

預約廣義相對論的下一個百年



1887年時，邁克生－莫雷實驗證明光速對於不同慣性坐標系的觀察者都是恆定的。這個違反牛頓相對性原理的結果，造成當代物理學的危機。愛因斯坦卻反其道而行，開始思考「假使我們跑得跟光一樣快，會看到甚麼？」答案是他在1905年提出的「狹義相對論」。這個理論徹底改變人類對於時空相對性的看法，時間與空間其實是一體的，無法分割。

1915年，愛因斯坦進一步將相對論性推廣到加速坐標系（也就是包含重力的狀況），提出「廣義相對論」。相較於牛頓的萬有引力，這個理論對重力現象提出嶄新的解釋：質量使時空幾何彎曲，所謂「重力」其實就是時空曲率，曲率愈大表示重力場愈強。質點和光受重力作用產生的軌跡，事實上是彎曲時空幾何中的測地線。

廣義相對論一舉解決了水星近日點進動不符牛頓重力預測的問題。1919年日全蝕所觀測到的太陽重力導致星光偏折（即下文的「重力透鏡」效應），成為廣義相對論的里程碑。它還預測了重力時間延遲、重力紅移、慣性系拖曳、重力波等現象，除重力波探測還在進行中之外，其他已經逐一獲得證實。廣義相對論在我們理解宇宙上扮演不可或缺的角色。就連GPS誤差能只有幾公尺，廣義相對論是最大功臣。

今年適逢廣義相對論提出的一百周年。為紀念這項重大突破，本刊特地推出「廣義相對論百年」專輯，挑了幾個比較不一樣的主題與讀者分享。

做為出入數學、廣義相對論、弦論之間的頂尖專家，丘成桐的講辭〈廣義相對論中的數學〉，帶來不同的切入角度，一方面帶領讀者回顧廣義相對論的誕生、發展與影響，一方面則深談和廣義相對論有關的數學問題，例如質量問題、黑洞存在性、環箍猜想等。

廣義相對論預測黑洞的存在，是大質量恆星坍縮後的結果，在狹小的空間中聚集極大的質量，重力場強大到連光都無法逃出它的事件視界。基汀斯的〈黑洞

動搖物理之本〉說明黑洞的蒸發與現代量子力學之間的衝突，以及這種衝突如何為物理發展帶來新契機。

在科學家發現宇宙的物質大部分是不可見的「暗物質」之後，重力透鏡成為觀測星系（團）質量分佈與測量哈伯常數的利器。庫普曼斯與布蘭福特在〈星空中的重力透鏡〉中介紹了重力透鏡實驗的原理與歷史，以及近來蓬勃發展的應用。

廣義相對論並無法解決所有重力問題，最大的問題是無法與微觀尺度的理論整合，無法量子化與重整化。1970年代出現的弦論被視為量子重力論的救星。本期「人」選刊〈我像發現生命意義卻苦於無法言詮的人〉，是弦論發展領導者韋頓獲頒2014年京都獎後，接受另外三位頂尖物理學家與數學家的訪談，回顧過去四十餘年來弦論與相關數學的重要發展。

弦論的特點是存在額外的維度，也就是除了時空之外，尚有大小與蒲朗克尺度相當的內在空間附繫於時空之上，無法用現在的科技探測。「大尺度額外維度」（large extra dimension）則是額外維度可偵測的新模型。本期「理」的Quanta選文〈阿卡尼－哈密德的願景〉，介紹的正是模型創始人之一，目前炙手可熱的理論物理學家阿卡尼－哈密德對未來物理學發展的看法，以及推動下一代粒子對撞機的努力。

專題之外，本期的「數」由東華大學的班榮超以輕鬆的筆觸，談新科費爾茲獎得主阿維拉主要的獲獎工作。〈淺談動力系統中的禍福相倚〉將同時帶領讀者認識動力系統這門領域的特性，以三個方向說明了秩序和複雜（混沌）緊密牽纏的現象。

最後，本期的壓卷之作邀得史學家王汎森的〈時間感、歷史觀、思想與社會〉，說明達爾文的演化思想，透過嚴復《天演論》「錯誤」的演繹方式，成為影響近代中國最重要的思想觀念，混用附會所及，改變了社會的時間感甚至道德觀，也改變了學術思路，成為許多思想的背景框架。

（編輯室）