

# 1999 諾貝爾物理獎簡介暨

## 袁簡鵬教授專訪

採訪／張銘祥、左健欣

打字／柯聖斌 03

榮獲今年諾貝爾物理獎的是兩位荷蘭籍理論物理學者，現在任教於 荷蘭烏崔特 (Utrecht) 大學的特胡夫特 (G. 't Hooft) 與密西根大學的退休教授維特曼 (M. Veltman)。他們因為「闡明了電弱交互作用的量子結構」而得獎。由於他們的證明，結合電磁交互作用及弱交互作用的電弱理論才廣被接受，電弱理論可以說是20世紀下半葉粒子物理的主要成就之一。我們只要看以下典型的電磁作用費曼圖(1)和典型的弱作用費曼圖(2)就可以看出其相似處。圖(1)中傳遞電磁作用力的光子

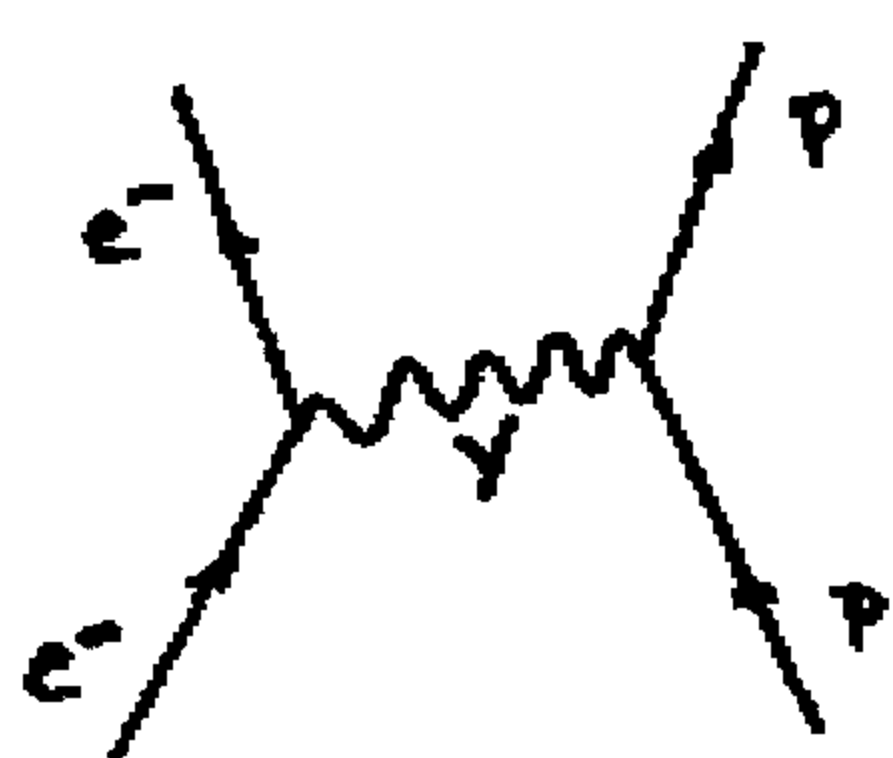


圖 (1)

