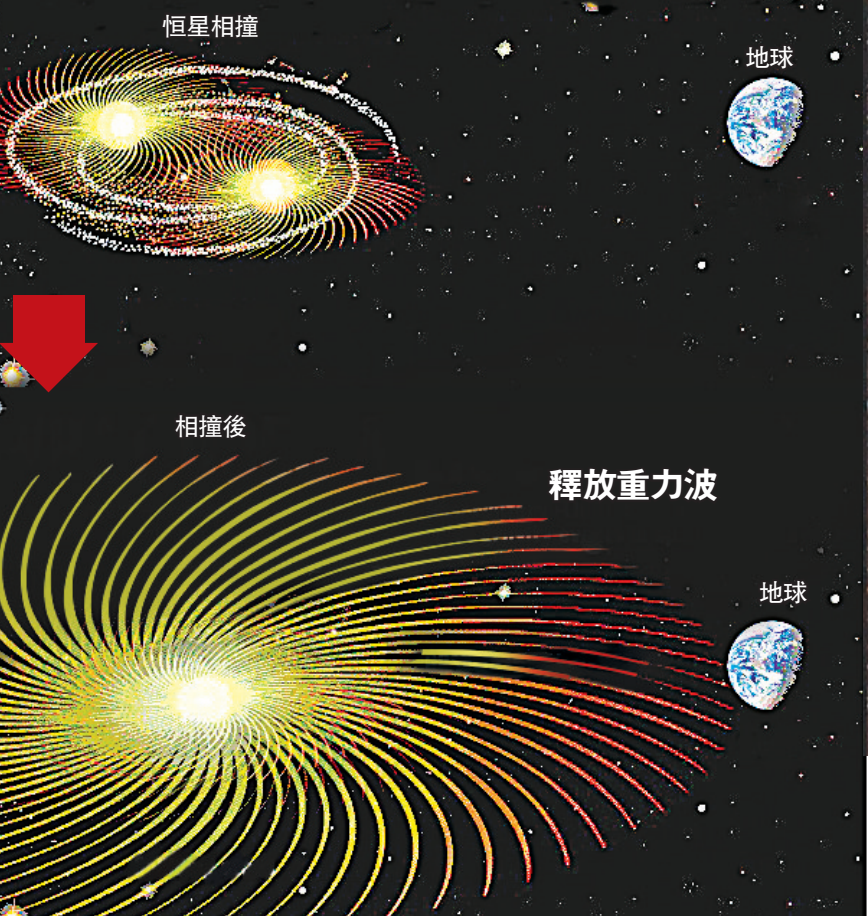


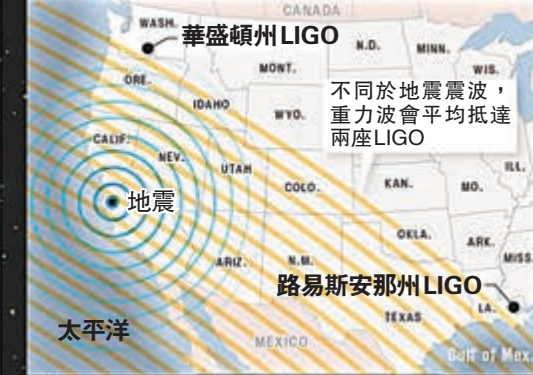
證愛因斯坦百年預言 「科學界登月壯舉」 重力「交響曲」聽出宇宙奧秘

激光干涉儀重力波觀測站(LIGO)設計原理

LIGO觀測並分析宇宙中的大質量重力事件，例如黑洞合併或恒星相撞



抵達地球的重力波非常微弱，因此需要兩座LIGO同時運作，從地震等地震動中，分辨出真正重力波的波動。



不同於地震震波，重力波會平均抵達兩座LIGO

路過安那州LIGO

太平洋

墨西哥

美國

加拿大

華盛頓州LIGO

路易斯安那州LIGO

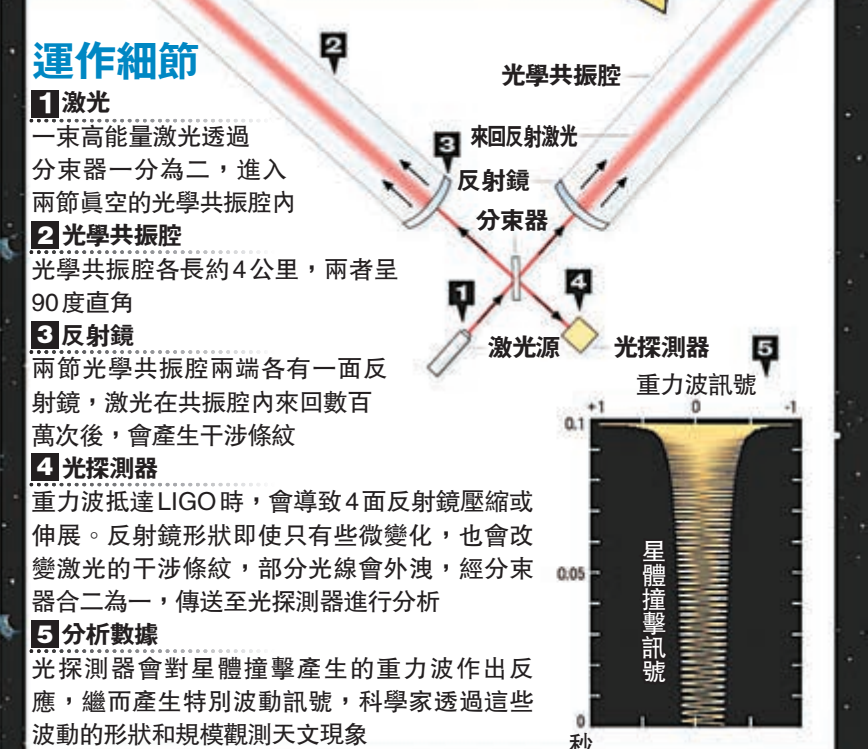
地震

路過安那州LIGO面積約7.8平方公里



運作細節

- 1 激光**
一束高能量激光透過分束器一分为二，進入兩節真空的光學共振腔內
- 2 光學共振腔**
光學共振腔各長約4公里，兩者呈90度直角
- 3 反射鏡**
兩節光學共振腔兩端各有一面反射鏡，激光在共振腔內來回數百萬次後，會產生干涉條紋
- 4 光探測器**
重力波抵達LIGO時，會導致4面反射鏡壓縮或伸展。反射鏡形狀即使只有些微變化，也會改變激光的干涉條紋，部分光線會外洩，經分束器合二為一，傳送至光探測器進行分析
- 5 分析數據**
光探測器會對星體撞擊產生的重力波作出反應，繼而產生特別波動訊號，科學家透過這些波動的形狀和規模觀測天文現象



