

愛因斯坦與相對論 (下)

David Tong

翻譯：黃馨霈

David Tong 為劍橋大學理論物理學家，研究量子理論及廣義相對論。本文「Einstein and relativity: Part II」由作者 2013 年於倫敦南岸藝術中心的演講精簡而成，原載 +Plus Magazine

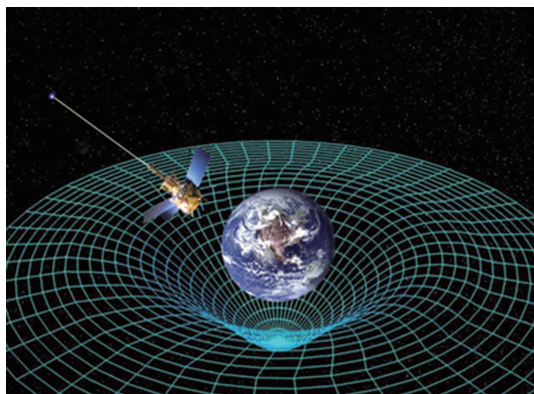
(<https://plus.maths.org/content/einstein-and-relativity-part-ii>),

取得作者及雜誌編輯同意翻譯及刊載，謹此致謝。

— 中研院數學所數學傳播編輯部

廣義相對論

愛因斯坦的理論改變了我們對時空的理解。在愛因斯坦之前，人們認為空間是物理法則展演的舞台。丟入一些恆星或行星，它們就會在舞台上運轉。



重力是時間與空間曲率的展現。圖片來源：NASA
(取自 Plus Magazine)

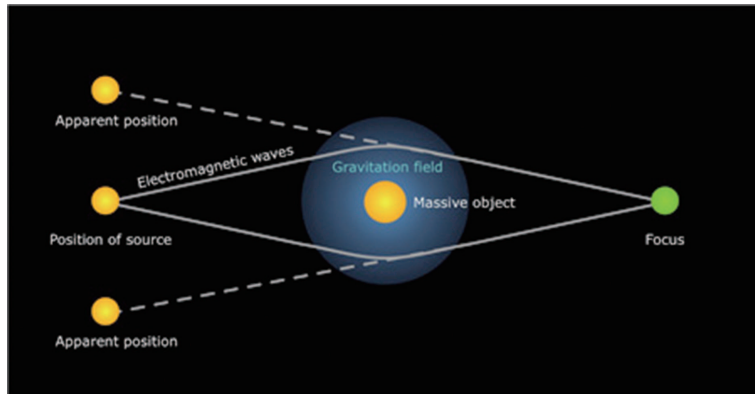
愛因斯坦了解，空間並沒有那麼被動，而是動態的、能對發生於其中的事件做出反應。如果將重物比如地球這樣的行星放在空間中，周圍的空間會稍微改變。行星的出現造成空間的小小凹陷（事實上時間也會如此），其它東西——好比月亮靠近這個行星時，會感受到空間的凹陷，並且像彈珠在碗裡滾動一般，繞著行星（地球）轉動，這就是我們所稱的重力。

聽起來或許像《星艦迷航記》(Star Trek) 裡會看到的，但它不是，它是我們宇宙運行的方式。當多個星系運行、盤旋，這支宇宙之舞是

物質和時空的舞蹈。恆星和行星移動造成行經的空間彎曲，引發其它恆星和行星隨之移動，使得行經的空間又再度彎曲，如此這般。這是愛因斯坦偉大的洞見：重力是時間與空間曲率的展現。

怎麼知道它是對的？

我們怎麼知道相對論真的是對的？愛因斯坦的新理論提出了許多牛頓理論所沒有的重要預測，其中之一是光會偏折。假設有個恆星躲在太陽後面，或許你會認為因為太陽擋在半路上，恆星的光無法到達地球，但愛因斯坦領悟到事實並非如此。根據他的理論，由於空間的凹陷，光不會沿著直線前進，能以某個角度偏折至太陽周圍，再到達我們的眼睛。如果以直線回溯光源，我們看到的恆星會稍稍偏在太陽的左側或右側，而不在正後方，因此我們認為，恆星位置與其實際位置有些許落差。



重力使得光偏折至大型天體周圍。圖片來源: DLR, GFDL (取自 Plus Magazine)

由於太陽對我們來說實在太亮了，所以我們看不到它周圍的恆星。只在一個非常特別的情況——日全蝕發生時，我們才能觀察到愛因斯坦預測的現象。對愛因斯坦理論的第一個試驗，於1919年日全蝕的時候進行，由英國天文學家亞瑟·愛丁頓 (Arthur Eddington) 率領的兩組觀測隊，開始了遠征：一組至非洲西岸，另一組到巴西。他們等待日蝕發生，祈禱天空晴朗無雲，拍下在太陽後方恆星的照片。這張照片是當時拍的：



