

## 廣義相對論一百年 屬於臺灣的愛因斯坦嘉年華

從 2005 年開始，世界就進入愛因斯坦的十年。1905 年這位世上最有想法的物理學家發明了狹義相對論，打破了時空的傳統觀念，隨著運動，長度會收縮，時間會變慢，也從原子中找到前所未見的能源。

相對的，愛因斯坦 1915 年的廣義相對論，雖然被頂尖物理學家狄拉克譽為「人類有史以來最偉大的科學發現」，理論更撼動智者之心，卻比較不親民。幸好隨著科技的快速進展，人們似乎重拾對大小宇宙的興趣，科幻小說或電影更熱門，「黑洞」、「蟲洞」、「時間旅行」、「弦論」、「平行時空」的討論此起彼落。也許這正是愛因斯坦為我們帶來的相對論總效應，也在今年迎來廣義相對論的第一百個生日。

以電影為例，接續去年實境太空電影《地心引力》（Gravity）、談霍金生平的《愛的萬物論》（The Theory of Everything）之後，最顯目的標竿電影無疑是電影《星際效應》（Interstellar）。

才華洋溢，在好萊塢炙手可熱的科幻片導演諾蘭（Christopher Nolan）不只選擇了一部黑洞題材的電影，更驚人的是，他希望盡量寫實的呈現這個還在宇宙與理論深處的前沿題材，於是他邀請加州理工學院卓越的物理學家索恩（Kip Thorne）參與監製，兩人合力打造，將前所未見的黑洞與蟲洞，從科普書或網站的示意圖中解放出來，變成具體的的視覺效果，震撼了許多觀眾。如果說這部「科普教育」商業電影，是獻給愛因斯坦廣義相對論 100 年的最佳獻禮，誰曰不宜。

對於紛紛想要「學習」這個尖端理論物理的題材的熱情觀眾，曾經寫過知名廣義相對論教科書《重力》（Gravitation，與另兩位傑出學者米斯納與惠勒合著）的索恩，也趁勢撰寫《星際效應：電影幕後的科學事實、推測與想像》（蔡承志譯，2015，漫遊者文化），將電影中的物理與數學，做了最基本的說明。

我們就以這本五月在臺灣出版的書為引，介紹 2015

年臺灣出版界與學術界配合愛因斯坦或相對論熱潮所出版的書籍或活動。

天下文化在 4 月出版的《完美的理論：一整個世紀的天才與廣義相對論之戰》（蔡承志譯，注意臺灣譯界有兩位蔡承志）譯自也是當行名家費瑞拉（Pedro Ferreira）所著的 *The Perfect Theory*（2014）。現在牛津大學任教的費瑞拉，主要研究領域就是廣義相對論與宇宙學。2006 年他首次撰寫天文科普著作 *The State of the Universe*（宇宙的狀態，2006），而這本特別為廣義相對論百年而寫的《完美的理論》，更進入英國皇家學會的科普著作溫頓獎的決選。本期《數理人文》特別轉載了臺大梁次震中心主任陳丕堯為本書撰寫的精彩導讀〈美是均衡中有錯愕〉（見 101 頁）。

不讓西方著作專美於前，臺灣學術界也特別為廣義相對論一百年做出貢獻，大塊出版社在 9 月出版了中華民國重力學會主編的科普著作《相對論百年故事》（*General Relativity: A Centennial Perspective*）。作者群是由中研院余海禮召集同時也是重力學會會員的 12 位研究相對論的學者——卜宏毅、江祖永、余海禮、李沃龍、巫俊賢、林世昀、林俊鈺、曹慶堂、陳江梅、許祖斌、游輝樟、聶斯特——完成。以科普的筆觸，完整的介紹廣義相對論的歷史發展，以及最新的發展，包括宇宙學、黑洞、重力波、量子時空、數值相對論等。

重力學會於 2013 年 5 月成立，目前會員人數大約 60 人左右，自始便以推動重力相關學術研究、活動與普及教育為宗旨，除了本書之外，本文後面還會介紹該學會今年所協辦的各項活動。

10 月重新出版的《愛因斯坦：百年相對論【新裝版】》（*Einstein: A Hundred Years of Relativity*，林劭貞、周敏譯，好讀）屬於愛因斯坦十年概念的大部頭著作，2005 年在美國出版，2007 年譯本已經在臺灣上市。有趣的是，為了廣義相對論百年，本書今年 9 月在美國也一樣重新包裝上市，改由普林斯頓大學出版社出版，而且很快趨勢在 Amazon 排行版上竄紅。其

