

¿POR QUÉ EL PÚLSAR DE RAYOS X J0537-6910 ESTÁ RALENTIZÁNDOSE TAN RÁPIDAMENTE?

Los púlsares son **estrellas de neutrones** que giran rápidamente procedentes del colapso de núcleos de estrellas masivas. Son objetos extremos, más masivos que el Sol pero no más grandes que una gran ciudad. Sus densidades son tan elevadas que una cucharadita de material de una estrella de neutrones tendría una masa de aproximadamente 10 millones de toneladas (alrededor de la masa de una montaña de la Tierra), y sus campos magnéticos son cientos de millones a trillones de veces los de la Tierra.

Observamos púlsares debido a haces de radiación electromagnética que fluyen de manera continua desde sus polos magnéticos. Aunque esta radiación es continua, solo observamos pulsos, lo que les da a estas estrellas el nombre de “**púlsares**”. Esto se debe a que el campo magnético no está alineado con el eje de rotación del púlsar y por tanto, como un faro, solo vemos esta radiación una vez por rotación (o, para algunos casos, dos por rotación) cuando el haz se cruza con la Tierra. Actualmente conocemos alrededor de 3000 púlsares dentro de la Vía Láctea y en galaxias cercanas. La mayoría de los púlsares se observan usando radio-telescopios, aunque algunos de los púlsares más energéticos también producen una intensa radiación de alta energía en forma de **rayos X** y **rayos gamma**. Generalmente, pensamos en la luminosidad de un objeto como la energía total de toda la luz que emite. Sin embargo, podemos también pensar en la luminosidad como la cantidad de energía en cualquier forma que un objeto emite,

o pierde, con el paso del tiempo. Cuando un objeto en rotación se ralentiza, su energía cinética rotacional disminuye. Debido a la conservación de la energía, esta energía cinética debe ser disipada o radiada de alguna manera. El ritmo en que la energía rotacional del objeto disminuye es el mismo que la energía que emite, o en otras palabras, la energía perdida a la vista de la ralentización en su rotación. Hay una gran reserva de energía cinética almacenada en la rápida rotación del púlsar: si un púlsar rotando 60 veces por segundo estuviera perdiendo energía al mismo ritmo que el Sol lo hace a través de radiación electromagnética, deberían pasar alrededor de 600 millones de años para ralentizarlo hasta detenerse. Dado el consumo actual de energía de los humanos en la Tierra, ¡una fuente como esta podría alimentar nuestras necesidades durante unos 10 sextillones (10^{22}) de años! No obstante, observando el cambio en el ritmo de rotación de los púlsares sabemos que algunos están perdiendo energía mucho más rápidamente que el Sol, y una parte muy pequeña de esta energía es luz visible. Entonces, ¿qué tipo de energía de radiación es? Nos gustaría saber si una parte significativa de esta energía se encuentra en forma de radiación gravitacional.

El púlsar conocido como PSR J0537-6910 es uno de los especímenes más inusuales, o atípicos, comparado con la población general de púlsares conocidos. Su nombre se basa en su localización en el cielo en **coordenadas “ecuatoriales”** usadas por los astrónomos, con una ascensión recta de 5h 37m y una declinación de -69 grados 10 minutos de arco, y se encuentra en la **Gran Nube de Magallanes** — una pequeña galaxia “satélite” que orbita la Vía Láctea. PSR J0537-6910 es especial porque está perdiendo energía mucho más rápido que cualquier otro púlsar conocido, con una energía perdida a la vista de la ralentización en su rotación alrededor de 5×10^{31} W, unas 100000 veces la luminosidad del Sol. Además de esta elevada luminosidad, se ha observado que PSR J0537-6910 tiene una gran cantidad de eventos transitorios; un **evento transitorio del púlsar** es un fenómeno durante el cual el púlsar sufre un repentino y pequeño incremento en su ritmo de rotación.

A diferencia de muchos otros púlsares, PSR J0537-6910 no se observa mediante pulsos de ondas de radio, sino que solamente se observa a través de rayos X. Los rayos X no penetran la atmósfera de la Tierra, lo que significa que únicamente los telescopios espaciales pueden detectarlos.

