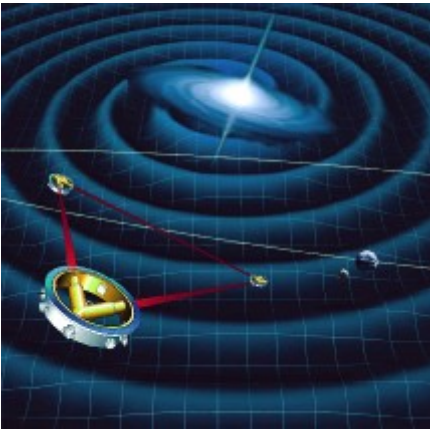


TENDENCIAS CIENTÍFICAS

La primera observación de las ondas gravitacionales es inminente

Será uno de los descubrimientos más esperados de la física moderna que revolucionará la astronomía

El detector de ondas gravitacionales GEO 600, un proyecto científico de Alemania y el Reino Unido, acaba de entrar en una fase de observación y medida continuas que durará 18 meses. Su misión es detectar de manera directa lo que nunca antes ha sido detectado, las elusivas ondas gravitacionales, un fenómeno todavía inobservado predicho por la teoría general de la relatividad de Einstein. Las ondas gravitacionales podrían conducir a una nueva era en el desarrollo de la astrofísica, ya que permitirían estudiar aspectos del Universo para los que la astronomía al uso, basada en el empleo de la luz visible y de otras frecuencias electromagnéticas, ofrece sólo una información parcial. Por Mario Toboso.



En el año 1916 Einstein presentó su teoría general de la relatividad concebida como un modelo para explicar el fenómeno de la gravitación de un modo más preciso que la teoría de Newton, entonces vigente. En la teoría de Einstein los conceptos newtonianos de espacio y tiempo absolutos son reemplazados por una magnitud única: el espacio-tiempo, y la fuerza gravitacional se explica como el efecto de la distorsión o curvatura local del espacio-tiempo causada por cuerpos muy masivos.

Una de las predicciones de la teoría de la gravitación de Einstein es que toda variación brusca de la distribución de masa provocará variaciones en la configuración local del espacio-tiempo que se propagarán en forma de ondas gravitacionales. Tales ondas, arrugas en la curvatura del espacio-tiempo deben emitirlas masas en movimiento acelerado, de manera análoga a como las ondas electromagnéticas son emitidas por cargas eléctricas sometidas a una aceleración.

La producción de ondas gravitacionales se asemeja, pues, a la producción de ondas electromagnéticas. Un objeto cargado eléctricamente y en movimiento radia ondas electromagnéticas con amplitud proporcional a su carga eléctrica y a su aceleración. La

carga gravitatoria de un objeto es su masa; y así, la amplitud de una onda gravitacional será proporcional a la masa del objeto y a su aceleración.

La teoría general de la relatividad de Einstein sugiere que la Tierra se halla inmersa en un baño continuo de energía procedente de la interacción gravitatoria de estrellas y objetos celestes distantes. De acuerdo con esta teoría, la energía liberada por una gran perturbación cósmica, como pueda ser la explosión de una estrella, se propaga en forma de ondas gravitacionales que, en su avance, distorsionan la morfología de cualquier región del espacio-tiempo que atraviesen. Ante tales perturbaciones el espacio-tiempo, literalmente, tiembla.

Fuentes estelares de ondas gravitacionales

Las estrellas y otros objetos astronómicos deben emitir, pues, ondas gravitacionales. Un sistema binario de estrellas (dos estrellas que giran en torno a su centro común de masas) producirá de manera continua ondas gravitacionales. Una pequeña fracción de las estrellas binarias conocidas está formada por estrellas de neutrones en orbitas muy próximas. Una estrella de neutrones es un objeto muy denso constituido casi únicamente por estas partículas, con una masa similar a la del Sol y un radio de sólo unos 10 km (el radio del Sol es de 696.000 km). En ocasiones la estrella de neutrones es visible en forma de púlsar: una fuente giratoria que emite ondas de radio de manera análoga a cómo un faro costero emite su luz.

