懂廣義相對論的第三者是誰

賴昭正
前清大化學系教授、系主任、所長；合創科學月刊

對於物理學結論的真實性，觀察是最高上訴法院
For the truth of the conclusions of physical science, observation is the supreme Court of Appeal
- Arthur Eddington

1919 年英國皇家學會 11 月 6 日的會議上，愛丁頓（Arthur Eddington）宣布巴西及非洲普林西比（Principe）島兩地日食時所觀察到的星光偏折角度與愛因斯坦 1915 年廣義相對論的預測相符。儘管該證明實際上遠非結論性的（註一），但全世界報紙還是競登此一理論，謂愛因斯坦推翻了統領物理界 300 多年的牛頓萬有引力，使前者隔夜名聲大噪，成為繼牛頓之後家喻戶曉的科學家！會後，自認為是相對論專家的美國物理學家席爾伯斯坦（Ludwik Silberstein）與他閒聊時謂曰：「愛丁頓教授，您應是世界上了解廣義相對論的三個人之一。」當愛丁頓還在遲疑著如何回答時，席爾伯斯坦緊接著說：「不要太謙虛了！」愛丁頓終於回答說：「哦，不！我是在想第三者可能是誰。」

愛丁頓

愛丁頓於 1882 年 12 月 28 日出生於英國坎達爾（Kendal）之貴格會（Quaker，註二）家庭。 父親是當地一所學校的校長，早逝，由母親撫養長大。愛丁頓是一個非常聰明的學生，於 1898 年 16 歲時即獲得了曼徹斯特（Manchester）歐文斯學院（Owens College）的入學獎學金，在那裡度過了三年，於 1902 年以物理學的一等榮譽學位畢業。1904 年獲得了劍橋三一學院（Trinity College）的獎學金，於 1905 年獲得了劍橋碩士學位。畢業後，愛丁頓花了短暫時間在劍橋的卡文迪許實驗室（Cavendish Laboratory）研究熱電子發射後，因興趣不合，即在同事的推薦下，轉到格林威治皇家天文台（Royal Observatory in Greenwich），從事年幼時候就已經播下了種子的天文學事業！於 1913 年成為劍橋的 Plumian 天文學教授，在那裡任教 30 多年。 1914 年，愛丁頓被任命為劍橋天文台台長，於 1930 年被封為爵士。晚年致力於通俗書籍寫作，並聲稱計算出了宇宙中電子的數量（稱為「愛丁頓數」）。終生未婚，死於 1944 年 11 月 22 日。

德英間的科學來往因第一次世界大戰而中斷，因此英國只能透過第三國才能看到德國的文章。1916-17 年間，當愛丁頓接觸到透過中立國的荷蘭天文學家德西特（Willem de Sitter）偷渡到英國之有關愛因斯坦廣義相對論時，他立即意識到了它的深遠意義。他的數學專業知識不但使他能很容易地掌握愛因斯丁理論的數學內容，也對其物理基礎有可能比愛因斯坦更深厚的見解。有這樣的背景，讀者不難從他的回答裡看出愛丁頓似乎有點驕氣！

因為不相信重力波存在，這驕氣使愛丁頓曾在 1922 年諷刺地說「重力波是以思想的速率傳遞的」；1935 年時，他也在倫敦皇家天文學社裡公開取笑印度籍的劍橋大學研究生千桌沙卡（Subrahmanyan Chandrasekhar，註三）所提出之白矮星形成的界限理論［現在稱為「千桌沙卡界限」（Chandrasekhar limit」）］！儘管如此，獲 1983 年諾貝爾物理獎之芝加哥大學教授千桌沙卡在其 1983 年所著之「愛丁頓：他那個時代最傑出的天體物理學家」一書內，還是稱讚「愛丁頓是一位有天賦的天文學家。他的理論創見和數學分析能力使他的科學向前邁進一大步。 他是物理學和天文學的傑出闡釋者，能夠用最簡單及最有趣的語言傳達最困難的概念。他是哲學家對最新科學發現之意義的有力解釋者。」

