

SURFEANDO EL GRAN TRANSITORIO: ONDAS GRAVITACIONALES PROCEDENTES DE OSCILACIONES DE LOS MODOS R EN PSR J0537-6910

PSR J0537-6910, también conocido como “El Gran Transitorio”, es un púlsar muy especial que genera mucha expectación entre la comunidad astronómica. Los púlsares son [estrellas de neutrones](#) generadas a partir del colapso del núcleo de estrellas masivas que rotan a una gran velocidad. Estos objetos son extremos por muchas razones. No solamente albergan unos de los campos magnéticos más intensos en la naturaleza (más de mil millones de veces mayor que el campo magnético de la Tierra), sino que también se encuentran entre los objetos más compactos del Universo. Comprimen una masa mayor que la solar en un espacio del tamaño de una gran ciudad, lo que hace que sus densidades internas sean superiores a las de un núcleo atómico. El nombre ‘púlsar’ se deriva del hecho de que estos objetos son observados mediante la detección de pulsos de radiación electromagnética. Estos pulsos son consecuencia del hecho de que las ondas electromagnéticas se emiten de manera continua desde los polos magnéticos de la estrella de neutrones. Cuando el eje magnético no está alineado con el eje de rotación, el haz de radiación hace un barrido, como un faro, y el pulso nos alcanza cuando el haz se cruza con la Tierra (pinchar [aquí](#) para ver animaciones).

Cronometrando cuidadosamente los pulsos que llegan de la estrella, podemos medir su ritmo de rotación y cómo este ritmo cambia con el tiempo. El tiempo de evolución del ritmo de rotación puede compararse con los modelos teóricos para entender cuál es el mecanismo físico principal que disipa energía rotacional del púlsar y lo ralentiza. En particular, los astrónomos han cuantificado esto en términos de un parámetro conocido como *índice de frenado*. Si las ondas electromagnéticas ofrecen el principal mecanismo de reducción del ritmo de rotación, se espera que el índice de frenado tenga un valor cercano a 3, mientras que si la emisión de ondas gravitacionales es lo que causa esta reducción del ritmo de rotación, los valores del índice de frenado serán más elevados. PSR J0537-6910 es un joven púlsar que gira a 62 Hz (es decir, 62 veces por segundo) y se encuentra en la [Gran Nube de Magallanes](#).

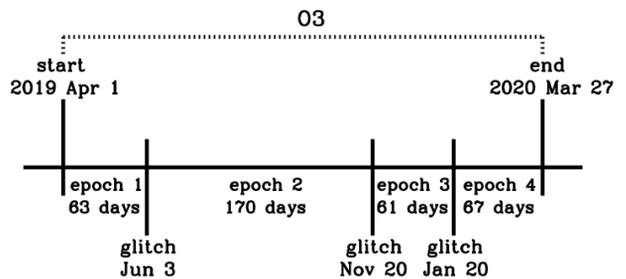


Figura 1: Línea de tiempo del periodo de observación O3 de LIGO-Virgo, así como de los eventos transitorios de J0537-6910, y de las épocas entre los eventos observadas por el telescopio de rayos X NICER (que se encuentra en la Estación Espacial Internacional).

Se ha observado que este púlsar está ralentizando su rotación rápidamente, y además sus frecuencias sufren los llamados ‘eventos transitorios del púlsar’, es decir, un aumento repentino en su ritmo de rotación (de ahí su apodo informal “El Gran Transitorio”). A diferencia de otros púlsares, PSR J0537-6910 no se ha observado mediante ondas de radio, sino que se ha detectado mediante rayos X. Como los rayos X no penetran en la atmósfera de la Tierra, es necesario ir al espacio para llevar a cabo esta detección, y así, PSR J0537-6910 fue descubierto utilizando un satélite telescopio de rayos X llamado *Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE)*, que estuvo en funcionamiento entre 1996 y 2012. En 2017, un telescopio de rayos X llamado *Neutron star Interior Composition Explorer (NICER)* se instaló en la Estación Espacial Internacional, y es el instrumento que ha sido utilizado para observar PSR J0537-6910.

