

# 美是均衡中有錯愕

《完美的理論》導讀

作者：陳丕燊

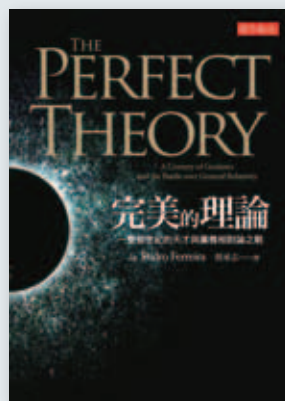
作者簡介：臺大梁次震宇宙學與粒子天文物理學研究中心主任。

在人類歷史的長河裡，追求對宇宙的了解從未間斷。遠的不說，從文藝復興末期的伽利略開啟近代物理學的先河起，四百年來物理學走在所有科學的前端，發展成高度抽象化、數學化，卻又嚴格實證的一門學問。牛頓的重力理論簡潔的定律和方程，以無比的穿透性，一舉把蘋果落地和月球繞地，統一在同一個萬有引力的概念下。19世紀馬克士威把法拉第的發現進一步推廣，結合原有對靜電與靜磁互不相干的知識，推導出如詩句一般有節奏與對稱美的四個方程式，完美的揭示電、磁相生的電動力學，也因而催生了愛因斯坦1905年提出歷史性的「狹義相對論」。而物理

學的發展雖然如此的精緻化，卻還沒有到達人類思想創造力的極致，直到1915年，愛因斯坦經過十年的尋尋覓覓，終於發現並完成「廣義相對論」的正確結構，才真正的登峰造極！

廣義相對論在人類思想史上之所以獨樹一幟，固然是因為它包容並擴大了牛頓重力理論到極高的密度和極接近光速的狀況，因而能解釋牛頓重力理論所不能解釋的水星進動現象，並推論出引力透鏡、黑洞、大霹靂等等先後經觀測證實的預測；這些本來就是一個正確的物理理論的必要條件。但是狹義相對論與廣義相對論從理論的角度看，它們與歷史上任何物理理論體系的根本不同處，在於它們從很少的幾個「定義」（譬如同時性）及無可爭辯的「公設」（譬如相對性原理及等價原理）出發，而推導出完美的「定理」——狹義相對論的勞倫茲轉換式及廣義相對論的愛因斯坦場方程。這樣的建構，已經和歐幾里得幾何一樣，煥發出無比的智性、理性之美。而多半物理學家都會同意，在狹與廣之間，前者如果世上沒有愛因斯坦，別人可能稍後也會發現。但是後者則是遠遠超越時代的曠世天才之作，像米開朗基羅把年輕的大衛從大理石中「請」出來一樣，全無斧鑿，宛若天成。

廣義相對論從1915年發表以來，它的孕育、誕生、成長、徬徨、再起、雄霸、到修正，在過去一百年裡，充滿了曲折的情節，好像一個探險家的奇幻之旅，充滿了戲劇性。難怪除了全球物理學界紛紛舉辦研討會，包括筆者服務的單位在內，慶祝廣義相對論百年大壽、回顧過去並展望未來，媒體及出版界也大量報導及發行專書，其中牛津大學費瑞拉（Pedro Ferreira）教授所著《完美的理論》（*The Perfect Theory: A Century of Geniuses and the Battle over General Relativity*）最值得推薦。費瑞拉承襲了物理學界數十年來的優良傳統，



《完美的理論》（2015），  
蔡承志譯，天下文化。

由做過重大學術貢獻的物理學者，主動積極的撰寫深入淺出、生動有趣的科普著作，使社會大眾能適當了解科學最前沿的發展。這優良傳統當中最膾炙人口的，當然是霍京（Stephen Hawking，一般譯為霍金）的《時間簡史》（*A Brief History of Time: from the Big Bang to Black Holes*），但是費瑞拉的《完美的理論》這一部廣義相對論簡史，實在不遑多讓。

《完美的理論》全書分為序幕及本文 14 章。序幕解釋了全書的主旨及作者本身和主題的關連，也巧妙的為他在全書結尾時描述他代表歐洲物理學界赴非洲西海外普林西比島，為愛丁頓歷史性的 1919 年日全食觀測立碑，從而提到他的祖母竟然生長在這塊當年葡屬殖民地上，留下了伏筆。物理，就像人類其他的智慧創造活動，十分重視承傳，不但在學理上，也在個人的因緣互動上。從作者這個小小的與祖母的連結，我們感受到作者和廣義相對論之間，除了學問上的連結，還有個人的、感性的另一個維度的縱深。全書的主要目標當然是簡介廣義相對論的歷史，但是作者大量穿插各路英雄豪傑成功、失敗、困頓、掙扎的故事，引人入勝且兼具幽默，使得硬邦邦的科學解釋多了一層人性化的潤澤。

在本文的 14 章裡，頭兩章〈當你成為自由落體〉與〈愛因斯坦最珍貴的發現〉，描述了愛因斯坦在 1905 年狹義相對論成功的把馬克士威的電動力學和時空的相對性及光速的絕對性連結起來之後，如何進一步把牛頓的重力理論容納進相對性原理的種種嘗試與挫折，以及如何從「思想實驗」發現「等價原理」（廣義相對論的基礎）的心路歷程。愛因斯坦曾經說，這個洞見是他「一生中最快樂的一瞬」，而他終於在 1915 年定案的愛因斯坦場方程，則是他「一生中最珍貴的發現」。

