

# Todavía sin montañas en los púlsares de milisegundos

13 de julio de 2020

Las Ondas Gravitacionales (OGs) de un sistema binario de agujeros negros y un sistema binario de estrellas de neutrones han sido las responsables de los nuevos descubrimientos conseguidos con detectores de ondas gravitacionales. Pero los sistemas binarios de objetos girando uno alrededor del otro no son el único modo de generar OGs: las estrellas de neutrones en rotación se incluyen como otra prometedora fuente. Se sabe que estos objetos rotan rápidamente aunque se frenen a lo largo del tiempo, debido en parte a la emisión de OGs. Este efecto llamado spin-down es extremadamente pequeño, de modo que la frecuencia rotacional de la estrella es casi constante. Por tanto, nos referimos a estas OGs como señales de “ondas continuas”: las OGs se emiten de forma continua, y se mantienen a una frecuencia casi constante. Ya se han establecido límites superiores estrictos en la amplitud de OGs procedentes de estrellas de neutrones con rotación rápida en observaciones anteriores. Una impresión artística de una estrella de neutrones se muestra en la figura 1.

Los púlsares son estrellas de neutrones en rotación, y son muy buenos relojes: vemos sus pulsos de radio y rayos X llegar con una regularidad asombrosa, y podemos medir los tiempos de llegada de estos pulsos con gran precisión, lo que significa que podemos monitorizar su rotación o espín con precisión. Sin embargo, todavía no entendemos completamente los mecanismos físicos responsables de los cambios en sus frecuencias y spin-downs, los cuales causan pequeñas desviaciones en los tiempos de llegada regulares de los pulsos. Las OGs pueden ayudar a explicar estos cambios.

Para generar OGs, un púlsar necesita ser asimétrico en torno a su eje de rotación. Esta asimetría podría ser tan simple como una “montaña” sobresaliendo de la superficie. Hay muchas posibles causas para tales distorsiones: podrían estar “congeladas” en la corteza o el núcleo de la estrella tras el nacimiento de la estrella de neutrones a partir de una supernova; podrían haberse formado a partir de material cayendo sobre la estrella, o estar producidas y mantenidas gracias a fuerzas magnéticas extremadamente intensas. Las OGs podrían haberse generado con una frecuencia igual o doble a la de rotación de la estrella, dependiendo de la causa de la emisión. El primer caso tiene lugar si la estrella se tambalea mientras rota, o si tiene un núcleo superconductor que no está completamente aislado de la corteza de la estrella, provocando que su distribución

de densidad interna respectiva esté desalineada; el segundo caso está causado por una distorsión asimétrica.

Nuestras búsquedas de OGs no dependen de un mecanismo de formación particular. Más bien, intentan medir cualquier tipo de señal continua y atribuirla después a un proceso específico. Debido a las observaciones astronómicas de ondas de radio, rayos X, y rayos gama, conocemos la posición en el cielo, la frecuencia, el spin-down e incluso la tasa de cambio del spin-down de muchos púlsares, lo cual ayuda enormemente en la búsqueda de señales de OGs. Para estos púlsares, un objetivo importante es superar sus “límites de spin-down”; esto es, ser capaz de medir la amplitud de una OG que es más pequeña de lo predicho, asumiendo que toda la deceleración rotacional de la estrella de neutrones se convierte en OGs. Una vez que una búsqueda alcanza este nivel de sensibilidad, estamos sondeando un mecanismo de emisión física plausible, y realmente tenemos una oportunidad de detectar OGs.

Este trabajo usa datos del primer, segundo y tercer período de observación con los detectores Advanced LIGO y Virgo para establecer restricciones en la emisión de OGs de cinco púlsares, asumiendo que la emisión de OGs tiene una frecuencia igual o doble de la frecuencia de rotación de cada estrella. Aunque no hemos detectado ninguna señal, tenemos una sensibilidad que nos permite observar por debajo del límite de spin-down de dos de estos púlsares por primera vez. Es destacable que estos son “púlsares de milisegundos”, lo que significa que rotan muy rápidamente. Y como la emisión de OGs es más eficiente a altas frecuencias, estas estrellas de neutrones que giran tan rápidamente no precisan de grandes deformaciones para producir OGs detectables. Efectivamente, encontramos que el ecuador del púlsar J0711–6830, situado a unos 358 años-luz de distancia, ¡no está distorsionado con respecto a un círculo perfecto por más del grosor de un cabello humano! Estos límites superiores se pueden ver con más detalle en las figuras 2 y 3. Para púlsares más lentos, tales como el púlsar del Cangrejo o de Vela, son necesarias deformaciones más significativas para generar señales detectables. Es más probable que pequeñas deformaciones se formen y sobrevivan a la extremadamente intensa gravedad de las estrellas de neutrones que las deformaciones más grandes, así que sobrepasar el límite de spin-down para estos púlsares de milisegundos es un momento muy importante en la astrofísica de OGs.

