

TRAS EL MITO DE LAS ONDAS GRAVITACIONALES

Fotografías: LIGO



Tonatiuh Matos
Departamento de Física
tmatos@fis.cinvestav.mx

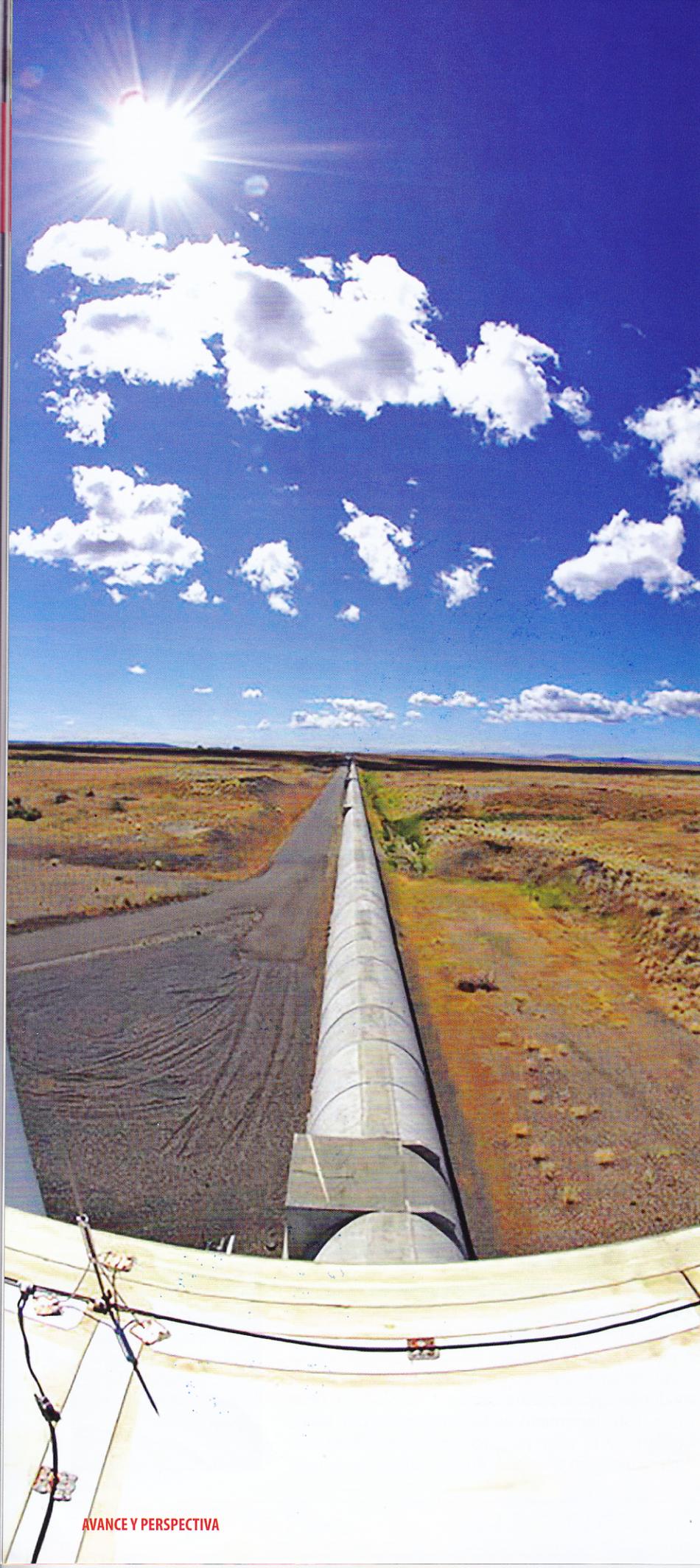
Hace algunos meses, los físicos que estudiamos la fuerza de gravedad festejamos los 100 años de la formulación de la Teoría General de la Relatividad por Albert Einstein. No terminábamos de brindar y de “chocar los caballitos de tequila” cuando el 11 de febrero el Observatorio de Ondas Gravitacionales Vía Interferometría Láser (LIGO, por sus siglas en inglés) anunció que el 14 de septiembre pasado detectó el paso de una onda gravitacional proveniente del choque de dos hoyos negros de aproximadamente 30 masas solares cada uno. El choque tuvo lugar hace unos mil 300 millones de años, en

un lugar que no quedó del todo claro, aunque se tiene una idea cercana de en qué región del universo se encuentra. Un resultado de verdad espectacular. Pero, ¿qué es una onda gravitacional?

En realidad las ondas gravitacionales fueron predichas por el propio Einstein en 1916, pero la tecnología de aquella época estaba realmente muy lejos de poder detectar un evento como este. LIGO descubrió una perturbación del espacio-tiempo que es mucho menor al tamaño de un átomo de hidrógeno, ya el avance tecnológico que esto significa es impresionante, pero la detección de la onda misma es para la ciencia mucho más espectacular.

Déjenme platicar brevemente qué es una onda de estas. Imagínense una onda causada por la caída de una piedra en un estanque de agua tranquila. La onda de agua se propaga en todas direcciones, su amplitud va decayendo conforme se aleja del punto en donde cayó la piedra debido a la disipación de la onda. Este fenómeno es bien conocido por todos nosotros y es muy parecido al fenómeno de una cuerda de violín vibrando. En este último fenómeno

En 2015 los detectores del LIGO, registraron ondas en el tejido del espacio-tiempo (ondas gravitatorias) que llegaron a la Tierra, desde un evento catastrófico en el universo distante



lo que se perturba es la densidad del aire y nosotros lo conocemos como sonido. Las ondas de radio, de televisión o de nuestro teléfono celular son de tipo electromagnético que se propagan en el vacío.

