

LIGO y Virgo realizan la primera detección de ondas gravitacionales producidas por una colisión de estrellas de neutrones.

El descubrimiento marca el primer evento cósmico observado tanto en ondas gravitacionales como de luz.

Por primera vez, los científicos han detectado de forma directa y simultánea ondas gravitacionales – ondulaciones en el espacio-tiempo – y la luz proveniente de una colisión espectacular de dos estrellas de neutrones. Esto constituye la primera vez que un evento cósmico ha sido observado tanto en ondas gravitacionales como en luz.

El descubrimiento ha sido realizado utilizando el Observatorio de Ondas Gravitacionales por Interferometría Láser (LIGO, por sus siglas en inglés) situado en EEUU, el detector Virgo situado en Europa, y unos 70 observatorios terrestres y espaciales.

Las estrellas de neutrones son las estrellas más pequeñas y densas conocidas y se forman cuando las estrellas más masivas explotan en forma de supernovas. A medida que las órbitas de estas estrellas iban acercándose, emitían ondas gravitacionales que podían ser detectadas durante unos 100 segundos; al colisionar, fue emitido un destello de luz en forma de rayos gamma que fue observado en la Tierra alrededor de dos segundos más tarde que la detección de las propias ondas gravitacionales. En los días y semanas posteriores al choque, otras formas de luz o radiaciones electromagnéticas – incluyendo rayos X, ultravioleta, óptica, infrarroja y ondas de radio- fueron también detectadas.

Las observaciones han dado a los astrónomos una oportunidad sin precedentes para investigar la colisión de dos estrellas de neutrones. Por ejemplo, observaciones realizadas por el *U.S. Gemini Observatory*, el *European Very Large Telescope* y el *NASA's Hubble Space Telescope* revelan rastro de material recientemente sintetizado, incluyendo oro y platino, resolviendo el misterio no resuelto durante décadas sobre dónde se producen aproximadamente la mitad de todos los elementos más pesados que el hierro.

Los resultados LIGO-Virgo se publican hoy en la revista *Physical Review Letters*; trabajos adicionales de las colaboraciones LIGO-Virgo y de la comunidad astronómica se han enviado o aceptado para su publicación en diferentes revistas.

“Es tremendamente emocionante vivir la experiencia de un evento excepcional que transforma nuestra comprensión del funcionamiento del universo”, dice France A. Córdova, directora de la *National Science Foundation* (NSF), que financia LIGO. “Este descubrimiento hace realidad un objetivo que muchos de nosotros hemos tenido: observar simultáneamente eventos cósmicos extraordinarios usando tanto observatorios tradicionales como de ondas gravitacionales. Solo a través de la inversión de la NSF durante cuatro décadas en los observatorios de ondas gravitacionales, junto con los telescopios que observan desde ondas de radio hasta las longitudes de onda de rayos gamma, somos capaces de expandir nuestras oportunidades de detectar nuevos fenómenos cósmicos y darle sentido a una nueva narrativa de la física de las estrellas en sus últimos estertores.

Una señal estelar

La señal gravitatoria, conocida como GW170817, fue detectada el 17 de agosto a las 8:41 am, en horario de la costa este estadounidense (EDT); la detección fue realizada por dos detectores idénticos LIGO, situados en Hanford, Washington y Livingston, Louisiana. La información proporcionada por el tercer detector, Virgo, situado cerca de Pisa, Italia, permitió la mejora en la localización del evento cósmico. En ese momento, LIGO se acercaba al final de su segundo periodo de observación desde que se actualizó al programa conocido como Advanced LIGO, mientras que Virgo había empezado su primer periodo de observación después de completar recientemente una actualización conocida como Advanced Virgo.

Los observatorios LIGO financiados por NSF fueron concebidos, construidos y operados por Caltech y MIT. Virgo se financia a través del *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* (INFN) en Italia y del *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) en Francia, y operado por el Observatorio Gravitacional Europeo (EGO, por sus siglas en inglés). Alrededor de 1500 científicos de la Colaboración Científica LIGO y de la Colaboración Virgo trabajan juntos para operar en los detectores y para procesar y entender los datos de las ondas gravitacionales que capturan.

