

La detección de ondas gravitacionales y nuestro entendimiento del universo

Juan Carlos Degollado y
Juan Carlos Hidalgo
Instituto de Ciencias Físicas,
UNAM

La detección GW170817 indica el comienzo de una nueva era de descubrimientos. Con esta frase concluye la colaboración LIGO-Virgo el artículo en donde se reporta por primera vez la detección de una señal gravitacional emitida por el choque de dos estrellas de neutrones. Tratemos de explicar lo que significa esta frase y sus implicaciones en nuestro entendimiento del universo.

Las ondas gravitacionales son perturbaciones en el espacio tiempo que viajan a la velocidad de la luz y son producidas por fenómenos astrofísicos muy violentos como la colisión de agujeros negros, estrellas de neutrones o explosiones de supernovas. Las ondas gravitacionales son muy difíciles de detectar porque son muy débiles. Recientemente, en 2015, casi 100 años después de que Einstein predijera su existencia, fue posible detectarlas por primera vez.

Los observatorios de ondas gravitacionales son interferómetros de cuatro kilómetros de largo. LIGO (Observatorio de ondas gravitatorias por interferometría láser) consta de dos interferómetros localizados en los estados de Louisiana y Washington (Estados Unidos). El detector Virgo está localizado cerca de Pisa (Italia).

En conjunto, LIGO y Virgo reúnen alrededor de mil científicos de una veintena de países. La primera detección de ondas gravitacionales fue el 14 de septiembre de 2015 por LIGO, pues Virgo no estaba en operación. La señal gravitacional que se detectó en esa ocasión es consistente con la colisión de dos agujeros negros de aproximadamente 30 veces la masa del Sol que formaron un agujero negro al final. Las ondas gravitacionales se produjeron por esa

colisión tan violenta transportaban una energía equivalente a tres veces la masa del Sol (hay que recordar que existe una relación entre la energía y la masa de un objeto, la muy famosa fórmula). Tal cantidad de energía no nos afecta porque las ondas tienen que viajar una distancia enorme. La colisión ocurrió a 410 megaparsecs de nosotros. Para darnos una idea de que tan lejos fue, la onda gravitacional propagándose a la velocidad de la luz tardó más de 1.3 de miles de millones de años en llegar hasta nosotros!

A partir de entonces se ha informado sobre la detección de ondas gravitacionales de la colisión de agujeros negros en tres ocasiones más. La cuarta detección fue muy importante porque Virgo estaba ya en operación y con su ayuda se pudo determinar con una mejor precisión la región en el cielo en que se produjo la fusión. Cada detección ha recibido un código indicando el año, el mes y el día en que fueron detectadas; GW150914 por ejemplo, nos dice que la señal se detectó en 2015 el 14 de septiembre.

La detección de ondas gravitacionales es de tal relevancia que el premio Nobel de Física de 2017 se otorgó a Barry Barish, Kip Thorne y Reiner Weiss por su trabajo pionero para poner en marcha el observatorio LIGO. Sin embargo, ¿qué tiene de especial GW170817? Resulta que en esta ocasión lo que produjo las ondas gravitacionales fue la fusión de dos estrellas de neutrones y además se pudieron observar señales electromagnéticas producto de esa fusión.

Una estrella de neutrones tiene una masa entre 1.3 y 2.1 masas solares, pero un radio mucho menor a nuestro sol. El radio típico de una estrella de neutrones es de 12 kilómetros, mientras que el radio del Sol es 570 veces mayor. Por ello se les denomina *objetos compactos*. Los dos objetos que se fusionaron en el even-

to GW170817 tenían masas de 1.81 y 1.11 veces la masa del Sol respectivamente. Es muy difícil explicar, a partir de la fusión de agujeros negros, las explosiones luminicas que acompañaron a este evento.

Las composiciones de las estrellas de neutrones no se conoce exactamente pero varios modelos apuntan a que están formadas por una corteza sólida de núcleos de carbono y hierro. Tienen una capa intermedia formada por un superfluido de neutrones, y el centro una materia aún desconocida con densidades equivalentes a la de nucleones (partículas que se encuentran en los núcleos atómicos). La rotación de las diferentes capas en estas estrellas genera explosiones periódicas que dan lugar a señales electromagnéticas muy colimadas y dan el nombre a la estrella de pulsar. De hecho, varios pares de estrellas de neutrones en etapas tempranas de coalescencia han sido identificados anteriormente por sus pulsos. Los sistemas binarios de pulsares han servido como evidencia indirecta de la existencia de ondas gravitacionales. El sistema de estrellas pierde energía por la emisión de ondas gravitacionales y por lo tanto su periodo orbital se reduce aumentando la frecuencia a la cual se reciben los pulsos.

El descubrimiento en 1974 del primer pulsar binario y la prueba indirecta de la existencia de las ondas gravitacionales valió a Russell Alan Hulse y a Joseph Hooton Taylor el premio Nobel de física de 1993.