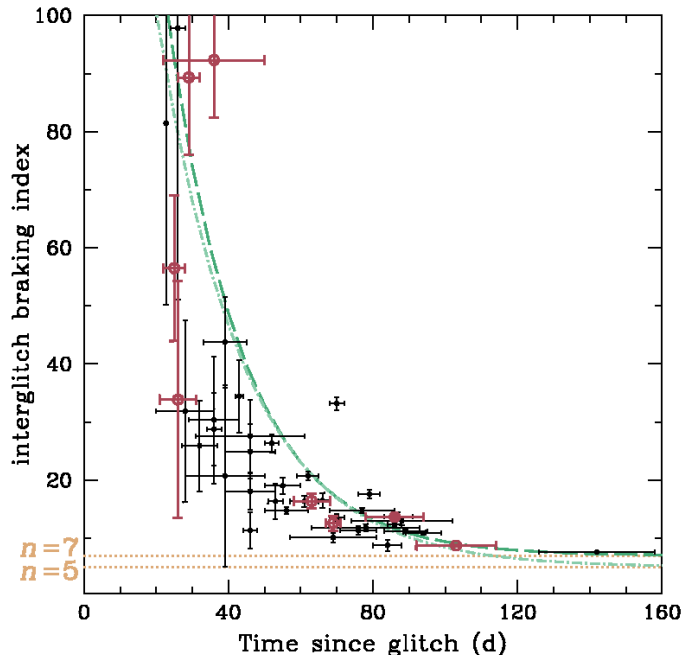


Figura 1: El índice de frenado de PSR J0537-6910 medido usando datos de rayos X durante los intervalos de tiempo entre cada evento transitorio del púlsar. Los puntos rojos y negros son valores de NICER y RXTE, respectivamente. A medida que el tiempo entre cada evento transitorio aumenta, el índice de frenado tiende a valores cercanos a 5 o 7.

Visita nuestros
sitios web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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



El púlsar fue descubierto, y posteriormente monitorizado, usando un satélite telescopio de rayos X llamado *Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE)* entre 1996 y 2012 (cuando RXTE fue desmantelado). En 2017, un telescopio de rayos X llamado *Neutron star Interior Composition Explorer (NICER)*, se instaló en la Estación Espacial Internacional. Debido a la interesante naturaleza de PSR J0537-6910, es un objetivo prioritario para la campaña de observación de NICER. Las observaciones de RXTE y NICER han revelado la inusualmente frecuente cantidad de eventos transitorios del púlsar mencionada anteriormente y también han proporcionado interesantes evidencias de cómo la estrella está perdiendo energía entre estos eventos transitorios. Un parámetro conocido como *índice de frenado* nos dice cómo un púlsar disminuye su ritmo de rotación: diferentes mecanismos de pérdida de energía que causan esta disminución proporcionan diferentes valores del índice de frenado. Valores de 5 y 7 se esperan para dos modos diferentes de emisión de ondas gravitacionales. En la **Figura 1**, las observaciones de NICER y RXTE sugieren que el índice de frenado puede que tienda hacia uno de estos valores cuando hay un largo periodo de tiempo entre eventos transitorios, lo que significa que la emisión de ondas gravitacionales es una explicación plausible para la disminución del ritmo de rotación del púlsar.

Dada la naturaleza excepcional de este objeto, 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** procedentes del púlsar. Hemos hecho uso de los datos más recientes de los observatorios LIGO y Virgo (conocidos como los conjuntos de datos O2 y O3), que se solapan con las observaciones hechas por NICER de PSR J0537-6910 desde 2017. Los datos de NICER trazan un seguimiento preciso del ritmo de rotación del púlsar entre eventos transitorios. Esto nos permite integrar coherentemente los datos de ondas gravitacionales y producir la búsqueda más sensible para cualquier señal débil. En la búsqueda, asumimos dos modelos diferentes de cómo las ondas gravitacionales podrían ser emitidas: uno en el que el púlsar tiene una asimetría cerca del ecuador (por ejemplo, una “montaña”), lo que produciría emisión al doble de la frecuencia de rotación de la estrella (y es el mecanismo que se esperaría para un índice de frenado de 5); y otro modelo en el que podría haber emisión a la misma frecuencia y al doble de la frecuencia de rotación de la estrella. Junto a observaciones de señales gravitacionales, hemos presentado también mediciones de rayos X procedentes de los eventos transitorios más recientes del púlsar. No encontramos ninguna evidencia de una señal gravitacional del púlsar, pero este resultado todavía nos permite inferir información interesante sobre PSR J0537-6910.

