



PUERTOS

# EINSTEIN Y LA COSMOLOGÍA DEL SIGLO XXI

MANUEL  
PEIMBERT\*

*\*Físico. Realizó sus estudios doctorales en el Departamento de Astronomía, en la universidad de California. Premio Nacional de Ciencias y Artes en el Área de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, 1981. Actualmente es profesor investigador en el Instituto de Astronomía de la UNAM.*

Para resolver las ecuaciones de campo de la teoría general de la relatividad, Einstein introdujo, en 1917, la repulsión cosmológica gravitacional por medio de la “constante cosmológica lambda”. Dicha constante modifica la ley de la gravitación con un término de repulsión que, a grandes distancias, puede contrarrestar la atracción gravitacional. Asimismo le permitió encontrar solución a las ecuaciones de campo, según la cual el universo permanecería casi estático, como se creía en esa época.

Para 1922, Alexander Friedmann resolvió las ecuaciones de campo de Einstein sin necesidad de introducir la mencionada constante, y las soluciones halladas indicaban que el universo podía estar en expansión o en contracción. Siete años más tarde Hubble descubrió que el universo está en expansión y a partir de esta observación la mayoría de los cosmólogos adoptó las soluciones en expansión de Friedmann con lambda igual a cero para el modelo del universo. A esto se le llamó “modelo homogéneo en expansión” de la teoría general de la relatividad, ahora conocido como el Modelo de la Gran Explosión. Se cuenta que cuando Einstein se enteró de que el universo se encontraba en expansión dijo que la introducción de la constante cosmológica a sus ecuaciones de campo había sido “el mayor error de su vida”.

Desde el momento en que Einstein introdujo la lambda en sus ecuaciones, en 1917 y hasta 1998, la existencia de la constante cosmológica fue controversial, pero en este año se observó que el universo

está en aceleración. Este resultado se obtuvo al determinar las distancias a galaxias muy lejanas a partir de la luminosidad de las supernovas que explotan en ellas; estas distancias, combinadas con las velocidades de alejamiento de las galaxias, parecen implicar que el universo observable contiene una constante cosmológica, que podría deberse a una pequeña densidad de energía positiva del vacío que contrarresta la atracción gravitacional y acelera la expansión del universo.

Los últimos resultados sugieren que, en el presente, casi 70% de la densidad de energía del universo observable se debe a lambda y sólo 30% a la materia. Estos resultados implican que el universo observable se expande cada vez con mayor rapidez; es decir, que la velocidad con la que se alejan los cúmulos de galaxias muy lejanas del cúmulo en el que se encuentra nuestra galaxia aumenta con el paso del tiempo.

En el año 2000, a partir de un método completamente diferente basado en el estudio de las fluctuaciones de temperatura de la radiación de fondo, se confirmó el resultado de 1998. Con este método se volvió a encontrar que alrededor de 70% de la densidad de energía del universo en este momento de su historia se debe a la lambda de Einstein, también llamada presión negativa. Si con el transcurso del tiempo esta presión negativa fuese constante se debería a dicha lambda.

Ahora bien, si suponemos que lambda no es constante y que varía con el tiempo, entonces determinaría un futuro diferente para el universo





observable. En otras palabras, para predecir el futuro del universo es necesario determinar las propiedades de  $\lambda$ .

Para comprender la historia del universo es necesario saber cuáles son sus componentes principales y qué fracción de energía contiene cada componente. Los tres componentes principales son la materia bariónica (que incluye todo lo que esté formado por los átomos de la Tabla Periódica de los elementos, y por consiguiente todos los objetos de la Tierra, incluso los seres humanos), la materia no bariónica (que está distribuida en los halos de las galaxias, principalmente, y constituida en su mayor parte por partículas elementales desconocidas), y la densidad de energía del vacío, llamada energía oscura, que corresponde a la constante

un alejamiento de los demás cúmulos; es decir, no existe un cúmulo privilegiado en el universo observable.

Una analogía en dos dimensiones del universo en expansión nos la presenta un globo a medio inflar con puntos en su superficie, cada punto representaría un cúmulo de galaxias, al inflarse más el globo todos los puntos se alejarían unos de otros, y ninguno sería el centro de la expansión, por tanto, ninguno sería un punto privilegiado.

Uno de los problemas centrales de la cosmología consiste en determinar la geometría del universo. Queremos saber si nuestro universo tiene curvatura positiva, curvatura negativa o si es plano, sin curvatura. Si la densidad de energía del universo fuese muy grande viviríamos en un universo con



Fragmento de la serie Este - Oeste Berlin

cosmológica de Einstein.

Desde tiempos de Copérnico los astrónomos han tratado de buscar modelos del universo que sean cada vez más generales y que no dependan del lugar en el cual el observador esté situado. Los astrónomos han establecido el principio cosmológico que se puede expresar como “No existe un lugar privilegiado en el universo”. La expansión del universo cumple con ese principio ya que desde cualquier cúmulo de galaxias observaríamos

curvatura positiva que, en dos dimensiones, sería como la superficie de una esfera. Si la densidad de energía fuese muy pequeña viviríamos en un universo con curvatura negativa, lo que, en dos dimensiones sería como la superficie de una silla de montar. Si el universo no tuviese curvatura, en dos dimensiones sería una superficie plana, y a su densidad de energía le llamaríamos “crítica”.

En la actualidad la densidad de energía debida a la materia bariónica es igual a 4% de la densidad



crítica. La densidad de energía de la materia no bariónica es igual a 26% de la densidad crítica y la densidad de energía oscura, que corresponde a la lambda de Einstein, es casi igual a 70% de la densidad crítica. Esto es, la densidad de energía total debida a las tres componentes presentes en el universo, es aproximadamente igual a la densidad crítica, lo cual quiere decir que vivimos en un universo plano o euclidiano. Si hubiese un poco más de energía viviríamos en un universo con curvatura positiva y si hubiese un poco menos de energía viviríamos en un universo con curvatura negativa.

El estudio y la comprensión de la materia oscura no bariónica con toda probabilidad ocu-

paría a los astrónomos y a los físicos cuando menos los primeros veinte años del siglo XXI. La comprensión y el estudio a fondo de la energía oscura relacionada con la lambda de Einstein de seguro les tomaría a los científicos la mayor parte del siglo.

La introducción del término lambda en las ecuaciones de campo de la teoría de la relatividad general, no sólo no ha sido el mayor error en la vida de Einstein, sino que ha resultado ser uno de sus mayores aciertos. El comprender el significado de la constante cosmológica lambda, así como su variación, con el tiempo se ha convertido en uno de los problemas abiertos más importantes con los que se enfrenta la cosmología del siglo en curso.



*Fragmento de la serie Este – Oeste Berlín*