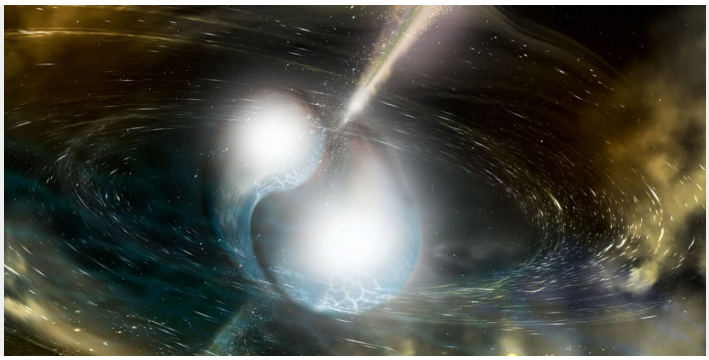
EL CHOQUE DE DOS ESTRELLAS DE NEUTRONES

Posted on 17 octubre, 2017 by Alfo José Batista Leyva



El 16 de octubre fue emitido un nuevo anuncio: LIGO y VIRGO hicieron una nueva detección de ondas gravitacionales, pero ahora el sistema emisor estaba más cerca de la Tierra.

Category: Ciencia

Tag: Ciencias Exactas

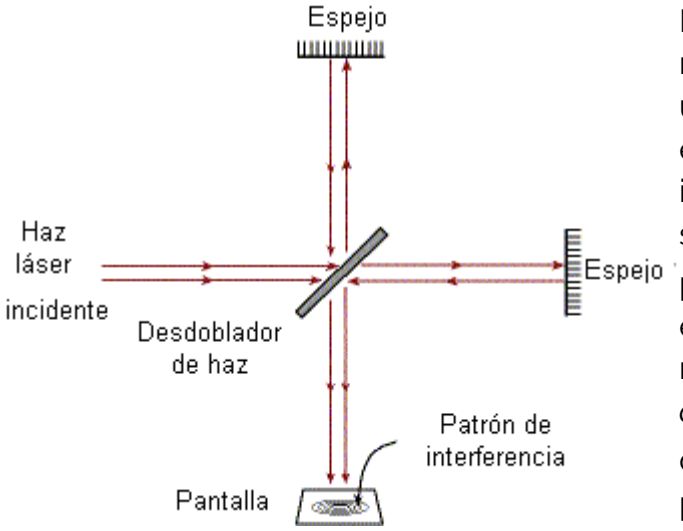
En el año 1887 dos físicos estadounidenses, Albert Michelson y Edward Morley, realizaron una serie de experimentos para tratar de responder una antigua pregunta: ¿cómo se propaga la luz?

> *La luz es una onda que se mueve por las vibraciones de un medio llamado "éter universal".*

Según la teoría ondulatoria del siglo XIX, cuya formulación comenzó Christian Huyghens, la luz es una onda que se mueve por las vibraciones de un medio llamado "éter universal" que, presumiblemente, llena todo el espacio. La Tierra, en su rotación y movimiento alrededor del Sol, se desplaza dentro del éter y, también presumiblemente, este movimiento debería influir en la velocidad de la luz, en un efecto llamado viento del éter; algo así como la influencia de la velocidad

del viento sobre la velocidad de un avión respecto a tierra. Pero existía también la posibilidad de que la Tierra arrastrara al éter en su movimiento, y por lo tanto dicho movimiento no influyera en la velocidad de la luz.

Durante siete años (comenzando en 1881) Michelson perfeccionó su instrumento de medición, conocido hoy con justicia como interferómetro de Michelson, y realizó sus experimentos más conocidos a lo largo de varios meses de 1887, para llegar al final a una respuesta negativa: no es posible percibir el movimiento de la Tierra a través del éter. El experimento era tan preciso que el resultado resultó irrefutable. Sin embargo, varios experimentos de distinto tipo realizados anteriormente negaban esta conclusión. La contradicción surgida inflamó el debate científico a fines del siglo XIX y condujo, finalmente, a descartar la idea del éter y a la formulación de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) por Albert Einstein en el año de 1905.



