

Fuente: ScienceNews/NICOLLE RAGER FULLER

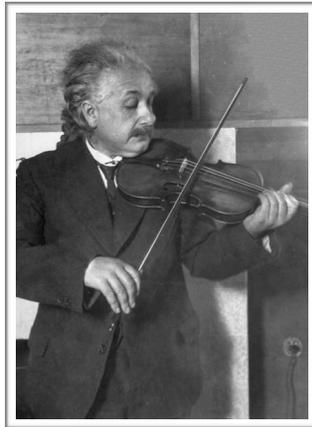
Sobre Einstein y la reciente detección de ondas gravitacionales

Resumen: Recientemente nos hemos visto sacudidos por un aluvión de noticias relativas al descubrimiento de ondas gravitacionales, un acontecimiento mayúsculo para la física y la astronomía y para la humanidad en general. En este artículo de divulgación científica, aprenderemos qué son estas ondas gravitacionales y por qué su descubrimiento es tan importante para la ciencia.

El despertar de un genio: Hace ya más de 100 años un joven físico brillante y soñador se interrogaba acerca de la naturaleza del tiempo y del espacio. Pensando durante su tiempo libre y también mientras trabajaba en su rutinario oficio de patentes en la hermosa ciudad de Berna, Suiza, se percató de algo asombroso: el espacio y el tiempo no son como lo percibimos a simple vista, en nuestra vida diaria. Esto echaba por tierra ideas preconcebidas desde los albores de la humanidad, como que el tiempo corría igual para todas las personas, o que el espacio era el mismo para todos. Por supuesto, no bastaba con que hubiese tenido esta intuición educada, por lo que en 1905 publicó su trabajo, llamado la Teoría de la Relatividad Especial, en la prestigiosa revista alemana *Annalen der Physik*, y saltó a la fama, no sin controversia e incluso cierta oposición al comienzo. Nos referimos a Albert Einstein, personaje del siglo veinte según la revista Times y sin duda el genio más grande que la humanidad ha conocido, junto a Isaac Newton y Galileo Galilei.

Colocando los fundamentos: Estableciendo ciertas ideas como fundamentales, tales como la invariabilidad de las leyes físicas para cualquier observador no acelerado en el Universo y la constancia de la velocidad de la luz en el vacío, Einstein concluyó que el

tiempo corre diferente para personas que se encuentran en movimiento relativo una de la otra. Más aún, el espacio parece achicarse para una y alargarse para otra. Estos fenómenos son más evidentes a altísimas velocidades, por eso no son observables en nuestra vida cotidiana, sin embargo, han podido ser medidos por instrumentos de precisión a bordo de aviones y satélites. A modo de ejemplo, las ecuaciones de la Relatividad Especial están en el corazón de nuestro sistema de posicionamiento global GPS. Para lograr su nueva visión del mundo, Einstein tuvo que visualizar el espacio y el tiempo íntimamente ligados, formando la unidad del espacio-tiempo.



Einstein tocando el violín. Fuente: dominio público.

Otra forma de mirar la gravedad: No se quedó tranquilo nuestro joven genio, motivado por una profunda curiosidad y una sed insaciable por adentrarse en la naturaleza del cosmos, Albert Einstein exploró luego la naturaleza de la gravedad. Muchos hemos aprendido que la gravedad es una fuerza, y algunos nos aprendimos de memoria la ley de gravitación universal de Newton, aquella que dice que dos masas son atraídas por una fuerza proporcional al producto de ellas y al inverso del cuadrado de la distancia que las separa. Einstein, al escudriñar los misterios del tiempo y del espacio, descubrió que esta fórmula de Newton es sólo una primera aproximación al fenómeno que llamamos gravedad, y que una teoría más consistente con las observaciones implica ver la gravedad como una deformación del espacio-tiempo. En este modelo la gravedad es el resultado inevitable de la presencia de cuerpos masivos en el espacio-tiempo. Son los cuerpos masivos los que curvan el espacio-tiempo provocando el desplazamiento de otras masas. En palabras posteriores del físico John Archibald Wheeler: “la materia le dice al espacio cómo curvarse y el espacio le dice a la materia cómo moverse”. Esta nueva teoría la llamó Teoría General de la Relatividad y fue publicada en el año 1915. El mundo enloqueció con Einstein y su teoría, de la cual se dijo al principio que solo pocos seres humanos eran capaces de comprenderla cabalmente. Einstein, quien se mudó primero a Alemania y luego a EEUU, posteriormente popularizó la imagen del genio distraído, bonachón y de una melena indomable como un ícono referente del científico, imagen que aún perdura.

