50 年的追尋－宇宙之演化

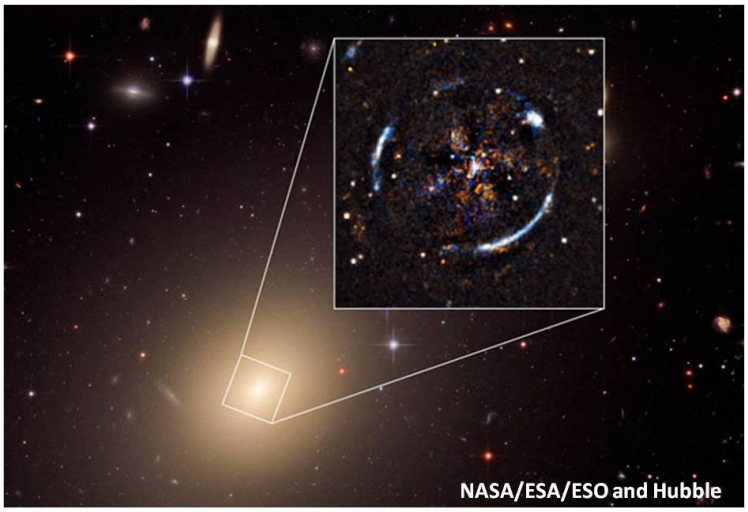
賴昭正
前清大化學系教授、系主任、所長；合創科學月刊

> 有兩件事是無限的：宇宙的大小和人類的愚蠢—— 但我不能肯定前者是否確實是無限的。
>
> -愛因斯坦

半個世紀！一個人一生中有多少個值得慶祝的 50 週年紀念（註一）？在創辦科學月刊之時期（1969 年），朋友間流傳的一句話是「要整一個人，最好就是勸他辦雜誌！」因此相信當時沒有人認為它竟然會活到半百，在台灣發展科普教育中扮演了一個非常重要的角色！當年不少作者及就讀高三、大一的讀者，現在不是都已經進入「耳順」之年就是「從心所欲不踰矩」之高齡了！能不感嘆歲月匆匆嗎？

翻閱首卷 1970 年的科學月刊，第一個讓筆者感到不同的是，每一本均輕輕地沒有「分量」、紙張變黃！與今日「沈重」、表面光滑的銅板紙一比，充分顯示了台灣這 50 年來的物質進展！內容方面，早期有許多翻譯文章，現在則很少看到，顯示了台灣這 50 年來科普寫作能力的提升！對讀者來說，廣告的大量下降可能有助於閱讀，但卻也默默地道盡了科學月刊這 50 年來的慘淡經營血淚！還有一點讓筆者感到若有所失的是：雖然現在通訊快速又方便，但早期讀者與作者之間的互動似乎已隨歲月消失得無影無踪！

編輯部本希望筆者就 8 月號之「分子結構與紅外線光譜」一文撰寫回顧與延伸，但因該議題是當時就已相當成熟的理論與科技，這 50 年來實在沒有什麼進展值得報告！編輯部退而求其次，讓筆者自行在該期裡找題材。一看到丘宏義之「宇宙之演化」一文，因為近幾年來觀察天文的快速發展，筆者立即一見鍾情，覺得用它來慶祝科學月刊 50 週年是天上掉下來的最佳禮物！曾被時代雜誌（Times）稱為「最優秀的美國科學家」之天文物理學家丘宏義教授，現年 87 歲，台大物理系未讀完就出國留學，為早期的科學月刊作者，中文科普譯作十餘冊。



星系ESO325-G004的圖像，插圖為背後更遠星系之愛因斯坦環

宇宙的時空

丘教授花了一些篇幅說明宇宙時間之長、空間之大，辯曰「(合理的）物理學上之法則應適用於任何時、空」——事實上這也是該篇文章的副標題，然後結論謂只有淵源於愛因斯坦之廣義

相對論的佛理德曼（Albert Friedmann）宇宙論是唯一不違反物理法則的宇宙理論。可是愛因斯坦的廣義相對論是否真地適用於整個星球的巨大空間嗎？重力可以彎曲光線，因此星球（群）可以作為透鏡——稱為「重力透鏡」(gravitational lens)。利用此一技術，2015 年英國樸次茅斯大學（University of Portsmouth）研究員科利特（Thomas Collett）與九位同事合作，透過世界上最先進的兩種光學儀器（註二）的綜合能力，經過三年的觀察與資料收集分析，完成了最敏感的實驗：攝得遙遠巨大星系 ESO 325-G004 後面另外一個巨大星系的光環（稱為「愛因斯坦環」)；於今年 6 月 21 日在「科學」（Science）雜誌上謂：首次証明愛因斯坦的理論還是適用於整個星系的巨大空間。其誤差幅度僅為 9%，實驗結果是迄今為止太陽系之外的廣義相對論的最精確測量。