El interferómetro de Michelson

El interferómetro de Michelson consiste, en su versión moderna, en una fuente de luz (que es casi siempre un láser de HeNe), que lanza un rayo luminoso a un espejo semitransparente. Éste, como su nombre lo indica, deja pasar una parte de la luz incidente, la cual se dirige a un espejo situado a una distancia d_1, que puede ser regulada, el cual refleja la luz de vuelta al espejo semitransparente. Otra parte de la radiación es reflejada y llega a otro espejo situado a una distancia d_2 fija y es reflejada de vuelta por éste. Ambos rayos de luz regresan al espejo semitransparente y son parcialmente reflejados y parcialmente transmitidos. Así una parte de la radiación vuelve al láser, pero la otra se mueve hacia una pantalla sobre la cual ambos haces de luz se superponen o, como se acostumbra a decir, interfieren. La distribución de energía luminosa sobre la pantalla es determinada por la diferencia de distancias (d_2 - d_1).

El que ha visto un interferómetro de este tipo (ver, por ejemplo, la referencia) en funcionamiento sabe que la distribución de energías en la pantalla que recoge la luz está caracterizada por la presencia de zonas muy iluminadas, llamadas máximos de interferencia, y zonas oscuras, llamadas mínimos. Si se cambia lentamente la distancia d_1, por ejemplo, se verá cómo la distribución va cambiando lentamente, de forma tal que al desplazar el espejo una distancia igual a la mitad de la longitud de onda de la luz se invierte la figura: el lugar que ocupaba un máximo es ahora ocupado por un mínimo y viceversa. Recordando que la longitud de onda del láser de HeNe es de 632.8 nm (1

nm = 10^{-9} m), con dicha instalación se puede medir fácilmente distancias del orden de 0.0003 mm. Y con detectores de radiación precisos para detectar los cambios de energía, se pueden detectar distancias mucho menores.

> *Otro aspecto que influye en la sensibilidad de la instalación es la distancia que recorre la luz para llegar a los espejos.*

Otro aspecto que influye en la sensibilidad de la instalación es la distancia que recorre la luz para llegar a los espejos. Mientras más lejos estén éstos, más sensible será el instrumento. Michelson, por ejemplo, para lograr que el brazo fuera más largo ideó un sistema de espejos que reflejaban la luz repetidas veces, hasta lograr una longitud efectiva de los brazos de 11 m. Esto le dio una sensibilidad más que suficiente para hacer una medición precisa que descartó el movimiento del éter con la Tierra. En la actualidad estos interferómetros sirven como patrones de longitud y en otros muchos trabajos de Metrología.

Ésta fue la razón por la cual los físicos Rainer Weiss, Ronald Drever y Kip Thorne, al analizar cómo detectar las ondas gravitacionales, pensaran en construir un interferómetro de Michelson diseñado especialmente para dicho propósito. Barry Barish tomó sus ideas y dirigió el proyecto hasta el éxito.

> *Ahora debemos detenernos y hablar sobre las ondas gravitacionales.*

En su formulación de la Teoría General de la Relatividad (TGR), Einstein predijo la existencia de estas ondas como consecuencia de su teoría. Sin embargo, nunca estuvo totalmente convencido de la posibilidad de que fueran detectadas, e incluso llegó a dudar de su realidad, pensando que podrían ser un artefacto matemático, sin realidad física. El hecho es que la teoría predijo que objetos muy masivos al acelerarse deberían deformar la estructura del espacio – tiempo y estas zonas deformadas debían alejarse del emisor a la velocidad de la luz. Al moverse a través del Universo su acción sobre la materia que alcanzara debería ser notada en forma de cambios en la estructura del espacio tiempo, que se estira y se aprieta rítmicamente. Y esas pulsaciones deben influir sobre los fenómenos que ocurren en la región, en particular sobre la distancia entre objetos supuestamente fijos .

