

OBSERVACIÓN DE ONDAS GRAVITACIONALES GENERADAS POR LA FUSIÓN DE UN SISTEMA BINARIO DE AGUJEROS NEGROS

OBSERVATION OF THE GRAVITATIONAL WAVES GENERATED BY THE FUSSION OF A BINARY SYSTEM OF BLACK HOLES*

WALTER THOMPSON¹

¹Universidad Estadual de Londrina – UEL, PR, Brasil. E-mail: wthsosa@hotmail.com

Resumen: Se difunden aquí de manera sintética los recientes descubrimientos publicados en el artículo multiautor de Abbott *et al.* (2016) sobre un trabajo conjunto entre los equipos de los sensores del LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) de estados Unidos y el Virgo de Italia, en el cual se detectaron por primera vez la colisión de dos agujeros negros y las ondas gravitacionales originadas de la misma, siguiendo el patrón predicho por la teoría general de la relatividad.

Palabras clave: agujeros negros, sistema binario, ondas gravitacionales, relatividad general.

Abstract: Here are given, in synthesized way, the recent discoveries published in the multiauthored paper by Abbott *et al.* (2016) about the mutual work made by the teams of the sensors of the LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) from the USA and the Virgo from Italy, which detected for the first time the collision of two black holes and the gravitational waves originated from the interaction, following a pattern predicted by the general theory of relativity.

Key words: black holes, binary system, gravitational waves, general relativity.

INTRODUCCIÓN

En 1916, un año después de la formulación final de las ecuaciones de campo de la relatividad general, Albert Einstein predice la existencia de la onda gravitacional. Él encontró que las ecuaciones linealizadas para un campo débil tenían soluciones de onda: ondas transversales de tensión espacial que viajan a la velocidad de la luz, generada por las variaciones temporales de la masa del cuadrupolo momento de la fuente.

El día 12 de Febrero de 2016 fueron anunciados dos descubrimientos de gran importancia científica extrema directamente relacionadas con una de las previsiones más importantes de la teoría de la Relatividad General de Einstein: la primera detección directa de ondas gravitacionales y la primera observación de la colisión y fusión de un par de

agujeros negros.

Este evento, conocido como GW150914, ocurrió en una galaxia distante más de un billón de años-luz de la Tierra. Él fue observado en 14 de Setiembre 2015 a las 05:50:45 hora de Asunción por los dos detectores del Observatorio de Ondas Gravitacionales por Interferometría Laser (sigla LIGO en Inglés).

De la morfología de la señal podemos deducir las masas de los agujeros negros: 32 y 29 masas solares con una incertidumbre de aproximadamente 20%, de las cuales podemos estimar, a través de la Relatividad General, que la energía emitida en la forma de ondas gravitacionales a lo largo de la fusión fue cerca de 3 veces la masa del Sol, la mayoría emitida en una fracción de segundos. El pico de luminosidad correspondiente es aproximadamente de 10^{56} erg/s. Para comparación, la luminosidad del sol es de 4×10^{33} erg/s y aquella de gama ray burst más luminoso nunca observado es de $\sim 5 \times 10^{54}$ erg/s en el caso de emisión isotrópica.

La fusión de dos agujeros negros formó un único agujero negro de masa correspondiente a 62

*Artículo de difusión de un tópico actual, sintetizando los descubrimientos publicados formalmente del artículo de Abbott *et al.* (2016) [citado al final de este artículo]. Se realiza esta difusión respetando los términos de la Licencia *Creative Commons 3.0*, que permite uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que el trabajo original sea apropiadamente citado.

veces al del Sol. Además de eso, se concluye que el agujero negro remanente tiene spin correspondiendo a un agujero negro de Kerr, con un valor aproximadamente de 0.67. Esos resultados indican que GW150914 ocurrió a un redshift de cerca 0.09.

Este avance marca el comienzo de una nueva era en astronomía abriendo una nueva ventana de observación del universo sobre la forma de ondas gravitacionales.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las ondas gravitacionales son oscilaciones de espacio-tiempo causadas por cualquier masa acelerada. En las últimas décadas, ya se había acumulado fuertes evidencias de que las ondas gravitacionales existen, debido a sus efectos en órbitas próximas de pares de estrellas de neutrones en nuestra galaxia. Los resultados de estos estudios concuerdan muy bien con la teoría de Einstein teniendo exactamente el mismo decaimiento orbital previsto por la teoría y que es debido a la pérdida de energía transportada por ondas gravitacionales. Sin embargo, la detección directa de ondas gravitacionales ha sido ampliamente deseada por la comunidad científica ya que este descubrimiento proveería nuevas maneras y más robustas para probar la relatividad general sobre condiciones extremas, abriendo una nueva manera para explorar el universo.

Los valores estimados de las masas antes de la fusión de dos componentes de GW150914 son en sí un argumento muy fuerte para asegurar que los dos son agujeros negros, especialmente si consideramos la pequeña separación en dos componentes necesaria para generar una señal de la frecuencia observada: la señal entra en la banda de LIGO acerca de 30 Hz y alcanza una frecuencia máxima de 250 Hz. Los agujeros negros son los únicos objetos conocidos que son suficientemente compactos para estar tan cerca y no se fundan.

Esa es la primera observación de un par de agujeros negros, pero no se trata de la primera observación de agujeros negros en general.

En tanto, por definición, no podemos “ver” la luz de un agujero negro, ya que son densos y compactos que ni la luz puede escapar de su atracción

gravitacional, astrónomos reunieron una importante colección de evidencias de su existencia estudiando los efectos de esos candidatos a agujeros negros en el área alrededor de ellos. Por ejemplo, se cree que la mayoría de las galaxias, incluyendo la Vía Láctea contiene un agujero negro supermasivo ($\sim 10^6$ veces la masa del Sol) en su centro – con masas de millones o hasta billones de veces mayor que al del Sol. También existen evidencias de agujeros negros con masas mucho menores (de pocas veces hasta una docena de veces la masa del Sol), que se cree son restos de estrellas muertas que sufrieron una explosión cataclísmica, llamado de un colapso de núcleo de supernovas.

