

科學哲學的增智模式

——以力的統一為例

林崇安
中央大學太空所

一、前言

●總綱：科學哲學是以「科學方法」對各種「存在」追根究底，以增加智慧、減除疑惑的一門學問。此中針對「力」的存在問題追根究底，出現了「標準模型」，這是探究物質世界的一個實例。

二、粒子間的四種作用力

經過科學家的努力，今日知道物質粒子間有四種作用力，這些力的相關性質都屬於「存有論」的範圍：

(1) 引力（重力）：

產生於「所有粒子」之間，交換粒子是「引力子」。

(2) 電磁力：

產生於「帶電粒子」之間，交換粒子是無質量的「光子」。二帶電粒子間的電磁作用力以「光子」作媒介。

(3) 弱作用力：

產生於「夸克與輕子」之間，交換粒子是有質量的「居間向量玻色子」(W 粒子和 Z 粒子)。(有六種輕子：電子、電微子、渺子、渺微子、淘子、淘微子)

(4) 強作用力：

A 強作用力產生於「夸克」之間，用以形成核子（質子、中子），其交換粒子是「膠子」。

B 強作用力產生於「核子」之間，用以形成原子核，其交換粒子是「介子」（後稱為 pion），而 pion 也是由夸克組成，所以最終的交換粒子也是「膠子」。任何二核子間的強作用力最終是以「膠子」作媒介。

質子、中子、pion 等參與強作用，通稱作「強子 hadron」。

說明：

引力，是萬有的：每一粒子都因它的質量或能量而感受到引力。它會作用到非常遠的距離，並且總是吸引的。而電磁力、弱作用力、強作用力這三種力是短程的，時而吸引、時而排斥，所以傾向於相互抵消。

三、四種力的統一

科學哲學的「增智模式」是由【前科學】到【科學】和【後科學】的增長智慧、去除疑惑的探索過程，也就是經歷了【前科學 1】→【科學 1】→【後科學 1=前科學 2】→【科學 2】→【後科學 2=前科學 3】→【科學 3】…此中每一過程都有存有論和認識論的問題與嘗試的解答（含假說）。以下用科學哲學的「增智模式」來說明人們對「力」的理解和統一的過程。

【前科學 1】

問：宇宙之內有何作用力？

- (1) 古印度的婆羅門教，將宇宙的生成和毀滅的力量認為是來自諸神：創造神是梵天（Brahma），破壞神是濕婆（Siva），保護神是毗濕奴（Vishnu），其著名的化身是大黑天。
- (2) 古印度的佛陀（Buddha，約 531B.C.）認為推動宇宙中物質和精神的力是「業力」（karma）。
- (3) 古希臘亞里斯多德（Aristotle，384-322 B.C.）認為天體和地球是由不同的材料所組成的：月以下的一切物體都是由土、水、火、氣四種基本元素組成。有引力和浮力作用在這些元素上：引力是指土和水有往下沉到宇宙中心的趨勢；浮力是指火和氣有往上升到空中天然位置的趨勢。月以上的天體則是由一種純潔的第五元素「乙太」組成。此中將宇宙的內容分成物質和力二種。

【科學 1】

引力（重力）的確立：

1687 年，牛頓在《自然哲學的數學原理》中，提出萬有引力定律：「引力與兩個粒子間之質量的乘積成正比，與距離的平方成反比。」

所有粒子之間存在著「引力」。

【前科學 2】

電力和磁力的探索：

1785-91 年間，庫倫發現了庫倫定律：「電荷與電荷之間，同性相斥，異性相吸。庫倫作用力與兩電荷量的乘積成正比，與電荷間之距離的平方成反比。」

1820 年，奧斯特發現電流可以產生「磁力」。

問：電力和磁力可以統一成一種嗎？

1873 年，馬克士威統一了電力和磁力，而有「馬克士威方程式」的提出，其中最重要的是預言有電磁波，並認為光是一種電磁波。

【科學 2】

〔檢驗〕

1886-88 年，德人赫茲做了一系列的實驗證明了電磁波的存在。

1948 年左右，史溫格 J.Schwinger、費曼 R.P.Feynman、朝永振一郎 S.Tomonaga 發展出「量子電動力學」，解說帶電粒子間，經由交換「光子」而起交互作用。光子為庫倫作用力的攜帶者。

【後科學 2】

問：電磁力和引力可以統一成一種嗎？

（經愛因斯坦 Einstein 的終生嘗試，未能達成）

【前科學 3a】

（A）弱作用力的探索

1933 年，費米 Fermi 提出中子的 beta 衰變理論：中子→質子+電子+反電微子。（得 1938 物理獎）

1956 年，李政道和楊振寧提出弱作用不服從 P（宇稱）對稱的假說。（楊、李二人獲得 1957 物理獎）

問：電磁力和弱作用力可以統一成一種嗎？

1961 年，格拉肖（S.L.Glashow）初步提出了電磁力和弱作用力的統一結構： $SU(2) \times U(1)$ 規範群。

1967 年，溫伯格（S.Weinberg）和沙拉姆（A.Salam）提出更完善的電磁力和弱作用力的統一理論＝電弱理論＝溫沙理論，認為除了光子，還存在其他三個能攜帶弱力的「向量玻色子」： W^+ 、 W^- 和 Z^0 。電弱理論有「自發對稱破缺」的性質：在低能量下一些看來完全不同的粒子，事實上在高能量下這些粒子都有相似的行

