ASTRONOMÍA

launion.com.mx

@uniondemorelos

SECCIÓN A CARGO del doctor Enrique Galindo Fentanes

La teoría general de la relatividad de Einstein pasa una prueba más en un púlsar doble

R. CABRERA-TRUJILLO

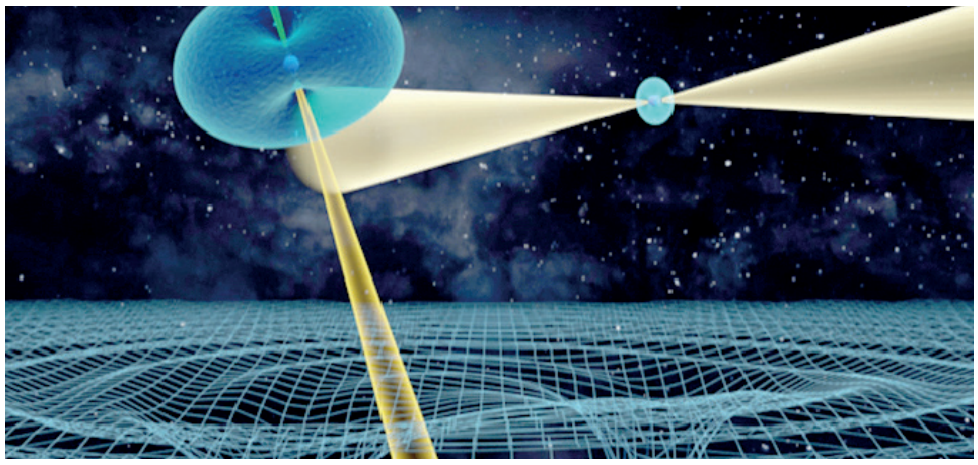

Fig. 1. Un púlsar doble es un par de estrellas de neutrones giratorias, ambas púlsares [1]. Los ha-ces de luz de cada púlsar (amarillo) se muestran saliendo a través de un campo magnético en forma de dona (azul). En la Tierra, vemos estos haces como destellos a intervalos regulares (pul-sos). A medida que los dos púlsares giran uno alrededor del otro, se emiten ondas gravitacionales (representadas por " ondulaciones" en el tejido espacio-temporal subyacente). Al monitorear los cambios en el momento de los destellos, los investigadores han medido la cantidad de energía eliminada por las ondas gravitacionales. Créditos: M. Kramer, Instituto Max Planck de Radioas-tronomía.

La teoría general de la relatividad es una teoría del campo gravitatorio y de los sistemas de referencia generales, formulada por Albert Einstein entre 1915 y 1916. El nombre de la teoría se debe a que generaliza la llamada teoría especial de la relatividad y el principio de relatividad para un observador arbitrario. La teoría general de la relatividad propone que la propia geometría del espacio-tiempo se ve afectada por la presencia de materia. La teoría de la relatividad general predice que el espacio-tiempo no será plano en presencia de materia y que la curvatura del espacio-tiempo será percibida como un campo gravitatorio. La intuición básica de Einstein fue postular que en un objeto no se puede distinguir experimentalmente entre un objeto acelerado uniformemente y un campo gravitatorio uniforme. La teoría general de la relatividad ha reformulado los campos de la astronomía, la astrofísica y la cosmología.

En astrofísica, las estrellas de neutrones son los objetos celestes más densos después de los agujeros negros. Pero a diferencia de éstos, algunas estrellas de neutrones emiten haces de radiación (luz) desde sus polos magnéticos, produciendo un efecto de *faro* a medida que giran. Al pasar estos haces de luz por la Tierra, los destellos de estos los llamamos pulsos. De ahí el nombre de púlsares [1]. Los astrofísicos se refieren a las estrellas de neutrones como súper-estrellas debido a su materia super-densa, interiores superconductores/súper-fluidos, rotación súper-rápida y gravedad y magnetismo súper-fuertes. La propiedad más relevante para las pruebas de gravedad es que los púlsares son relojes súper-precisos. Debido a la conservación del momento angular, la rotación del pulsar es notablemente estable, lo que significa que un reloj púlsar tienen una consistencia a largo plazo comparable a la de los mejores relojes atómicos de la Tierra. Además de eso, las estrellas de neutrones son casi tan compactas como los agujeros negros, lo que significa que su tictac ocurre en un espacio-tiempo altamente curvo. Con ayuda de los radiotelescopios gigantes, las astrónomos y astrofísicos pueden inferir propiedades físicas de las estrellas de neutrones [1,2].