現在讓我們來看看當時是不是真的只有兩人懂得愛因斯坦的普遍相對論。

希伯特

1915 年 6 月，愛因斯坦受邀到哥廷根大學做一系列有關正在進行之普遍相對論的研究演講後，與數學大師希伯特（David Hilbert）討論，顯示出對前景有點悲觀，但希伯特鼓勵他謂其方向應該是正確的。事後希伯特顯然也開始思考著這些問題，以其深厚的數學基礎，不久便找到了一個優雅的數學公式；除了應愛因斯坦的要求寄了一份給他外，也於當年 11 月 20 號在哥廷根皇家學會的會議中提出了他所發現的重力場方程式。五天後愛因斯坦也在柏林普魯士科學學院會議中提出此一方程式！讀者應不難想像這將引起一場誰先提出該方程式的長期爭論，最後吵到雙方陣營互告對方抄襲的地步！

大約 1 年後，愛因斯坦終於寫了一封信給希伯特謂：

> 我不想分析我們之間所存在之不愉快心情的原因，但在與一番苦楚的掙扎後，我已圓滿地平靜下來。我現在以在無烏雲籠罩下的友誼想到你，求你也做同樣的嘗試。客觀來看，如果在這個破舊世界上取得了顯著成就的兩個好傢伙，彼此之間卻沒辦法取得喜悅，這實在很可惜。

雖然沒有記載，希伯特顯然接受了此一恢復友誼的建議，從不再提誰先的問題。他甚至稱讚愛因斯坦說：

> 哥廷根街頭的每個男孩都比愛因斯坦更了解四維幾何（註四）。然而儘管如此，是愛因斯坦做了這項工作（重力場方程式），而不是數學家。

現在該重力場方程式已被稱為「愛因斯坦方程式」。儘管如此，相較於愛因斯坦之依靠物理直覺來摸索的推導，希伯特使用了優雅而強大的變分演算數學語言，確立了愛因斯坦方程可以從正統物理學之基本極值原理（least action principle）導出，其功還是不可沒的！愛丁頓能說希伯特不懂廣義相對論嗎？

其它的第三者

在「霍金和黑洞：霍金一生的追尋讓我們知道了哪些事？」一文裡，筆者已經提到了德國天文物學家蘇瓦茲德（Karl Schwarzschild）在讀完了愛因斯坦之論文後，將它應用到只有一個不旋轉之星球的宇宙上，用他的特別坐標體系，精確地解出愛因斯坦的重力場方程式，預測黑洞的存在（愛因斯坦一直不相信黑洞可能真的存在）！愛因斯坦還寫了一封敬佩的信給他，能說蘇瓦茲德不懂相對論嗎？

作為皇家天文學會的外國會員，前面提到之荷蘭天文學家德西特德西特應愛丁頓的邀請在《月度通知》（Monthly Notices）上發表了的三篇文章，將愛因斯坦的理論介紹到英國，成為愛丁頓在 1918 年所撰寫的《重力相對論的報告》之基礎，推動了 1919 年進行測量穿過太陽附近之光線的重力偏折探險（註五）。

除了德西特外，愛丁頓後來也承認他的另一位相對論啟蒙老師是瑞士的數學物理學家韋爾（Hermann Weyl）。韋爾 1918 年所出版的書《時間-空間-物質》比愛因斯坦的任何著作都更完整與詳細地介紹了相對論；因此在一篇評論中，愛因斯坦本人對此書表示了極大的欽佩謂：「我一而再、再而三地感到被迫重新閱讀本書的各個部分，因為每一頁都反映了一位大師的非凡肯定之手，充分表達出大師從各種不同的角度對主題進行了徹底的分析。」

在「愛因斯坦的最大錯誤？— 宇宙論常數」一文裡，筆者提到為了符合當時認為宇宙是靜態的看法，1917 年時愛因斯坦人為地在其方程式裡加了一個常數；但德西特認為相對論實際上暗示著宇宙在不斷膨脹。1922 年，俄國氣象學家和數學家弗里德曼（Aleksandr Friedmann）發現在假設宇宙中的物質分佈是均勻的情況下，愛因斯坦方程式只有三個解：兩個是永遠不斷的膨脹，另一個是膨脹後又收縮回原點，沒有靜態宇宙的！1929 年，美國天文學家哈柏（Edwin Hubble）分析了一些有關從遙遠星群傳來之光譜後，發現宇宙正處於一膨脹的狀態！因此愛因斯坦很後悔當初的「湊答案」。