## Para saber más:

- Visite nuestras páginas web: [www.ligo.org](http://www.ligo.org), [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu).
- Lea una versión accesible gratuitamente del artículo científico completo aquí.
- Un buen resumen del artículo sobre púlsares de Michael Kramer.
- Página de la NASA “¡Imagina el Universo!” sobre púlsares.
- Enlace a la página principal de recopilación aquí.

## Glosario

- **LIGO:** El Laser Interferometric Gravitational-Wave Observatory (LIGO) es una pareja de detectores de ondas gravitacionales ubicada en los EE.UU. Uno está situado cerca de Livingston, en Louisiana, y el otro cerca de Hanford, en Washington. Ambos son detectores interferómetros láser de gran escala, con dos brazos perpendiculares de 4 km de longitud, que intentan medir cualquier cambio en la longitud relativa de los brazos causada por el paso de una onda gravitacional.
- **Virgo:** Detector de ondas gravitacionales situado cerca de Pisa, en Italia. También es un interferómetro láser, con brazos de 3 km de longitud.
- **Sensibilidad:** Descripción de la capacidad de un detector para detectar una señal. Detectores con menores niveles de ruido son capaces de detectar señales más débiles y por lo tanto se dice que tienen una mayor (o más grande) sensibilidad.
- **Spin-down:** Los púlsares son estrellas de neutrones en rotación cuyo ritmo de rotación (también llamado espín) parece decrecer con el tiempo (equivalente a un incremento en el período de rotación).
- **Límite de spin-down:** Valor usado en la amplitud de ondas gravitacionales procedentes de un púlsar basándose en el supuesto de que toda la energía cinética rotacional perdida por la estrella mientras decrece su ritmo de rotación se invierte en radiación gravitacional. Esto requiere conocer con precisión la distancia al púlsar, mientras que en la práctica las distancias de los púlsares pueden ser inciertas hasta en un factor de aproximadamente dos. Sin embargo, sabemos que hay otros modos en que los púlsares pierden energía, en particular mediante radiación dipolar magnética, de modo que este valor es un límite superior a la señal gravitacional esperada de la estrella.
- **Período de observación:** Período en el cual los detectores de ondas gravitacionales están tomando datos.
- **Distensión:** Fracción de cambio relativo en la separación de dos puntos de medida de referencia debido a la deformación del espacio-tiempo causado por el paso de una onda gravitacional. La distensión típica del láser producida por las ondas gravitacionales más intensas que alcanzan la Tierra es muy pequeña, típicamente de menos de  $10^{-21}$ .
- **Límite superior:** El valor máximo que alguna magnitud puede tener mientras sigue siendo consistente con los datos. Aquí, la magnitud de interés es el momento cuadrupolar máximo de la estrella que podemos observar (esto está relacionado con la amplitud intrínseca de la onda gravitacional de una señal de onda continua dada llegando a la Tierra). Usamos un límite del 95 % en el grado de confianza, es decir, para unos datos

dados hay un 95 % de probabilidad de que la cantidad esté por debajo del límite.

- **Púlsar de milisegundos:** Púlsar con rotación rápida, con un período rotacional de menos de 30 milisegundos aproximadamente y con un ritmo de spin-down muy bajo.
- **Púlsar reciclado:** Pulsar que podría no girar necesariamente lo suficientemente rápido como para ser clasificado como un púlsar de milisegundos, pero que se espera que haya adquirido su alta velocidad rotacional acretaando materia de una estrella compañera.

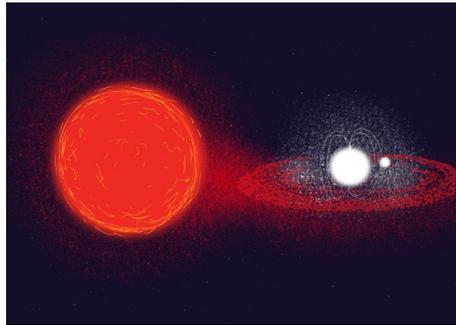


Figura 1: Esta es una impresión artística del púlsar de milisegundos PSR J1023+0038 (objeto blanco de la derecha con líneas de campo magnético). Extrae materia de su estrella compañera (objeto rojo de la izquierda) por medio de un disco de acreción (mostrado también en rojo). Créditos: Agencia Espacial Europea (ESA).

