

# 弦論？玄論？

■賀培銘 老師

## 一、 不可能的任務：

某堂電磁學下課時，兩個面帶微笑的學生走過來，邀請我寫一篇有關弦論的文章。我表面雖然鎮定，但內心十分惶恐。坦白說，弦論恐怕還不太適合作為一個介紹給大學生認識的主題，因為它並不是一個已經完備、經過實驗驗證的理論。事實上，它是一個正在發芽成長的研究題目。我本來想用這個理由拒絕眼前的兩位同學，但是又想起來不久前「不慎」已經在台大物理營中對高中生演講，介紹弦論。現在才嫌大學太年輕，似乎說不太過去。這便是我答應寫這篇文章的背景。

爲了要讓自己的行為合理化，我告訴自己，其實即使我不寫這樣一篇文章，在資訊氾濫的今天，學生還是會接觸到不少這類資料。我的文章至少是專門為大學生而寫，“誤導”的程度或許會比較小。前幾次出國開會時，我不時見到報紙上有以弦論為題的報導或漫畫。以介紹弦論為主的科普書“The Elegant Universe”也曾在Amazon暢銷書排行榜上名列前茅。更令人驚訝的是，今年杜鵑花節時，甚至有一位高二學生特別指名找我，聊了一下台灣弦論研究的現況。由這些事例可見，「弦論」以後可能會變成像「黑洞」一樣，雖然大眾耳熟能詳，但恐怕大多人不太肯定那是什麼東東。如果讓我再做個更大膽的臆測（這是研究弦論的人特別喜歡做的事之一），雖然十年前世界上只有極少數物理研究所開授弦論的課程，但1997年版的Haliday普物教科書及第三版的Griffiths電磁學課本中都已经出現「超弦」一詞；二十年後，當你們這些大學生都變成爸爸媽媽時（雖然現在這對你們來說可能是很難想像的一件事），你讀小學的小孩或許會在學校聽到「弦論」一詞（希望不會像在電影「黑洞頻率」中一樣被翻譯成「線理論」。）那時，說不定你會想起現在正在讀的這篇文章，而可以向小孩炫耀一下自己的博學多聞呢！

不過，我必須警告各位，二十年後弦論的面貌恐怕會和現在完全不一樣，就像雞蛋和雞可以很不一樣。

## 二、 宇宙最不可理解之處，在於它是可理解的：

大自然是一個無邊的謎，震懾每一個試圖了解它的人。然而，人類今天對物理世界的了解的深度，相對於人類智力、體力和壽命之有限，仍可算是件不可思議的事。人對物理知識的態度，是要把所有觀察到的物理現象，歸納成儘可能地少數幾個基本原理之邏輯推演的結果。

原則上，我們找到成功的理論之前，無法確知最後相互獨立的基本定律有幾個。你可以想像一個虛構的宇宙，其中有無限多種不同粒子，而不同粒子的性其之間毫無關聯。今天我們的物理知識極端成功的主要原因，就是因為上帝仁慈地選擇用很少的基本原理來支配所有現象。

物理學的發展史其實就是一步一步揭露出自然定律的這種特徵的過程。Newton發現地面上的重力和天體間的引力可以用同一個物理定律描述。Faraday等人建立了電與磁間之關聯。Maxwell統一了電磁學與光學。Einstein將重力解釋成時空的幾何性質。Glashow、Weinberg和Salam（1979年諾貝爾獎得主）統一了電磁力和弱作用力。而今理論物理研究的主要目標之一，就是要用某種「大統一理論」去統一電弱作用力與強作用力。

等「大統一理論」完成時，人們就會想要再把重力和其他三種力統一起來（人是永遠不會滿足的），否則重力與其他三種力好像是獨立不相干的兩種原理，同時支配著宇宙的運行。雖然這個哲學上的缺憾仍是邏輯上的一個可能，但更嚴重的問題是：物理學家用來描述電作用，並用來建構「大統一理論」的架構，竟然與重力作用的描述（廣義相對論）互不相容！

