

Las ondas gravitacionales, detectadas cien años después de la predicción de Einstein

LIGO abre una nueva ventana al universo con la observación de las ondas gravitacionales procedentes de la colisión de agujeros negros

El Grupo de Relatividad y Gravitación de la Universidad de las Illes Balears es el único grupo de investigación de España que participa en la Colaboración Científica LIGO

Por primera vez, los científicos han observado ondulaciones en el tejido del espacio-tiempo, llamadas ondas gravitacionales, llegando a la Tierra procedentes de un evento catastrófico en el distante universo. Esto confirma una importante predicción de la teoría de la relatividad general de Albert Einstein de 1915 y abre una nueva ventana sin precedentes en el cosmos.

Las ondas gravitacionales llevan consigo información acerca de sus dramáticos orígenes y sobre la naturaleza de la gravedad que no puede obtenerse de otra manera. Los físicos han llegado a la conclusión de que las ondas gravitacionales detectadas fueron producidas durante la última fracción de segundo de la fusión de dos agujeros negros para producir un solo agujero negro más masivo en rotación. Esta colisión de dos agujeros negros había sido predicha pero nunca antes había sido observada.

Las ondas gravitacionales fueron detectadas el 14 de septiembre de 2015 a las 5:51 hora de verano del este de Estados Unidos (09:51 UTC) por los dos detectores gemelos del Observatorio por Interferometría Láser de Ondas Gravitacionales (LIGO, por sus siglas en inglés), ubicados en Livingston, Louisiana, y Hanford, Washington, EE.UU. Los observatorios LIGO están financiados por la National Science Foundation (NSF), y fueron concebidos y construidos, y son operados por Caltech y MIT. El descubrimiento, aceptado para su publicación en la revista *Physical Review Letters*, fue realizado por la Colaboración Científica LIGO (que incluye la Colaboración GEO600 y el Australian Consortium for Interferometric Gravitational Astronomy) y la colaboración Virgo usando datos de los dos detectores LIGO.

La UIB participa en la detección directa de las primeras ondas gravitacionales

El grupo de Relatividad y Gravitación (GRG) de la Universidad de las Islas Baleares (UIB) es el único grupo de investigación en España que ha participado en este histórico éxito científico a través de la colaboración científica LIGO y GEO. La UIB participa en la colaboración científica LIGO desde 2002, si bien la doctora Alicia Sintés, profesora del Departamento de Física, fue una de las investigadoras que intervino en la puesta en marcha de este grupo de científicos en 1997. La doctora Sintés y el doctor Sascha Husa, también profesor de la UIB y miembro del GRG, forman parte del Consejo de LIGO.

Alicia Sintès està emocionada. Ella ha dedicat quasi 20 anys a la caça de aquestes elusives ones i ha treballat per millorar els detectors existents i futurs. Per ella, el 14 de setembre quedarà marcat en la seva memòria com el principi d'una nova èra en astronomia: la astronomia gravitacional. Una eina que ajudarà a desvelar molts misteris de l'Univers.

Totals els membres de la col·laboració LIGO en la UIB han treballat sense parar durant aquests últims mesos analitzant les dades del primer període d'observació de Advanced LIGO i les dades relacionades amb aquest esdeveniment en particular. Varios de els investigadors de la UIB han contribuït de forma directa a aquest descobriment. Entre ells se troba Miquel Oliver, un estudiant de doctorat de la UIB, que ha tingut l'oportunitat única de viure directament aquest descobriment, ja que des de principis de setembre se trobava en la sala de control de LIGO Hanford monitoritzant el detector, i caracteritzant la qualitat de les dades. A la seva vegada, el professor Sascha Husa, juntament amb el investigador postdoctoral David Keitel i l'estudiant de doctorat Francisco Jiménez, han contribuït directament a la identificació de la font a través de la seva investigació sobre la fusió de forats negres.

Com el fi de discernir l'origen còsmic d'una senyal d'ona gravitacional, o per calcular les masses de els objectes implicats, cal resoldre les equacions d'Einstein, que són el nucli de la teoria de la relativitat general, i entendre com les propietats de la senyal de les ones gravitacionals dependran de les propietats de la font a través de les possibles senyals.