Las observaciones a lo largo de los años han revelado la intensa actividad transitoria del púlsar y han permitido también medir el índice de frenado entre eventos transitorios. En particular, las observaciones de *RXTE* y *NICER* sugieren que lejos de estos eventos transitorios el índice de frenado es aproximadamente 7, cosa bastante inusual para un púlsar, y es lo que se espera si la estrella está siendo ralentizada principalmente por la emisión de ondas gravitacionales producida por las oscilaciones de los *modos r*. Un modo *r* es un tipo de onda de fluido que existe en estrellas en rotación y que se debe a la fuerza de Coriolis, como las ondas de Rossby en la Tierra, y que puede generar ondas gravitacionales. De hecho, algunas teorías sugieren que la emisión de ondas gravitacionales debida a los modos *r* es activa en púlsares jóvenes, alejándolos del elevado ritmo de rotación inicial hasta el ritmo de rotación más lento que se observa en la población general de púlsares. La medición de un valor de 7 para el índice de frenado nos sugiere que PSR J0537-6910 está todavía en la fase final de la ralentización de la velocidad de rotación causada por el modo *r*, aunque otros efectos, como por ejemplo la reducción del campo magnético, podrían ser responsables de esto.

Para poner a prueba esta hipótesis, las colaboraciones científicas de LIGO, Virgo y KAGRA, junto al equipo de *NICER*, han llevado a cabo una búsqueda de [señales continuas de ondas gravitacionales](#) producidas por los modos *r* del púlsar J0537-6910. Ya hubo un intento de búsqueda de los modos *r* de este púlsar utilizando los datos públicos del primer y segundo periodos de observación de LIGO (O1 y O2, respectivamente), pero ninguna medida de rayos X estuvo disponible durante ese tiempo. En nuestra búsqueda, hacemos uso de los datos más recientes del tercer periodo de observación de los observatorios LIGO y Virgo (conocidos como el conjunto de datos O3).

Visita nuestras páginas

web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en

www.nasa.gov/nicer



SABER MÁS:

Lee una versión accesible públicamente del artículo científico completo [aquí](#) o en arXiv.org.

Los datos de O3 tienen un nivel de ruido mucho más bajo y una calidad considerablemente mejor que los datos de O1 y O2, y más importante todavía, se solapan con las observaciones de *NICER* de PSR J0537-6910 desde 2017. Los datos de *NICER* monitorizan de manera precisa el ritmo de rotación del púlsar, permitiéndonos conocer exactamente cuándo ocurren los eventos transitorios y analizar cuidadosamente las señales de ondas gravitacionales entre estos eventos, tal y como muestra la Figura 1, para así llevar a cabo la búsqueda más sensible de una señal débil. La relación entre la frecuencia de las ondas gravitacionales y el ritmo de rotación del púlsar no se conoce de manera precisa, ya que depende de la masa y del radio de la estrella, que no son conocidos. Por tanto, es necesario buscar señales en el rango de las frecuencias de las ondas gravitacionales (entre unos 86 y 97 Hz; pincha [aquí](#) para ver una búsqueda a diferentes frecuencias). Dos métodos independientes se han usado para realizar la búsqueda. Ambos métodos consisten en comparar los datos entre los eventos transitorios con un conjunto de modelos con diferentes señales de ondas gravitacionales debidas a los modos r . Los modelos dependen de dos parámetros desconocidos de la señal: la frecuencia y el ritmo de variación de esta, y ambos están relacionados con el índice de frenado. No encontramos ninguna evidencia de una señal de onda gravitacional, pero este resultado nulo todavía nos permite establecer cotas estrictas sobre diferentes modelos teóricos para la ralentización dada por los modos r en PSR J0537-6910. En particular, obtenemos una serie de cotas superiores en la amplitud de las ondas gravitacionales emitidas por la estrella, es decir, que sabemos el valor sobre el cual nuestra búsqueda sería suficientemente sensible para detectar una emisión. La Figura 2 compara nuestra cota superior sobre la amplitud de la onda gravitacional con las predicciones de modelos teóricos para la ralentización de la rotación de PSR J0537-6910 debido a los modos r . Estas predicciones se representan con una banda, ya que la amplitud exacta depende de la masa y el radio de la estrella, que no son conocidos.

Nuestros resultados indican que estamos observando en la región predicha, y para algunos de estos métodos de búsqueda que utilizamos, especialmente para frecuencias elevadas, las cotas superiores se encuentran muy por debajo de la amplitud de las ondas gravitacionales sugeridas por los modelos teóricos. En la figura 3 presentamos nuestros resultados en términos de las cotas en la masa de la estrella de neutrones. Nuestras búsquedas excluyen la posibilidad de que PSR J0537-6910 pueda ser una estrella de neutrones de masa elevada que emita ondas gravitacionales debidas a los modos r , pero este escenario podría también ser posible para masas más pequeñas. Con el siguiente periodo de observación (O4), que se espera que comience en la segunda mitad de 2022, tendremos una nueva oportunidad para buscar ondas gravitacionales del púlsar PSR J0537-6910 con datos más sensibles de la red de los detectores LIGO, Virgo y KAGRA, y, ojalá, con observaciones precisas del telescopio de rayos X *NICER*.