El nacimiento de una estrella de neutrones implica también perturbaciones notables del espacio-tiempo que deben producir brotes intensos de ondas gravitacionales. Cuando una estrella de gran tamaño agota su combustible nuclear y muere en medio de una gigantesca explosión llamada supernova, su núcleo se contrae bruscamente y forma una estrella de neutrones. Hasta un 0,1% de la masa de la estrella de neutrones se convertirá en ondas gravitacionales.

Supernovas

Las ondas gravitacionales procedentes de una supernova pueden ofrecer una nueva ventana de observación privilegiada al interior del colapso estelar, pues la radiación electromagnética producida en la profundidad del núcleo en colapso queda aprisionada en las capas exteriores de la estrella, ocultando así los sucesos más violentos. Las ondas gravitacionales, cuya interacción con la materia es tan débil que pueden escapar sin atenuación a través de dichas capas, podrían revelar las características de tales sucesos en el núcleo en colapso.

La detección de las ondas gravitacionales procedentes de una supernova podría tener, además, otras consecuencias importantes. Los investigadores están muy interesados en medir el tiempo transcurrido desde la detección de las ondas gravitacionales provenientes del núcleo en colapso de una supernova hasta la llegada de las ondas luminosas procedentes de las capas exteriores de la estrella. Si las ondas gravitacionales y luminosas llegasen simultáneamente nos hallaríamos ante una confirmación directa de la predicción relativista de que las ondas gravitacionales se propagan a la misma velocidad que la luz (300.000 km/seg). Es ésta, no obstante, una cuestión abierta que suscita la controversia sobre la velocidad de propagación de las ondas gravitacionales.

Agujeros negros

La formación de un agujero negro, o el choque de dos de ellos, puede generar también una producción intensa de ondas gravitacionales. Los agujeros negros son objetos de densidad increíble que se forman cuando una estrella en extinción, de excesiva

masa para sostenerse a sí misma, colapsa bajo su propio peso, generando un campo de gravedad tan intenso que ni siquiera la luz puede escapar a su atracción. Algunos sistemas de estrellas binarias fuentes de rayos X pueden implicar la presencia de agujeros negros. Los observatorios de ondas gravitacionales podrían confirmar esta presencia, dado que la radiación gravitatoria emitida por un agujero negro tiene una identidad característica.

Fuentes cosmológicas

Otra posible fuente de ondas gravitacionales es la Gran Explosión (Big Bang o explosión primordial que, hace unos 15.000 millones de años, según la cosmología moderna, dio origen al Universo).

La información más valiosa acerca del universo primitivo proviene actualmente de la observación del fondo cósmico de radiación de microondas, que inunda el Cosmos como resto de radiación térmica de la Gran Explosión. La detección de un fondo análogo de ondas gravitacionales revelaría nuevos aspectos de ese fenómeno inicial. Las fluctuaciones cuánticas en los primeros instantes de vida del Universo (tiempo de Planck) podrían haber dejado una impronta gravitacional detectable hoy en día.

Una detección problemática

Las ondas gravitacionales producidas en cualquiera de los supuestos anteriores dejarían trazas muy débiles al pasar por la Tierra. La premisa fundamental a la hora de diseñar un detector de ondas gravitacionales debe ser, pues, dotarlo de una sensibilidad extrema. Los primeros detectores se debieron al trabajo pionero de Joseph Weber, de la Universidad de Maryland en College Park, a comienzos de la década de 1960.

Un problema inherente a la detección de las ondas gravitacionales es, precisamente, que los dispositivos poseen una sensibilidad tan grande que cualquier otro tipo de vibración, y no sólo una onda gravitacional, puede hacer saltar los detectores. La amplia variedad de "ruido" indeseado que enmascara la detección de ondas gravitacionales incluye perturbaciones sísmicas y geológicas, el tráfico de vehículos y la actividad humana en las inmediaciones de los observatorios, vibraciones térmicas de los dispositivos de detección y perturbaciones por moléculas residuales que penetran en los haces de rayos láser cuidadosamente calibrados.