經過了艱辛的孕育和光榮的誕生，廣義相對論進入了它的成長期，從 1915 年持續到 1930 年代。第三、四兩章精彩描述了這段歷史：這一幕的主角們，從一次大戰東普魯士前線的德國天文學家施瓦氏、交戰國俄羅斯的應用數學家兼氣象學家傅里德曼、到比利時的神父勒梅特，像是梁山泊一百零八條好漢，淨是各路英雄。值得提醒讀者的是，這段期間廣義相對論的進一步發展，除了引力透鏡，大都不是愛因斯坦自己做出的。不但如此，這些愛因斯坦場方程的解，往往和他的物理直覺相牴觸。的確，根據廣義相對論的數學所得出的解，包括宇宙擴張、黑洞、或時空奇異點，都大大超出愛因斯坦自己的想像。可以說，當潘朵拉把盒子打開後，毒物四散，已不是她所能掌控的了。

接下來的數十年，廣義相對論進入了徬徨、沉潛期。最主要的原因有二。一個是自身的，另一個是外在的。自身的原因是它所涉及的物理條件距當時的世界還太遠，以致於除了起初幾個可驗證的現象之外，再沒有什麼可以檢驗它的預測了。而它的數學也實在太困難，在算完了各種理想化、對稱性的解之後，進展也就緩慢下來。外在的原因恐怕更關鍵。那就是 1920 年代發生的另一場歷史性的物理學革命：量子力學。在一段長時間裡，它吸引了全球物理學界最聰明的頭腦，而廣義相對論也就相對乏人問津了。

1960 年代開始了廣義相對論的再起和復興。不意外的，這是因為天文觀測受惠於二次大戰期間雷達、無線電及戰後各種科技的發展，以及新穎數學技巧的發現。本書作者對此有極詳盡且生動的描述。經歷了這一段「黃金年華」，物理學界透過霍金—潘若斯的幾個「奇異

點定理」，終於接受黑洞及大霹靂等時空奇異點是廣義相對論不可逃避的結論，而潘奇亞斯—威爾遜發現的「宇宙微波背景輻射」（cosmic microwave background, CMB）和其他重大的天文發現，則大大的強化了廣義相對論的說服力。

1990 年代以來，廣義相對論已經雄霸天下了。相對於高能粒子加速器愈來愈難建造，使得實驗計畫愈來愈少的情況，宇宙學及重力的觀測及實驗計畫，則從早期宇宙的暴脹到晚期宇宙的加速擴張、從星系中央的超巨黑洞到重力波，多如過江之鯽。這個此消彼長的景況和半世紀前正好顛倒過來，歷史又一次帶給我們嘲諷。如今廣義相對論已經成為顯學，是全世界主要大學物理系必開的課程。

理論家並沒有閒著。眾所周知，20 世紀的兩大物理學革命：相對論與量子論，分別極為成功的詮釋了巨觀宇宙與微觀宇宙，卻互不相「融」。各種量子重力理論在過去幾十年紛紛提出，包括弦論 (string theory) 及迴圈量子重力論 (loop quantum gravity)，但是至今都還沒有成功。其實這些努力並非無的放矢。霍金在 1974 年發現著名的「黑洞蒸發」現象之後不久就指出，他的黑洞蒸發會導致所謂「黑洞訊息消失悖論」，就是說量子力學的基本假設：機率守恆，和廣義相對論不能相容。

此外在晚期宇宙加速擴張的解釋上，所有數據都傾向支持愛因斯坦的宇宙常數，可是在廣義相對論裡，它只是一個任意值的常數。量子真空能量是宇宙常數一個自然的微觀解釋，可是它的值卻比加速擴張所需的暗能量密度大了 124 個數量級！量子真空能量顯然絕不能參與重力作用，否則我們的宇宙早就煙消雲散、夭折了。凡此種種，都指向成功結合相對論與量子論的重要性與必要性。可以說，這是 21 世紀物理學最具挑戰的課題。有朝一日，當我們終於將量子與重力融合時，時間和空間在最微觀的尺度上，還會是愛因斯坦揭示的圖像嗎？

筆者依稀記得多年前閱讀美學家朱光潛的名著《談美》時，曾經讀到作者引用某位西方美學家的一句話而印象深刻：「美是均衡中有錯愕」（可惜上網查證卻遍尋不得）。這句話用來形容愛因斯坦登峰造極的廣義相對論也十分恰當。

本書作者稱呼廣義相對論為「完美」的理論。什麼是完美？就像傑出的音樂與美術作品，經典物理理論結構的自然性、簡單性、對稱性、自恰性、穿透性、普適性等等，在在給人智性的美感，而當這些完美的理論竟然能解釋、進而預測微觀或巨觀宇宙時，它也就同時具有感性的、甚至宗教性的美。還有什麼比「完美」更美的嗎？依筆者的看法，那應該是在完美之餘，可惜竟有一些破缺，令人錯愕。我懷疑，米洛的維娜斯雕像如果雙手仍然健在、完整無缺，會不會還是那麼美呢？

廣義相對論從簡單而自然的公設出發，得到一組均衡而完美的愛因斯坦場方程，它從時空的誕生到消亡，上下四方、古往今來，無所不包。但是廣義相對論對於宇宙常數的來源及其任意性，竟無從解釋。愛因斯坦曾經說：「引進這樣的常數，就意味著在相當程度上放棄了這個理論的邏輯簡單性。」然而這個史上最完美理論的瑕疵，卻使它顯得更美！∞

本文出處：

本文為《完美的理論》導讀。