Además de estos progresos substanciales en la observación indirecta de agujeros negros, nuestra comprensión teórica de esos extraños objetos fue drásticamente mejorada en la última década por avances notables en la capacidad de simular en computadora desde varias órbitas muy próximas hasta la fusión de un sistema binario de agujeros negros. Estos modelos permitieron la creación de ondas gravitacionales emitidas por agujeros negros: el conocimiento de cómo esas evalúen a medida que los agujeros negros quedan más próximos hasta que finalmente se funden en un único agujero negro más masivo es necesario para maximizar las informaciones que podemos tirar de la observación.

LIGO es el mayor observatorio de ondas gravitacionales y uno de los más sofisticados experimentos de física del mundo. Compuesto por dos grandes interferómetros a laser localizados a ~ 3000 km de distancia, en Livingston, Louisiana e Hanford, Washington, LIGO usa las propiedades físicas de la luz y de espacio para detectar ondas gravitacionales – un concepto que fue propuesto por primera vez en las décadas de 60 y 70. Un primer conjunto de detectores fue concluido en el inicio de 2000, incluyendo TAMA300 en Japón, GEO600 en Alemania, LIGO en los Estados Unidos y VIRGO en Italia. Enseguida, y usando combinaciones de estos detectores, fueron hechas observaciones conjuntas entre 2002 y 2011, sin que se obtenga cualquier detección de ondas gravitacionales. Después de mejoras significativas realizadas, los detectores

LIGO comenzaran a operar en 2015 como LIGO Avanzado: los primeros de una red global de detectores significativamente más sensibles. Los LIGO están ahora apagados, el reinicio de tomada de datos está prevista conjuntamente para el final de este año.

Un interferómetro como el LIGO consiste de dos brazos perpendiculares (en este caso los brazos miden 4 km) en que un as de laser es enviado y reflejado por los espejos en el final de los brazos. Cuando una onda gravitacional pasa, la ampliación y el encogimiento del espacio hace con que los brazos del interferómetro se encojan alternadamente, una queda menor en cuanto el otro queda mayor y viceversa. Como los brazos se alteran de longitud por efecto de las ondas gravitacionales, los ases a laser viajan distancias diferentes a través de los brazos, lo que significa que los dos haces no están más en fase y luego es producido lo que llamamos de patrón de interferencia.

La diferencia entre la longitud de onda de los dos brazos es proporcional a la intensidad de onda gravitacional que está pasando: en una onda gravitacional típica, se supone que esta amplitud de deformación deba ser, aproximadamente, menor que el diámetro de un protón. Todavía así los interferómetros LIGO son tan sensibles que ellos pueden medir esos valores extremadamente pequeños.

Para detectar con suceso una onda gravitacional como GW150914, los detectores LIGO necesitan combinar una gran sensibilidad con la capacidad de aislar las señales reales de las fuentes de ruido instrumental: pequeñas perturbaciones debidas, por ejemplo, a efectos ambientales o al propio instrumento, pueden imitar o superar los patrones de ondas gravitacionales que estamos buscando. Con dos detectores disponibles tenemos la ventaja de poder separar la señal real de la onda gravitacional de posibles ruidos y perturbaciones.

Operar una red de dos o más detectores también nos permite, por triangulación, posicionar la dirección en el cielo de la onda gravitacional observada una vez conocida la diferencia de tiempo de llegada en cada detector. Cuanto más detectores en la red, más precisa será la localización en el cielo de la fuente emisora de esta onda gravitacional. En 2016,

el detector Virgo Avanzado, en Italia, va juntarse a la red global, además de estar prevista la construcción de otros interferómetros avanzados como KAGRA en Japón y un tercero, LIGO, en la India.

La caracterización del ruido de fondo es una parte esencial de la investigación de LIGO, y envuelve el monitoreamiento de una gran colección de datos ambientales grabados en dos locales: movimiento del suelo, variaciones de temperatura y fluctuaciones de potencia del láser, entre otros, que son monitoreados en tiempo real para controlar el estado de los interferómetros. Un problema en uno de esos canales ambientales o instrumentales causa el descarte de los datos recolectados por el detector.

Además de eso, para excluir la posibilidad de una fluctuación de ruido no comunes, LIGO estimó la probabilidad de que esa coincidencia acontezca accidentalmente a través de una serie de desplazamientos de tiempo entre los datos de LIGO Hanford y LIGO Livingston, para crear un conjunto de datos de mayor duración y para buscar señales coincidentes que sean atribuidos con certeza al ruido y no a las ondas gravitacionales.

Usando desplazamientos de tiempo mayores de que 10 milisegundos (el tiempo de recorrido entre los dos detectores, el GW150914 fue detectado en los dos LIGO con una diferencia de tiempo de 7 ms).

La tasa de falsa alarma estimada es de un evento a cada 200.000 años. Esta tasa de falsa alarma puede ser traducida por la conocida variable “Sigma” (indicada por σ) de una distribución normal Gaussiana proporcionando un valor de 5.1 veces σ .

La primera detección de ondas gravitacionales y la primera observación de la fusión de un sistema de dos agujeros negros son conquistas significativamente notables, pero representan apenas la primera página en un fabuloso nuevo capítulo en la astronomía.

LITERATURA CITADA

- Abbott, B.P. *et al.* (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole. *Physical Review Letters*, 116 (061-102): 1-16.