圖片取自 Plus Magazine

可以看到太陽的中央被月亮擋住，許多恆星圍繞。他們量測這些恆星的位置，發現它們與實際位置之間的誤差，確實如愛因斯坦所預測的。¹

一夕成名

日蝕量測使愛因斯坦一躍成為超級明星，部分因為一次世界大戰剛剛結束，英國天文學家證實德國科學家的理論是個再好不過的故事，是一則大新聞，佔據紐約時報的頭版一週之久。任何稍有名氣的人，從政治家到演員，都被問到是否了解相對論，答案都是不知道，但他們確定它是至關重要的議題。

大致看來，愛因斯坦享受這樣的名氣，擅長以短小精練的名言登上媒體版面；有自己的經典造型，受眾人喜愛。不過成名有利也有弊，愛因斯坦住在柏林，是猶太人，身為戰後聲名卓著的猶太知識分子與公眾人物，並不容易。有些時候為了愛因斯坦的安全考量，警方會建議他離開柏林。此時的德國科學界，反猶太勢力升高，鼓吹德國人應該關注「德國物理 (Deutsche Physik)」而不是猶太物理——即相對論，這種令人咋舌的想法。有些反對相對論的會議，其實是以科學語言包裝純粹的反猶太主義，試圖辯稱愛因斯坦的理論具有爭議。這的確造成一些影響。這些敢於放話的人，要大聲叫囂、玷汙科學的淨水易如反掌。

反猶太主義甚至影響了諾貝爾獎。愛因斯坦理當獲獎，然而反猶太陣營裡至少有一位諾貝爾獎得主。1921年，顯然這個獎若不頒給愛因斯坦，就無人可頒。令人難以置信的是，諾貝爾委員會決定不頒給任何人。到了1922年，問題照樣還沒解決，但委員會找到理由，頒給愛因斯坦回溯至1921年的獎，即便如此，頒獎緣由並不是他的廣義相對論，而是因為他的其它成就。愛因斯坦並未出席頒獎典禮。



紐約時報的一頁。圖片來源：New York Times
(取自 Plus Magazine)

¹ 譯註：光線彎曲的效應不可能用眼睛直觀地在望遠鏡內或照相底片上看到，光線偏折的量需要經過一系列的觀測、測量、歸算後得出。要檢驗光線通過大質量物體附近發生彎曲的程度，最好的機會莫過於在發生日全蝕時對太陽所在的附近天區進行照相觀測。在日全蝕時拍攝若干照相底片，然後等若干時間（最好半年）之後，太陽遠離了發生日蝕的天區，再在夜晚對該天區拍攝若干底片。通過對前後兩組底片進行測算，才能確定星光被偏折的程度。（摘自《文景》2005年第4期）

不朽的貢獻

一百年來，愛因斯坦的科學家形象、著名的 $E = mc^2$ 公式，甚至是「任何事情都是相對的」觀點，都在主流文化裡根深蒂固。在科學界，愛因斯坦對後世的影響再怎麼強調也不為過，整個宇宙學的領域——宇宙的研究，都因為相對論的框架才得以建立。就在愛因斯坦的理論發表後不久，我們得知一件非比尋常的大事，科學上最重要的真相之一：宇宙並非亙古不變。過去有段時間被稱做「大爆炸 (The Big Bang)」，那時宇宙比現在小很多，沒有恆星或行星，而是被一顆高密度的熱火球填滿，我們眼前所見的一切都由此發端，那是 137 億年前的事。

或許，由愛因斯坦理論引發的最大謎團是黑洞。黑洞是空間裡某些區域彎曲程度過大，使得光困陷其中，它存在於我們的宇宙。舉個例子，我們知道銀河系中央有個巨大的黑洞，但是對它卻一點也不了解。某方面來說，史蒂芬·霍金 (Stephen Hawking) 對科學的重大貢獻在於說服眾人：沒有人了解黑洞。他對物理學家下了戰帖，至今無人挑戰成功。黑洞仍是理論物理懸而未解的重大問題之一。

相對論至今通過每個試驗，不過仍然有個預測我們還無法得到任何的直接證據，它被稱做重力波 (gravity waves)。如果將一顆石頭丟入池中，水面會產生波動；同樣地，在時空裡做任何劇烈的變動，空間應該會產生波動，這樣的劇烈變動一直在上演：銀河系的恆星爆炸、黑洞互撞、大型中子星互撞，每一個事件應該都會產生我們可以預期偵測到的重力波。

如果來自黑洞或爆炸恆星的重力波通過地球，整個地球只會稍稍縮小，而後膨脹回復原狀。世界各地有許多為了量測這個現象而設計的實驗，目前做到最好的是，在美國名為 LIGO 的雷射干涉儀重力波觀測站 (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)。重力波觀測站有兩個，一個在路易斯安那州，一個在華盛頓州。令人訝異的是，每個觀測站都有兩棟成直角方向的建築物，各長約 2.5 哩 (約 4 公里)。探測人員在建築物裡來回發射雷射光，定時量測建築物的大小，精確到比一個原子還要小的程度。未來幾年，我們期盼這些實驗或其它實驗，最後能成功觀測出重力波，這將會是愛因斯坦理論另一個偉大的勝利。

—本文翻譯者黃馨霽為中央研究院數學研究所助理—