



譯/蕭如珀、楊信男

愛因斯坦和廣義相對論

(譯自 *APS News*, 2005 年 5 月)



Photo credit:
American Institute of Physics
愛因斯坦 1914 年的草稿，圖示太陽的質量如何可能使光線彎曲。

愛因斯坦的特殊相對論確立了他為史上最偉大的物理學家之一的地位，但愛因斯坦並不因此而滿足，他知道此理論還欠缺一部分，所以在往後的十年間傾全力思考更一般性的相對論，以便將特殊相對論所

忽略的加速度問題一併考慮在內。

對此，甚至是愛因斯坦的好朋友馬克斯·蒲朗克 (Max Planck) 都認為他的年輕同事正從事著一個幾乎不可能的任務，蒲朗克寫道：「做為一個比你年長的朋友，我一定要勸你停止，因為第一，你不會成功；再說，就算你成功了，也沒有人會相信你。」但愛因斯坦堅持到底，終於在 1907 年在電梯類比中找到了廣義相對論的訣竅。愛因斯坦瞭解，乘坐電梯的人無

法分辨重力與加速度，他將此見解提升到一般性的原則上，稱其為等效原理，說明在加速座標系中的自然法則和重力場中的法則應該是相同的。

進一步說，愛因斯坦認為萬有引力可以從純幾何角度來解釋。在 17 世紀時，牛頓認為萬有引力是兩個不同物體間的瞬間交互作用力，他的觀點一直持續了好幾個世紀。愛因斯坦的見解不同，他認為萬有引力是巨大天體所引起的時空幾何曲率，但他一開始缺乏所需的數學形式來表達他的物理原則。他和此問題奮鬥了長達 3 年，還寫了一封信給他的好友 Marcel Grossmann 說：「Grossmann，你一定要幫我，否則我會瘋掉。」

Grossmann 真的就來幫他的朋友，他提醒愛因斯坦注意 19 世紀德國數學家 Georg Friedrich Bernhard Riemann 的研究工作。Riemann 在著名的 1854 年演講中提出了一個歐基理得幾何概論的推廣，現在以他的名字命名，稱之為黎曼幾何 (Riemannian geometry)。黎曼幾何討論的重點是度規張量，它在四度空間中，有 10 個獨立的分量，用以說明兩個鄰近點之間的距離不變量。利用度規張量就可以算出局部的曲率和其他重要的幾何性質。

將度規張量視為動力場，就如同馬克斯威爾方程式中的電磁場，讓愛因斯坦發現他可將整個黎曼的研究融入重力場論中而發展出廣義相對論，諾貝爾獎得

蕭如珀 自由業
楊信男 台灣大學物理系
e-mail: snyang@phys.ntu.edu.tw

主 Subrahmanyan Chandrasekhar 曾經讚其為「史上最美麗的理論」。愛因斯坦於 1915 年末與 1916 年初完成了此理論的論述。

每一個新理論的預測都必須經過實驗的測試與證實，正如愛因斯坦所證明，廣義相對論可以說明截至當時無法解釋的水星近日點的歲差；此外，又如愛因斯坦幾年前所注意到的，等效原理的另一直接後果是，當光從巨大天體放射出時，應該會出現紅移，而類似的地球上之效應也首次於 1960 年被 Pound 和 Rebka 觀測到。

最後，根據廣義相對論，當光線行經近巨大的天體時應該會彎曲。例如，星光行經近太陽時，會受到引力而稍微偏折，這種偏折可以在太陽的光線因日蝕被遮住時偵測出來。愛因斯坦對於這種偏折值做了預測，此預測激勵了英國天文學家於 1919 年時嘗試去觀測日全蝕。隨著第一次世界大戰的結束，觀測的準備工作得以如火如荼地展開，其中有兩個探測隊，一隊到西非外的一個島嶼，另一隊到巴西，成功地拍攝到靠近日蝕太陽的星球，其星光正如愛因斯坦所預測的都已偏折。

日蝕所觀測到的結果發表後造成了轟動，不僅科學家受到震撼，一般民眾亦深切體會到愛因斯坦等科

學家正帶給物理的新面貌，它顛覆了傳統對於時間、空間、物質與能量的看法。愛因斯坦也因此成為世界新物理的象徵。

在此要對此篇故事提出一個有趣的說明——假如只

應用特殊相對論，那麼所得到的星光偏折角度只是廣義相對論所預測的一半值而已。愛因斯坦於 1913 年曾建議做此實驗，但他當時所算出的預測值是錯誤的。假如沒有爆發戰爭，就不會將觀測延至 1919 年，那麼此理論與觀測的結果就無法如此令人震撼地高度吻合，因此時間點和運氣這兩個因素在塑造物理史方面是無法漠視的。

資料來源：AIP exhibit: <http://www.aip.org/history/einstein>
Kaku, Michio. “*Hyperspace*”



Photo credit: American Institute of Physics
1919 年日蝕所拍攝到的一張照片，證實了愛因斯坦的預測。