> *Imaginemos un interferómetro de Michelson en una región por la cual pasa una onda gravitatoria.*

Imaginemos un interferómetro de Michelson en una región por la cual pasa una onda gravitatoria. Pensemos que inicialmente sus brazos tienen una longitud tal que la superposición de los rayos de luz que vienen de ellos es destructiva, observándose un mínimo. Si el interferómetro está adecuadamente orientado, al pasar la onda uno de sus brazos se encogerá mientras que el otro se

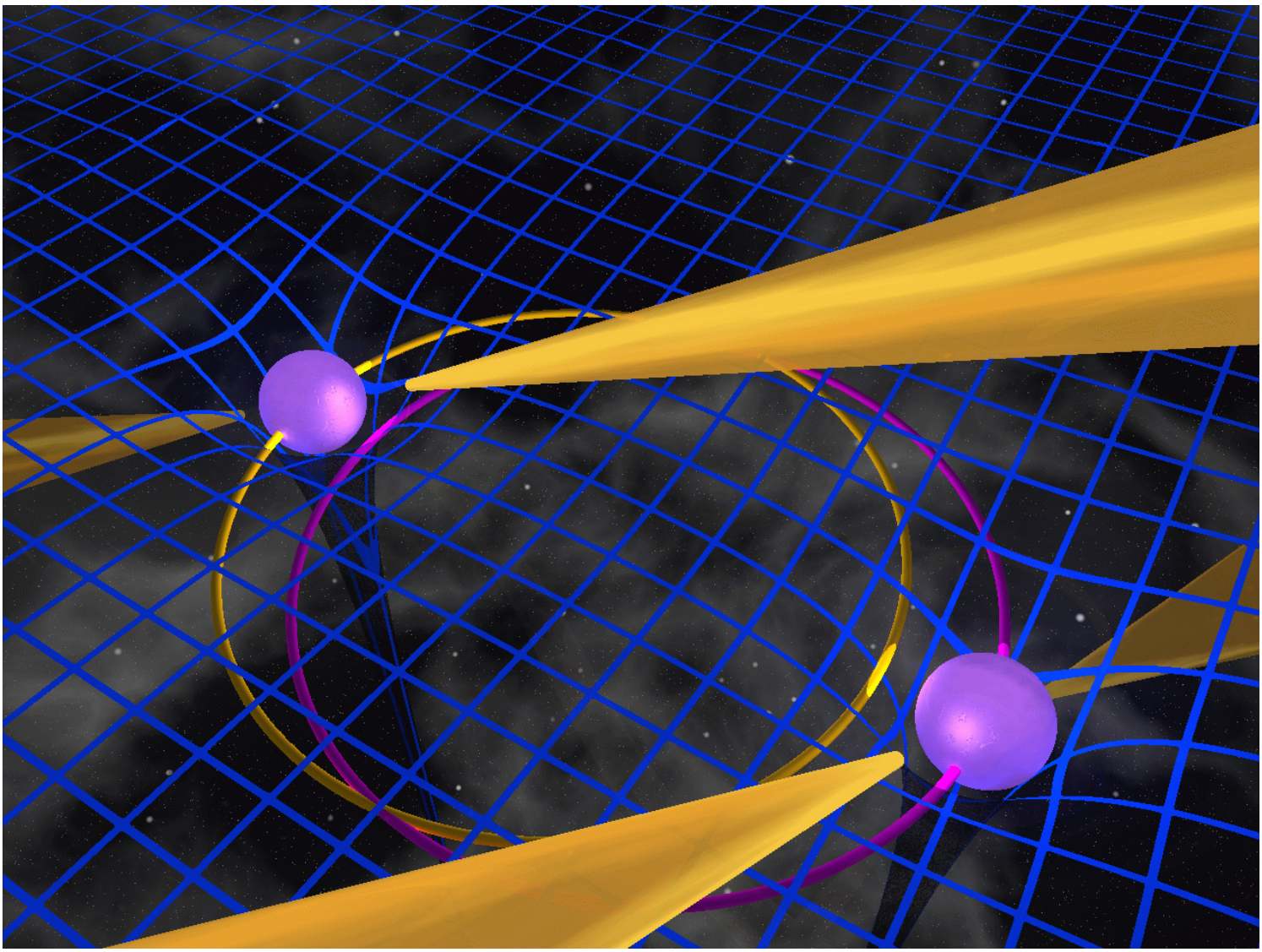
estirará, lo que cambia las condiciones de interferencia y, por lo tanto, el valor de la energía luminosa que llega a la pantalla. Si hay un detector suficientemente sensible, detectará el paso de la onda por el aumento en la energía recibida. Por lo tanto el problema parece resuelto: si hay ondas gravitatorias, un interferómetro de Michelson puede detectar su paso.