La prueba de una teoría: No cualquier teoría es aceptada en el ambiente científico, antes debe satisfacer rigurosas pruebas experimentales o de observación. En este sentido, la Teoría de la Relatividad General de Einstein fue exitosa en explicar el lento movimiento de la órbita del planeta Mercurio alrededor del sol, algo que no podía la teoría de Newton, en explicar también la curvatura de la luz de una estrella al pasar cerca del Sol. Esto último ocurrió en el famoso eclipse solar del 29 de mayo de 1919 observado desde la costa oriental de África por una expedición liderada por el astrónomo británico Arthur Eddington. Las imágenes fueron transmitidas rápidamente a la *Royal Astronomical Society* en Londres y de ahí se diseminó la noticia al mundo entero; la teoría había pasado con éxito su gran prueba de madurez. Desde la década de los 90, con la observación reiterada de los llamados *lentes gravitacionales*, se sigue comprobando una y otra vez que la materia deforma el espacio a su alrededor, alterando los caminos por los que la luz transita por el cosmos.

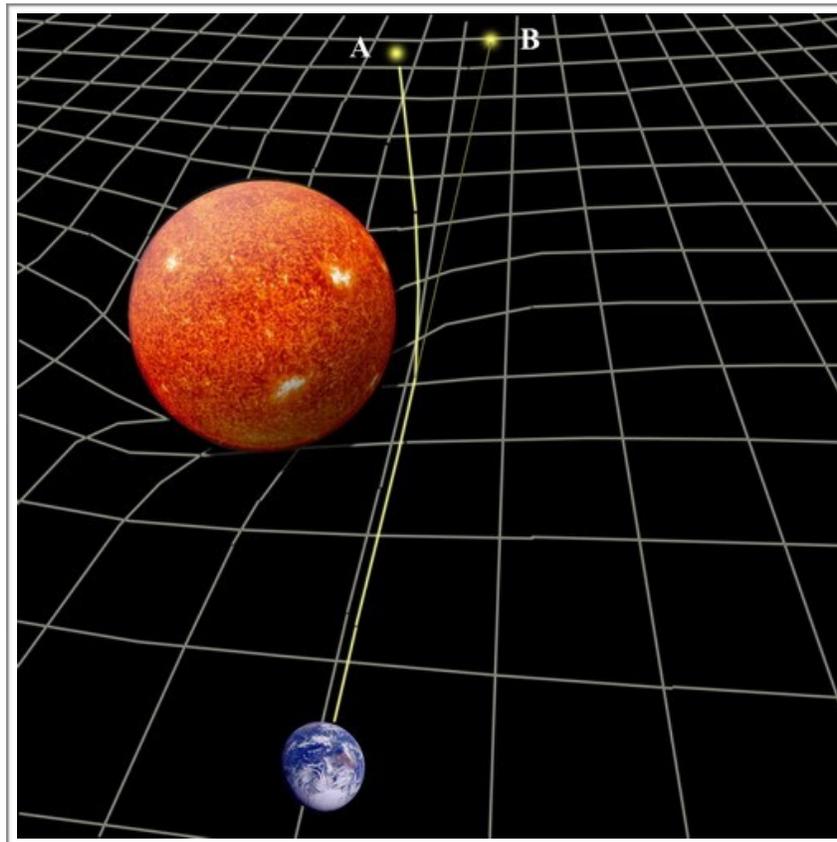
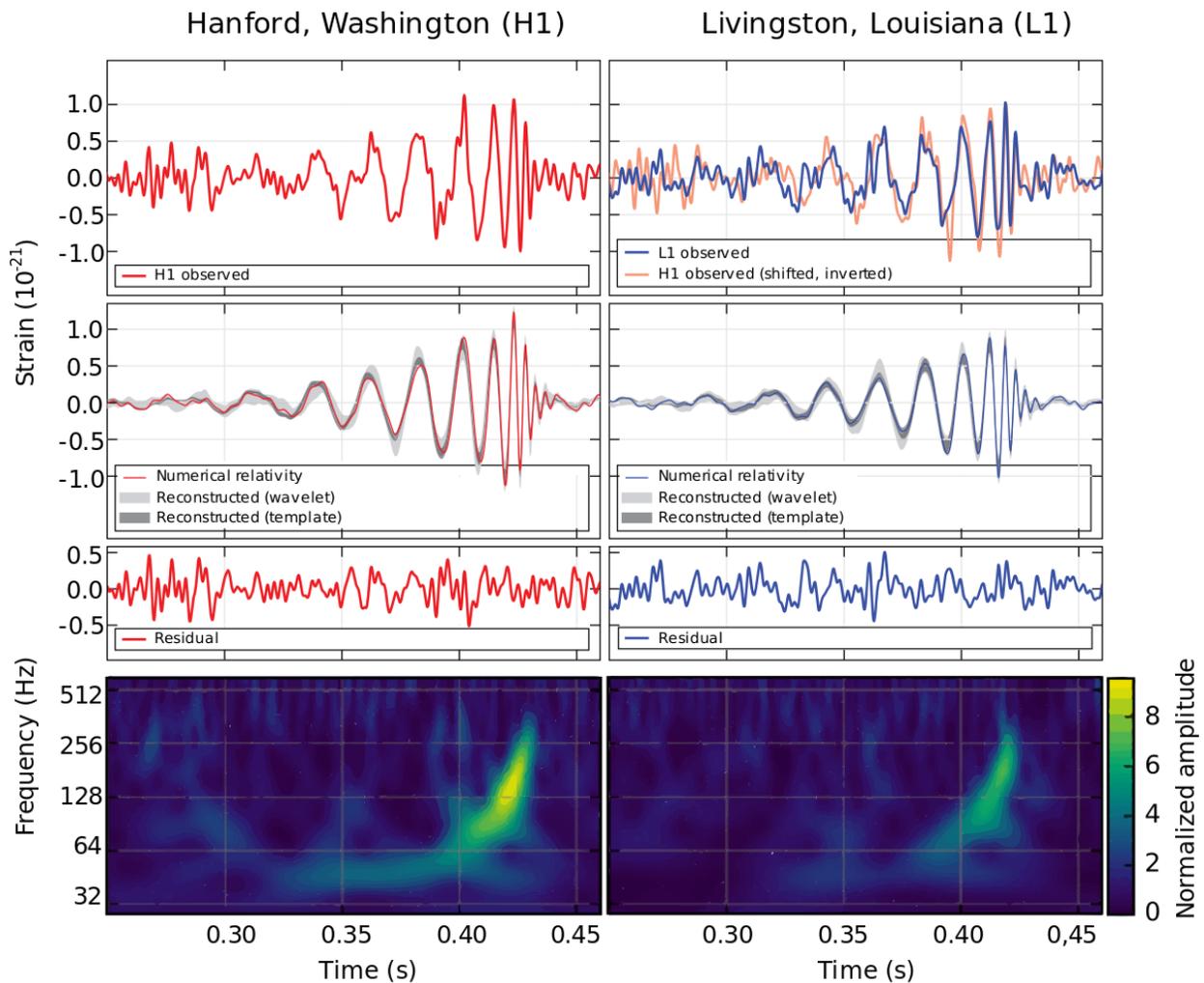


Ilustración del cambio de posición aparente de una estrella debido a la curvatura de sus rayos luminosos por el Sol. La estrella ubicada en la posición A nos parece que se encuentra en la posición B. Fuente: Times Travel Research Center.