Sascha Husa nos ho explica: "La idea bàsica és molt similar a la de aplicacions de telèfons intel·ligents per identificar música, com Shazam. Si escoltes una cançó en un bar ruidós, l'aplicació pot consultar una base de dades de possibles senyals, i usant algorismes matemàtics per compensar el ruid, et dirà què s'ajusta millor. El meu treball consisteix en fer un catàleg de totes les possibles senyals d'ones gravitacionals procedents de la fusió de forats negres, per a que els que analitzen les dades puguin comparar-les amb les senyals immerses en ruid que són registrades per LIGO".

El desenvolupament d'aquest tipus de catàlegs de cançons de forats negres ha estat el centre de la investigació de Sascha Husa durant la última dècada. Juntament amb els seus companys a la UIB, a la Universitat de Cardiff i a l'Institut Max Planck de Física Gravitacional a Potsdam, el doctor Husa ha desenvolupat models que no només descriuen la fusió de dos forats negres de forma precisa, sinó que les seves fórmules també poden calcular-se ràpidament amb els grans ordinadors utilitzats en l'anàlisi de les dades de LIGO. Aquesta rapidesa va ser essencial en els últims mesos per identificar ràpidament l'origen de la senyal. Algunes de les simulacions numèriques de la UIB sobre la col·lisió de forats negres han estat elaborades per l'estudiant de grau Rafel Jaume i algunes d'elles poden ser visualitzades en el canal de Youtube UIB@GRG. Un dels resultats clau calculats en base a les càlculs del grup de la UIB és la potència irradiada per la font: 300 masses solars per segon, més que qualsevol altre esdeveniment astronòmic mai observat des del Big Bang.

Para Alicia Sintes y los otros miembros del grupo, ahora está empezando la fase más excitante del análisis de los datos de LIGO, justo después de que haya finalizado el primer periodo de observación y los detectores se están actualizando para poder volver a operar en el otoño con una mejor sensibilidad. Junto con Miquel Oliver y con la ayuda técnica de Pep Covas y Laura Keitel, están buscando señales continuas procedentes de púlsares desconocidos (estrellas de neutrones en rotación). Estas señales son tan débiles, que es necesario integrar todos los datos tomados durante los 4 meses para tener alguna oportunidad de ver algo. Si este análisis desvelase alguna señal, ésta nos aportaría información sobre la materia en el interior de las estrellas de neutrones, un objeto del tamaño aproximado de Menorca y con una masa un 50% mayor que nuestro Sol, gobernado por las leyes de la teoría cuántica.

LIGO confirma otra predicción más de la teoría de la relatividad general de Einstein formulada hace 100 años y aporta la primera prueba de la teoría en el marco de gravitación fuerte

De acuerdo con la relatividad general, una pareja de agujeros negros orbitando uno alrededor del otro pierde energía mediante la emisión de ondas gravitacionales, produciendo un acercamiento gradual entre ambos durante miles de millones de años, y luego mucho más rápidamente en los últimos minutos. Durante la última fracción de segundo, los dos agujeros negros chocan entre sí a casi la mitad de la velocidad de la luz y forman un único agujero negro más masivo, convirtiendo una parte de la masa de ambos en energía, de acuerdo con la fórmula de Einstein $E = mc^2$. Esta energía se emite como una fuerte explosión final de ondas gravitacionales. Basándose en la física del choque entre dos agujeros negros, los científicos de LIGO estiman que la masa de los agujeros negros de este evento era 29 y 36 veces mayor que la del Sol, y que el evento tuvo lugar hace mil trescientos millones de años. Una masa aproximadamente 3 veces mayor que la del Sol se convirtió en ondas gravitacionales en una fracción de segundo, con una potencia pico de unas 50 veces la de todo el Universo visible. Estas son las ondas gravitacionales que LIGO ha observado.

El descubrimiento fue posible gracias a las capacidades mejoradas de Advanced LIGO, una importante actualización que aumenta la sensibilidad de los instrumentos en comparación con los detectores LIGO de primera generación, lo que permite un gran aumento del volumen del universo explorado y el descubrimiento de las ondas gravitacionales durante su primer periodo de observación. La National Science Foundation de Estados Unidos lidera el apoyo financiero a Advanced LIGO. Organismos de financiación en Alemania (Sociedad Max Planck), Reino Unido (Consejo de Infraestructuras de Ciencia y Tecnología, STFC) y Australia (Consejo Australiano de Investigación) también han contribuido significativamente al proyecto. Varias de las tecnologías clave que hicieron Advanced LIGO mucho más sensibles se han desarrollado y probado por la colaboración británico-alemana GEO. El clúster Atlas del AEI Hannover, el Laboratorio LIGO, la Universidad de Syracuse y la Universidad de Wisconsin Milwaukee han aportado recursos informáticos de manera significativa. Varias universidades han diseñado, construido y probado

componentes clave para Advanced LIGO: la Universidad Nacional de Australia, la Universidad de Adelaide, la Universidad de Florida, la Universidad de Stanford, la Universidad de Columbia de Nueva York, y la Universidad Estatal de Louisiana.