Parece sencillo, pero desde que se formuló la idea hasta que se detectó la primera onda gravitacional pasaron más de cuarenta años. La razón es simple: la amplitud de dichas ondas es tan pequeña que los efectos que provocan son muy tenues. Además, en nuestras cercanías no existen los objetos supermasivos que pueden provocarlas. Y la energía de las ondas decrece bruscamente con la distancia, de tal forma que al llegar a la Tierra éstas provocarían una variación de longitud

mucho menor que el tamaño de un núcleo atómico, algo así como 10^{-18} m. Esto es varias veces menor que la menor distancia que se hubiera medido nunca en la Tierra. Y todo para detectar algo que muchos dudaban que existiera. De ahí que algunos desmayaran en su empeño.

> *En 1974 se descubrió el primer pulsar binario.*

En el año 1974 Russell Alan Hulse y Joseph Hooton Taylor Jr descubrieron el primer pulsar binario, y comenzaron a estudiarlo sistemáticamente. Este objeto consiste en dos estrellas de neutrones (cuerpos superdensos) que rotan alrededor de un centro común, emitiendo energía en forma de radiación electromagnética. Los cálculos de la TGR predecían que la frecuencia de rotación del par debería cambiar a un ritmo determinado, precisamente por la emisión de ondas gravitatorias. El estudio experimental de dicha frecuencia demostró que las predicciones de la TGR eran exactas, entregándosele a los dos físicos el Premio Nobel el año 1993 “por el descubrimiento de un nuevo tipo de púlsar, lo cual ha abierto nuevas posibilidades para el estudio de la gravitación”. Adicionalmente, el estudio impulsó los esfuerzos para detectar directamente las ondas gravitacionales.



En el año 1996 se reunieron en Japón varios grupos que estaban trabajando en proyectos destinados a la detección de ondas gravitacionales. Participaron grupos de Japón, que trabajaban en un proyecto llamado TAMA300 de observatorio interferométrico con brazos de 300 m de longitud, investigadores del proyecto GEO600, una colaboración entre Gran Bretaña y Alemania para otro observatorio interferométrico, los italianos del grupo AURIGA (que usan un sistema de detección diferente), la colaboración europea del observatorio interferométrico VIRGO y del grupo estadounidense que comenzaba a desarrollar las ideas del observatorio interferométrico LIGO. También participaron los investigadores del proyecto LISA, que unía a la NASA con la Agencia Espacial Europea, para construir un observatorio interferométrico situado en una órbita alrededor del Sol.