Cada observatorio consiste en dos largos túneles dispuestos en forma de L, en cuya articulación se divide un rayo láser en dos. La luz recorre cada túnel y luego es reflejada en la dirección de donde provenía por un espejo suspendido. En ausencia de ondas gravitacionales, la luz láser de cada túnel debe regresar a la ubicación en donde los haces fueron divididos en el mismo preciso momento. Si una onda gravitacional pasa a través del observatorio, el tiempo de llegada de cada rayo láser es alterado, creando un cambio casi imperceptible en la señal final detectada en el observatorio.

El 17 de agosto, el software de análisis de datos a tiempo real de LIGO captó una fuerte señal de ondas gravitacionales desde el espacio en uno de los dos detectores LIGO. Casi al mismo tiempo, el telescopio *Gamma-ray Burst Monitor* de la *NASA's Fermi space* detectó una explosión de rayos gamma. El software de análisis LIGO-Virgo consideró ambas señales de manera conjunta y se observó que era improbable que fueran una coincidencia fortuita, mientras que otro análisis paralelo y automatizado de LIGO indicaba que había una señal de onda gravitacional coincidente en el otro detector LIGO. La rápida detección de la onda gravitacional por el equipo de LIGO-Virgo, junto con la detección de los rayos gamma de Fermi, permitieron el lanzamiento del seguimiento por telescopios alrededor del mundo.

Los datos de LIGO indicaron que dos objetos astrofísicos situados a una distancia relativamente pequeña de alrededor de 130 millones de años-luz desde la Tierra habían estado aproximándose en órbitas espirales. Presumiblemente, los objetos no eran tan grandes como un sistema binario de agujeros negros – objetos que LIGO y Virgo ya habían detectado previamente. En su lugar, se estimó que los dos objetos en órbita espiral debían estar en un rango de entre 1,1 y 1,6 veces la masa del Sol, es decir, en el rango de masa de las estrellas de neutrones. Una estrella de neutrones es una estrella de unos 20 kilómetros, o 12 millas, de diámetro y de material tan denso que una cucharadita de su material equivaldría a una masa de alrededor de mil millones de toneladas.

Mientras que los sistemas binarios de agujeros negros producen un leve gorjeo de una fracción de segundo en la banda sensible del detector LIGO, el gorjeo del 17 de agosto duró aproximadamente 100 segundos y se pudo ver a través de toda la gama de frecuencias de LIGO – aproximadamente el mismo rango que los instrumentos musicales comunes. Los científicos pudieron identificar la fuente del gorjeo como objetos mucho menos masivos que los agujeros negros observados hasta la fecha.

“De inmediato nos pareció que la fuente más probable eran las estrellas de neutrones, la otra codiciada fuente que esperábamos observar – y que prometimos al mundo que veríamos”, dice David Shoemaker, portavoz de la Colaboración Científica LIGO e investigador senior en *MIT’s Kavli Institute for Astrophysics and Space Research*. “Este evento científico proporciona información muy valiosa sobre los mecanismos relativos al funcionamiento interno de las estrellas de neutrones y las emisiones que producen, así como de la física más fundamental como la relatividad general. Y además es un regalo que se seguirá repitiendo.”

“Nuestros análisis mostraron que un evento de esta fuerza sucede menos de una vez en 80.000 años por coincidencia aleatoria, por lo que lo identificamos de inmediato como una detección muy segura y de una fuente notablemente cercana”, añade Laura Cadonati, profesora de física en Georgia Tech y portavoz adjunta de la Colaboración Científica LIGO. “Esta detección ha abierto verdaderamente las puertas a una nueva forma de entender la astrofísica. Espero que sea recordado como uno de los eventos astrofísicos más estudiados de la historia”.

Los investigadores teóricos predicen que al colisionar estrellas de neutrones se deben emitir ondas gravitacionales y rayos gamma, junto con poderosos chorros que emiten luz a través de todo el espectro electromagnético. La explosión de rayos gamma detectada por Fermi es lo que se conoce como una ráfaga corta de rayos gamma (*short gamma ray burst*); las nuevas observaciones confirman que al menos algunas de las ráfagas cortas de rayos gamma son generadas por la fusión de estrellas de neutrones – algo que se había teorizado anteriormente.