中新加入一篇後記，臺灣譯本也很負責的收錄進來。

這本書是許多傑出學者文章的結集，其中還包括許多愛因斯坦檔案館（The Albert Einstein Archives）提供的珍貴相片與檔案。編者羅賓遜（Andrew Robinson）並非科學家，他出身牛津大學大學學院（也是霍金的母校）的東方與非洲研究，因此整本書的宗旨是愛因斯坦更完整的名人與智者形象，既有物理學名家的介紹（戴森、霍金、溫伯格等），也包含愛因斯坦的世俗生活議論。不過就廣義相對論來說，介紹稍嫌不足。

除了以上幾本書，我們依出版序再瀏覽一些讀者可能感興趣的書。3月出版的《在街角遇見愛因斯坦》（布拉格文創社）是一本應景書，雖然取了討巧的英文書名，卻是自編的愛因斯坦文章選集。

6月時報出版的《宇宙地圖》是和廣義相對論和宇宙學很相容的華麗天文圖鑑，這是兩位日本國立天文台天文學家觀山正見和小久保英一郎的作品，以對數尺度為序，從地表一直延伸到宇宙最深邊緣。

7月積木出版了輕薄短小的《3分鐘讀懂愛因斯坦》。作者派森（Paul Parsons）有一系列這個特色的科學簡介書籍，適合忙碌的現代人閱讀。

8月貓頭鷹出版社出版的《探索時間之謎：從天文曆法、牛頓力學到愛因斯坦相對論》，作者佛克（Dan Falk）是得過科普寫作獎的科學記者。本書的主角不完全是廣義相對論而是時間，歐美書評最醒目的一句話是「霍金的《時間簡史》應該這樣寫。」

國內的科學雜誌，除了《數理人文》之外，也推出各自的紀念特輯。首先是《科學月刊》8月號，推出「廣義相對論百年」專輯，主要是和前述中華民國重力學會合作，節選《相對論百年故事》之部分文章，享諸讀者。遠流的《科學人》10月號，也推出年度專輯「廣義相對論100年」，翻譯了多篇多領域名家為 *Scientific American* 撰寫的文章。

至於學術界所推動的科普活動，據我們所知就有七月底連續四天，由成功大學主辦，重力學會協辦的

「廣義相對論百週年紀念營」，對象是高中生與大一學生。

另外，這兩個單位聯同中研院物理所、NCTS 也很難得的邀請到索恩訪問南臺灣，將在10月30日下午在成功大學演講〈從相對論百年到電影『星際效應』〉，可想而知，報名人數已經爆滿。

靠近愛因斯坦發表論文（誕生）的年底，近年頗為活躍的臺灣大學科學教育發展中心（CASE），也將第14期的「探索講座」專題訂為「一方程式見宇宙——愛因斯坦方程式100周年」，由陳丕燊和中研院天文及天文物理所所長朱有花策劃，從10月3日到12月19日，幾乎每週六下午都有一場科普演講，請來的學者依時序包括陳丕燊、陳義裕、辜品高、張慈錦、高文芳、王元君、丘成桐等傑出學者，將從各個面向探討廣義相對論的內涵與影響。其專題網址為：  
<http://case.ntu.edu.tw/ex/Einstein/>

另外，臺大梁次震中心也將在12月中旬舉辦了一場屬於專家的大型國際學術會議 Everything About Gravity，與全球的學術機構，共同慶祝這個難得的神奇時刻。想知道今年世界各地慶祝狀況的讀者，或許可以拜訪「國際廣義相對論與重力學會」（ISGRG）的網頁：<http://www.isgrg.org/GRI00events.php>

最後編輯還有幾個私心推薦：

▶ 艾薩克森《愛因斯坦——他的人生，他的宇宙》（2009時報）。這本獲獎無數的傳記，由知名物理學家郭兆林與周念榮伉儷翻譯，是近年最好看的傳記之一。作者另一部知名傳記就是《賈伯斯傳》（天下）。

▶ 愛因斯坦檔案館網站（The Albert Einstein Archive）

<http://www.alberteinstein.info/>

▶ 想為索恩演講做功課的，可以參考他與其他作者在 ArXiv 的文章 "Visualizing Interstellar's Wormhole"（《星際效應》中蟲洞的視覺化）