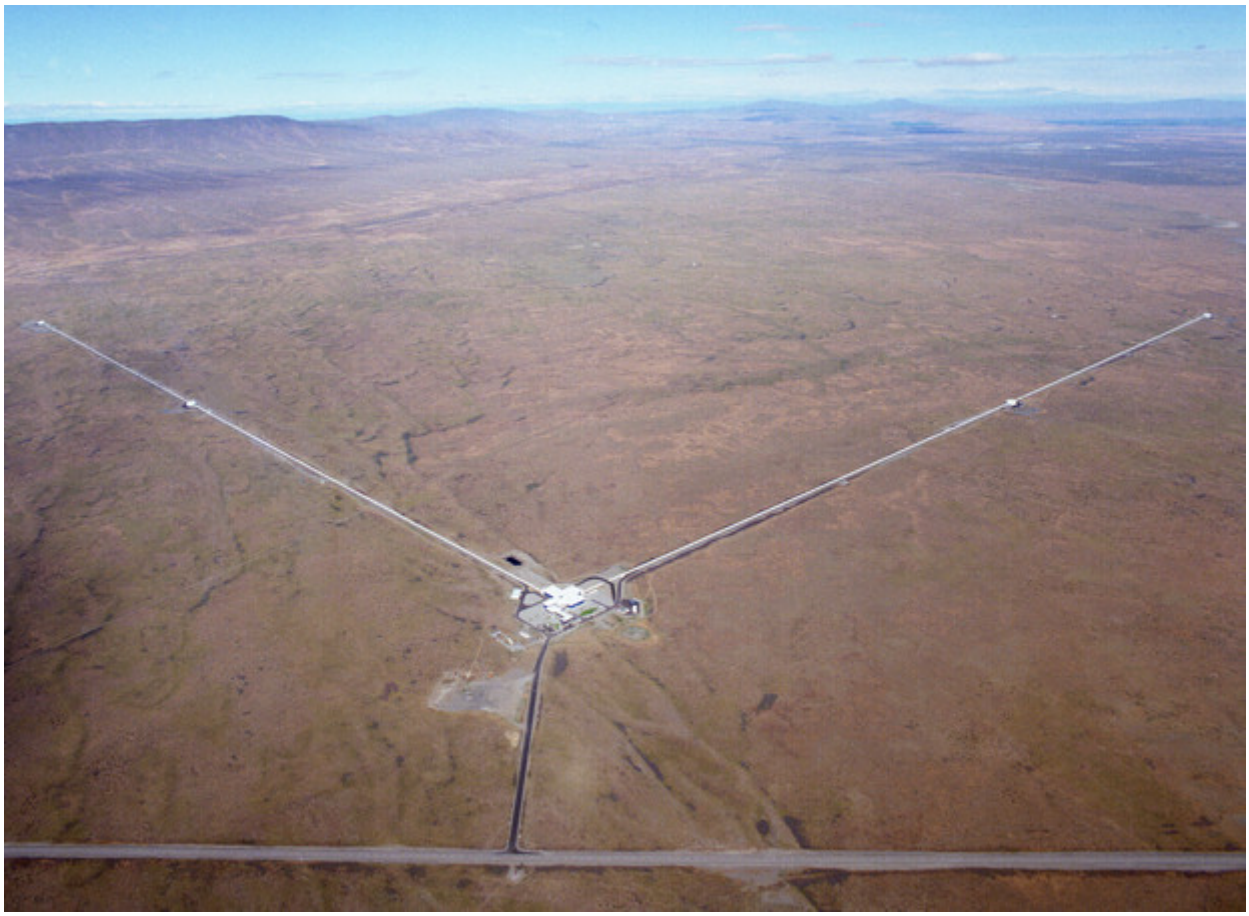

VIRGO

> *La idea del congreso era discutir los resultados preliminares y, sobre todo, las dificultades.*