La detección de ondas gravitacionales: Habría que esperar más de 100 años para que la Teoría de la Relatividad General de Einstein estuviese en boca de todo el mundo nuevamente. Una de sus predicciones por mucho tiempo no probada de una manera directa, es la existencia de ondas gravitacionales. ¿Qué quiere decir esto? Pues que el espacio-tiempo se puede imaginar como una membrana, que se deforma en presencia de masas gravitacionales. Entonces si dichas masas, por decir un par de estrellas, se ponen a girar a alta velocidad en esta membrana se producirán oscilaciones del espacio-tiempo, las que se desplazarán llevando energía en forma de ondas gravitacionales. Este efecto es aún mayor cuando las masas corresponden a agujeros negros o estrellas de neutrones, que son objetos muy densos, con decir que una estrella de neutrones mide unos pocos kilómetros y alberga unas pocas veces la masa del sol. Cuando estos objetos giran muy rápido uno en torno del otro, pierden energía y se acercan hasta fusionarse en un solo cuerpo. Este abrazo mortal despliega enormes cantidades de energía, no solo energía luminosa, sino que también en forma de ondas gravitacionales. Es la textura del espacio-tiempo, aquella membrana que forma el tejido del Universo, la que se sacude con tanta violencia que genera ondas de gravedad que atraviesan el cosmos. Recién el año 2015 fueron detectadas por primera vez, producto de la fusión de dos agujeros negros, en un evento denominado GW150914 y este año, el 2017, fueron detectadas producto de la fusión de dos estrellas de neutrones. La teoría de Einstein daba otro paso en consolidarse como una de las teorías científicas mejor asentadas y en concordancia con la realidad, al menos a nivel del macro-cosmos. Por supuesto, después de este descubrimiento, la figura del genio emerge aún más notable; ya que se adelantó al descubrimiento y la tecnología de su época sólo con la fuerza de la razón y la lógica, utilizando herramientas matemáticas. El descubrimiento de ondas gravitacionales galardonó con el premio Nobel en física a Kip Thorne, Rainer Weiss y Barry C. Barish el año 2017, premiando un esfuerzo tecnológico de 50 años que culminó con instrumentos capaces de medir la oscilación del espacio-tiempo con una precisión extraordinaria.

La hazaña instrumental: Para lograr la hazaña de detectar ondas gravitacionales hubo que lograr precisiones instrumentales monstruosas. Las últimas observaciones, realizadas este año, corresponden a la fusión de dos estrellas de neutrones ubicadas a 150 millones de años luz, el evento llamado GW170817, por la fecha del descubrimiento, fue también denominado en términos genéricos una kilonova. El descubrimiento se realizó con los observatorios de ondas gravitacionales LIGO y VIRGO y fue seguido durante las semanas siguientes por unos 70 observatorios de radiación electromagnética ubicados en distintas partes del globo. Como resultado se pudo comprobar que los elementos químicos más pesados como el platino y el oro se forman en estas explosiones estelares. También se comprobó que las ondas gravitacionales viajan a la velocidad de la luz.

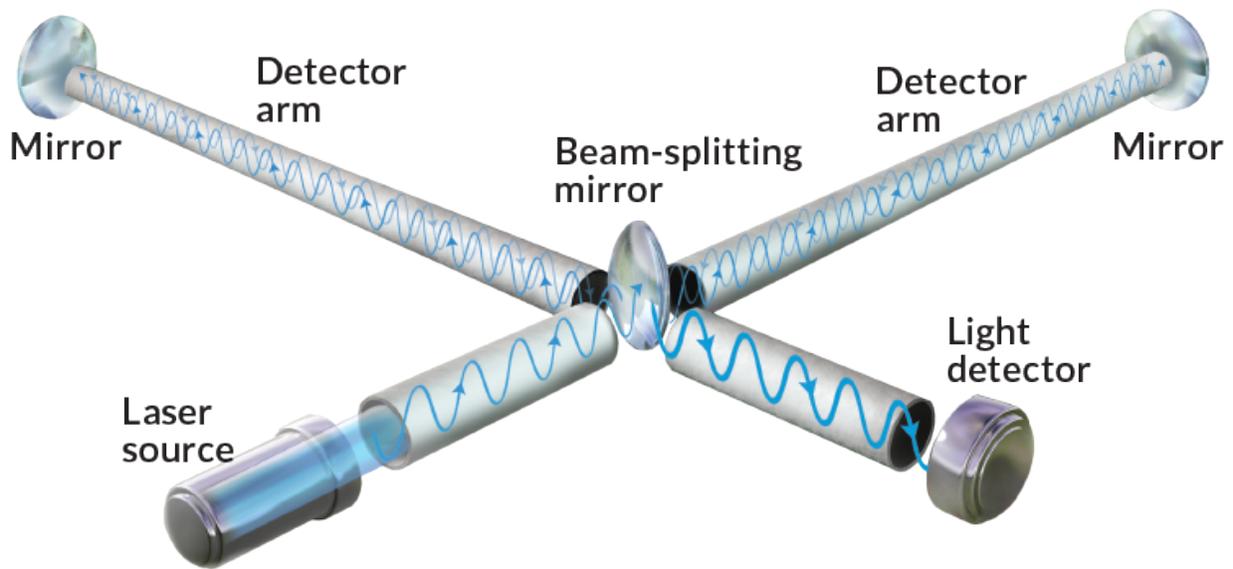
LIGO consta de dos detectores de 4 kilómetros de largo ubicados en Hanford y Livingston, EEUU. Cada instrumento usa dos brazos laser largos perpendiculares uno con otro formando una estructura en forma de L. Por estos brazos vacíos fluye la luz laser, cuidadosamente arreglada, de tal manera que sus ondas interfieren destructivamente, evitando que algún fotón alcance el contador de fotones LIGO.