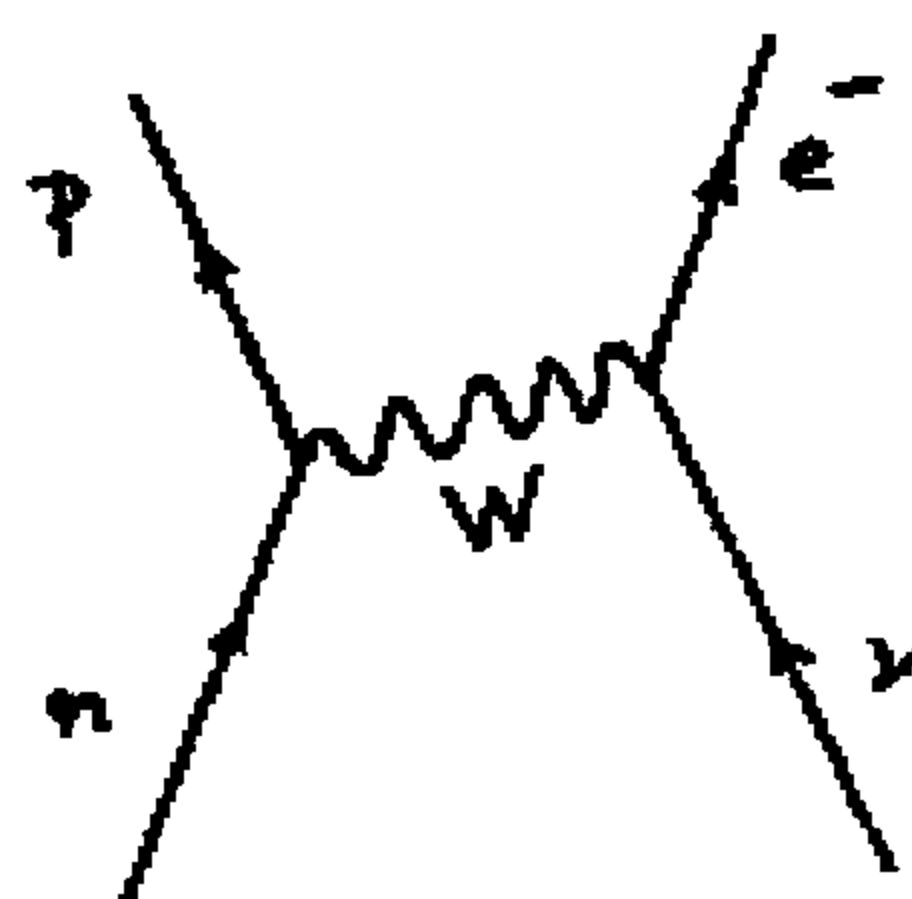


圖 (2)

與圖(2)中的 W 粒子皆是向量粒子，所帶的自旋角動量皆為  $1$ 。與 W 主要的區別在於光子不帶電荷也沒有質量，而 W 粒子帶電荷( )也帶有質量(約為質子的 90 倍重)。

它們是如此地相似，以致在這之前，許多人都已意識到它們是同一個作用的可能性，1950年代末，場論大師史溫格 (J. Schwinger) 已在猜想電磁作用與弱作用或許有一些關聯，他要學生葛拉蕭 (S. Glashow) 想一想如何把這兩種作用力統一起來。那時候許多人已認識到要描述 W 粒子需要用楊振寧與密爾斯 (R. Mills) 在 1954 年發表的非阿貝爾規範場論 (non-abelian gauge theory，又廣被稱為楊密 (Yang-Mills) 規範場論)，葛拉蕭在 1960 年提出了一個統一電磁與弱作用的電弱理論，他所用的規範群是  $SU(2) \times U(1)$ ，但由於

從葛拉蕭的理論無法去預測實驗結果，因為在計算高階修正(higher order corrections)時會引發出不可控制的無窮大，所以葛拉蕭的理論就漸漸為大家所淡忘。Veltman在60年代中期研究那時非常熱門的「流代數」(current algebra)。他的心得是楊密規範對稱在弱作用中是避免不了的。所以他堅定相信尋找出可以重整化的帶電荷與質量的楊密規範場理論是非常重要的事。只要無窮大的問題不解決，無論是否與電磁作用結合，弱交互作用就沒有被徹底理解。這個難題考倒了許多一流的理論專家，很多人在嘗試了一陣子之後就放棄了。Veltman是極少數沒有放棄尋找答案的人，他堅信可以從葛拉蕭的方法中去找出一樣的解答。

在1967年，美國人萬伯革(S. Weinberg)與巴基斯坦人薩朗(A. Salam)另闢新徑，建議用蘇格蘭物理學者希格斯(P. Higgs)在1964年提出的「希格斯機制」來讓W粒子帶質量。也就是說得要引入純量場，並且假設此純量場的真空期望值是不為零的某個特定值。這樣一來，我們就失去隨意對純量場做規範轉換的自由，也就是說規範對稱被隱藏起來了。以不甚恰當但已被大家接受的術語說，這叫「自發失稱」(Spontaneous symmetry breakdown)。把自發失稱用在楊密理論中，則W粒子就可以經由純量場的真空期望值獲得質量。

這樣的「希格斯機制」其實早已由凝體物理學家安德森(P. W. Anderson)點出，在超導體上得到應用。我們知道磁場會被排斥在超導體之外，即「邁斯納效應」(Meissner effect)。我們可以把此效應解釋成光子在超導體中是帶有質量的，所以磁場無法在超導體中延伸開來。

萬伯革與沙朗大膽地猜測「希格斯機制」會帶給我們可以重整化的電弱統一理論。但是他們自己無法給出一個令人信服的證明。萬與沙二人的文章雖然知道者不少，但願意認真看待的人沒有幾個。

事情的轉機起自1969年，當時才23歲的特胡夫特('t Hooft)決定找正在烏崔特大學任教的Veltman當指導教授，研讀高能理論。最初Veltman並不希望特胡夫特研究規範場論，因為他認為對學生而言，那題目太難，太冒險。但是特胡夫特堅持要試一下，維最後也同意了。在1970年夏天，特胡夫特參加了一個有名的夏季學校(Cargese Summer School)，其中韓國學者李昭輝(B. Lee)給了一系列演講解釋自發失稱不會破壞一個重要的粒子理論，模型(model)的可重整化性。特胡夫特那時就想到了應把自發失稱與楊密規範場結合起來。他看清關鍵之處是在認知規範對稱和一般對稱(例如平移對稱或旋轉對稱)不同，其意義在於同一個物理狀態(例如電磁場)可以選取不同的規範場去描述它。理論計算過程或許會因為不同的規範選擇而有所不同，但計算的結果一定是一樣的。特胡夫特知道自發失稱並沒有改變規範對稱性，所以如果我們選用一個適當的規範，就可以避免無窮大。