“Durante décadas se había sospechado que las explosiones de rayos gamma estaban producidas por la fusión de estrellas de neutrones”, dice Julie McEnery, científica del proyecto Fermi del *NASA’s Goddard Space Flight Center*. “Ahora, con los increíbles datos de LIGO y Virgo para este evento, tenemos la respuesta. Las ondas gravitacionales nos dicen que los objetos que se fusionaron tenían masas consistentes con estrellas de neutrones, y el destello de rayos gamma nos dice que es improbable que los objetos sean agujeros negros, ya que no se espera que la colisión de agujeros negros emita luz.”

Sin embargo, mientras este misterio parece resuelto, otros nuevos han surgido. La ráfaga corta de rayos gamma observada fue una de las más cercanas a la Tierra vista hasta ahora, pero fue sorprendentemente débil por su distancia. Los científicos están empezando a proponer modelos para explicar todo esto, dice McEnery, añadiendo que es probable que surjan nuevas ideas en los próximos años.

Una mancha en el cielo

Aunque la onda gravitacional fue captada en primer lugar por los detectores de LIGO en Estados Unidos, Virgo, en Italia, jugó un papel clave en la historia. Debido a su orientación con respecto a la fuente en el momento de la detección, Virgo recuperó una pequeña señal que, combinada con el tamaño de la señal y los tiempos de detección en los detectores LIGO, permitió a los científicos triangular con precisión la posición en el cielo. Tras realizar una investigación minuciosa para asegurarse de que las señales no eran un artefacto de la instrumentación, los científicos concluyeron que una onda gravitacional provenía de una región relativamente pequeña en el cielo del hemisferio sur.

“Este evento tiene la localización en el cielo más precisa de todas las ondas gravitacionales detectadas hasta ahora”, comenta Jo van den Brand de Nikhef (*Dutch National Institute for Subatomic Physics*) y VU Universidad de Amsterdam, portavoz de la Colaboración Virgo.

"Esta precisión permitió a los astrónomos llevar a cabo observaciones de seguimiento que llevaron a una plétora de resultados impresionantes".

"Este resultado es un magnífico ejemplo de la efectividad del trabajo en equipo, de la importancia de la coordinación y del valor de la colaboración científica," añade Federico Ferrini, director de EGO. "Estamos encantados de haber formado parte esencial de este desafío científico tan extraordinario: Sin Virgo, habría sido muy difícil localizar la fuente de las ondas gravitacionales".

Fermi fue capaz de dar una localización posteriormente confirmada y mejorada en gran medida gracias a las coordenadas proporcionadas por la detección combinada de los observatorios LIGO-Virgo. Con estas coordenadas, diferentes observatorios de todo el mundo fueron capaces, horas después, de comenzar a buscar en la región del cielo donde se pensaba que la señal fue originada. Así pues, un nuevo punto de luz parecido al de una nueva estrella, fue encontrado primero por los telescopios ópticos. Seguidamente, alrededor de 70 observatorios terrestres y en el espacio observaron el evento en sus correspondientes longitudes de onda.

"Esta detección abre la ventana de una largamente esperada astronomía 'multimensajera'," dice David H. Reitze de Caltech, director ejecutivo del Laboratorio LIGO. "Es la primera vez que hemos observado un evento astrofísico catastrófico en forma ondas gravitacionales y ondas electromagnéticas - nuestros mensajeros cósmicos. La astronomía de ondas gravitacionales ofrece nuevas oportunidades para entender las propiedades de las estrellas de neutrones de maneras que simplemente no son posibles únicamente con la astronomía electromagnética".

Una bola de fuego y un resplandor

Cada observatorio electromagnético publicará sus propias observaciones detalladas del citado evento astrofísico. Mientras tanto, la perspectiva general de todos los observatorios involucrados parece confirmar que la señal de la onda gravitacional realmente fue producida por un par estrellas de neutrones en órbita espiral.