現在讓我花些篇幅解釋這個不相容的問題。

## 三、 量子力學與廣義相對論的不相容：

「量子力學」與「相對論」是近代物理的

兩大支柱。假設所有的物質，都是由某些種類的粒子組成，爲了讓這些粒子的理論同時符合量子力學與狹義相對論，物理學家發展出一套稱作「量子場論」的理論架構，並且在此架構之下成功地描述弱電作用與強作用。但是，當人們想要結合量子力學與廣義相對論時，卻面臨了一百隻大象也移不開的巨大困難。如何突這個困難可以說是當今理論物理最重要的問題。簡單的說，量子力學中的測不準原理（ $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$ ）告訴我們，如果想要精確地測量一個粒子的位置，需要很大的動量（因此也需要很大的能量）。但是另一方面廣義相對論告訴我們，動量及能量造成時空的彎曲。因此最後粒子在時空中的位置是無法精確定義的。一個極端的情形是粒子的能量大到形成一個小黑洞，則我們粒子便只能看到黑洞的事件水平而無法看到點粒子的位置。弦論受到注意的主要原因之一，就是它是目前已知唯一可以將重力作用量子化的理論（另外有一個較傳統的 Ashtekar 的量子重力理論較未被廣泛地接受）。它也是唯一有可能可以同時描述其他作用力並統一所有已知物理現象的理論。（但是我必須在此強調，目前這個「可能」還只是一個未實現偉大理想。）

#### 四、 弦論是廿一世紀的物理，意外地掉進廿世紀：

弦論的發展史是有些無厘頭的，與其他物理典範的成名之路很不一樣。Einstein 之前，物理學演化的標準程序，是先有實驗數據，然後從中歸納出其數學原理。Einstein 的廣義相對論，則是先依據其腦中的完美理想創造出理論，然後才在觀測中找到實驗證據。弦論又不一樣。它起初是一個被找來描述強作用力的理論，但是不久後就被量子色動力學（QCD）打敗了。所謂君子不爭一時，而要爭千秋，弦論失敗後，閉門苦心修煉，沈潛了一段時間，後來竟改頭換面，以「萬有理論」（THEORY OF EVERYTHING）之姿重現江湖。弦論的崛起，借助於兩個意外。第一個意外是有人爲了描述強作用力，誤打誤撞、歪打正著，想到這個點子。第二個意外，是弦論被判出局後，竟然還是有人（雖然

是極少數人）不死心，死心塌地地繼續研究。（我常想，是怎麼樣的理想或情感，才能在眾人皆棄之如敝屣時，忍受他人的訕笑，無怨無悔地堅持他對弦論的熱情？嗚~~~~太感人了。）

簡單的說，弦論的出發點，是猜想：或許物質並非真的由粒子組成，而是由小線段或小線圈所組成。但是因爲這些弦太小了，所以看起來很像是粒子。這個邏輯上的可能性，乍看之下並不特別迷人（更別提當你看到弦論課本上複雜的數學公式時的感覺了。）；但是，更進一步的研究之後，就會發現這個小小的改變（用弦取代粒子），就像非洲一隻小小蝴蝶多拍了兩下翅膀，造成美洲的颶風，將物理理論的面貌徹底改觀。（不知有沒有人研究過物理理論建構過程中的混沌現象？）弦論與一般粒子理論第一個不同的地方，是一根弦的自由度是一顆粒子的無限多倍，因此有可能只用一種弦來解釋所有不同種類的粒子（不同的粒子對應到弦的不同狀態）。其次，只要我們假設有弦，就會發現弦的某個振動態對應到媒介重力作用的重力子（graviton）。因此我們可以說，「弦」提供了一個重力作用爲何存在的解釋。而弦的量子理論，則是我們解決量子重力學一切疑惑的主要希望所繫。

