

## Un descubrimiento en la encrucijada del Big Bang

*José Navarro Salas*

Catedrático de Física Teórica, Universidad de Valencia

El próximo año se conmemora el centenario de la teoría de la relatividad general de Einstein, su máximo logro científico y una de las dos grandes revoluciones que, a comienzos del siglo XX, cambiaron completamente la visión de nuestro universo físico. De las tres predicciones fundamentales de la teoría de Einstein: la expansión del universo, los agujeros negros y las ondas gravitatorias, las dos primeras han sido confirmadas fehacientemente. El descubrimiento de recesión de galaxias de E. Hubble en 1929 respaldó la visión de un universo que, a escala cósmica, se expande como un globo cuando se hincha. En 1964 fue descubierto por primera vez un sistema binario, denominado Cygnus X-1, y constituido por una estrella y un objeto extremadamente compacto, con las características de un agujero negro. Desde entonces se han descubierto muchos más sistemas binarios con agujeros negros. La primera evidencia indirecta de la existencia de ondas gravitatorias se produjo en el estudio de un sistema binario constituido esta vez por estrellas de neutrones, descubierto en 1974 por R.A. Hulse y J.H. Taylor. El análisis detallado reveló que la órbita del sistema se contrae lentamente perdiendo energía, en justa proporción con la que se debería emitir por radiación de ondas gravitatorias. Recibieron el Premio Nobel en 1993.

El pasado lunes 17 de Marzo los investigadores del Centro Harvard-Smithsonian de Astrofísica anunciaron la detección de ondas gravitatorias por sus efectos sobre la radiación cósmica de microondas que impregnada todo nuestro universo. La noticia ha sido portada en los periódicos internacionales más influyentes. El experimento se ha llevado a cabo en el telescopio de microondas BICEP2 instalado en la base antártica Amundsen-Scott. Constituiría la primera evidencia directa de la existencia de ondas gravitatorias. ¿Qué diferencia fundamental hay entre las ondas gravitatorias creadas por el denominado pulsar de Hulse y Taylor y las que parecen haberse detectado en el experimento de BICEP2? Aquí radica otro hecho fundamental. Las ondas generadas por el pulsar pueden explicarse perfectamente dentro de la teoría de la relatividad general de Einstein, pero el origen de las ondas gravitatorias detectadas en el nuevo experimento requieren de la teoría cuántica. Esta teoría, que nace también en los albores del siglo XX, de la mano de Planck, el propio Einstein, Bohr, de Broglie, Schrödinger, Heisenberg, y mucho otros físicos, es absolutamente necesaria para comprender y explicar la física a pequeñas distancias (moléculas, átomos, partículas subatómicas, etc) y es la base de las modernas tecnologías. El espectacular descubrimiento de la partícula Higgs en el acelerador del CERN es un claro exponente de los refinamientos de la física cuántica.

Cuando la teoría cuántica se conjuga con la relatividad general predice un efecto muy importante: se pueden crear espontáneamente partículas elementales a partir del vacío en un universo en expansión. Este crucial descubrimiento teórico fue realizado a mediados de los 60 por L. Parker, mientras trabajaba en su tesis doctoral en la Universidad de Harvard. Sin embargo, el ritmo de expansión del universo estaba muy lejos de llegar al mínimo necesario para que se creasen partículas en cantidades adecuadas para que el efecto fuera potencialmente detectable. En 1974 S. Hawking se dio cuenta de que la formación de un agujero negro es tal que este mecanismo cuántico de creación de partículas es especialmente efectivo. Los agujeros negros dejarían de ser negros y emitirían radiación térmica de todo tipo de partículas. Poco después, L. P. Grishchuk (1975) y también A. A. Starobinsky (1979) determinaron, de manera similar, la producción de gravitones, las partículas asociadas a las ondas gravitatorias (como los fotones lo son a las ondas electromagnéticas) en el supuesto de un universo que se expanda muy rápidamente. La predicción era un fondo de ondas gravitatorias con un espectro muy característico. Pero no había aún razones poderosas para creer que el universo pudiera haber tenido una fase de expansión tan rápida.

Aquí entra en juego la denominada teoría de la inflación. Fue propuesta inicialmente por A. Guth (1981) para soslayar varios problemas de la teoría del Big Bang. La radiación cósmica de fondo fue descubierta hace 50 años por A. Penzias y R.W. Wilson y es una prueba fundamental de la teoría del Big Bang. Se formó 380.000 años después del Big Bang. Debido a la expansión del universo la temperatura actual de tal radiación es de 2.7 grados Kelvin. Pero, ¿por qué la temperatura de esta radiación de fondo es tan independiente de la dirección en la que se observe? ¿Por qué el universo está tan próximo a su densidad crítica y es tan espacialmente plano? La teoría de la inflación da una respuesta muy sencilla y convincente a estas preguntas. Basta suponer que en una época muy temprana del universo éste se expandió de manera rapidísima, en un lapso de tiempo pequeñísimo. Regiones del universo que observamos ahora muy distantes estuvieron en el pasado, gracias a este proceso, muy próximas. Nuestro universo observable actual podría haber tenido un tamaño menor que las propias partículas subatómicas. Gracias también a esta rápida expansión el universo se aplanaría. Luego vendría el Big Bang caliente, la formación de la radiación cósmica de fondo, el posterior enfriamiento, y la lenta, aunque acelerada, expansión actual 13800 millones de años después. La teoría fue mejorada en los siguientes años por varios investigadores (A. Linde, A. Albrecht y P. Steinhardt, etc) y esencialmente supone la existencia de un tipo especial de materia (denominada inflatón) con propiedades repulsivas. Pero lo más notable es que esta inflación temprana del universo es el ingrediente necesario para que se puedan crear a partir del

vacío los gravitones, u ondas gravitatorias, en cantidades significativas. También se crean perturbaciones asociadas al tipo de materia (inflatón) que supuestamente produce la inflación. Estas perturbaciones son responsables de las irregularidades del fondo cósmico de microondas que fueron detectadas por primera vez por el satélite COBE, así como de las variaciones de densidad del universo primitivo que han generado la diversidad de estructuras (galaxias, cúmulos, estrellas, planetas, etc) de nuestro universo actual.

Las ondas gravitatorias producidas durante la etapa inflacionaria del universo influirían de manera muy característica en sutiles propiedades de la radiación de fondo de microondas. Tal efecto no había sido aún detectado. Los científicos que lideran el experimento BICEP2 han anunciado un resultado positivo, después de descartar otros posibles orígenes. De confirmarse, y validarse por otros proyectos experimentales, constituiría uno de los descubrimientos científicos más importantes de las últimas décadas, que se produce en la intersección de la relatividad general y la teoría cuántica, y que empieza a desvelar el origen del universo, instantes antes del Big Bang.