理論有重大貢獻的一些科學家，都已經得到諾貝爾獎，因此這套理論可以說是被大部分的科學家所接受的。

標準模型，一開始是從哈佛大學物理學家格拉蕭在 1960 年所提出的電弱交互作用理論開始的，格拉蕭試圖把電磁力和弱作用力解釋為同一種力，1967 年美國科學家溫伯格和巴基斯坦的理論物理學家薩拉姆，在格拉蕭的電弱理論引進了希格斯機制，使得電弱理論更為完整。希格斯機制被科學家用來解釋，為什麼基本粒子會有質量？它的媒介，希格斯粒子也在 2012 年被歐洲核子研究中心的大型強子碰撞器找到了，希格斯本人也在隔年獲得諾貝爾獎。更早期，支撐電弱理論的重要粒子，也就是負責傳遞弱作用力的基本粒子， $W$  及  $Z$  玻色子，已在 1983 年被歐洲的核子研究中心找到，負責這個工作的主要科學家盧比亞和工程師范德梅爾，因為他們的工作而得到 1984 年的

\* 傅俊結，南台科技大學電子工程系副教授。

諾貝爾物理學獎。范德梅爾的得獎可以說是非常的異類，因為基本上他是一個工程師，並不是物理學家，他是加速器的設計專家，他發明一種隨機冷卻的方法，藉由這個方法他們才很快找到  $Z$  粒子。 $W$  及  $Z$  玻色子在傳遞弱作用力的角色，就類似光子在傳遞電磁力一樣。到這個時候，電弱理論可以說是非常的成功。接下來呢？當然就是要把強作用力加進來。

要把強作用力整合到電弱理論，理論物理學家發明了量子色動力學這門學問。量子色動力學是解釋強作用力的標準工具，也是規範場論的一個成功運用。這套理論引進了兩個微觀世界的重要性質，夸克禁閉和漸近自由。夸克禁閉解釋了，為什麼夸克沒辦法單獨存在，也就是，我們沒辦法從質子和中子分離出夸克出來。夸克之間的作用力，並不像一般的粒子，隨著距離的增加而減少，反而是隨著距離的增加而增加。漸近自由卻是隨著距離的減少，粒子間的交互作用越弱。簡單的說法是，漸近自由主導著夸克近距離，也就是高能量間的作用，而夸克禁閉負責低能量，也就是長距離夸克間的作用。葛羅斯，維爾切克和波力徹，因為在漸進自由理論的貢獻而獲 2004 年的諾貝爾物理獎。他們三個人在 1973 年完成了這個漸進自由理論的工作，當時葛羅斯是普林斯頓大學物理系的教授，而維爾切克是他指導的研究生，波利撤當時也是一個研究生，他是在哈佛大學獨立完成他的工作。當研究生時所做的工作，後來可以得到諾貝爾獎，這在歷史上也是少見。由這裡我們可以發現，在整個標準模型理論發展的過程中，由此產生出來的諾貝爾獎的得主，在整個物理領域裡面可以說佔了一大部份。

雖然標準模型到目前為止，可以說是非常的成功。但是，還是有它的缺點。例如，它沒辦法把萬有引力包括進去，也沒辦法解釋暗物質和暗能量的問題，最重要的，在標準模型裡面，微中子的質量被假設為零。但是由微中子的震盪現象，已經顯示出微中子是有質量的。標準模型，事實上還是需要修正。