2015年升級版LIGO觀測範圍

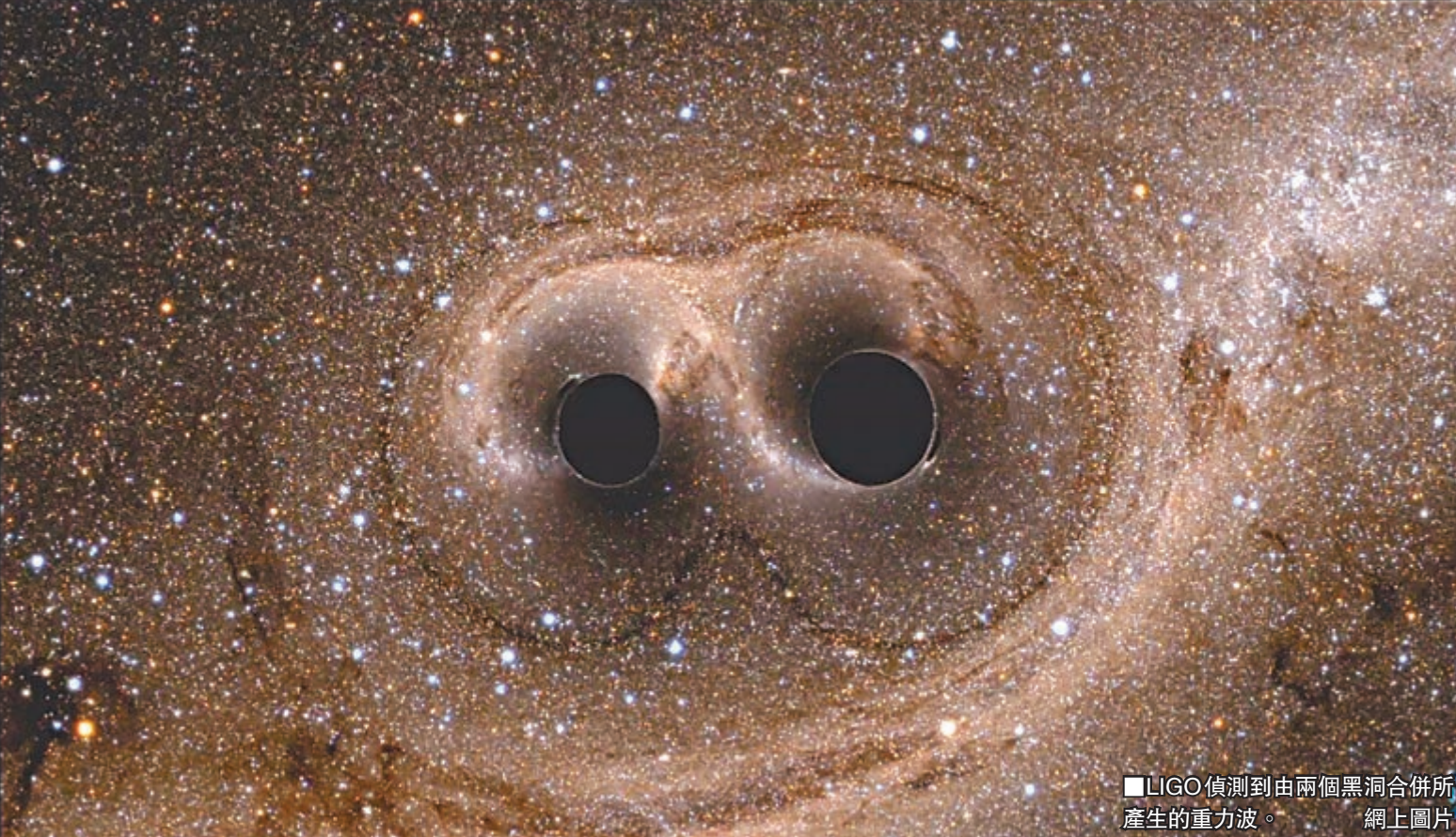
原有觀測範圍

局部宇宙

6.5億光年

■意大利、德國、印度、日本和澳洲均有類似觀測站，將它們的數據與LIGO合併分析後，可大幅擴展重力波觀測範圍

資料來源：加州理工學院；LIGO



愛因斯坦 100 年前在廣義相對論中預言的「重力波」，昨日終於得到證實！美國激光干涉儀重力波觀測站(LIGO)的研究團隊於香港時間昨晚 11 時 35 分宣佈，他們成功透過 LIGO，探測到兩個黑洞合併過程中產生的重力波，為愛因斯坦的「未成交響曲」劃上完美句號。研究成員之一的哥倫比亞大學物理系教授瑪爾卡形容，今次發現猶如在太空中打開了一扇全新的窗戶，有助人類探索宇宙不為人知的另一面，堪稱現代科學最重要的突破。

■香港文匯報記者 余家昌、李鍾洲

LIGO 總監賴茨在記者會上宣佈：「我們發現了重力波，我們成功了。」他表示，LIGO 是在去年 9 月 14 日美國東岸時間上午 5 時 51 分(香港時間下午 5 時 51 分)，偵測到由兩個黑洞合併所產生的重力波，兩個黑洞距離地球 13 億光年，各為 29 個和 36 個太陽質量，直徑約 150 公里。根據相對論，它們會互相圍繞對方運轉，最終愈走愈近，並以接近光速一半的速度相撞，形成一個巨型黑洞，釋出相當於 3 個太陽質量的重力波。

花 13 億年時間抵達地球

賴茨進一步指出，由於兩個黑洞距離地球 13 億光年，意味這次合併是在 13 億年前發生，這股重力波在宇宙中前進了 13 億年，終在去年抵達地球，導致 LIGO 內光束偏移了約為質子直徑千分之一的距離，並被 LIGO 成功探測。他說：「我們將看見以往從不知道的東西，這是科學界的登月壯舉！」

「重力波」是指時空曲率中，以波的形式從射源向外傳播的擾動，如同石頭被丟進水裡產生的波紋一樣。黑洞、中子星等質量龐大的天體，在相互碰撞過程中可能會產生重力波。愛因斯坦 1916 年發表廣義相對論時，首度預言了重力波的存在，多年來科學家先後證實了光線彎曲、水星近日點運動和重力紅移效應等預言，唯獨一直缺乏直接證據證明重力波存在。

重力波一直被喻為愛因斯坦的「未成交響曲」，實際上，的確也有科學家嘗試把模擬重力波訊號轉變成音樂，製成一首「重力波交響曲」。

美國太空總署(NASA)天體物理學家索普說，重力波和光線等常見的電磁輻射都是一種波動，分別在於前者是時空本身的波動，「當你移動一種充滿能量的粒子時，便會產生輻射，例如光；當你移動質量，便會產生重力波。」