En tales condiciones adversas, para extraer los datos en bruto y poder distinguir los patrones relevantes del simple ruido ambiental se emplean potentes ordenadores y la comunicación con otros observatorios de ondas gravitacionales: LIGO, proyecto que reúne tres observatorios en EEUU: TAMA 300 (en Tokio), VIRGO (en Pisa) y GEO 600 (en Hannover). Buena parte del ruido que entorpece las mediciones se evitaría instalando observatorios de ondas gravitacionales en el espacio, una solución que se inscribe dentro del proyecto LISA, de la NASA y la Agencia Espacial Europea (ESA, cuyo lanzamiento se prevé para el año 2010).

El observatorio GEO 600

La enorme dificultad que presenta la detección de ondas gravitacionales sorprende si tenemos en cuenta que todos los días observamos con nuestros propios ojos los efectos de la gravedad estática: la caída de los objetos, el movimiento orbital de los planetas en torno al Sol, etc. Sin embargo, debemos tener en cuenta que ninguno de estos fenómenos habituales guarda relación con cuerpos que puedan generar ondas gravitacionales apreciables. Las primeras señales válidas que se detecten provendrán de objetos astronómicos lejanos, de masa mayor que la del Sol y que se muevan a velocidades próximas a la de la luz.

"Si durante los próximos meses se produce una supernova en nuestra vecindad, la probabilidad de detectar y medir las ondas gravitacionales resultantes será elevada", afirma el profesor [Karsten Danzmann](#) jefe del centro internacional para la física gravitacional, de la sociedad Max Planck y la Universidad de Hannover, en un comunicado difundido por el Particle Physics and Astronomy Research Council (PPARC).

Los datos recogidos en este proyecto europeo por el observatorio GEO 600 en Hannover se toman en comunicación con los dos observatorios del proyecto LIGO en EEUU. El observatorio GEO 600 es actualmente el interferómetro Michelson de láser más moderno del mundo. Sus haces de rayos láser, que se hallan inmersos en dos tubos de vacío subterráneos de 600 metros de longitud, poseen una estabilidad incomparable. El GEO 600 incorpora, además, un sistema altamente sofisticado de atenuación de vibraciones y un innovador sistema de amplificación de señal. Toda la tecnología desarrollada en Hannover será incorporada en la próxima generación de los observatorios LIGO.

Desde su puesta en funcionamiento en 2002, la sensibilidad del GEO 600 ha mejorado de manera continua. "En aquellos días podíamos únicamente explorar una pequeña fracción de nuestra propia galaxia, la Vía Láctea. Hoy nuestra sensibilidad se ha multiplicado por 3000 y podemos detectar sucesos a distancias mucho mayores que la distancia entre nosotros y nuestra galaxia vecina, Andrómeda (2,5 millones de años-luz)", explica Karsten Danzmann.

Una revolución a las puertas

La observación y la medición directa de ondas gravitacionales es uno de los desafíos más importantes de la física actual. Permitirá, entre otras cosas, desvelar la fracción hasta ahora inobservada del Universo constituida por la denominada materia oscura una fracción nada desdeñable del 96%. Además del acceso a la materia oscura, hará posible la observación de agujeros negros y aportará nuevos detalles al estudio del eco de la Gran Explosión. El panorama del Universo que presumiblemente revelará la detección de las ondas gravitacionales ampliará notablemente el que ha venido ofreciendo la astronomía tradicional.

Hasta la década de 1930, las ondas electromagnéticas de frecuencia óptica (luz visible) constituían la única ventana posible para observar el Cosmos. La exploración adquirió un impulso espectacular con la llegada de la radioastronomía; la apertura de las ventanas infrarroja, de rayos X y ultravioleta trajo consigo nuevos avances, al permitir el acceso a una parte de fenómenos del Universo que hasta entonces resultaban invisibles. Cada forma de radiación electromagnética ofrece una perspectiva nueva del Universo.

Las ondas gravitacionales son de una clase totalmente diferente y ofrecerán una imagen completamente nueva del Cosmos. Los observatorios de ondas gravitacionales revolucionarán el panorama actual de la astronomía y de nuestro conocimiento del Universo.

Mario Toboso es Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Salamanca y miembro de la Cátedra Ciencia, Tecnología y Religión de la Universidad Pontificia Comillas. Editor del Blog Tempus Tendencias21 y miembro del Consejo Editorial de nuestra revista.