#### 五、 弦之又弦：

要求有一個數學上自洽（self-consistent）的量子力學描述，對粒子來說很簡單，但對弦來說則是十分嚴苛的要求。相對於粒子可以有無限多種不同的量子力學理論（比如說理論中可以有任意的位態項），目前已知量子化的弦論只有 5 個。這些弦論都有一種特別的對稱性，叫做「超對稱」（Supersymmetry），因此這些弦論被稱做「超弦」（superstring）理論。現在大家相這 5 種超弦其實是同一個理論的 5 種不同描述方式。也就是說，這 5 種理論互爲對偶理論。你可以想像一個外星人來參觀地球上的物理實驗時，用一套看起來完全不一樣的物理理論來描述這個實驗，但是只要最後他對實驗結果（探測器螢幕上最後出現的數字）的預測和我們一樣，那麼我們的理論和他的理論其

實只是等價的對偶理論。這 5 種超弦在處理不同問題時各擅勝場，這讓我不由想起「道可道，非常道」這句話。

自治的要求，不但讓我們只有 5 種弦論可以考慮，更令人驚訝的是，連空間和時間的維數，也被限制為  $9+1$  維。有的人認為這是弦論的一大缺點，因為我們事實上活在  $3+1$  維時空之中。但是我卻認為這是一個大優點（但我想有人已經覺得我瘋了），因為過去我們很難想像像“時空的維數”這麼基本的概念如何可能從理論中推導出來。在弦論裡，一旦你決定了要有弦，就幾乎再也沒有自由，所有的東西都被決定了。研究弦論的有趣之處，就是可以看到一些最基本的物理觀念如何從理論中被發掘出來。

超弦中多出來的 6 維空間，其實有不少去處。最簡單的一個可能，是這 6 維空間是一個縮得非常非常小的封閉空間。但是我們還不知道是不是這樣。由於我們在 4 維時空中觀察到的物理緊密地依賴於這 6 維空間的性質，我們也還不知道如何用弦論解釋任何已知物理現象，當然也還沒有得到任何實驗驗證（所以也沒被實驗推翻）。很多人認為這是弦論的一大缺點，但我認為這是一大優點，因為這表示弦論裡還有很多未知，可以作為我們的研究題目。

笑話：

有一個工程師和一個數學家去聽一個物理學家演講。物理學家滔滔不絕地談論弦論中的九維空間，而數學家則津津有味的聽著。演講結束時，工程師納悶地問數學家怎麼才能想像九維空間。數學家說：「這太簡單了，你只要先想像  $n$  維空間，再讓  $n$  等於 9 就可以了。」

弦論的研究，除了想了解我們已知的 4 維時空中的物理要如何從弦論中推演出來（然後我們才知道弦論如何修正已知理論），並且要找出弦論本

身的精神在那裡。顯然我們對於弦論的了解還不夠，仍然缺乏類似於“Mach 原理”之於「廣義相對論」的哲學基礎。

由於弦論的志向過於遠大，我們對弦論的了解可以說還在萌芽階段。這也就是為什麼我一開始覺得和大學生談弦可能不太恰當的原因。而既然不太恰當，我就到此為止吧！

#### 參考資料：

Book.：

科普：The Elegant Universe, B.Greene, Norton.

課本：Superstring Theory, Green, Schwarz, Eitten, Cambridge;

String Theory, Polchinski, Cambridge.

Websites：

Yahoo!：Science>Physics>Theoretical Physics>Theories>String Theories

光與物質小站：

<http://residence.educities.edu.tw/listeve/Htm/physics/physicstitring.htm>

光與物質小站中與弦論有關的網頁：

<http://residence.educities.edu.tw/listeve/Htm/physics/phys-qa-string.htm>

<http://residence.educities.edu.tw/listeve/Htm/physics/phys-field.htm>

台大弦論研究小組網站：

<http://www.phys.ntu.edu.tw/~pmho/ssg.html>