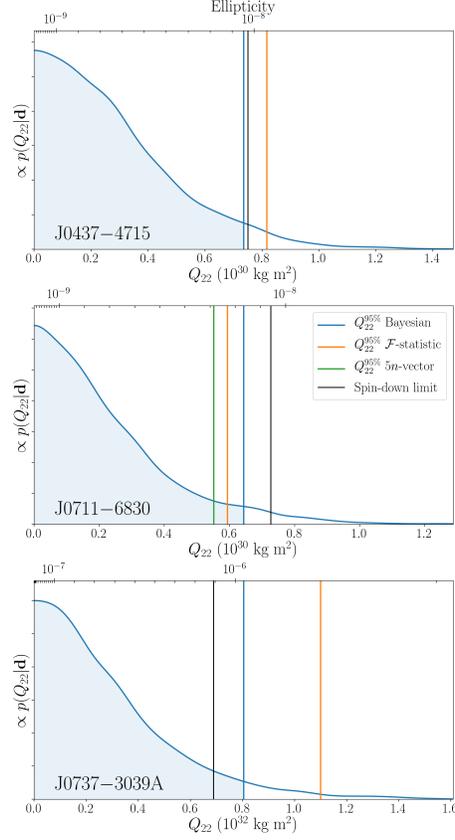


Figura 2: Restricciones del momento cuadrupolar de masa  $Q_{22}$  y elipticidad (nivel de deformación) de tres púlsares reciclados, basadas en estas nuevas observaciones. Las curvas son distribuciones Bayesianas a posteriori, de modo que el área bajo la curva entre los dos valores del momento cuadrupolar es la probabilidad de que el valor real se encuentre dentro del intervalo, dados los datos y las suposiciones del modelo. Las líneas negras verticales representan los límites del spin-down para cada púlsar, y las líneas verticales coloreadas corresponden al intervalo con un 95 % de nivel de confianza de que el momento cuadrupolar o la elipticidad esté por debajo de cierto valor. Cuando las medidas del límite superior (líneas verticales coloreadas) del momento cuadrupolar (o la elipticidad) se encuentran a la izquierda de las líneas negras, decimos que el límite de spin-down se ha superado. Para el púlsar J0711-6830, situado a unos 358 años luz de distancia, ¡la distorsión con respecto a un ecuador perfectamente esférico se ha restringido a menos del grosor de un cabello humano!

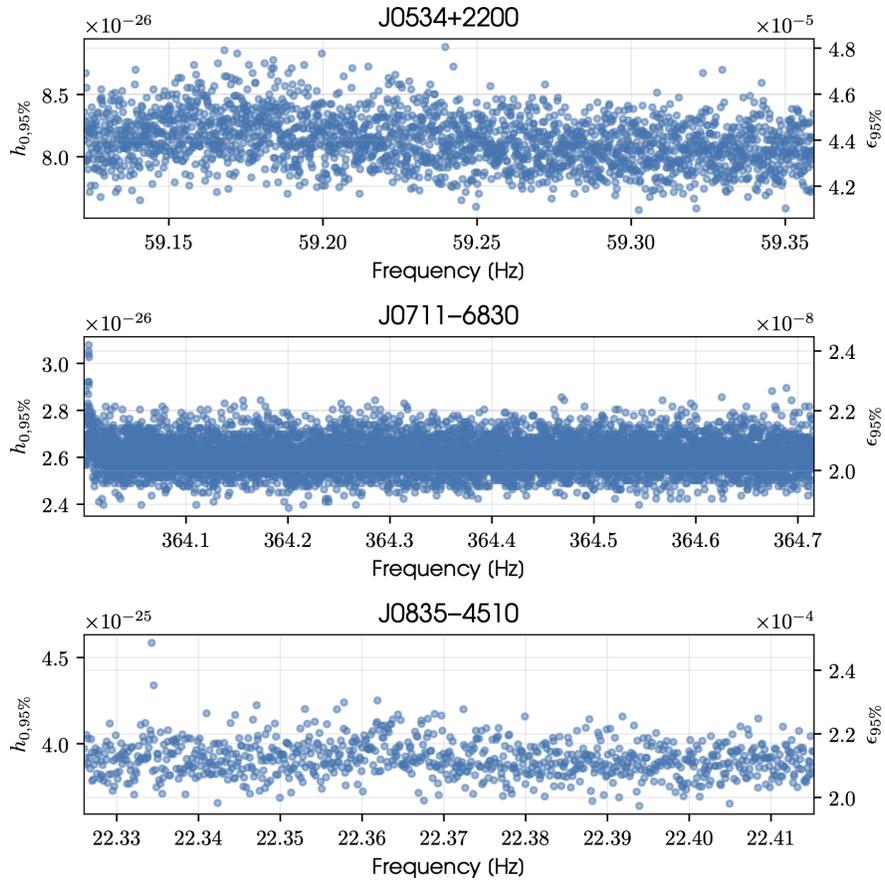


Figura 3: Límites superiores con un nivel de confianza del 95 % de la amplitud de la onda gravitacional  $h_0$  y elipticidad  $\epsilon$  de los tres púlsares analizados en el análisis de banda estrecha. De arriba a abajo, se muestran los límites superiores para el púlsar del Cangrejo, el púlsar de milisegundos para el que el límite de spin-down se ha superado, y púlsar de Vela.