為。這和輪盤上滾球的行為類似。當輪盤轉得很快時（在高能量下），球的行為基本上只有一種——不斷地滾動著；但是當輪盤慢下來時，球的能量就減少了，最後球就陷到輪盤上 37 個槽中的一個槽。如果我們只能在低能量下觀察，我們就會認為有 37 種不同類型的球存在著。在電弱理論中，當能量遠遠超過 100G 電子伏時，這三種新粒子和光子的行為很相似。但是，正常情況下能量要比這值低，粒子之間的對稱就被破壞了， W^+ 、 W^- 和 Z^0 得到大的質量，使之攜帶的力變成非常短程。

提出電弱理論時，很少人相信，因為當時還無法將粒子加速到足以達到產生 W^+ 、 W^- 和 Z^0 粒子所需的 100G 電子伏的能量。

【科學 3a】

〔檢驗〕

1973 年，CERN（歐洲核子研究中心）測到電弱理論中所預測的中性流。

1979 年，格拉肖和溫伯格、沙拉姆獲得諾貝爾物理獎。

1983 年，CERN 在 1 月發現了 W 粒子，在 5 月發現了 Z^0 粒子。電弱理論在低能量下的預言和實驗符合，使諾貝爾委員會免於犯錯的難堪。〔假說通過檢驗後成為新原理〕

1984 年，領導 CERN 的魯比亞 C.Rubbia 和發展相關冷卻技術的米爾 S.Van der Meer，獲得物理獎。

【前科學 3b】

（B）強作用力（=強核力=強力）的探索

問：任何二核子（質子、中子）間如何束縛在一起？什麼是強作用力的攜帶子？

1935 年，湯川秀樹預測核子之間有強作用力的媒介物存在，稱作介子（指 π 介子 = pion）：任何二核子（質子、中子）間的強作用力以介子（指 pion）作媒介。（湯川秀樹得 1949 物理獎）

【科學 3b】

〔檢驗〕

1947 年，鮑威爾 C.F.Powell 測到 pion 粒子的存在。（得 1950 物理獎）
說明：pion 粒子有 pion^+ ， pion^- ， pion^0 三種。 pion^+ 和 pion^- ，都蛻變成渺子。 pion^0 蛻變成二個光子。

1964 年，蓋爾曼提出「夸克模型」（此時提出三種夸克：上夸克 u 、

下夸克 d、奇夸克 s)，主張所有參與強交互作用的強子 hardon：介子 (meson，如 π 介子) 與重子 (baryon，如質子) 都是由夸克所組成。並提出夸克帶有分數電荷。

1968 年，弗利德曼 (J. I. Friedman)、肯達爾 (H.W. Kendall) 與泰勒 (R.E. Taylor) 等人，於美國史丹佛線型加速器中心 (SLAC) 做「深度非彈性散射」(deep inelastic scattering) 實驗：將高能電子射向質子，然後觀測散射出來的結果，發現高能電子 (22GeV) 會在質子內部發生大角度的偏折。〔以實驗檢驗質子的內部結構〕

1968 年，理論家布優肯 (J. D. Bjorken) 與費曼對深度非彈性散射實驗結果的解釋：質子裡面有質量密集的基本粒子(部分子=夸克)的存在。電子和質子的深度非彈性散射可以看成是電子與夸克的彈性碰撞，而這些夸克彼此沒有交互作用，是近乎自由的粒子。〔利用實驗的結果，經由推理得知夸克的存在〕

由深度非彈性散射的實驗結果，夸克才從「假設」變成「事實」。〔蓋爾曼的假說通過檢驗後成為原理〕

1972 年，蓋爾曼等人發展出量子色動力學(QCD)來解釋「強作用力」：
a. 電荷只有正、負兩種；但夸克可帶三種「色」：紅、綠、藍。反夸克則帶「反色」。(這種「色」與我們視覺所感的顏色毫不相干。) 這種「色」是粒子接受「膠子」(Gluon) 傳力之能力。「膠子」本身亦帶有一種色與其反色(故為「白色」或色中性)。所傳之力很強，但有效的距離很短。

b. 如同電磁學中的正、負電相吸，不同的色也相互作用，且必然合成「白色」。這有兩個可能：「正色」與「反色」相消(如此構成「介子」meson)，或三色相加(如此構成中子、質子等 hardron)。又由於吸力甚大，如果「白色」粒子被撞開，其間的「膠子」能量必甚大，可以自發地「生成」正、反色對，很快就將落單的夸克補成「白色」，因而不能找到孤立的夸克。