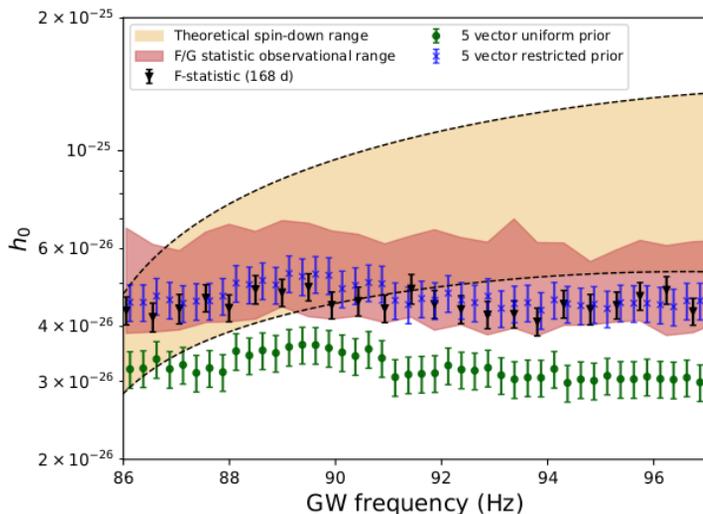


Figura 2: Cotas superiores seleccionadas para la amplitud de la onda gravitacional $h_0(f)$ (eje vertical), como función de la frecuencia de la onda (eje horizontal), obtenidas por nuestras búsquedas utilizando los métodos conocidos como el estadístico F/G y los métodos 5-vector. Las curvas discontinuas hacen referencia al rango de ralentización teórico, mientras que la región sombreada oscura marca las cotas establecidas por la búsqueda; lee el artículo para más detalles.

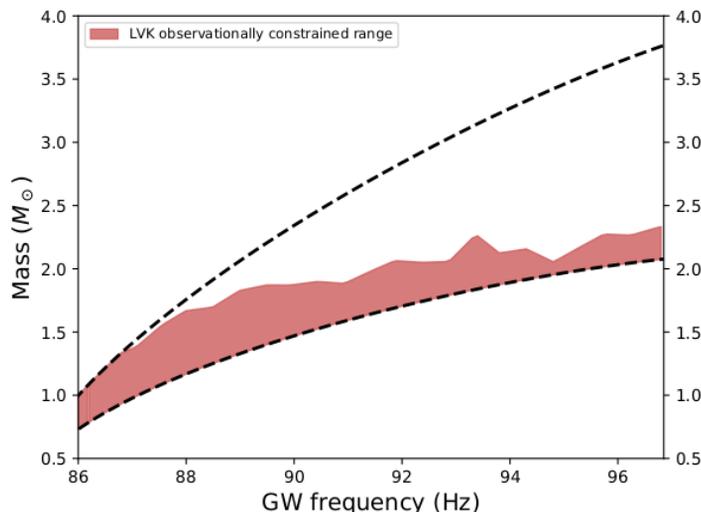


Figura 3: Cotas en la masa del púlsar J0537-6910 (eje vertical) como función de la frecuencia de la onda gravitacional (eje horizontal), bajo la suposición de que la emisión de ondas gravitacionales debida a los modos r hace que la estrella de neutrones ralentice su rotación. La región sombreada hace referencia a los valores no excluidos por la búsqueda.

GLOSARIO

Estrella de neutrones: Remanente de un proceso de supernova llevado a cabo por una estrella con una masa entre 10 y 25 masas solares. Las estrellas de neutrones típicas tienen una masa de alrededor 1-2 masas solares y un radio de 10-15 km, siendo unos de los objetos más compactos jamás descubiertos.

Onda gravitacional continua: Esta es una onda gravitacional que siempre está presente y casi siempre con una frecuencia fija, excepto en el caso de fusiones de sistemas de agujeros negros en los que la señal gravitatoria solamente es visible en un detector por un tiempo breve y que tiene una frecuencia que aumenta rápidamente. Ver [aquí](#) para más detalles.

Ralentización: Ritmo por el cual una estrella de neutrones en rotación reduce su velocidad de rotación debido a la emisión de energía.

Gran Nube de Magallanes: Una galaxia enana compañera de la Vía Láctea a una distancia de 50.000 [pársecs](#). Tanto la Gran como la Pequeña Nubes de Magallanes son visibles a simple vista en el hemisferio sur terrestre.

Modo 'R': Una onda de fluido que viaja alrededor de la estrella que se origina por la fuerza de Coriolis, debida a la rotación.