Una onda gravitacional es una perturbación del espacio tiempo. Recordemos que Einstein postuló que las fuerzas no existen, al menos la de gravedad, sino que esta "fuerza" es la manifestación de la curvatura del espacio-tiempo debida a la presencia de la materia. Esto implica que si la materia se mueve, debe perturbar el espacio tiempo, tal y como lo hace la piedra cayendo en el estanque o un dipolo magnético vibrando en el vacío. Sin embargo, la amplitud de esta onda es extremadamente pequeña, tanto que, aunque la Tierra gire alrededor del Sol y emita ondas gravitacionales a su paso, son tan pequeñas que son indetectables. Sin embargo, el choque de hoyos negros es un evento tan intenso que emite ondas que podríamos detectar.

Efectivamente, según las leyes de la relatividad de Einstein, si dos hoyos negros chocaran cerca de nuestro sistema solar, la onda proveniente de la colisión podría destruir la vida en la Tierra. Para darnos una idea de esto, recordemos la energía nuclear. Las bombas atómicas transforman, digamos un kilogramo de materia en energía para provocar tan inmensa explosión. La materia se transforma en energía a una razón dada por la famosa fórmula de Einstein $E=mc^2$. La energía generada por un pedazo de materia es igual a la masa de esa materia multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado.

El choque de hoyos negros que detectó LIGO transformó tres masas solares en energía en unas cuantas milésimas de segundo. Cuando tuvo lugar este evento, sin ninguna duda fue el fenómeno más energético del universo y seguramente pudo sentirse en toda la galaxia en donde tuvo lugar. El espacio-tiempo se modificó a su alrededor de tal forma que pudo desgarrar materialmente planetas, estrellas y todo lo que estaba a su alrededor. Por eso es que lo podemos ver mil 300 millones de años luz después de que sucedió a mil 300 millones de años luz de distancia. Afortunadamente los dos detectores de LIGO están justo diseñados para este tipo de eventos. Se pensaba que este observatorio podría detectar alguno de estos eventos en los primeros 50 años de su existencia, con suerte, uno por año. Lo maravilloso es que el nuevo LIGO inició oficialmente operaciones el 16 de septiembre de 2015 y la detección se llevó a cabo el 14 de septiembre, antes de la inauguración.

LIGO son dos interferómetros, uno en el estado de Washington y el otro en el de Luisiana, cada uno con brazos de cuatro kilómetros de largo, con un láser que corre en un tubo de vacío que se considera el mayor que se ha logrado con la tecnología moderna. En un aparato como estos, incluso las vibraciones de las



Vista panorámica de las instalaciones del LIGO en Hanford, Washington (página anterior) y Livingston, Luisiana

moléculas de los espejos, resultado de la temperatura del material, se tienen que tomar en cuenta. El logro tecnológico para controlar todos estos detalles es, ya de por sí, impresionante. Al final, LIGO detectó variaciones en la trayectoria de la luz del láser del orden de 10^{-21} , para un brazo de cuatro kilómetros de largo, lo que significa una distancia aún menor al tamaño de un átomo de hidrógeno. El laboratorio se planeó en la década de 1960 y se instaló en la de 1990. Todo este tiempo ha sido para perfeccionarlo y caracterizar el ruido proveniente de un montón de fuentes de toda índole.

Pero el resultado es grandioso, pues de aquí concluimos varias cosas. La primera es que la Teoría General de la Relatividad de Einstein es certera. Para muchos de nosotros la sorpresa hubiera sido que no lo fuera. Esto nos dice que la formulación de Einstein es correcta incluso en este punto. Segundo, el acercamiento de los dos objetos que chocaron sólo se puede explicar si estos son hoyos negros, comprobando así su existencia. También nos muestra el orden de magnitud de los eventos y que, probablemente, estos choques son mucho más comunes de lo que pensábamos antes. Pero lo más importante es que este suceso abre una nueva perspectiva para la astronomía. Permítanme dejar esto bien claro. El universo es un ente que tiene varias fuerzas que lo gobiernan (aunque, como dije antes, estas no existan).

La fuerza electromagnética mantiene unido a los átomos, las nucleares mantienen estable a los núcleos de estos átomos. Sin embargo, la que gobierna la estructura del universo es la gravedad. Hasta

ahora hemos visto al universo sólo en su espectro electromagnético: ondas de radio, microonda, infrarrojo, visible, ultravioleta, rayos X, rayos gama. Pero las ondas gravitacionales son las verdaderas portadoras de la información de la dinámica del universo. Ahora podemos soñar en ver al universo en su verdadera dimensión.

Con luz no podemos ver el origen del cosmos, solamente podemos observar el universo desde que tenía 379 mil años en adelante; mientras que las ondas gravitacionales se propagan desde el origen del cosmos y son transparentes a todo lo que pasó después. ¿Por qué las ondas gravitacionales son mejores para ver el origen del universo? De acuerdo a las teorías actuales, antes de cumplir los 379 mil años, el universo era tan caliente que toda la materia estaba en forma de plasma; y este no deja pasar la luz. Las auroras boreales y australes son hermosas figuras de plasma en el cielo, pero no podemos ver las estrellas detrás de ellas; mientras que el plasma sí es transparente a las ondas gravitacionales.

Mi impresión es que estamos en una era de avances espectaculares, me imagino que estamos como Heinrich Herz en el siglo XIX hablando de ondas electromagnéticas hace más de 100 años y hoy tenemos teléfonos celulares. Me puedo entonces imaginar que en un siglo podremos enfocar una galaxia en ondas gravitacionales y ver bien su materia oscura, o la energía oscura de un cúmulo de galaxias, o el momento mismo de la creación. Así es la perspectiva que se abrió con este evento: la era de la Gravitoastronomía ha iniciado. ☺