Un grupo de investigación, liderado por Michael Kramer del Instituto Max Planck de Radioastronomía en Alemania ha monitoreado el púlsar doble PSR J0737-3039A/B, un sistema único compuesto por dos púlsares en órbita uno alrededor del otro. Se encuentra a una distancia aproximada de 1630 años luz (500 parsecs) respecto al Sistema Solar en dirección a la constelación de Puppis (La popa). Fue descubierto en el 2003 con el radiotelescopio del Observatorio Parkes (Australia). El sistema está constituido por dos pulsares de período corto. El denominado Pulsar A tiene un período de rotación de 22.7 milisegundos, mientras que su acompañante, llamado Pulsar B, rota con un período de 2.77 segundos. El sistema tiene un período orbital de 2.4 horas y se observa prácticamente de perfil desde nuestra posición. La órbita tiene una excentricidad de $\varepsilon = 0.088$ y se produce un corto eclipse de radio —de unos 30 segundos de duración— cuando el Pulsar B pasa por delante del Pulsar A. También se observa modulación orbital de la emisión de radio de B por la influencia de A. El equipo ha publicado sus datos que han acumulado por mas de 16 años [3]. El conjunto de datos mejora la precisión de las pruebas de gravedad por órdenes de magnitud y proporciona algunas nuevas. En un púlsar binario, los tiempos de llegada de los pulsos en los radiotelescopios son modificados por el movimiento orbital del binario de una manera característica [2]. Las mediciones precisas de estos tiempos de llegada a lo largo de años permiten detectar pequeños cambios en el movimiento orbital. Por ejemplo, las observaciones del púlsar Hulse-Taylor [2], el primer binario estelar conocido que contiene un púlsar, revelaron una contracción en el radio orbital y una aceleración en la tasa de rotación, evidencia de que la energía orbital se estaba perdiendo por la radiación de onda gravitacional. El pulsar doble PSR-J0737-3039A/B tiene la ventaja de que es el único binario donde ambos componentes son visibles como púlsares (véase la Fig. 1). En segundo lugar, éste está relativamente cerca de la Tierra. Además, su inclinación orbital con respecto a nosotros es fortuita porque los pulsos pasan a través del plano orbital donde los efectos del espacio-tiempo curvo son mas fuertes. Por lo tanto, el doble púlsar proporciona una ventana única en el régimen de gravedad intensa.

El conjunto de datos reportado por Kramer y sus compañeros de trabajo [3] fue tomado con seis grandes radiotelescopios ubicados en Australia, Estados Unidos, Países Bajos, Francia, Alemania y el Reino Unido. Esta combinación de telescopios observa el púlsar doble a diferentes frecuencias, en diferentes días y con diferente sensibilidad. El resultado más importante de las observaciones del pulsar doble es la prueba de la fórmula cuadrupolar que describe la pérdida de energía debido a la emisión de ondas gravitacionales en la teoría general de la relatividad de Einstein. A medida que las ondas gravitacionales se propagan y disminuye la energía orbital, el tamaño de la órbita se reduce y la rotación se vuelve más rápida. Esta aceleración se puede observar en un cambio a intervalos mas cortos entre los acercamientos en el periastro — el punto en que los púlsares están más cerca entre sí. Las últimas observaciones de Kramer y sus colegas ofrecen una precisión del 0.013% en la pérdida de energía, así como un efecto del desaceleración rotacional de los pulsares causada por la pérdida de energía a través de la radiación electromagnética. Esta precisión en la pérdida de energía de onda gravitacional es mucho mejor que la obtenida para el púlsar Hulse-Taylor (0.3%) [4], así como la medida por la Colaboración LIGO y Virgo para una fusión binaria de estrellas de neutrones (20%) [5].

Además de confirmar la fórmula cuadrupolar, Kramer y su equipo de trabajo mejoraron significativamente la precisión de otras propiedades predichas por la teoría general de la relatividad, como la prueba del efecto de retardo de Shapiro, mediante el cual un espacio-tiempo curvo hace que las señales de radio viajen durante más tiempo. Además, han medido una deformación relativista de la órbita, un acoplamiento relativista de espín-órbita entre las rotaciones de los púlsares y su movimiento orbital, y una desviación de señales de radio en el espacio-tiempo curvo de los púlsares. Todas las mediciones son consistentes con las predicciones de la relatividad de Einstein, pasando así ésta una prueba mas a mas de cien años de su formulación.

Para mayor información véase: https://es.wikipedia.org/wiki/Púlsar

J. H. Taylor, "Binary pulsars and relativistic gravity", Rev. Mod. Phys. 66, 711 (1994).

M. Kramer et al., "Strong-Field Gravity Tests with the Double Pulsar", Phys. Rev. X 11, 041050 (2021).

J. M. Weisberg e Y. Huang, "Relativistic measurements from timing the binary pulsar PSR B1913+16", Astrophys. J. 829, 55 (2016).

B. P. Abbott et al. (Colaboraciones LIGO y Virgo), "Tests of General Relativity with GW170817", Phys. Rev. Lett.123, 011102 (2019).