<http://arxiv.org/pdf/1502.03809v3.pdf>

▶ 讀理論太困難、看文章太耗神，請看《科學》雜誌別開生面的互動式網頁，邊玩邊看廣義相對論：

<http://spark.sciencemag.org/generalrelativity/>

（編輯室）

## 中國的下一個長城？

### 巨型對撞機的命運即將揭曉

今年9月25日，就在中國國家主席習近平訪美期間，《華爾街日報》刊登了由重量級物理學家格羅斯（D. Gross）和韋頓（E. Witten）共同撰寫的文章〈中國的科學大躍進〉（China's Great Scientific Leap Forward），呼籲美國應與中國加強科研合作，特別是在粒子物理學方面。由於此文，原本不太為人所知的中國巨型對撞機計畫一時引起了關注。

他們先提到，2012年發現的希格斯玻色子，雖然為粒子物理標準模型補上最後一片拼圖，但也引出更多有待探索的問題，例如希格斯玻色子的質量、所有次原子作用力的統一，以及與量子重力的結合等。科學家需要比現有的大型強子對撞機（LHC）更強大的工具，而中國則可能會是下一代機器的所在地。

這項雄心勃勃的30年計畫預計建造一座周長最大可達100公里的環形對撞機（與之對比：LHC的周長是27公里，美國中止的SSC計畫周長是87公里），預計從2020年代開始構築第一期的正負電子對撞機，主要用於研究希格斯玻色子的詳細性質。2030年代開始建造第二期的質子對撞機，能量將遠大於LHC，用於探索未知的物理現象與粒子。計畫的預算需要上百億美元。

兩位作者強調，如果美國參與合作，將可獲得巨大效益。考量美國並無興建大型對撞機的計畫，目前許多研究計畫必須到歐洲進行，以後也必然要採行國際合作模式。文章最後還提到科學之外的好處：國際機構是促成合作交流的絕佳場所，可避免因為競爭和衝突引發互不信任，導致下一輪的冷戰。他們這個計畫也能發揮類似的功用。

這篇文章相當正面的介紹了計畫的輪廓和展望。為何選擇此時發言倡議？文中的一句話「中國會展開計畫嗎？……可能很快就有初步的重要決策」，透露出理由：因為中國的下一個五年規劃將從2016年開始，如果未能排入，將失去啟動計畫的最佳時機。

這項計畫的主導者是中國科學院高能物理研究所，為此他們與國際的高能物理社群有著密切頻繁的交流，例如成立高能物理前沿研究中心（Center for Future High Energy Physics）並聘請阿卡尼-哈密德（N. Arkani-Hamed）擔任中心主任（請見本期〈阿卡尼-哈密德的願景〉）；遴聘國際顧問委員會，成員皆一時之選；舉辦一系列研討會、研習營等。

做為反方意見，《華爾街日報》在一週後刊出了聖路易華盛頓大學物理學家卡茲（J. Katz）的投書。卡茲的言論一向具爭議性，在此他也毫不留情，他對希格斯粒子的發現評價不高，認為不過是確認了50年前的預言。他還宣稱，粒子物理學不是物理學的未來，反之，它是一門「垂死」的分支。物理的未來是在原子和凝態物理之類的領域，物理學該做的是預算數十萬的桌上實驗。

應該說，卡茲的戲劇效果遠大於說服力。至於較審慎的反面意見，有些批評指出中國的相關人力和技術還遠遠不足，有人指出計畫與目前準備在日本興建的國際直線對撞機（ILC）有所重疊，還有計畫的兩階段劃分是否適當等。這些都可說是持平之論。

在種種討論中，也不能不注意到雙方的修辭暗示。例如，當高能物理所翻譯《華爾街日報》文章時，標題中的「大躍進」（Great Leap Forward）就被譯成「巨大跨越」，大概是為了避免負面的聯想。反對者卡茲也抓住這個詞不放，說「……這個『科學大躍進』勢必將造成科學進步的饑荒。讓百花在全世界的實驗室齊放吧！」（他可能不很清楚百花齊放和大躍進的前後關係。）

此外，許多學者提到這座大型對撞機所用的是加了引號的“Great Collider”，這是為了與“Great Wall”（長城）並論，像丘成桐新書書名便是*From the Great Wall to the Great Collider*。這些用語明喻著兩者將一前一後成為中華文明的里程碑。是否真能如此？就像格羅斯和韋頓所說的，第一步的結果即將揭曉。

（編輯室）

## 解決艾狄胥的差異性猜想

多工 vs. 單工 電腦 vs. 大腦

今年 9 月，UCLA 數學家陶哲軒在他的部落格及預印本網站 arXiv，以兩篇論文提出「艾狄胥差異性問題」（Erdős discrepancy problem，簡稱 EDP）的證明，也為他和艾狄胥的老少交誼再添佳話。