¿Qué fenómenos acompañaron a la emisión de ondas gravitacionales? GW170817 es un evento sin precedentes, es la primera vez que se obtiene una señal gravitacional seguida de una señal electromagnética. 27 minutos después de la llegada de las ondas gravitacionales a los interferómetros, la alerta se había enviado a miles de astrónomos solicitando que apuntaran sus telescopios en la dirección de la señal, pero

para ese momento, y tan sólo 1.7 segundos después de que las ondas gravitacionales de GW170817 fueran detectadas por Virgo, el Telescopio Espacial Fermi detectó una señal en rayos gamma (fenómeno nombrado GRB170817A), proveniente de la misma región del cielo y también asociada teóricamente con la colisión entre dos estrellas de neutrones. Por la posición de la fuente de rayos gamma, se dedujo que este par de estrellas se encuentran en la galaxia NGC4993, localizada a unos 120 millones de años luz (alrededor de 1 seguido de 21 ceros kilómetros) de la Vía Láctea en dirección de la constelación Hydra. La explosión de rayos gamma es propia de un chorro de material colimado paralelo al eje de rotación del objeto resultante por el choque de estrellas. Este material es expulsado a velocidades muy cercanas a la de la luz durante un par de segundos y es un fenómeno conocido como Destello de Rayos Gamma corto. Hasta ahora no se había descrito por completo su naturaleza.

Casi 11 horas después de la señal detectada por LIGO-Virgo, comenzaron a llegar señales en varios telescopios del hemisferio sur en las bandas ultravioleta, óptica e infrarroja, que han confirmado la existencia de una nova (explosión) generada por el material arrancado por las fuerzas de marea entre las estrellas de neutrones, durante las últimas etapas anteriores a su colisión. Esta explosión de menor magnitud y localizada en el plano de la órbita, se le denomina kilo-nova (y fue nombrada SSS17a). Las observaciones de agosto han dado una explicación definitiva de su naturaleza y han evidenciado que el choque de los núcleos superficiales en las estrellas progenitoras produjo elementos como platino y oro, cuyo origen era aún poco entendido en el contexto astrofísico. Cabe mencionar que un grupo

de astrónomos mexicanos, en la UNAM y en la universidad de California en Santa Cruz (Estado Unidos), han propuesto ya un modelo de dos estrellas de neutrones y sus eyecciones para explicar los tres fenómenos observados (GW170817, GRB170817A, SSS17a). En particular, la morelense Ariadna Murguía, una estudiante sobresaliente de investigadores de la UNAM Campus Morelos, como el Dr. Enrique Galindo del Instituto de Biotecnología, el Dr. Luis Mochán y la Dra. Gloria Koenigsberger del Instituto de Ciencias Físicas, es primer autor de este estudio que unifica la explicación del fenómeno y postula un origen común de los destellos de rayos gamma cortos, y de las kilo-novas.

Gracias a las colaboraciones entre observatorios gravitacionales y telescopios a partir de ahora seremos capaces de observar los fenómenos utilizando tanto las herramientas usuales en el espectro electromagnético como en el espectro gravitacional y esto, como bien señalaban, es el comienzo de una era de descubrimientos.

REFERENCIAS

1. LIGO Scientific and Virgo Collaborations (Benjamin P. Abbott (LIGO Lab., Caltech) et al.). "GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral" Oct 16, 2017. 18 pp. Phys. Rev. Lett. 119 (2017) no.16, 161101
2. A Murguía-Berthier et al. "A Neutron Star Binary Merger Model for GW170817/GRB 170817A/SSS17a" The Astrophysical Journal Letters, 848:L34 (8pp), 2017
3. The LIGO Scientific Collaboration and The Virgo Collaboration, The 1M2H Collaboration, The Dark Energy Camera GW-EM Collaboration and the DES Collaboration, The DLT40 Collaboration, The Las Cumbres Observatory Collaboration, The VINROUGE Collaboration & The MASTER Collaboration. "A gravitational-wave standard siren measurement of the Hubble constant" Nature (2017) doi:10.1038/nature24471


ACADEMIA DE CIENCIAS
DE MORELOS, A.C.

UN RETO PARA HOY

La respuesta se publicará el domingo
Desafíos desarrollados por: OJ. Eduardo Angel García Ramírez

Busca las soluciones cada lunes en:
www.acmor.org.mx

f [acmori](https://www.facebook.com/acmori) @acmor
 [ACMorelos](https://www.instagram.com/acmori)  [google.com/+ACMorOrgMx](https://plus.google.com/+ACMorOrgMx)



¡Feliz día del médico! En esta fecha celebramos a los médicos de todo México, gracias a todos aquellos galenos que practican su profesión haciendo honor al juramento de Hipócrates. Con el objetivo de acelerar el parto, los practicantes de la medicina azteca daban a las embarazadas una infusión de cola de tlacuache, es probable que el extracto acuoso contenga prostaglandinas que actúan como un oxitócico. La PGF_{2α}, es una prostaglandina asociada a la contracción del músculo uterino. Su estructura se muestra en la figura. ¿Cuál es el grado de insaturación de esta molécula y cuáles son los grupos funcionales que están presentes en ella?

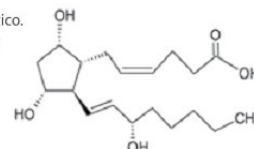


Figura de tlacuache, extraída de el libro de Tlaxcala. Imagen de http://www.digic.unam.mx/biblioteca/digic/2014_010.html