

Ondas gravitacionales, la nueva manera de entender el universo

Gravitational waves, the new way of understanding the universe

Antonio Rodríguez Díaz de León^a y Julio César López Domínguez^b

Para poder entender lo que son las ondas gravitacionales podemos entrar en un ejercicio de imaginación, donde todo lo que existe, las estrellas, los planetas, incluso tú leyendo esto, está sumergido en un océano invisible, que en lugar de estar hecho de agua está hecho de espacio y tiempo. Ahora, en este océano ocurren fenómenos extremadamente violentos de proporciones, literalmente cósmicas, cosas como agujeros negros chocando, estrellas explotando, y el mismísimo nacimiento del universo. Si tomamos en cuenta que hasta cuando se nos cae un sartén hacemos mucho ruido, podemos entender que estos eventos no son para nada silenciosos, envían ondas a través de ese océano de espacio-tiempo, como las que se forman en un estanque cuando lanzamos una piedra. Estas ondas en este océano de espacio-tiempo son lo que conocemos como las ondas gravitacionales, y su descubrimiento teórico [1], así como la reciente observación de estas [2], ha cambiado para siempre cómo entendemos este océano que llamaremos cosmos.

Ahora que sabemos un poco que son debemos remontarnos a 1916 para entender un poco su historia, cuando un joven físico llamado Albert Einstein revolucionó

^a Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Física

^b Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Física.

nuestra comprensión del universo con su Teoría de la Relatividad General. Einstein nos enseñó que el espacio y el tiempo no son escenarios fijos donde ocurren los eventos del cosmos, sino que forman un tejido que está en movimiento y también es flexible, al cual llamamos espacio-tiempo [1].

Pensemos en este espacio-tiempo como una tela elástica gigantesca. Cuando colocas un objeto pesado en una cama elástica, digamos, por ejemplo una bola de boliche, esto hace que la superficie se hunda. Cuanta más masa tiene el objeto, más profunda es la hendidura. Así es como funciona la gravedad, por ejemplo, la Tierra no “atrae” los objetos hacia ella con una fuerza, sino que su masa deforma el espacio-tiempo (nuestra cama elástica) a su alrededor, y nosotros simplemente seguimos trayectorias o caminos que nos crea la curvatura de esa deformación.

Einstein descubrió con su teoría que cuando objetos que son extremadamente masivos se aceleran violentamente, giran rápidamente uno alrededor del otro o chocan entre sí, hacen que el espacio-tiempo se que se propagan en todas direcciones, como las ondas que se forman cuando mueves la mano rápidamente en el agua. A estas perturbaciones las llamó ondas gravitacionales [1]. El mismo Einstein dudaba que alguna vez pudieran ser observadas o detectadas, pues el modelo predice que serían increíblemente débiles, por ejemplo, cuando una onda gravitacional pasa por la Tierra, esta nos estira y nos encoge, suena aterrador, pero no debemos preocuparnos, el efecto es tan pequeño que ni siquiera lo notamos, debido precisamente a que son muy débiles, de hecho la primera detección que hizo LIGO fueron de oscilaciones 10.000 veces más pequeñas que el núcleo de un átomo [2].

Desde que se descubrieron teóricamente, las ondas gravitacionales fueron durante décadas como una curiosidad de la teoría de Einstein. Mientras los físicos teóricos seguían convencidos de su existencia, los físicos aplicados (experimentales) enfrentaban lo que parecía imposible, construir un dispositivo que pudiera medir estas perturbaciones. La primera evidencia indirecta de las ondas gravitacionales fue en 1974, cuando los astrónomos Russell Hulse y Joseph Taylor descubrieron un sistema binario de estrellas de neutrones, que son restos de estrellas muertas masivas, las cuales se encuentran orbitando una alrededor de la otra [3]. Sus observaciones, a las que dedicaron décadas,

mostraron que las estrellas de neutrones se estaban acercando entre ellas, como si estuvieran perdiendo energía. Ellos propusieron un modelo donde consideraban que la energía perdida era en forma de ondas gravitacionales que se alejaban del sistema binario en todas direcciones. Por este descubrimiento recibieron el Premio Nobel de Física en 1993 [3], pero la detección directa seguía siendo una búsqueda incansable en la física.

El desafío era monumental, los científicos necesitaban medir cambios tan pequeños que parecían, y siguen pareciendo, ridículos, el equivalente a detectar un cambio del tamaño de un cabello humano en una distancia equivalente entre la Tierra y la estrella más cercana (40 billones de kilómetros). Afortunadamente este desafío fue enfrentado por científicos en un proyecto llamado Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, o LIGO por sus siglas en inglés [2], [4]. Imaginemos dos tubos gigantes que forman forma de L, cada tubo con una longitud de 4 kilómetros de largo, aislados de cualquier vibración externa, una tarea sumamente desafiante debido a que se debe aislar desde una persona que va caminando en la calle hasta de la vibración que ocasiona un camión en la carretera. Dentro de estos tubos, un rayo láser viaja constantemente, dividiéndose en dos haces que recorren ambos brazos.

