

# 愛因斯坦與相對論 (上)

David Tong

翻譯：黃馨霽

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 I」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-relativity>)，取得作者及雜誌編輯同意翻譯及刊載，謹此致謝。

— 編輯室

2015 年對物理學界來說是特別的一年，是愛因斯坦最偉大的成就 — 廣義相對論的 100 週年。

廣義相對論是一個重力理論，事實上就是重力論。自廣義相對論發明至今，百年來人類還未能想出其它更好的理論，這個理論解釋了為什麼蘋果會從樹上掉下來，為什麼我們能站在地球上。但是它的意義要在深入其中時，才能真正體認；它說明了為何月亮繞著地球運行，地球圍繞太陽公轉，以及為何太陽是圍繞銀河系中央巨大黑洞運行的一千億顆恆星之一；在可以想見的最大測量尺度下，這個理論主宰了宇宙的動力學。

愛因斯坦 1915 年 36 歲發明廣義相對論時，還沒有像後來那麼出名，但已是科學界的一顆明星。他剛剛受聘於柏林歐洲最負盛名的機構，是普魯士科學院 (Prussian Academy of Sciences) 最年輕的成員，在科學上已經有許多重大的貢獻。不過，廣義相對論顯然是他最偉大的成就，也是科學史上最偉大的成就之一。



1904年，愛因斯坦。圖片來源：Plus Magazine

## 專利局迸發出的物理

愛因斯坦重力論的種子於 1905 年萌芽。我想，若說愛因斯坦當時是個自視甚高的年輕人並不為過。他沒有大學教職，沒有博士學位，主要原因在於，他總有本事以他的傲慢、疏懶和粗魯，讓每一位碰到他的科學家感到不快。所以 1905 年愛因斯坦委身瑞士伯恩市 (Bern)，擔任專利局最低階的辦事員，這份工作的好處在於工作輕鬆，有許多空閒思考科學。那年，愛因斯坦寫了四篇論文，其中一篇只是很好的論文，之後讓他得了 PhD；但是其它三篇，每一篇都為一個科學領域帶來重大的革新。

其中一篇是狹義相對論。 $E = mc^2$  這個有名的方程便出自於此。它的中心思想是，我們的宇宙有一速限，物理的定律都隱約指向從來沒有任何東西能超越光速。愛因斯坦從思考電磁學新發現的定律得到了這個想法，問了這樣的問題：「如果與光束並行，光束會長什麼樣子？」我們在日常生活中不會注意宇宙的速限，因為光速真的太快了：速度大約是每小時 7 億哩（約  $1.13 \times 10^9$  公里）。

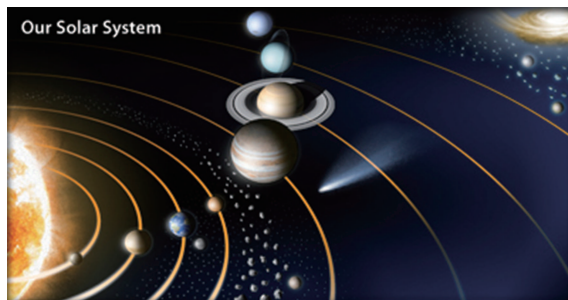
## 如果太陽爆炸 . . . . .

狹義相對論使得愛因斯坦的觀點，與行之近 250 年、被視為科學根柢的牛頓力學理論有所抵觸。

愛因斯坦想知道，如果太陽突然爆炸會發生什麼事。由於太陽距離遙遠，光需要八分鐘才能到達地球，因此我們無法在爆炸當下立即得知。在這黃金八分鐘，我們對接下來將會發生的可怕事情渾然不覺。

那麼重力呢？由於太陽重力的關係，地球依橢圓軌道繞太陽公轉，如果太陽不見了，地球會沿直線偏離。愛因斯坦的困惑在於，這樣的事何時發生：在爆炸當下，或在八分鐘後？根據牛頓的理論，地球應該立即知道太陽消失，但是愛因斯坦說，那是不可能的，因為他認為沒有東西的速度大於光速——即便有重力的作用也不例外。

假使這還不夠明白，或許我該點出愛因斯坦不是個務實的人，他只擔心太陽爆炸後地球以圓形還是直線軌道運行，但這就是他研究科學的方式。他會在腦中設想這些場景，推到極致，試著從中找出矛盾，有不合理的地方，就是他聚焦所在。



重力行經太陽系的速率有多快？圖片來源：NASA  
(取自 Plus Magazine)

## 八年之得

起初愛因斯坦認為，將時間延遲的因素加入牛頓力學方程，稍加修改，就可以解決這個問題，但並不成功。1907年愛因斯坦開始深入思考重力，回歸基礎。他花了八年才得到最終解答，而且多數時候，他是全世界唯一關心這個問題的人。對物理學界來說，這是令人興奮的年代，原子的基本結構剛被揭開，量子力學正在發展的初期。愛因斯坦站在所有這些發展的前沿，但他真正在意的是，太陽爆炸後地球是否仍繼續繞著它運行。

愛因斯坦原先認為自己可以在1913年解決問題，那年他提出自稱是理論的「大綱」<sup>1</sup>。他知道理論仍有缺陷，但認為基本上正確的，只需稍加潤飾。他花了兩年的時間試著修正，但不知為何總是差一點，質疑的聲浪開始悄然蔓延。1915年夏天危機出現了，他到德國哥廷根（Göttingen）對他的理論進行一系列的演說，哥廷根有一位當時公認最偉大的數學家大衛·希爾伯特（David Hilbert），愛因斯坦在那待了一週，希爾伯特對他講的內容深感興趣。

愛因斯坦回到柏林後，兩件事發生了。第一，他領悟到自己的理論毫無價值，雖然基本的想法正確，先前建立的整個架構卻是錯的；第二，他收到希爾伯特的來信，裏頭寫道：「嗯，我真的很喜歡你的演講，但我不確定是否是對的，所以決定自己來。」在獨自鑽研八年後，愛因斯坦突然有了一個勁敵——世界上最偉大的數學家。

剛開始愛因斯坦很沮喪，但後來上緊發條，全神貫注在他的問題。他鑽研了數月，有時甚至廢寢忘食。終於到了1915年11月，愛因斯坦必須在普魯士科學院針對廣義相對論，為所有柏林的傑出科學家，做一系列每週一場，共四場的演講。早先愛因斯坦答應演講時，以為自己已經掌握了理論，但此刻他並沒有得到一個理論，只好盡可能收集題材給了第一場演講，自此之後他且戰且走，現學現賣，每一週把時間花在解決已經奮鬥了八年的問題上。在每週的最後，用自己剛想出的結果作為題材演講。同時，希爾伯特更是緊迫盯人，寄信給愛因斯坦，透露出他的研究也走在大致不差的方向。

終於，在進行最後一場演說的那週，愛因斯坦解開了問題。在該週的尾聲，他站在普魯士科學院，向全世界宣布幾天前剛想出的廣義相對論。



大衛·希爾伯特（1862 - 1943）。圖片來源：Plus Magazine

—本文翻譯者黃馨霈為中央研究院數學研究所助理—

<sup>1</sup>譯註：1913年愛因斯坦發表與馬塞爾·格羅斯曼（Marcel Grossmann）合著的論文《廣義相對論和引力理論綱要》。