沒想到 90 年代末期，新的發現顯示現在宇宙的膨脹速率不但不隨時間減小、反而是在加快，這在弗里德曼宇宙模型裡是不可能的！因此愛因斯坦所加的宇宙論常數竟然死灰復燃，成為提供了解釋膨脹率加快所需之排斥力的來源！在愛因斯坦提出此一「湊答案」的理論後，德西特立即指出在這樣的宇宙中去除所有物質，慣性還是存在的！顯然愛因斯坦用來幫助推導重力論之馬赫原理（Mach Principle）是不對的（見「牛頓的水桶」，科學月刊 2013 年 8 月）。此一沒有任何物質的德西特宇宙（de Sitter universe）不是靜態，而是在不斷的加速膨脹——正是我們現在所觀察到的宇宙！

至於當初提問題的席爾伯斯坦呢？他於 1914 年寫了一本狹義相對論的教科書，1924 年再版時加進了廣義相對論。儘管他一直對愛因斯坦及其相對論毫無敵意，但他經常對其結果和驗證表示懷疑，並且毫不猶豫地公開質疑。最引人注目的是，席爾伯斯坦在 1935 年時發表一篇重力方程式解，挑戰愛因斯坦，認為他的理論存在缺陷，需要修改。

雖然後來被證明席爾伯斯坦的觀點是錯誤的，但在幫助了解相對論上還是有其價值的。還有，席爾伯斯坦認為愛因斯坦方程式需要修改，不是瞎貓碰到死老鼠可能猜對了嗎？所以他是不是自以為是問題中的那三人就不得而知了！

結論

從以上之分析來看，相信 1919 年時了解相對論的物理學家絕對不止兩人！1965 年因在理論量子電動力學上的貢獻而獲諾貝爾物理獎的費因曼（Richard Feynman）在其 1965 年科普名著「物理定律的特性」（The Character of Physical Laws）一書裡寫道：

> 報紙曾經報導說這世界只有十二個人了解相對論。我不相信曾經有過這段時期。當然，我不否認也許曾經有過一段只有一個人了解的時期，因為在他發表相對論論文前，只有他在窮思其問題。可是在大家讀過該論文後，雖然了解的程度不盡相同，但其數絕對不只十二人而已。……反過來說，我認為我可以很有把握地說——沒有人了解量子力學。

不錯，筆者認為廣義相對論雖然深奧，不是一般人能輕易了解，但它不抽象，對有素養的物理學家而言，應該是不難懂的！相反地，二十世紀初的另一物理革命量子力學，不但抽象，也違反了許多日常生活的經驗，因此即使經實驗證明該理論的正確性，物理學家還是很難理解其物理內涵，繼續在爭辯... （例見「愛因斯坦的最後一搏—EPR 悖論」）。

********** 註**********

（註一）許多科學家批評愛丁頓是「去蕪存菁」地只保留與預測值相近的觀察值。

（註二）也被稱為友人，屬於一個歷史上基督教（新教徒）的教派，正式稱為友人宗教協會。反對戰爭（良心拒服兵役），提倡廢除奴隸制、監獄改革、和社會正義等。1947 年諾貝爾和平獎得主。

（註三）千桌沙卡曾經多次表示那是基於種族歧視之故；因此他不喜歡英國，於 1937 年元月移民到美國，終其一生任教於芝加哥大學。

（註四）在發展廣義相對論時，愛因斯坦常求教於大學數學好友郭世曼（Marcel Grossmann）及大學數學老師明考斯基（Hermann Minkowski）［詳見「數理化科學裡有天才嗎？」］。

（註五）因宗教信仰的關係（見註二），專長於理論與數學的愛丁頓被選為往非洲做實際測量的領隊。

********** 延伸閱讀 **********

- Hans C. Ohanian：「Einstein's Mistakes——the Human Failings of a Genius」（W. W. Norton, New York, NY, 2008).
- 賴昭正：「我愛科學」（華騰文化有限公司，2017 年 12 月出版）。
- 賴昭正譯（P.C.W. Davies 原著）：「近代宇宙觀中的空間與時間」（新竹國興出版社，1981 年 8 月出版）。