Aproximadamente hace 130 millones de años, las dos estrellas de neutrones se encontraban en sus últimas órbitas espirales, separadas sólo por unos 300 kilómetros, o 200 millas, incrementando su velocidad orbital mientras disminuía la distancia entre ellas. A medida que las estrellas giraban cada vez más rápido y más cerca la una de la otra, se deformaron y distorsionaron el espacio-tiempo circundante, emitiendo energía en forma de potentes ondas gravitacionales, antes de chocar entre sí.

En el momento de la colisión, la mayor parte de las dos estrellas de neutrones se fusionaron en un objeto ultradenso a la vez que se emitía una "bola de fuego" de rayos gamma. Las mediciones iniciales de rayos gamma, combinadas con la detección de las ondas gravitacionales, han proporcionado también una confirmación de la teoría de la Relatividad General de Einstein, que predice que las ondas gravitatorias deben viajar a la velocidad de la luz.

Los investigadores teóricos han predicho que lo que sigue a la bola de fuego inicial es una "kilonova" - un fenómeno por el cual el material que queda de la colisión de las estrellas de neutrones, que brilla con luz, es expulsado de la región circundante muy lejos en el espacio. Las nuevas observaciones basadas en el espectro electromagnético muestran que los elementos pesados, como el plomo y el oro, se crean en estas colisiones y posteriormente se distribuyen por todo el universo.

En las próximas semanas y meses, los telescopios de todo el mundo continuarán observando el resplandor de la fusión de estrellas de neutrones y reunirán más evidencias sobre las diversas etapas de la fusión, su interacción con su entorno y los procesos que producen los elementos más pesados del universo.

"Cuando estábamos diseñando LIGO a finales de los años 80, sabíamos que en última instancia necesitaríamos una red internacional de observatorios de ondas gravitacionales, incluyendo Europa, para ayudar a localizar las fuentes de ondas gravitacionales de tal manera que los telescopios de luz pudieran seguir y estudiar el resplandor de eventos como esta fusión de estrellas de neutrones", dice Fred Raab de Caltech, director asociado de LIGO para las operaciones del observatorio. "Hoy podemos decir que nuestra red de ondas gravitacionales está trabajando conjunta y brillantemente con los observatorios del espectro electromagnético para inaugurar una nueva era en astronomía, que mejorará con la adición prevista de observatorios en Japón e India".

LIGO está financiado por la NSF y operado por *Caltech* y MIT, que concibió LIGO y lideró los proyectos Initial y Advanced LIGO. La financiación económica para el proyecto Advanced LIGO fue liderada por el NSF, junto con Alemania (*Max Planck Society*), Reino Unido (*Science and Technology Facilities Council*) y Australia (*Australian Research Council*) que asumieron significativos compromisos y contribuciones al proyecto.

Más de 1.200 científicos y alrededor de 100 instituciones de todo el mundo participan en el esfuerzo a través de la Colaboración Científica LIGO, que incluye la Colaboración GEO y la Colaboración australiana OzGrav. Los socios adicionales se enumeran en <http://ligo.org/partners.php>.

La Colaboración Virgo está formada por más de 280 físicos e ingenieros pertenecientes a 20 grupos de investigación europeos diferentes: seis del Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) en Francia; ocho del Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) en Italia; dos en Holanda con Nikhef; la MTA Wigner RCP en Hungría; el grupo POLGRAW en Polonia; España con la Universidad de Valencia; y el Observatorio Gravitacional Europeo, EGO, el laboratorio que aloja el detector Virgo cerca de Pisa en Italia, financiado por CNRS, INFN y Nikhef.

Escrito por Jennifer Chu, MIT News Office

LINKS RELACIONADOS

Artículo: "GW170817: Observation of gravitational waves from a binary neutron star merger."

*** El artículo estará disponible para leer online a las 10 AM EDT el 16 de octubre del 2017.*

CONTACTOS

Kimberly Allen, MIT
allenkc@mit.edu; +1 617-253-2702

Emily Velasco, Caltech
evelasco@caltech.edu; +1 626-395-6487

Jason Maderer, Georgia Tech
maderer@gatech.edu; +1 404-385-2966

Severine Perus, Virgo-EGO
severine.perus@ego-gw.it; +39 050 752 325

Aya Collins, National Science Foundation
acollins@nsf.gov; +1 703-292-7737