這是艾狄胥早在 1930 年代即提出、但卻始終無法解答的組合數論問題，他在晚年經常把它列為個人最喜歡的問題之一，並提供 500 美元的懸賞獎金。EDP 問題的敘述如下：

令  $(x_n)$  是各項為 1 或  $-1$  的任意無窮數列， $C$  為常數，是否必定存在正整數  $d, k$  使得

$$\left| \sum_{i=1}^k x_{id} \right| > C$$

數學家葛蘭姆 (J. Grime) 用一個戲劇化的場景來說明  $C = 1$  的情形：假想你被綁匪關在隧道裡，左邊兩步是斷崖，右邊兩步是毒蛇窩，你被迫要向左或向右走，要如何設計你走動的數列  $x_n$  才不致遭遇危險？如果不加條件，你只要左一步、右一步，交替的走即可 ( $x_n = (-1)^n$ )。但如果你被要求先寫下準備走的步驟，然後綁匪可以命令你走第 2、4、6 步，或第 3、6、9、...、15 步，乃至於第  $d$ 、 $2d$ 、 $3d$ 、...、 $id$  步，這樣你還能躲避危險嗎？

在這個情境裡，能確保活命的最多步驟是 11 步，一旦數列長度超過或等於 12 步，就必定能找出如上且其和大於 1 的子數列。艾狄胥相信問題的答案是肯定的，換句話說，即使把你和斷崖、蛇窩之間的距離拉遠，只要容許的數列夠長，最終你一定會掉進兩者之一。這是一個悲觀的世界。

雖然  $C = 1$  時容易解答，但當  $C \geq 2$  時，數學家根本不知道如何著手，所以問題長久懸宕而無進展。

當劍橋數學家高爾斯 (T. Gowers) 發起「多工數學」(Polymath) 計畫時，艾狄胥差異性問題在 2010 年被列為 Polymath5 問題，開始吸引數學家的熱烈討論。這些討論雖然增進大家對問題的認識，但並沒有重大突破，於是計畫又復歸沉寂，不過從中他們知道，EDP

和乘性函數 (multiplicative function) 有密切的關係。

直到 2014 年，利物浦大學的科涅夫 (B. Konev) 和李西札 (A. Lisitsa) 運用電腦程式取得突破性的進展，得到容許  $|\sum_{i=1}^k x_{id}| \leq 2$  的數列長度最多為 1160，一旦超出就可安排得到  $> 2$  的結果。他們的電腦計算輸出檔高達 13GB，根本不可能以人力檢查，媒體報導時，宣稱它的證明「比整部維基百科還要龐大」。

至於陶哲軒的新成果，則完全來自不同的思考方向。今年初，數學家瑪托梅基 (K. Matomäki) 與拉吉維爾 (M. Radziwiłł) 在研究短區間的乘性函數有了突破，陶哲軒加入他們一起研究這方面的新課題。9 月初時，陶在個人部落格上描述三人合作的成果，留言中有人提議是否可用它解決 EDP？陶哲軒一開始持否定態度，但當進一步思索後卻改變想法，認為它或許可行。

陶哲軒在線上雜誌 *Quanta* 的報導中說，證明的靈感來自於某天下午，等候他兒子上鋼琴課時。他的方法是把一個數列切成許多小段，然後逐一檢查它們的熵 (資訊的隨機性)，因為熵值不可能低於零，所以最終總會碰到一個區段會把數列推到超出  $C$ 。他以不到一個月的時間就完成了證明。

和先前眾人試圖構造出實際的數列不同，陶的證明是存在性的，所以他能一舉克服那些令人生畏的差異數，巧妙的解決整個問題。

*New Scientist* 在報導時，以「群眾之力擊敗電腦」來描述這項成就，但高爾斯在評估多工數學的貢獻時較為審慎，他認為雖然陶在論文中引用了 Polymath5 的成果，但其實他也是 Polymath5 的主要貢獻者，沒有群眾合作，或許他仍可獨力完成證明，但至少 Polymath5 引起他對 EDP 的興趣，並且協助他迅速熟悉 EDP。

最後，再為這個戲劇性的故事增添一個小插曲：陶哲軒並未將證明的第一篇論文投稿到傳統期刊，而是投到高爾斯發起成立的 *Discrete Analysis*，這是一份以 arXiv 為平台、完全開放的電子期刊。這可能又將為學術研究的合作和發表模式開闢新的一章了。(編輯室)