關觀測新途徑 解黑洞之謎

目前人類對宇宙的所有認知均是來自電磁波觀測，例如無線電波、可見光、紅外線、X 光和伽馬射線，然而宇宙中仍然有無數資訊無法透過電磁波觀測，這時候重力波便派上用場。假如科學家能夠成功觀測重力波，便可以探索一些以往無法探索的星體現象，例如中子星和黑洞這類極大質量星體。德國漢諾威普朗克重力物理研究所物理學家艾倫說，重力波可以讓人類了解產生重力波的星體的情況，「例如雙子黑洞，由於黑洞不會釋放光線或 X 光等電磁波，因此只能透過重力波觀測它們。」

瑪爾卡表示，過往人類只能「看見」宇宙，但透過 LIGO 觀測重力

波，人類便能「聽見」宇宙，「從而解開黑洞一生之謎，包括它的誕生、死亡、婚姻(合併)和進食(吸收其他星體)，我們可以知道黑洞如何吞噬一顆中子星，這是從未有入見過的。」

艾倫說，在宇宙大爆炸後的 20 萬年間，光線不能自由移動，但重力波卻可以，因此長遠而言，重力波將可以協助人類了解宇宙誕生初期的情況，進一步揭開這個宇宙的奧秘。加拿大麥克馬斯特大學理論物理學家伯吉斯指出，重力波的發現「有 90% 機會獲頒本年度諾貝爾物理學獎」。



■LIGO 昨日召開記者會，公佈發現重力波存在的證據。 網上圖片



■研究人員檢查 LIGO 用作探測重力波的儀器。 網上圖片

愛因斯坦曾稱永遠找不到

成功探測重力波的重要意義，除了在於它是愛因斯坦「廣義相對論」最後一塊拼圖，亦因為它實在太微弱、太難探測。愛因斯坦當年曾揚言人類永不可能發現重力波，參與 LIGO 研究的美國哥倫比亞大學物理系教授瑪爾卡亦坦言，學界中人幾乎都不看好重力波研究，認為花費無數心力最終都可能一事無成。

簡單來說，重力波是巨大質量星體碰撞產生的時空漣漪，但這種「漣漪」由宇宙遙遠的另一端傳達地球時，往往已變得非常微弱，例如雙子黑洞產生的重力波，只能令地球上一把 100 萬公里長的間尺，產生小於一顆原子的彎曲。以 LIGO 為例，來自數千萬光年外的重力波，會令干涉儀內 4 公里長的激光光束，產生約一粒質

子大小的偏移，若非極精密的探測儀器，便無法發現這些細微變化。

科學家曾間接證存在 奪物理諾獎

廣義相對論發表後，科學家便一直嘗試證明重力波存在。1974 年，科學家發現銀河中一對中子星的軌道慢慢縮小，幅度符合重力波下能量流失的速率，間接證明重力波存在，這研究也因此獲得 1993 年諾貝爾物理學獎。2014 年，一個研究小組聲稱利用位於南極的 BICEP2 望遠鏡，在宇宙大爆炸的微波背景輻射中，找到宇宙極早期重力波留下的獨特印記，但最終小組承認研究出錯。

多國欲探測 華去年啟動「天琴」

重力波探測被認為是難度最大的尖端科技之一，也是最有可能衝擊諾貝爾獎的物理學基礎研究，目前全球多個科研大國均已興建或正着手興建重力波干涉儀，中國也不例外。中國中山大學於去年啟動「天琴計劃」，目標是在 20 年內完成所有重力波探測所需的關鍵技術，發射 3 顆地球高軌衛星進行重力波探測。

今次成功發現重力波的美國激光干涉儀重力波觀測站(LIGO)，是美國分別在路易斯安那州利文斯頓市與華盛頓州小城漢福德市建造的兩個重力波探測器，2002 年開始興建，去年剛完成為期 5 年的改造升級，探測靈敏度相比 2010 年提高了約 10 倍。LIGO 由美國政府轄下獨立機構美國國家科學基金會運作，並與加州理工學院和麻省理工學院合作

進行探測重力波的研究。

除了 LIGO 外，目前國際上的重力波探測計劃還包括意法合作的 VIRGO，英德合作的 GEO600，日本的 TAMA300 和正興建的 LCGT。

除了「天琴」，歐洲太空總署(ESA)亦計劃於 2034 年發射由 3 艘太空船組成的 eLISA 干涉儀。



■意大利和法國合作建造的 VIRGO 重力波探測器。 法新社