En cada observatorio, los interferómetros LIGO de 4 km de largo en forma de L utilizan luz láser separada en dos haces que van y vienen dentro de los brazos (tubos de más de un metro de diámetro guardados en un vacío casi perfecto). Los haces se utilizan para controlar la distancia entre los espejos posicionados de forma muy precisa en los extremos de los brazos. De acuerdo con la teoría de Einstein, la distancia entre los espejos cambiará una cantidad infinitesimal cuando una onda gravitacional pase por el detector. Se puede detectar cambios en las longitudes de los brazos más pequeños que la diezmilésima parte del diámetro de un protón (10^{-19} metros). Son necesarios observatorios independientes y ampliamente separados para determinar la dirección del evento que causa las ondas gravitacionales, y también para verificar que las señales proceden del espacio y no son de algún otro fenómeno local.

La investigación en LIGO la lleva a cabo la Colaboración Científica LIGO (LSC), un grupo de más de 1000 científicos de universidades de todo Estados Unidos y de otros 14 países. Más de 90 universidades e institutos de investigación de la LSC desarrollan tecnología para el detector y analizan datos; alrededor de unos 250 estudiantes contribuyen de forma relevante a la colaboración. La red de detectores LSC incluye los interferómetros de LIGO y el detector GEO600. El equipo de GEO incluye científicos del Instituto Max Planck de Física Gravitacional (Albert Einstein Institute, AEI), Leibniz Universität Hannover, junto a socios de la Universidad de Glasgow, Universidad de Cardiff, la Universidad de Birmingham, otras universidades en el Reino Unido, y la Universidad de las Islas Baleares en España.

LIGO fue originalmente propuesto como un medio para detectar estas ondas gravitacionales en los años 1980 por Rainer Weiss, profesor de física, emérito, del MIT; Kip Thorne, que ocupa la cátedra del profesor Richard P. Feynman de física teórica de Caltech, emérito; y Ronald Drever, profesor de física, emérito, también de Caltech.

La investigación en Virgo se lleva a cabo por la Colaboración Científica Virgo, un grupo de más de 250 físicos e ingenieros pertenecientes a 19 laboratorios europeos diferentes: 6 del Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS) de Francia; 8 del Instituto Nacional de Física Nuclear (INFN) en Italia; 2 de Nikhef en los Países Bajos; el Instituto Wigner en Hungría; el grupo POLGRAW en Polonia; y el Observatorio Gravitacional Europeo (EGO), el laboratorio que alberga el interferómetro Virgo cerca de Pisa, Italia.

El grupo de Relatividad y Gravitación <<http://www.grg.uib.es/>> es miembro del Instituto de Aplicaciones Computacionales de Código Comunitario (IAC3, <<http://www.iac3.eu/>>) de la UIB y del Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña (IEEC, <<http://www.ieec.cat/es/>>). Tiene el apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad (FPA2013-41042-P), la Conselleria d'Educació, Cultura i Universitats del Govern de les Illes Balears, el Fondo Social Europeo, el Fondo Europeo de



Desarrollo Regional, la Red Española de Supercomputación y PRACE. Además participa en el proyecto Consolider Ingenio Multidark. (CSD2009-00064) y forma parte la red Consolider: Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN - FPA2015-69037-REDC) y de las redes de excelencia: Red nacional de astropartículas (RENATA- FPA2015-68783-REDT) y Red temática de ondas gravitacionales (REDONGRA - FPA2015-69815-REDT).

Para más información:

- Grupo de Relatividad y Gravitación de la UIB
<http://grg.uib.es/ligo>
- Servei de Comunicació, Promoció i Imatge
Direcció de l'Estratègia de Comunicació i Promoció Institucional
Universitat de les Illes Balears
Tel.: 971 17 34 74 / 971 17 25 51
<http://diari.uib.cat>
premsa.com@uib.cat