

1979年

諾貝爾物理獎簡介

林文隆

也許是巧合，在著名的物理學家馬克士威爾（James Clerk Maxwell, 1831 — 1879）逝世一百週年的時候，1979年諾貝爾物理獎頒給了葛拉蕭（Sheldon Glashow）、薩拉姆（Abdus Salam）和溫伯格（Steven Weinberg）三位物理學家，以表揚他們在基本粒子物理方面所做的貢獻。馬克士威爾將電學和磁學統一起來，而葛拉蕭等三人則進一步將電磁作用和弱作用統一起來。本文謹向各位簡單介紹這三位理論物理學家的生平以及他們在物理學上所做的貢獻。

三人之中以薩拉姆年紀最大，1926年出生於巴基斯坦。1952年獲得英國劍橋大學博士學位。自1957年起迄今一直擔任英國倫敦皇家學院（Imperial College）的理論物理教授。他也是設在意大利翠亞斯提（Trieste）之國際理論物理中心的創始人之一，目前兼任該中心主任。葛拉蕭則為美國人，1932年出生於美國紐約州，1959年取得哈佛大學博士學位，現為哈佛大學教授。溫伯格比葛拉蕭小一歲，兩人不但同是出生於紐約州，而且都是布朗士高中（Bronx High School）的畢業生。他於1957年獲得普林斯頓大學博士學位。目前也是哈佛大學教授兼史密松天文物理觀測台（Smithsonian Astrophysical Observatory）資深科學家（Senior Scientist）。

底下根據個人手頭的資料（註一）更詳細介紹一下溫伯格教授的生平。他自十七歲起便對物理發生興趣，經過多年不斷的努力終於成為當代大物理學家之一。我個人最欽佩他的地方是他在做學問方面所下的功夫是如此的深入和廣泛。所發表的論文包括基本粒子物理、電漿物理（Plasma physics）及宇宙論（cosmology）。據說在學校念書的時候，並不是一個天才型的學生。起初對化學很有興趣，但初中畢業後進入高中時讀了物理學家加茂（George Gamov）所寫的書激起了他對理論物理的興趣。他出生於一個中等家庭，雙親既不富有也不貧窮，父親是法院的速記員，幸運的是他的父親並不反對他選擇物理這一行。高中畢業之後進入康夸爾大學，在那美麗的校園裡度過了愉快的四年，並且認識了他的太太。大學畢業時新婚的他申請到丹麥哥本哈根的波爾理論物理研究所當研究生，該研究所從不收學生却破例收了他。在哥本哈根停留一年對日後的研究影響很大。據他自己回憶說那時候大學剛畢業還不懂得如何做研究，於是帶了一些書到哥本哈根打算利用這一年時間好好念書。在那裡碰到一些美國教授，他們總是開心地問溫伯格這位年青人在做什麼研究。他答得妙：「我是學生所以不做研究，我要看一些書。」聽了溫伯格天真的話，他們說：「胡說八道，所有在這裡的人

都在做研究。」於是他要了一個題目開始做研究，不到一年便發表了第一篇物理論文。他形容這段有趣的經歷說他學會做研究就像一隻早鴨子被丟進水裡學會游泳一樣。在哥本哈根做了一年的研究之後進入普林斯頓大學進修博士學位，論文題目係關於弱作用理論中如何處理無限大的問題。雖然沒有什麼突破却奠定了日後他在弱作用這方面的基礎。獲得博士學位之後到哥倫比亞大學繼續做研究，那一段時間有不少貢獻，並且證明了一個關於再歸一化理論（renormalization theory）方面的定理，這就是有名的溫伯格定理（Weinberg theorem）（見註二）。接著任教於美國西海岸舊金山灣附近的加州大學柏克萊分校，其時教過廣義相對論這門課，後來（1972）年寫了一本有關廣義相對論方面的書，被公認為是經典之作（註三）。1966年溫伯格學遷往美國東部的麻塞諸塞州，原因是太太要到哈佛大學念法律而他則任教於麻省理工學院。1967年發表了一篇舉世聞名的論文。後來被哈佛禮聘為講座教授。

以上是三位物理學家的生平，接著簡單介紹他們在物理學上所做的貢獻。我們知道自然界的作用力可分四大類：萬有引力（即重力）、電磁作用、弱作用和強作用。其中萬有引力和電磁作用因為和日常生活有密切的關係大家比較熟悉，兩者都是長程的力即作用範圍很長。強作用則為短程之力，質子和中子之所以能夠形成原子核即係強作用的結果。大家對弱作用可能較不熟悉，其作用範圍更短，原子核的 β -蛻變即係一種弱作用的例子。不過不要認為弱作用和我們日常生活無關，例如太陽或其它星球之所以能夠發熱發光乃是由於其內部進行熱核反應之結果。而這一連串熱核反應之第一步係由兩個質子融合產生一個重氫的核加上一個正子和一個微中子，該反應即為弱作用，假若自然界沒有弱作用，則太陽不