La idea del congreso era discutir los resultados preliminares y, sobre todo, las dificultades presentes en la construcción de instrumentos que debían reunir cualidades contrapuestas: siendo muy grandes, debían ser al mismo tiempo ultrasensibles. Los problemas eran colosales: los espejos del interferómetro tenían que estar pulidos casi a la perfección, ser muy masivos y deformarse muy poco con el calentamiento. En los brazos del interferómetro debía haber alto vacío, para que la luz no se dispersara en las moléculas presentes. Al mismo tiempo la luz dispersada debía ser sacada del haz, por lo que los reflejos en las paredes del tubo debían eliminarse. Estas paredes deberían tener una resistencia elevada, para que la diferencia de presión entre el exterior y el interior no las aplastara. Puesto que no hay lugar en la Tierra que esté libre de vibraciones, había que diseñar sistemas de aislamiento, tanto activos como pasivos, para que las vibraciones de los espejos no provocaran falsos positivos. La radiación del láser debía ser muy potente para que no se debilitara mucho pero, al mismo tiempo, no podía ser tanta para no afectar el sistema suministrando mucha energía.

> *¡El primero que detectara una onda gravitacional tenía casi seguro el premio Nobel!*

El éxito fundamental del congreso fue unir investigadores de grupos potencialmente competidores (¡el primero que detectara una onda gravitacional tenía casi seguro el premio Nobel!) que compartieron abiertamente ideas, resultados y dificultades. Este congreso sin dudas le dio un impulso a la investigación científica y al desarrollo de la tecnología aplicada. De todos, el proyecto más interesante y el más fructífero fue LIGO (Laser Interferometric Gravitational-Wave Observatory). El proyecto es impresionante: dos observatorios basados en interferómetros de Michelson, situados a 3000 km de distancia uno del otro, uno en la Luisiana y el otro en el estado de Washington, cada uno con brazos de cuatro km de longitud. Dentro de estos brazos (que están como dijimos a alto vacío) un juego de espejos garantizan que por reflexiones sucesivas la longitud efectiva sea de alrededor de 1600 km. El sistema de detección es muy preciso, permitiendo medir variaciones de la energía luminosa que llega a él provocada por oscilaciones increíblemente pequeñas. Al mismo tiempo un sistema muy avanzado de procesamiento de los datos permite excluir falsos positivos provocados por las vibraciones que generan una tormenta que bata las costas de la Antártida, o los pequeños terremotos que están ocurriendo continuamente en toda la Tierra, o el movimiento de un camión de reparto en alguna carretera cercana.



LIGO (Laser Interferometric Gravitational-Wave Observatory)

El primer diseño de LIGO no permitió detectar ondas gravitacionales, pero sí permitió entender

mejor el trabajo de la instalación y cómo mejorarla. La instalación original estuvo trabajando nueve años, hasta el año 2010, dando un conjunto extraordinario de información y nuevas ideas pero cero resultados positivos en cuanto a detección. En base a la experiencia se perfeccionó todo el sistema, recibiendo el nombre de aLIGO (a por advanced, avanzado). Y comenzó sus pruebas a mediados de 2015.

> *El 14 de septiembre de 2015, los observatorios de aLIGO detectaron un evento promisorio.*

El 14 de septiembre de 2015, a las 5:51 am, hora del este de los EEUU, los observatorios de aLIGO detectaron un evento promisorio. Un trabajo frenético de procesamiento de la información registrada y de comprobación de los resultados por todos los miembros de la colaboración, que incluye al equipo de GEO, de VIRGO y del consorcio australiano para la astronomía gravitacional interferométrica condujo, el 11 de febrero de 2016, al anuncio de la detección por primera vez de ondas gravitacionales. El trabajo de los teóricos vinculados al proyecto dio una gran información del evento que generó dichas ondas: a una distancia de 1 300 millones de años luz dos hoyos negros con masas de 36 y 29 veces la masa del Sol, que giraban alrededor de un centro de masas común, fueron acercándose hasta unirse, formando un solo hoyo negro de masa 62 veces la masa del Sol. La diferencia de masas de tres veces la masa del Sol, de acuerdo con el famoso resultado de la TER ($E=mc^{2)}$, se emitió en forma de energía de las ondas gravitatorias. Las ondas viajaron durante 1 300 millones de años a la velocidad de la luz hasta alcanzar la Tierra y provocar vibraciones en los espejos de aLIGO con una amplitud de alrededor de 10^{-18} m, que fueron detectadas por los instrumentos. Ningún otro observatorio detectó la señal. Aunque no faltaron personas que dudaran de la veracidad del hallazgo, el 26 de diciembre de 2015 se detectó un segundo evento. El comunicado de prensa emitido por los organizadores del experimento el 15 de junio de 2016 dejaba saber que de nuevo el evento había sido provocado por la fusión de dos hoyos negros, aunque más pequeños, "sólo" 14 y 8 veces la masa del Sol, situados a 1 400 millones de años luz. Y los eventos seguían registrándose: el primero de junio de 2017 se daba a conocer la detección de un tercer evento. Ya no había margen para la duda, y la cercanía con la fecha de anuncio de los premios Nobel aumentaba la certeza de que personas relacionadas con este proyecto serían galardonados.