說明：強核力將質子和中子中的夸克束縛在一起，並將原子中的質子和中子束縛在一起。強作用力的攜帶者是一種自旋為 1 的膠子，它只能與自身以及與夸克相互作用。

【後科學 3】〔猜出統一而簡單的新假說〕

問：電磁力、弱作用力和強作用力可以統一成一種嗎？

說明：

自然界中物體之間的相互作用，分為四種力：引力（重力）、電磁力、弱力、強力。除了引力，媒介電磁力的「光子」和媒介弱力的「居間向量玻色子」已統一起來；媒介強力的是「膠子」，現在要將這三種作用力統一成「大統一理論」（GUT）的「標準模型」，其基本思想是：電磁力和弱力在高能量下變強了，強力在高能量時變弱了，在所謂「大統一能量」的高能量下，這三種力都有同樣的強度，可以看成是一個力的不同面向。

【前科學 4】

1970 中期，物理學家開始發展「標準模型」。

說明：

標準模型 = 電弱理論 + 量子色動力學。

標準模型中的平衡和對稱，被稱作「規範對稱」。

- (1) 物理學家早就知道，麥克斯威的電磁理論之所以優美有力，主要歸功於該理論的數學描述中所顯示出來的平衡和對稱。規範對稱適用於電場，也適用於磁場。電磁場的規範對稱是與光子沒有質量的特性密切相關的。溫伯格和薩拉姆成功地將弱力和電磁力合併起來，提出了電弱理論。
- (2) 物理學家們受到電弱理論的鼓舞，把注意力轉向了強力，不久就提出了色規範理論（量子色動力學）。

說明：

這些抽象的對稱所顯露的物質內部構造的優美，使物理學家感到驚奇。這些規則本來就藏在原子的深處，現在，借助先進的儀器發現這些規則，數學分析的力量也在這個時候顯露了出來，較為複雜的對稱都可以通過非常簡單的組合得到。例如，1961 年，蓋爾曼（M. Gell-Mann）提出命名為「八聖道」的數學群 SU(3)，把多種基本粒子納入體系，並預測有 Omega 負粒子的存在，1964 年，果然測到 Omega 負粒子。此處「八聖道」是來自佛陀的話：「現在，比丘們！這是導致滅苦的八聖道的聖諦：也就是正見、正思維、正語、正業、正命、正精進、正念、正定」。

- (3) 接著，物理學家們試圖將弱力和色動力統一到一個「標準模型」中，辦法是使用更大的規範對稱，將所有的其他對稱包容在一個規範對稱之中。
- (4) 原「標準模型」是無法解釋物質「質量」的來源，為了修補這一缺陷，英國科學家希格斯（P.W. Higgs）提出了「希格斯場」

的存在，並進而預言「希格斯玻色子」的存在，認為希格斯玻色子是物質的質量之源，其他粒子在希格斯玻色子構成的場中，受其作用而產生慣性，最終才有了質量。其後所有的粒子在除引力外的三種力的框架中相互作用，統一於「標準模型」之下。

【科學 4】

1976 年，費米國家加速器實驗室（FNAL）發現第五種的底夸克。

1994 年，又由 FNAL 發現第六種的頂夸克。〔標準模型通過前段的檢驗〕

2008 年 9 月 10 日，歐洲「大型強子對撞機」開始調試運行，科學家普遍期望能夠發現希格斯玻色子。

說明：

歐洲核子研究中心於 1991 年開始設計興建「大型強子對撞機」，位於法國和瑞士邊境地區深 100 米，長約 27 公里的環形隧道中，耗資約 100 億美元。它的單束粒子流能量達到 7 萬億電子伏特，是世界上能級最高的對撞機。「標準模型」預言了 62 種基本粒子的存在，大都已被實驗證實，而希格斯玻色子是最後一種正待被發現的基本粒子。

【後科學 4】

問：電磁力、弱作用力、強作用力，和引力可以統一成一種嗎？

說明：

電磁力、強作用力及弱作用力，都已納入「標準模型」，如果能把引力納入，就達成了愛因斯坦所夢想的「統一場論」，完成了物理世界的統一大業。物理學家處理基本粒子或原子問題時，通常忽略引力的效應，因為引力是如此之弱。然而，引力的作用是長程而相吸的，效應是疊加的，所以，考慮恆星大小的物質時，引力會比其他的力更重要。宇宙的演化主要決定於引力，引力會超過其他的力，並使恆星自身坍縮。在距離極小時，萬有引力也有重要的作用，量子論的一個問題是至今尚未完成的「引力場量子化」。

現今如果想將引力納入「標準模型」，物理學家傾向認為，只有建立起一種包含某種「超對稱」的「超統一理論」，才能達成。

五、結語

由煩化簡是人類理性的一個特質，針對不同的「力」，科學家和哲學家運用觀察和思考，經過各種挫折和不斷的努力，逐漸揭開複雜現象背後的原理，發現自然界遵循著簡單而普遍的定律，這便是科學哲學家所說的「簡單性」。涵蓋大自然所有的力：引力、電磁力、弱力和強力的統一場論，是科學家和哲學家所追尋的夢想。大物理學家約翰·惠勒說：

「總有一天，有一扇門肯定會開啟，顯露出這個世界的閃閃發光的中心機制，既質樸，又優美。」

諾貝爾物理獎得主溫伯格也說：

「我個人的猜測是確有最終理論，而且我們也有能力來發現它。」