會發熱發光，因而地球上也不會有你我的存在！乍看起來，弱作用和電磁作用兩者之間有顯著的不同：第一，弱作用的強度比電磁作用小很多。第二，電磁作用中之宇稱（parity）為守恒，但在弱作用中宇稱則不守恒。第三，前文已經提過電磁作用係長程之力而弱作用則為短程。電磁作用之所以為長程之力乃是因為它們所交換的粒子（即光子）質量為零。另一方面由於弱作用之距離很短，可想見所交換的粒子質量必定很重，這也是為什麼迄今在加速器實驗中尚無法看到它們的原因。這些粒子稱為媒介向量玻子（intermediate vector bosons）。儘管兩者有上述顯著的差異，它們也有相似之處：雖然輕子（lepton）不能夠像強子（hadron）一樣參與強作用，但是它們都會參與電磁作用和弱作用。更重要的是光子（即電磁作用所交換的粒子）及媒介向量玻子（即弱作用所交換的粒子）兩者都是向量粒子即自旋角動量（spin）等於1而宇稱為負的粒子。這個線索導致葛拉蕭於1961年嘗試將電磁作用和弱作用兩者統一起來（註四）。他的理論有一特點是媒介向量玻子不只是帶正負電兩種即 W^+ 和 W^- 而且還有第三種不帶電的粒子即 Z^0 ，這點很重要因光子之電荷亦為零。不過葛拉蕭初步大膽的嘗試並未完全成功，因為有一個難題始終無法克服：何以光子之質量為零而媒介向量玻子之質量則很重？換言之他的理論無法圓滿解釋它們的質量如何得來。在1960至1964年間理論物理上有兩大進展：即對稱性自動破壞（spontaneous symmetry breaking）和赫格斯技法（Higgs mechanism）兩種概念的提出。所謂對稱性自動破壞這種觀念很難用文字說明。只好做個比喻：一條道路本來可以靠右邊行車也可以靠左邊行車，我們說它具有任一方向行車的對稱性或自由度。如果我們加上一項限制只准靠右邊行車，則任意方向行車的對稱性或

自由度消失了，我們說該項限制使得對稱性自動破壞。當時這種觀念引起了物理學家極大的興趣。可是更進一步研究的結果又觸了礁，因為發現對稱性自動破壞的結果會引進質量為零的粒子稱為葛史東玻子（Goldstone bosons），然而實驗上它們並不存在。1964 年赫格斯（Higgs）首先發現將規範理論（gauge theory）和對稱性自動破壞兩者結合起來可以得到意想不到的結果：質量為零的葛史東玻子不再出現，因為它們已被吸收為規範粒子的一個成份，此時規範粒子也因此而具有了質量，它們就是媒介向量玻子。物理學家稱此現象為赫格斯技法（Higgs mechanism）。1967 年溫伯格和薩拉姆應用赫格斯技法各自獨立地提出了電磁作用和弱作用的統一理論，這就是聞名的溫伯格—薩拉姆模型（Weinberg—Salam Model）（註五）。溫伯格和薩拉姆兩人的理論剛提出時並未立刻受到大家的重視，原因是當時尚未明瞭根據他們的模型如何來計算微擾理論中的高次項。一直等到 1971 年才由荷蘭的一位年青的研究生突虎特（'t Hooft）證明了該理論的確是可再歸一化（renormalizable），立即引起全世界物理學家的重視。當時突虎特年僅 24 歲，係荷蘭物理學家維特曼（Veltman）的高足。他們的理論不僅是可再歸一化而且還預測會有新的物理現象：例如在弱作用中除了帶電流（charged currents）之外，它們預測尚有中性流（neutral currents）存在。果然 1973 年在歐洲 CERN 所做的實驗證實了中性流的存在。可是它的存在却導致一個新的難題，那就是何以改變奇異數（strangeness）的中性流之反應會比奇異數不改變的中性流所引起的反應小很多呢？這問題在 1970 年由葛拉蕭、伊利歐普勒斯（Iliopoulos，希臘人）及買安你（Maiani，意大利人）三位物理學家聯合解決。他們的論點是只要有第四種味道（

flavor）的夸克（quark）存在，則改變奇異數的中性流即不存在或者很小，這就是所謂的 GIM 技法（GIM Mechanism），而這種新的夸克稱為媚夸克（charmed quark）。事實上早在 1960 年葛拉蕭及比友坎（Bjorken）兩人即曾根據輕子與夸克的對稱性提出媚夸克存在的假設。