丘教授謂：「雖然愛、佛說能夠成功地解釋各種現象,但它仍有些相當難解決的問題,最嚴重的一項是我們的銀河系中最老星球的年齡和宇宙的年齡不符.....不妙的是,我們知道宇宙的年齡不可能超過 1.3×10^{10} 年。」2012 年，美國國家太空總署的威爾金森微波各向異性探測器探測器（Wilkinson Microwave Anisotropy Probe，WMAP）估計宇宙年齡為 137.72 ±0.59 億年； 2013 年，歐洲太空總署（European Space Agency）的普朗克太空船（Planck）測量的宇宙年齡為 138.8 億年。這現在科學家公認的宇宙年齡解決了丘教授在該篇文章中提出的一些問題。

恆星的命運

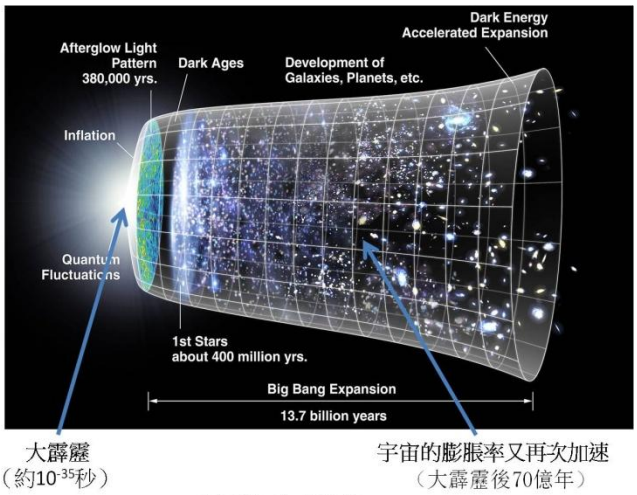
地平線望遠鏡所攝得的黑洞及其陰影照片

與 50 年前一樣，我們雖然對 140 億年前的宇宙結構細節非常不清楚，但大部份的科學家均認為宇宙是由「一個時空特異點」突然大爆炸［稱為「大霹靂（Big Bang」］而出現的。雖然物理學家尚不知道可用於該特異點的理論，但均認為爆炸後的宇宙是處於一個高度均勻、非常高溫、及高輻射能密度的狀態。它快速地膨脹而冷卻，於是基本粒子、氫、氦、離子電漿、冷氣體、星群、恆星、太陽及地球相繼出現，形成我們今日所看到的宇宙。這些星球在融核燃料用盡後，因重力的關係而內縮崩潰，一直到電子或中子之保利不相容反抗壓力出現，才達到一個平衡狀態：依質量不同而形成白矮星（white dwarf)、中子星（neutron star)、或黑洞（black hole）！白矮星內部因不再進行核融反應製造能量，其溫度將慢慢降低而由白轉棕，變成棕矮星（brown dwarf)，最後變成黑矮星（black dwarf）在漆黑的天空中「失跡」。雖然天文物理學家早就預測到這些恆星可能遭到的最後命運，但或許因為當時還沒有觀察到實據（註三)，丘教授只談到了變成中子星之前的「超新星」(supernova）爆炸。

在愛因斯坦發表了時空會因重力而變形的廣義相對論（1915 年）後不久，瓦茲德（Karl Schwarzschild）就預測了黑洞的存在；不久，他們也開始想到重力波

（gravitational wave）的可能性。2015 年 9 月 14 日，雷射干涉儀重力波觀測站（LIGO, laser interferometer gravitational wave observatory）所偵測到的重力波不但被認為是黑洞相撞而產生的，也曾被認為是首次直接「觀測」到黑洞存在的證據。但真正提供第一個直接「視覺」證據是：今年 4 月 10 日，麻省理工學院海斯塔克天文台（Haystack Observatory）利用「事件視界望遠鏡」(Event Horizon Telescope）所攝得的黑洞及其陰影照片。重力波與黑洞的發現又再次肯定了廣義相對論在宇宙論中的地位。

膨脹宇宙論



宇宙之演化

宇宙論在 1970 年以後的兩大進展應是：（1）1998 年美國加州大學伯克來分校(University of California, Berkeley)的波米特兒（S. Perlmutter）及澳洲國家大學(Australia National University）的思密特（B.P. Schmidt）相繼宣佈超級新星 Ia 型的數據顯示，在大霹靂後的 70 億年，宇宙的膨脹率又再次加速了！美國約漢哈普斯金大學（Johns Hopkins University)的雷斯(A. G. Riess)於 2006 年再次肯定了這些觀查結果；及（2）麻省理工學院教授古士（Alan Guth）1979 年所提出來之「膨脹宇宙論」(inflationary cosmology）——後者可用來解釋前者之宇宙膨脹率為何又再次加速。丘宏義教授所提到之愛因斯坦的「宇宙論常數」，不但不是愛因斯坦一生中最大的錯誤，現已成為解釋廣為科學家所接受之「膨脹宇宙論」的主要工具！

