



重力波

● 傅俊結*

寒假期間有一個重大的科學新聞在各大媒體刊出，2016年2月12號在將來的科學史上應該會是重要的一天。在這一天，美國的雷射干涉重力波觀測站(Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)簡稱(LIGO)開了一個記者會，發表了他們的最新實驗成果，宣布人類長久以來所要尋找的重力波訊號，已經被直接觀測到。

自然界有四大基本作用力，分別是萬有引力，電磁力，強作用力及弱作用力。而萬有引力是最令科學家難以捉摸和最頭痛的。現在的理論物理學家已經有一套統一場論來統一電磁力，強作用力及弱作用力。但是，當要把萬有引力加進來時，科學家遇到重大的困難，到目前為止一直沒有辦法解決。雖然從科學歷史的演進來看，人類是最早知道萬有引力的存在的。牛頓在十七世紀發表了他的萬有引力理論之後，我們知道蘋果從樹上掉下來所受的力，和月球繞地球旋轉，地球繞太陽旋轉所受的力，本質上是一樣的，也都滿足牛頓的理論。從那時候開始，牛頓的科學工作統治了人類的科學300多年，一直到1915年愛因斯坦發表了他的廣義相對論，我們終於了解到牛頓的萬有引力理論是需要修正的。

如果說愛因斯坦是牛頓之後最偉大的科學家，沒有之一。相信沒有幾個科學歷史的專家會反對。除了文盲之外，有誰沒有聽過愛因斯坦，即使你不是學科學的。廣義相對論可說是牛頓之後，除了量子力學之外，一場最壯觀的科學革命。狹義相對論對科學家來說，還不算什麼。即使愛因斯坦在1905年沒有提出來，過不了幾年，一定會

* 傅俊結，南台科技大學電子工程系副教授。



有科學家發展出完整的狹義相對論。但是，廣義相對論就不一樣了。這套改變人類自牛頓以來對宇宙時空的認知的學問，沒有愛因斯坦這種天縱英才，到現在，應該也沒有人可以提出類似理論，這是一個很有名的科學家說的。從一個最簡單的例子出發，例如，地球繞太陽旋轉。我們從中學時學物理開始，老師就教我們，在太陽和地球之間，存在一個肉眼看不見的，互相吸引的作用力，稱為萬有引力。藉由萬有引力的互相吸引，於是，我們地球就繞著質量大很多的太陽旋轉。這就是牛頓的解釋萬有引力。同樣的現象，愛因斯坦提出不同的見解。廣義相對論解釋地球繞太陽，從頭到尾都沒有提到作用力這個名詞，而是用時空的彎曲來解釋。在我們的太陽系，如果沒有任何物質的存在，這個空間是平的。因為太陽的存在，會造成太陽周圍的空間產生扭曲，地球就是沿著這彎區空間的一條測地線繞太陽運轉。愛因斯坦就是用這種純粹幾何的方法來解釋萬有引力。這個方法不僅能解釋牛頓理論能解釋的現象，而且能解釋牛頓理論無法解釋的天文現象。例如，光線經過太陽附近的空間，會造成光線的彎曲。更能預測牛頓理論沒辦法預測的星體，例如，黑洞的存在。自從廣義相對論發表以來，所有的實驗結果均顯示它的正確性。因此，廣義相對論可說是目前在解釋天文現象普遍被接受的一套理論。

根據廣義相對論，一個質量巨大的物質，會改變它周圍的時空結構，這個時空結構的彎曲，會以一種波的形式對外傳播，這個波，就是愛因斯坦所預測的重力波。對科學的門外漢來說，這種重力波的觀念好像很抽象。但是，在我們的日常生活中，就有這種類似的現象。在一個平靜無波的水面上，當我們把一顆石頭丟入這個水面的時候，我們會發現有一波波的漣漪往外傳播。這個一波波的漣漪就好像是重力波，石頭就類似重力波理論中質量巨大的物質，水面就相當於是周圍的時空結構。100年來科學界的一個重大工作就是要找出，驗證重力波的存在。2月12號的記者會，應該就是科學界對外宣示，這個階段性任務的完成。科學家這次所捕捉到重力波，是由兩個質量巨大的黑洞合併，所發射出來的。這兩個黑洞距離我們地球大約13億光年，質量大約是太陽的29倍和36倍。他們合併之後，所形成的新黑洞質量，大約是太陽質量的62倍，所以，有大約太陽質量三倍的能量，轉換成重力波的形式向外傳播。

在我們遙遠的宇宙深處，當發生劇烈的天文事件時，例如恆星的爆炸，黑洞的合





併等等。這時所產生的重力波，經過這麼長的距離，到達我們地球時，其訊號的強度已經降到非常的低，再加上各種的雜訊，所以要實際探測重力波訊號，事實上是非常的困難，所用的儀器必須具有非常高的精準度和精確度。科學家所設計的第一部重力波探測器，是在 1960 年代由美國的科學家偉伯所設計的。這部儀器稱為共振質量探測器。但是各國的科學家利用這部探測器並沒有偵測到重力波的證據，隨著科學的進步，重力波探測器的精準度越來越高，這次偵測到重力波所用的方法是一種雷射干涉的方法，這部儀器主要由加州理工學院和麻省理工學院負責維護和運作，是由美國科學基金會所出資的一個最大科學研究項目之一，簡稱 LIGO。重力波被確認存在之後，接下來，事實上還有很多廣義相對論和宇宙天文學上的許多重要問題等待解答。例如，重力波是否真的是以光速在傳播？宇宙的時空結構是否真的由超弦所構成的？我們能夠觀測到由中子星所形成的雙星系統所發出的重力波嗎？這些問題都有待將來重力波的實驗來回答。

