

愛丁頓西非 日全蝕觀察的百年公案

● 傅大為

去年 2019 年，是英國天文物理學家愛丁頓（Author Eddington, 1882–1944）於 1919 年遠赴西非洲的普林西比島（principe island），觀察日全蝕時太陽旁邊恆星位移的一百周年紀念，因為光線經過重力場會彎曲，用來證實愛因斯坦廣義相對論。據說正是這個困難的實驗或說觀察，為當年證實廣義相對論的困難過程揭開了序幕。而光是在 2019 年，就起碼有 3 本書出版，分別由物理學家、科學史家、科學新聞工作者執筆，仔細重述這個過程，包括當年在一次大戰以來的歐洲政治脈絡與這個遠征的關係（Coles, 2019）。

無獨有偶，2008 年 BBC 與 HBO 聯手拍攝了一部著名的電影〈*Einstein and Eddington*〉，從愛因斯坦在德國的環境到愛丁頓在英國的脈絡，從一次大戰的戰前到戰後，仔細描寫二人不同的私人生活與研究，還有二人相同的反戰立場，以及在敵對國家中彼此的尊敬，到最後戰後在英國的正式會面，表現出大科學家之間的惺惺相惜。這部電影的最高潮，當然就是愛丁頓到普林西比島的日蝕觀察，最後公開證實愛因斯坦是對的。這是一部編導仔細、攝影優美的好電影，但在科學史的意義上卻問題重重，稍後會再回到這部電影來。

其實，二次大戰之後，愛因斯坦的大名已經遠播，為何還要對愛丁頓當年的這個實驗花如此多的筆墨？而且一般而言，從 1919 年以降到 1960 年代，在好些次日全蝕的觀察上，

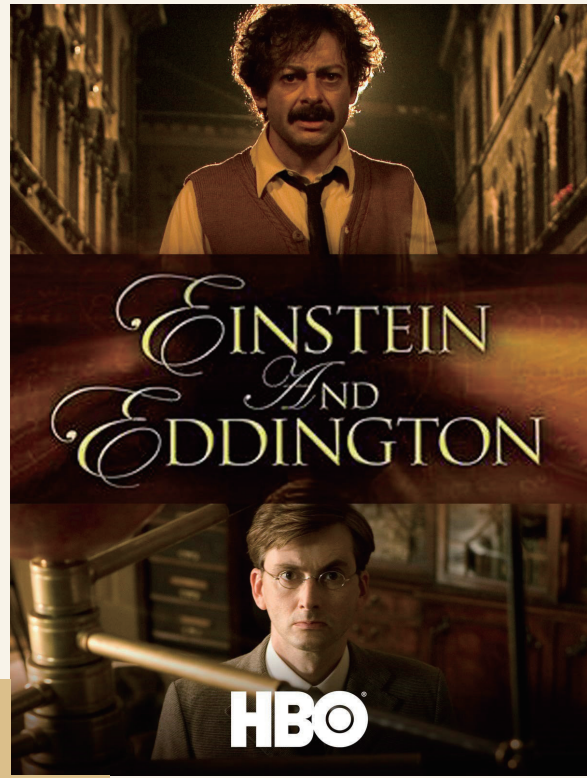
科學界也都大致證明了廣義相對論預測的光線彎曲。那麼愛丁頓的日蝕觀察，從上世紀後半期以來，有什麼更新的議題出現呢？

簡單說，當年南半球的日全蝕觀察其實非常困難。普林斯島的觀測只有兩張低品質的感光底片可用，但後來許多的科普故事都只集中在這個觀測。其實當年英國皇家天文署除了派出西非的遠征隊外，還有另外一支隊伍遠赴巴西東北角的索布拉爾（Sobral）觀察日蝕，而且得到更多較好品質的底片，整體而言也更複雜。

再說，就物理學而言，相對論認為光線經過重力場會彎曲，但牛頓光學也認為會如此彎曲，只是彎曲的程度有不同的預測。那麼即使看到全日蝕時的星座位移，究竟證實誰是對的呢？前面提到的電影裡劇情說，愛丁頓只看到星座位移（“a gap”），就說愛因斯坦是對的，並把堅決支持英國科學之神牛頓的英國科學家們氣走，這當然是極端簡化甚至扭曲歷史的結果，讓觀眾只看到科學的邏輯理想面。

根據廣義相對論，光線在太陽旁彎曲的程度有多少？愛因斯坦當年當然需要算出來。他也知道過去就有人曾以牛頓觀點來計算過（von Soldner, 1801），大約是 0.8 弧秒（arc second），而愛因斯坦自己也計算了好幾次，第一次竟然結果還與牛頓的一樣，到了 1916 才算出他比較滿意的 1.75 弧秒。甚至到 1921 年，德國物理諾貝爾獎得主 Philipp Lenard 還重新計算 von Soldner 的牛頓光線彎曲數值，用以批評愛因斯坦。

一個問題是，從現代數值計算的角度來看，愛因斯坦當年的演算其實隱晦而不



2008 年 BBC 與 HBO 聯手拍攝了一部電影〈Einstein and Eddington〉，描寫愛因斯坦和愛丁頓二人不同的私人生活與研究，還有二人相同的反戰立場，以及在敵對國家中彼此的尊敬，到最後戰後在英國的正式會面，表現出大科學家之間的惺惺相惜。（圖片版權：Fu, Daiwie (D. R.)。圖片來源：Amazon.com）