Cuando los haces regresan, los científicos pueden medir con precisión si han recorrido exactamente la misma distancia. El ingenio en el diseño está en que cuando pasa una onda gravitacional, estira un brazo del interferómetro y encoge el otro en una cantidad muy, pero muy pequeña (por eso necesitamos un dispositivo extremadamente sensible), cambiando sutilmente cómo se recombinan los haces del láser [2], [4], la sensibilidad del LIGO es tal que pueda ser capaz de medir cambios en la longitud que son 10,000 veces más pequeños que el núcleo de un átomo, que es de un tamaño de aproximadamente 10^{-14} metros.

La mañana del 14 de septiembre de 2015 LIGO cumplió su cometido. En ambos observatorios, uno en el estado de Luisiana y otro en el estado de Washington, ambos en Estados Unidos, obtuvieron una señal idéntica con apenas milisegundos de diferencia [4]. Era lo que teóricamente se debería a ondas gravitacionales producidas por la colisión o fusión de dos agujeros negros. La señal, bautizada como GW150914 básicamente nos dice

que “hace mucho tiempo en una galaxia muy, muy lejana...”, mas específicamente hace 1,300 millones de años, dos agujeros negros, uno con 29 y otro con 36 veces la masa de nuestro Sol, habían estado girando en una danza mortal [4], [5]. Durante millones de años, orbitando uno alrededor del otro, perdiendo energía poco a poco, por la emisión de ondas gravitacionales muy débiles. En los últimos segundos de su danza, se aceleraron a casi la mitad de la velocidad de la luz antes de colisionar y fusionarse en un solo agujero negro []. En ese instante catastrófico, una cantidad de energía equivalente a tres veces la masa del Sol se liberó en forma de ondas gravitacionales [5]. Esta onda viajó a través del cosmos durante 1,300 millones de años, expandiéndose y debilitándose, hasta que finalmente llegó a la Tierra, donde encontró un dispositivo (LIGO) que fue capaz de mostrar su existencia [4].

La detección de GW150914 no fue solo la confirmación de una predicción de un siglo [4]. Marcó el nacimiento de una nueva forma de astrofísica [2], [4]. Durante toda la historia, hemos estudiado el universo principalmente a través de la luz. Pero la luz puede ser bloqueada, absorbida o distorsionada. Las ondas gravitacionales, en cambio, viajan limpiamente a través de casi cualquier cosa, permitiéndonos obtener información de eventos que son completamente invisibles para los telescopios tradicionales [2]. En los años siguientes, LIGO y su contraparte europea Virgo han detectado docenas de eventos más: fusiones de agujeros negros, colisiones de estrellas de neutrones, entre otros fenómenos [2]. Cada detección es como agregar un nuevo actor a la obra de teatro que ahora somos capaces de observar.

Algo emocionante es que esto es solo el comienzo. Así como los primeros telescopios de Galileo revelaron lunas alrededor de Júpiter y anillos alrededor de Saturno, abriendo mundos que ni siquiera imaginábamos, la astrofísica de ondas gravitacionales promete mostrarnos aspectos del universo que ni siquiera somos capaces de poder concebir [2]. Quizás podamos detectar las ondas gravitacionales generadas por el nacimiento de nuestro Universo en el Big Bang, y tal vez poder entender mejor los primeros momentos de su creación. Tal vez descubramos nuevos tipos de objetos exóticos o encontremos fenómenos tan extraños que ni imaginamos.

Nuestro Universo, nunca ha estado quieto, durante miles de millones de años, ha estado en movimiento, colisiones entre agujeros negros, muertes de estrellas, entre muchos otros acontecimientos cosmos. Las ondas gravitacionales no son más que la evidencia y huella de estos fenómenos, viajando a través del espacio y el tiempo. Durante casi toda nuestra existencia como especie, éramos ciegos a estos eventos, ahora, gracias a la curiosidad humana y un gran equipo de científicos, hemos podido quitaros la venda y ser testigos de interesantes, cautivadores y probablemente nuevos fenómenos cósmicos.

REFERENCIAS

- [1] A. Einstein, “The Foundation of the General Theory of Relativity,” **Annalen der Physik**, vol.49, 1916.
- [2] LIGO Scientific Collaboration, “What are Gravitational Waves?,” Caltech, 2023. [Online]. Available: <https://www.ligo.caltech.edu/page/what-are-qw>
- [3] R. A. Hulse and J. H. Taylor, “Discovery of a pulsar in a binary system,” **Astrophysical Journal**, vol. 195, pp. L51-L53, 1975.
- [5] B. P. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration), “Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger,” **Physical Review Letters**, vol. 116, no. 6, 2016, Art. no. 061102.
- [5] B. P. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration), “Astrophysical Implications of the Binary Black-Hole Merger GW150914,” **The Astrophysical Journal Letters** vol. 818, no. 2, 2016, Art. no. L22.

ANTONIO RODRÍGUEZ DÍAZ DE LEÓN. Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Física.

JULIO CÉSAR LÓPEZ DOMÍNGUEZ. Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Física.