1974 年十一月，在美國東海岸由丁肇中所領導的實驗小組及在西海岸由雷契特（Burton Richter）所領導的實驗小組分別用不同的方法發現了 J 粒子（註六），它是一個質量很重（約為 3.1 GeV）的強子，其生命期較一般強子長一千倍。後來一連串的實驗結果證實了它是由媚夸克及其反夸克所構成的束縛態。這項發現引起了高能物理學界極大的震撼，有些物理學家稱之為十一月革命（November Revolution）。丁肇中和雷契特兩人也因此合得 1976 年的諾貝爾獎。

迄今為止世界各地的實驗結果和溫伯格—薩拉姆的理論預測非常吻合。特別值得一提的是 1978 年在史丹福線性加速器中心（SLAC）曾做了一項用電子去打擊核子的散射實驗，證實了有宇稱不守恒的現象而且其大小和理論上的預測大致相符合。儘管如此，他們的理論尚待更進一步的證實，例如理論上應有媒介向量玻子 W^+ 、 W^- 和 Z^0 存在，它們的質量很重約為 70 到 90 GeV 之間，所以該理論能夠成立最直接的證據便是想法子找到這些粒子，可惜目前加速器的能量還不夠高，有待物理學家繼續努力。另外該理論最脆弱的部份牽涉到赫格斯粒子的存在及其質量，目前仍有爭論尚待進一步的澄清。雖然有這些問題存在，我們可以說他們的理論相當成功。他們的努力不僅鼓舞了基本物理學家也為八十年代的基本粒子物理提供美麗的遠景。

（下接 12 頁）

的問題須延宕作答，以預留充分足夠的時間，讓學生對所發生的問題反覆反應，自行研究，並要求評鑑學生的這種遲疑行為；有的要求幫助學生，在他們的認知領域裏建立科學概念的層次結構；有的要求配合學生的心理發展時期，將課程內容作嚴密的安排，逐步實施；也有的則要求教師將學生帶到郊外或實驗環境裏，讓學生自行探討自己所要了解的問題。部份科學課程設計者，在編妥教材後，更進一步，不厭其煩的親身試教，并用實際的例子，說明科學教師進行教學新課程時，應揚棄傳統的舊方法，而改採新的方法以配合新課程之進行。

談到教學設備的因素，約可分兩方面來說明，亦即指實驗儀器與教學器材而言。一般說來，新課程中的儀器，大都有簡化的趨勢，而其使用目的咸集中在便於學生探討科學方法與科學精神上。因此實驗儀器的操作強調由學生自己的思索與推理，以明瞭所蒐集得來的科學數據內涵。總之，實驗工作的學習目的，不再是要求學生複習科學實驗，與重現自然現象，而是偏重學生在自然環境下，自定觀察重點，建立假說，蒐集有關數據，以解釋其所得結果。至於教學器材的因素，則由於視聽器材，電子計算機等的迅速發展，在教師之教學法上，亦激起了極大的波動。譬如：目前的擬態教學，協同教學，編序教學，視聽輔導教學，電腦教學等廣被採用實施，即是顯見的事實。甚至，有人還預測將來科學課程教學有可能推行另一次革命性改革。那時，教師的教學工作將轉而退居幕後，而由教學器材來替代教師在教室裏的地位。

綜合以上所述，前一階段的科學教育改革，引發了一連串的教學新方式，其瑩瑩大端，可歸納為以下二十餘種：選擇性閱讀、模擬實驗、批評、數據分析、示範實驗、討論、環境勘察、旅行參觀、影片欣賞、遊戲、實驗、演講、演講—

示範—討論、幻燈放映、成品製作、編序學習、接受性閱讀、瀏覽、習作、自學研究、CAI、協同教學、視聽輔導教學、課外活動、個別化教學等。

不過，科學課程的任何一種最優良的教學法都不可能當作萬靈藥而適用於任何學生。我們必須綜合靈活運用各種方法，方能有效達成教學目標。因此，以上每種教學方式都得加以研究并由其利弊得失之評估，作為取捨之準則。本中心限於人力物力，目前僅局限在教學法研究的構想階段，假以時日并在各位先進的鞭策下，自當深入分析，以推廣各級學校。

肆、結語

本校科學教育中心責任艱鉅，有待進行與開拓之研究工作不勝枚舉，尚祈科教先進，同仁，時賜教益，共同為我國科學教育的生根，開花與結果而努力以赴。

(上接38頁)

註一：New Scientist, p.404~406 (Feb. 17, 1977)

註二：關於溫伯格定理，讀者若有興趣可參考 Bjorken & Drell: "Relativistic Quantum Fields" 第十九章。

註三：書名為 Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity。

註四：S.L.Glashow, Nucl. Phys. 22, 579 (1961)

註五：S.Weinberg, Phys. Rev. Lett. 19, 1264 (1967) A.Salam, Proceedings of the Eighth Nobel Symposium (New York, Wiley)

註六：請參考拙著「新粒子簡介」一文，刊登於科學教育月刊第三期（六十五年十一月）