特胡夫特從暑期學校回到烏崔特後就決定要先徹底了解正常的，沒有自發失稱的楊密規範場論，一切的細節都要研究得非常清楚。再來他就可以加上自發性失稱而得到一個沒有矛盾的帶質量向量場理論。

維特曼與特胡夫特在1970-71年交替之際，曾有一段如下對話深深地烙印在維特曼腦海之中：

維特曼：「我不管怎樣可以做到，總之一定要有一個可以重整化的理論含有帶質量又帶電荷的向量粒子。如何可以和自然相符合是以後的事。」

特胡夫特：「我做不到。」

維特曼：「什麼？」

特胡夫特：「我做不到。」

維特曼：「寫下來，我們瞧瞧。」

那時候維特曼還是不太相信，不過待他把特胡夫特寫下的理論輸入他發展出的電腦程式，維特曼馬上就看出所有的無窮大都相互抵銷，完全不見了。至此維特曼終於見到他苦思多年不解的難題被破解了。

以上是我們對今年諾貝爾物理獎來由的粗略介紹，為了讓大家對得獎主有更多的了解，我們蒐集了一些有關Veltman的資料來給大家作介紹，我們運氣很好剛好碰到理論中心的袁簡鵬教授，在密西根大學時曾經是Veltman的學生，袁簡鵬教授生於民國四十七年，小時候成績很好，到了念大學的時候，他獲得了保送師大物理，他選擇師大物理一方面是因為家裡環境不好，另一方面是可以當老師也符合他的興趣，當他念大學時，其時也沒有想當物理學家的意思，可是因為成績很好，所以畢業後又被學校留下來當助教，據他所述，當了這個助教，幾乎就決定了他物理學家的生涯，之後助教當了一年，編了一些實驗教材，還獲頒教育部的優良獎。在服完兵役，又當了一年助教之後，在當時留學風的影響之下，毅然決然地也申請了一些國外大學，當然很多學校都有給他回覆，但在當時導師林文隆的建議和家境的考量下，加上密西根大學給他的待遇不錯，於是他選擇了密西根大學，恰在當時密西根大學以很好的條件把Veltman聘到他們學校，在這因緣之下，袁簡鵬教授修了Veltman開的量子場論的課，就袁簡鵬教授所述，Veltman是一個豪放直爽的人，且對於作學問相當嚴謹，對學生的要求也尤其高。袁簡鵬教授就曾經目睹，在一次演講中，Veltman因不滿演講的主題，懷疑它的正確性，而在演講一開始就不斷問問題，使演講無法如預期中進行，而造成全場一種尷尬的場面，Veltman也不在乎，這就足以證明Veltman為人的直爽。

在之後的時間裡，Veltman並沒有一直待在美國，其大部分原因是因為不習慣於美國的保守風氣(相對於Veltman的豪放不羈)。

在袁簡鵬教授修Veltman課的期間，為了有能力能跟Veltman作討論，他閱讀了很多paper，但在每次袁簡鵬教授問Veltman一些問題時，Veltman總是告訴他：「you read too much」但袁簡鵬教授一直不明白這句話的用意，在一次機會下他問了Veltman，Veltman就這樣回覆他：「如果你一直都在唸別人的東西，那你怎麼有時間想自己的物理呢？做物理除了研習前人的知識，還要自己再去創新。」聽袁簡鵬教授所述，這句話在他未來的研究生涯裡影響很大。

以上是一些有關Veltman的資料，我們很感謝袁簡鵬教授能給我們這方面的協助。

't Hooft對於科學上的供獻極大，是應該得獎，但或許有些人會想，既然理論是't Hooft想出來的，為什麼Veltman也得獎呢？我們認為Veltman也獲得此項殊榮，一點也不過份，因為若是沒有Veltman過人眼光，認識到重整化問題的核心地位，在別人都已放棄了的時候仍能堅持下去，恐怕也就沒有後來特胡夫特的成功，且't Hooft很多的計算工具都是Veltman發明的(Veltman為了計算複雜的理論，創造出許多簡易的數學計算)。所以維與特二人一起分享榮耀是非常恰當的。

本文參考自中國物理學會的<1999年諾貝爾物理獎介紹>，台大物理系教授高涌泉著



袁簡鵬教授