丘文採用的數據謂宇宙是關閉的，遲早都會再回到大霹靂前那時空特異點——但因誤差大，故他認為「還是保守一點好」。現今天文學家大多認為宇宙幾何是「平」的（即宇宙是開放的：雖然膨脹率終將慢下來，但膨脹卻永遠不會停止)。但是觀察到的宇宙中物質與能量卻不足以解釋為何宇宙幾何是「平」的，因此現在天文學家認為宇宙中尚存在有未觀察到的「暗物質」(dark matter）與「暗能量」(dark energy)：前者約佔臨界質量密度的 25%，後者 70%（註四)。這意味著現今天文學家只觀察到宇宙中 25%的「東西」而已！為此，美國能源部、國家太空總署、及國家科學委員會已於 2005 年成立「暗能量特別小組」來負責此一挖寶工作。這美國國家太空總署稱為「比不明更不明」(more unknown than unknown）的「暗物質」與「暗能量」是什麼呢？沒有人知道！只知道不是「普通的東西」！

結論

中國早在公元 185 年就有發現超新星爆炸記錄；而白矮星雖非常小但亮，因此也在廣義相對論出現前（公元 1862 年）就被發現。其他死亡的恆星遺體如棕矮星、黑矮星、

中子星、或黑洞等，均是在廣義相對論出現後才被發現，加上偵測到的重力波，都可以說是在實驗上證明了該理論的正確性，使得現在的宇宙論不再是一個科幻小說！

在「宇宙之演化」一開頭，丘宏義教授便謂「宇宙論和其他任何科學一樣,應該是奠基於觀察或實驗得來的資料.不幸的是一直到最近為止,有關的資料可說是鳳毛麟角,幾乎不存在。」我們從上面的報導可以看出這 50 年來，由於科技的快速進步，實驗天文的發展可能遠遠超過他當時所預期的！因此丘教授 50 年前的結論，事實上更適用於今日：「宇宙論終於成為實驗科學的一部門,而不再是為了滿足個人心理上的需要或個人的願望,而生的虛無飄渺的大腦活動。」

50 年對一個人來說或許是一段不短的時間，但在宇宙的歷史上卻只是一瞬間而已！在珍惜紀念「科學月刊」創辦半個世紀的同時，我們也應該慶祝在這宇宙瞬間裡，人類對宇宙本身也有了突飛猛進的了解！

********** 註 **********

（註一）不多？明年（科學月刊創刊 50 週年）年底將是筆者結婚 50 週年紀念！

（註二）美國國家太空總署（NASA）之哈勃太空望遠鏡（ Hubble Space Telescope）和智利安第斯山脈（Andes）的歐洲南方天文台（European Southern Observatory）之超大望遠鏡（VLT）。

（註三）1967 年，劍橋大學的研究生 Jocelyn Bell 利用指導教授 Antony Hewish 所設計和建造的特殊探測器，發現了因中子星之磁場與其旋轉軸對齊而形成之「脈衝星」（pulsar）所發射出來的常規無線電脈衝，首次間接地證明了中子星的存在。其它恆星死亡的遺體均是在 1970 年以後才被發現。1974 年，Hewish 因「在發現脈衝星所扮的重要角色」而獲諾貝爾物理學獎；這對 Bell 似乎很不公平！去年 9 月 6 號，「突破獎」（Breakthrough Prize）宣布將當年的基礎物理特別突破獎及 300 萬美金發給 Bell。有關諾貝爾獎之不公平及「突破獎」之巨額獎金，請參見「諾貝爾獎的爭議性」（科學月刊，2016 年十二月號或「我愛科學」，第 41 頁）及「科學研究背後的名與利」（網路「泛科學」，2017/12/03）。

（註四）這 70%的「暗能量」正足以解釋為何在大霹靂 70 億年後，宇宙又再次加速膨脹。

********** 延伸閱讀 **********

[1] 有關最近宇宙演化的故事請參考「愛因斯坦的最大錯誤——宇宙論常數」：科學月刊，2011 年 12 月號；或「我愛科學」」，第 162 頁（華騰文化有限公司，2017 年 12 月出版）。轉載於網路「泛科學」，2011 年 12 月 11 日（https://pansci.asia/archives/9904）。

[2] 有關重力波的故事請參考「愛因斯坦其實沒那麼神？」：網路「泛科學」，2016 年 3 月 16 日（https://pansci.asia/archives/95021）；或「我愛科學」」，第 172 頁。

[3] 有關黑洞的故事請參考「宇宙黑洞與哈斤」：網路「泛科學」，2018 年 10 月 9 日（https://pansci.asia/archives/139118）。