> *Se acercaba la fecha de anuncio y una noticia sacudió a todos...*

Se acercaba la fecha de anuncio y una noticia sacudió a todos los familiarizados con el tema el 27 de septiembre de 2017: se había detectado un nuevo evento de fusión de dos hoyos negros. Pero ahora, además de haber sido detectado por aLIGO, había sido detectado también por VIRGO, que había sufrido un proceso de mejora. El 3 de octubre de 2017 el comité Nobel daba a conocer su decisión: una mitad del premio iba a Reiner Weiss, mientras que la otra mitad iba a partes iguales para Barry C. Barish y Kip S. Thorne "por su decisiva contribución al detector LIGO y la observación

de ondas gravitacionales". Ronald Drever había fallecido unos meses antes, sin embargo vivió lo suficiente para ver sus ideas dar frutos, pues tuvo noticias de los dos primeros eventos de detección.

Ya tenía listo este artículo para enviarlo a la revista Ciencia y Cultura, cuando el 16 de octubre (¡ayer!) fue emitido un nuevo anuncio: LIGO y VIRGO hicieron una nueva detección de ondas gravitacionales, pero ahora el sistema emisor estaba más cerca de la Tierra. Lo impresionante es que las ondas resultaron de la fusión de dos estrellas de neutrones situadas a unos 130 millones de años luz, siendo la masa de las estrellas de entre 1.1 y 1.6 veces la masa del Sol. A diferencia de las ondas originadas por la colisión de dos hoyos negros, que duran fracciones de segundo y ocupan un rango estrecho de frecuencias, esta señal duró unos 100 s y ocupó un amplio rango de frecuencias. La detección primaria ocurrió el 17 de agosto de 2017, y simultáneamente el Gamma Ray Burst Monitor montado en el telescopio espacial Fermi de la NASA detectó una explosión de rayos gamma en una región del espacio. El procesamiento de la data de LIGO y VIRGO dio las coordenadas de la región donde ocurrió el evento con mayor precisión y más de 70 telescopios de todo el mundo, en distintos rangos de longitudes de onda (desde ondas de radio hasta rayos X y gamma) observaron simultáneamente dicha región. Y ya se han extraído resultados interesantes, publicados en un grupo de artículos de la revista Physics Review Letters y otras.

> *Las observaciones realizadas han encontrado huellas de materia sintetizada en la explosión,*

Las observaciones realizadas por el observatorio Gemini, el European Very Large Telescope y el telescopio espacial Hubble han encontrado huellas de materia sintetizada en la explosión, incluyendo átomos de oro y platino, dando una pista de dónde buscar los mecanismo de síntesis de elementos más pesados que el hierro en la naturaleza. Ha nacido una nueva época en la astronomía, que ha sido acuñada ya con el nombre "astronomía multimensajero", en la cual instrumentos disímiles situados en distintos países observarán el cosmos para continuar la extraordinaria odisea del conocimiento humano. C^2

Referencias

https://en.wikipedia.org/wiki/Michelson_interferometer

Para ganar ideas sobre cómo debe actuar una onda gravitatoria puede verse la simulación que se encuentra en https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitational_wave