



## 漸近自由

● 傅俊結\*

20 世紀的人類已經知道，微觀世界的現象，有很多是沒辦法用我們的日常生活的概念去理解的。直到現在 21 世紀，這一理念已經更加確定。所以，愛因斯坦的名言，他不相信上帝是玩骰子的，以現在的科學知識來看，愛因斯坦應該是錯的。最有名的例子就是，量子力學中海森堡的測不準原理，這個原理也是愛因斯坦，薛定諤等人，後來反對量子力學對自然現象解釋方法的主要原因。這個原理跟我們講說，你無法同時精準的決定一個運動質點的位置和速度。當速度量得愈精準，位置的誤差就會愈大，同樣的，位置測得愈準，速度的誤差就會愈大。如果一個科學家是牛頓力學的忠實信徒，當然沒辦法接受這個測不準原理，因為牛頓的第二運動定律，基本上就是一個二次的微分方程式，只要給它初始條件，以微分方程理論來講，你量度位置要多準就可以多準。可是，愛因斯坦應該不是牛頓力學的忠實信徒啊。畢竟，他在 30 幾歲的時候，就用他的廣義相對論，把牛頓的萬有引力定律修正了。真搞不懂，為什麼愛因斯坦到死的時候，還是沒辦法接受量子力學的機率性的解釋方法。也許只能說，人真的年紀愈大愈固執。

今天我們要介紹微觀世界的另一個奇特的現象，叫做漸近自由，這個現象也跟我們日常生活所理解的背道而馳。什麼叫做我們日常生活所理解的？應該可以這樣講，就是三百多年前，牛頓和馬克斯威爾，他們的理論所教導我們的，就是所謂我們日常生活所能理解的。因為三百多年來，他們的理論非常成功的解釋發生在我們周遭的現

\* 傅俊結，南台科技大學電子工程系副教授。



象。只不過隨著科技的發達，人類的視野深入到了原子分子的世界，也擴展到了遙遠宇宙的視野。這時我們需要新的科學理論，微觀上就誕生了量子力學，巨觀上出現了廣義相對論。在 1960 年代，從史丹佛大學的線性加速器撞擊出很多新的粒子，為了解釋這些新的基本粒子所發生的一些現象，物理學家蓋爾曼假設一種新的基本粒子的存在，命名做夸克，蓋爾曼認為，所有參與強交互作用的粒子，事實上都是由夸克組成的，例如，質子就是有三個夸克組成的，分別是兩個上夸克與一個下夸克。這個夸克模型可以成功的解釋很多自然現象，甚至可以預測一些當時還不知道的新粒子，後來這些新粒子都被驗證真的存在，可是單獨的夸克粒子卻從來沒有被發現過，到最後連蓋爾曼自己都懷疑，夸克是否真的存在。有三位實驗物理學家，傅利曼，肯達爾及泰勒，他們把史丹佛加速器的實驗結果，做深入的分析，得到一個結論：質子的內部，真的有更小的結構，這也印證了夸克的存在。他們三個人因此獲得了 1990 年的諾貝爾物理獎。

夸克被實驗證明存在之後，卻產生了一個難題，不管把實驗怎麼調整與改進，始終撞擊不出一個單獨夸克的存在。後來科學家終於發現，就是漸近自由這個特性在搞鬼，漸近自由只有在強交互作用裡面才會發生，在其他的三個基本交互作用，也就是萬有引力，電磁力，弱作用力是不會有這個漸近自由的現象。牛頓的萬有引力定律清楚的告訴我們，兩個質點愈接近時，他們的吸引力會愈大，相互距離愈遠時，作用力會愈小。可是，兩個夸克之間的作用卻不是這樣，反而是，距離愈小，作用力愈小，距離愈大作用力愈大，這就是所謂的漸近自由。因此，當我們要把質子中的夸克分離出來時，隨著夸克間距離的增加，所需要的能量就愈大，以致於我們沒辦法單獨分離出夸克。這個漸近自由理論的成就，在 2004 年獲得諾貝爾物理獎的青睞，得獎的三位物理學家分別是，格羅斯，威爾切克和波立徹。雖然他們三個並不是最先知道漸近自由這個現象的物理學家，早在他們之前，一個荷蘭的物理學家和另外兩個蘇聯的物理學家，已經計算出這個現象，只是，那時候他們不曉得這個現象的物理意義，因此並沒有發表他們的結果。格羅斯和威爾切克是師生關係，前者是後者的指導教授，他們發現漸近自由的過程，基本上也是一種意外。剛開始，格羅斯是想證明，所有的場論沒辦法解釋史丹佛大學線性加速器的實驗結果，那時只剩下楊振寧和米爾斯所發展的



場論還沒得到證明。因為要計算耦合參數的貝他函數，而這個計算看起來是蠻複雜的，因此格羅斯就找他的學生威爾切克來一起算，這時哈佛大學的研究生波立徹，在他指導教授的同意下，也單獨在做這方面的計算，他們幾乎在同時得到相同的結果，也就是漸近自由的這個結果。他們在 1973 年，把他們的研究結果，各寫成兩篇僅有三頁的文章發表，這兩篇文章也是威爾切克和波立徹的第一篇學術文章，歷史上，研究生靠第一篇論文來得諾貝爾獎也是少見。