Comparación de señales observadas y teóricas, de ondas gravitacionales, en los observatorios LIGO de Hanford (izquierda) y Livingston (derecha) del evento GW150914. Fuente: B. P. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration), PRL 116, 061102 (2016).

Cuando pasa una onda gravitacional cuya dirección de propagación es paralela a un brazo y perpendicular al otro, el brazo perpendicular se alarga, mientras el otro no cambia su longitud, lo que rompe la interferencia destructiva y permite que algunos fotones sean capturados y detectados por el detector LIGO, de esta manera se detectan las ondas gravitacionales. El problema es que las ondas llegan muy debilitadas a la tierra y son muy difíciles de detectar. Pensemos que se producen a distancias remotas en nuestro Universo y su amplitud decae con el inverso al cuadrado de la distancia. LIGO está diseñado para detectar cambios en la longitud de sus detectores del tamaño de diez elevado a menos dieciocho metros. Esto es unas cien mil veces más reducido que el átomo más pequeño del Universo, el hidrógeno.

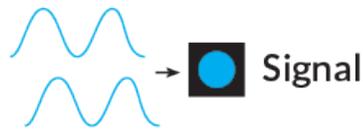
Vale la pena leer nuevamente la línea, hablamos de una precisión a escala infra-atómica.



Normal situation



Gravitational wave detection



Esquema de un detector de ondas gravitacionales. Una fuente emite una onda laser que es enviada por un espejo central hacia dos espejos laterales. Las ondas laser regresan hacia el espejo central donde interfieren destructivamente, a no ser que exista un leve cambio de longitud de uno de los brazos, en este caso una onda resulta de la interferencia, la cual pasa hacia el detector dando origen a una señal.

Fuente: ScienceNews/NICOLLE RAGER FULLER

La nueva ventana: Las ondas gravitacionales no son ondas electromagnéticas como los rayos-X, la radiación infrarroja o ultravioleta, a las cuales estamos acostumbrados en nuestro lenguaje cotidiano por su uso en medicina, el problema de la capa de ozono o por el calor que siente nuestro cuerpo al recibir la radiación solar. Dichas radiaciones provenientes del cosmos son analizadas rutinariamente por los astrónomos. Las ondas gravitacionales, por el contrario, son deformaciones del espacio-tiempo en el cual existimos, las cuales son imposibles de detectar por nuestro cuerpo y sus sentidos o por instrumentos científicos convencionales. Su detección a través de instrumentos sofisticados significa que se ha abierto una nueva ventana para la investigación del cosmos. Es a través de su detección que tendremos, en forma complementaria a la radiación electromagnética, un canal único de acceso a fenómenos de altas energías,

como son la fusión de estrellas de neutrones o de agujeros negros o incluso la explosión de estrellas masivas en forma de supernovas. Con el observatorio LIGO e instrumentos basados en la interferometría laser, y siguiendo el camino pavimentado por el genio creativo de Albert Einstein, la humanidad ha comenzado a mirar por una nueva ventana al cosmos. Una pregunta que nos podemos hacer es ... ¿hacia dónde nos llevará nuestra aventura científica basada en la curiosidad y sed de conocimiento?

Agradecimientos: Mis agradecimientos a Marllory Fuentes, Rodrigo Reeves y Guillermo Rubilar, quienes ayudaron a mejorar una primera versión de este artículo.

Dr. Ronald Mennickent Cid
Departamento de Astronomía
Universidad de Concepción
Concepción, Chile
www.astro.udec.cl

1 de noviembre de 2017