嚴謹，但愛丁頓當年並不覺得愛因斯坦的推導有問題。其實當年已經有更精確的演算，愛丁頓也未加注意，而且認為索布拉爾的許多底片都有問題（18 張品質較差的都顯示牛頓的數值），他只挑出其中幾張品質較好的（8 張品質較好的比較接近愛因斯坦的數值），與他在普林西比島的兩張低品質底片，合起來說彎曲的結果符合愛因斯坦的計算。

這樣問題就來了，是否愛丁頓早就覺得愛因斯坦的理論是對的，因此起碼在無意識下選了對相對論有力的底片數值？這個起碼是無意中的選擇，究竟影響了當年科學史的進展有多大？

這個疑問，從物理學家 Sciama (1969)、科學史與科學哲學家 Earman and Glymour (1980)，到後來的 STS 社會學家 Collins and Pinch (1993, 1998) 都提出不同程度的疑問。然後經過私下口語的傳播與誇大，導致百年前愛丁頓的科學誠信度受到質疑。而物理學家 Daniel Kennefick (2005, 2019) 長期以來的努力，也是在企圖回復愛丁頓的聲譽，還有他公正科學判斷的品質。

以下，筆者就說明與評論 STS 學者柯林斯 (Collins) 與聘區 (Pinch) 在其名著《The Golem》第二版 (1998) 中進一步的討論，還有與物理學家 K. Gottfried 的辯論。首先他們認為愛丁頓對南半球兩地的日蝕底片的選擇，的確難以擺脫先入為主觀念的影響。起碼，光就 1919 年的日蝕觀測，並不足以明確地證明愛因斯坦就是對的。

說相對論的成立或推翻牛頓力學，其實無法以一兩次的關鍵實驗就來證明，科學的實作過程其實遠為複雜而多變。一個重要的科學實驗，只是一條絲線，而一個科學新世界的成立，其實是很多絲線（且不一定是實驗）彼此纏繞成厚實的繩索而形成的。

其次，愛因斯坦當年光線彎曲程度的演算，Earman 等科學哲學家認為演算不夠嚴謹，因此愛丁頓的無異議接受是可議的。但是柯林斯等 STS 人認為若從現代的演算標準來說，愛因斯坦的確不夠嚴謹，但在

1910 年代，現代的演算標準尚未完成，愛丁頓接受愛氏的演算無可否非。

柯林斯等再發揮說，或許今天的科學家並不在乎究竟歷史實際發生的情景為何，只要給學科學的學生理想的邏輯推論歷史就好，畢竟科學已經夠難了。但是對於一般人而言，反而更需要了解科學的實際過程究竟為何，而非一些理想化的神話。社會大眾要對科學有現實的認識，如此在充滿科技爭議的現代社會中，公民才能夠對科學的成功與失敗有真實的評估。

但是，複雜而常有爭議的科學，最後的結果與共識，如果不是透過理想化的科學方法而來，那又是怎麼達到的呢？柯林斯等的看法是，是透過專業科學家們彼此之間的協商。我們今天之所以活在相對論的世界裡，並非自然界一直逼得我們承認，其實有很大的部分是科學家們長期協商之後的決定。

科學理論與實驗之間的衝突與折衝，並沒有簡單的科學方法可以做裁定，理想化的關鍵實驗的背後，都有著更多科學社群之中的政治過程。甚至，具有論辯魅力 (charismatic)、有著不屈不撓領袖特質的科學家，如當年 Richard Garwin 的努力，聯合幾位實驗學物理家一起扳倒重力波的原始倡議者 Joseph Weber。又如長年負責地下太陽微中子測試實驗的 Ray Davis，其實驗結果與恆星演化理論不斷的牴觸，因他的測試器一直找不到理論預測該有的太陽微中子群，那麼他如何能夠持續維持與理論家的彼此信任關係，同時一直耕耘實驗學界而被認為是最好的實驗者，這種協商與共識的形成，才是我們該了解的。

當然，這種在專家社群中協商的說法、這種訴諸不屈不撓領袖特質的解釋，對於我們了解科學，是否可以成為一個比較具一般性的 STS 理論？我想在這裡無法過度跳躍，而需要更強調歷史與社會個案研究的重要性。每個個案都有許多重要的不同細節，很難一概而論。如何從個案的細節，

逐漸摸索到跨越原有個案之外的線索與新的意義，這也正是磨練 STS 視野所需要的功夫。

傅大為
陽明大學榮譽教授

深度閱讀資料

Coles, P. (2019) *Relativity Revealed*. *Nature*, April 18.

Collins, H. M. and T. Pinch (1993) *The Golem: What Everyone Should Know about Science*, Cambridge University Press, Cambridge, and (1998) second edition with Afterword.

Collins, H. M. (2011) *Gravity's Ghost* (重力的幽靈：關於實驗室、觀測、以及統計數據在 21 世紀的科學探險 (2018) 劉怡維、秦先玉合譯，左岸文化，新北市)。

Earman, J. and C. Glymour (1980) Relativity and eclipses: The British eclipse expeditions of 1919 and their predecessors. *Historical Studies in the Physical Sciences*, **11**, 49-85.

Kennefick, D. (2005) Not only because of theory: Dyson, Eddington and the competing myths of the 1919 eclipse expedition. *Proceedings of the 7th Conference on the History of General Relativity*, **44**, 89-101.

Kennefick, D. (2019) *No Shadow of a Doubt*, Princeton Univ. Press.

Sciama, D. W. (1969) *The Physical Foundations of General Relativity*, Doubleday, New York.

https://en.wikipedia.org/wiki/Eddington_experiment#Later_research (2020/9/13 accessed)