La **Figura 2** muestra la probabilidad de diferentes valores de la *elipticidad* de la estrella basándonos en nuestros datos, donde la elipticidad describe aproximadamente el grado de asimetría en el ecuador en comparación con el radio medio de la estrella (a grosso modo, la altura de la montaña). Esta distribución de probabilidad es consistente con una elipticidad nula pero también con pequeños valores no nulos, por lo que establecemos un “límite superior” para este valor. Establecemos un límite superior del 95% en la elipticidad sobre 0.00003, es decir, somos un 95% confidentes de que la elipticidad se encuentra por debajo de este valor. Esto puede traducirse, a grandes rasgos, a que la altura de la montaña es de menos de unas decenas de centímetros, una cantidad medida impresionante considerando que el objeto se encuentra a más de 160000 años luz (1.5 quintillones [1.5×10²⁸] de kilómetros) de distancia. Este límite superior es menor de lo que se esperaría si toda la energía perdida a la vista de la ralentización en su rotación de la estrella fuera emitida en forma de ondas gravitacionales (conocido como el límite de frenado). Se puede convertir en una energía radiada equivalente a través de ondas gravitacionales, de lo que podemos decir que menos del 14% de la energía perdida a la vista de la ralentización en su rotación de la estrella se destina a producir ondas gravitacionales. Esto significa que más del ~86% de la pérdida de energía es a través de otros mecanismos; el prodigioso campo magnético del púlsar indica que una mayor fuente de emisión es a través del mecanismo conocido como la radiación de dipolo magnético y mediante la aceleración de partículas cargadas para crear una **nebulosa de viento**. Sin embargo, podría haber también diferentes mecanismos de emisión de ondas gravitacionales en juego: ondas de materia viajando alrededor de la superficie de la estrella podrían producir ondas gravitacionales con una frecuencia de alrededor 4/3 de la frecuencia rotacional. Estas ondas de materia no se han buscado en este trabajo, pero podrían causar un índice de frenado de 7.

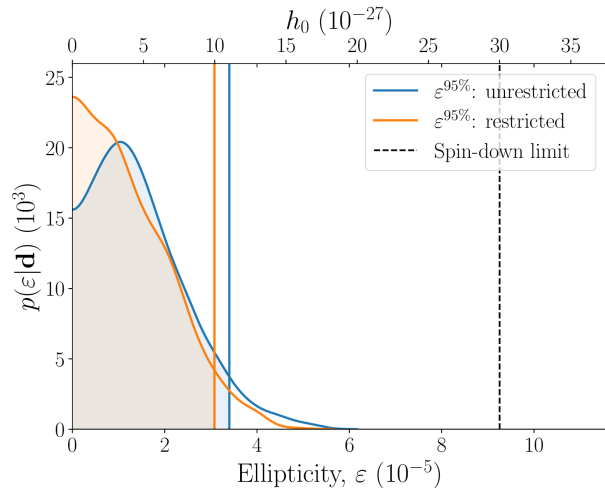


Figura 2: La distribución de probabilidad de la elipticidad de PSR J0537-6910 basada en datos de LIGO y Virgo de los periodos de observación O2 y O3. Los dos conjuntos de curvas representan las distribuciones obtenidas cuando se hacen diferentes consideraciones sobre la orientación del púlsar con respecto a la Tierra basadas en observaciones de rayos X de una nebulosa que envuelve el púlsar. Ambos casos proporcionan resultados muy similares.

SABER MÁS:

Visita nuestros sitios web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

www.nasa.gov/nicer

Lee un borrador del artículo científico completo [aquí](#).

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 colisiones 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](#) más detalles.

Coordenadas ecuatoriales: Los astrónomos definen la posición de objetos en el cielo usando el sistema de coordenadas ecuatorial. En este sistema la posición de un objeto se define por su ascensión recta y declinación, que son equivalentes a una longitud y una latitud en el cielo basadas en un plano formado por la proyección del ecuador de la Tierra en la esfera celeste.

Gran Nube de Magallanes: una galaxia enana compañera de la Vía Láctea a una distancia de 50000 **pársecs**. Tanto la Gran como la Pequeña Nubes de Magallanes son visibles a simple vista en el hemisferio sur terrestre.