
La energía del espacio vacío y la expansión del universo

Antonio Fernández-Rañada
1 marzo, 2000

Varias observaciones astronómicas recientes y nuevos análisis de otras anteriores apuntan a una conclusión inesperada y del todo contraria a las ideas establecidas: la expansión del universo se está acelerando (o, al menos, lo hizo alguna vez en el pasado). Esto es extraño pues cabe esperar que se frene a causa de la atracción gravitatoria entre las galaxias, necesariamente opuesta a la inercia de la explosión. Sin embargo, estos nuevos datos parecen indicar que las galaxias lejanas se repelen, incrementando así la velocidad de la gran explosión universal. La revista Science lo declaró descubrimiento del año 1998 y un nuevo estudio, publicado en Nature en septiembre pasado, lo confirma, precisando que los datos indican que el universo se expandirá por siempre y es de un tipo «que parece requerir un grado de ajuste fino de las condiciones iniciales [en el big bang] en conflicto con la sabiduría común» (los científicos suelen preferir que el estado inicial del universo no tenga nada de especial, que sean las leyes naturales las responsables de cómo es ahora).

La única manera de acercarse a una explicación es que sea el espacio mismo lo que produzca la repulsión, por estar repleto de algún material de tipo completamente nuevo y con propiedades muy

especiales.

Que la gravedad pueda repeler además de atraer es una posibilidad ya considerada por Einstein en 1917 como un medio de evitar que el universo, al que él creía estático, colapse por el efecto de la atracción gravitatoria de sus partes, o sea de su propio peso. Por ello añadió a sus ecuaciones un término caracterizado por una segunda constante gravitatoria (además de la G de Newton), a la que llamó Λ o constante cosmológica, que implicaba una repulsión a distancias grandes. Así consiguió evitar el indeseado colapso. Pero, cuando el norteamericano Edwin Hubble descubrió en 1929 que el universo no es estático sino dinámico y está en expansión, Einstein rechazó su constante cosmológica como el mayor error de su vida, al comprender que, de no haber confiado en ella, podría haber predicho él mismo la expansión del universo antes que Hubble. Sin embargo, la Λ fue recuperada más tarde ante algunas indicaciones de que está relacionada con una misteriosa energía que se extiende por todo el espacio.

La idea de espacio vacío es menos simple de lo que parece, no en vano lleva veinticuatro siglos resistiéndose a ser entendida. Aristóteles negó la mera posibilidad de su existencia. Su rechazo, establecido durante mucho tiempo en la tradición filosófica con la fórmula «la naturaleza tiene horror al vacío», fue un serio obstáculo para la aceptación de la teoría atomista de la materia, pues ésta implicaba «átomos moviéndose en el espacio vacío», en palabras de Demócrito. Aunque los experimentos de Torricelli sobre la presión atmosférica probaron ya en el siglo XVII que puede haber espacio sin materia, se pretendió salvar la idea del mundo como plenum gracias al éter, hipotética sustancia sutilísima que se suponía lo llenaba todo, en cuyo seno se movía la materia ordinaria desde los átomos a los planetas y cuyas vibraciones eran la luz y las demás ondas electromagnéticas. Pero fue eliminándose poco a poco de la física por resultar inobservable, hasta que Einstein sentenció su carácter de ficción inútil, al afirmar que sólo servía «para poner un sujeto al verbo vibrar». Aristóteles había sido al fin derrotado: puede haber espacio sin nada que lo ocupe. Pero, justo en ese momento, apareció otra forma de horror al vacío, mucho más sutil que la anterior, que se manifiesta en lo que los físicos conocen como energía del punto cero.

La cosa fue así. En diciembre de 1900, Max Planck inauguró la física del siglo XX al presentar en la Academia de Ciencias de Berlín su famosa ley de la radiación del cuerpo negro, basada en la hipótesis de que la luz (y las demás ondas electromagnéticas) intercambian energía con la materia de modo discontinuo, en paquetes de valor $h\nu$ (o sea igual al producto de la frecuencia ν , es decir el número de vibraciones por segundo, y h , la hoy llamada constante de Planck). Curiosamente, le disgustaba su propia idea, diciendo más tarde que la había tomado en «un acto de desesperación» por no hallar otra manera de resolver el problema de la radiación del cuerpo negro. Intentó prescindir de ella mediante una segunda y diferente prueba de su ley, pero no sólo se vio obligado a confirmar lo que no quería admitir sino que encontró algo aún más extraño: sus nuevas ecuaciones indicaban que una extraña energía se extiende por todo el espacio, incluso en ausencia de átomos, y además con la desagradable propiedad de ser infinita. Era algo completamente absurdo, ¿cómo podría ser infinita esa energía y haber pasado desapercibida hasta entonces? Planck recurrió a un viejo truco para salir del trance: si algo molesta se prescinde de ello, cosa no difícil en ese caso pues tal energía parecía no actuar sobre la materia, estaba allí simplemente. Pero poco después, en 1913, Einstein y Stern escribieron un artículo cuya conclusión enunciaron de modo claro si bien prudente: «Esa energía

probablemente existe».

La energía del punto cero tomó carta de naturaleza a partir de la década de los veinte como una consecuencia inevitable de las nuevas leyes de la física cuántica. Se hizo claro entonces que se debe a que en cualquier punto del espacio brotan y desaparecen constantemente partículas virtuales, es decir, creadas por las fluctuaciones cuánticas del espacio, que viven sólo durante instantes brevísimos (¡millonésimas o billonésimas de segundo, o menos aún!). Entendida de ese modo, la energía del vacío es algo así como una efervescencia o borboteo de pares electrón-positrón, fotones y otras partículas, que nacen sin cesar de modo espontáneo para ser absorbidas de inmediato. O sea, que el espacio vacío está muy lleno, es una sede frenética de rapidísimos procesos cuánticos y donde parece no haber nada, ocurren muchas cosas. A Aristóteles le hubiera gustado esta sutil e inesperada confirmación de su idea. Durante algún tiempo, esta energía fue una compañera indetectada de la teoría cuántica. Más tarde pudieron observarse algunas de sus consecuencias, como los llamados efectos Lamb (una energía adicional pequeñísima de algunos estados del átomo de hidrógeno) y Casimir (la atracción entre dos placas metálicas colocadas muy cerca la una de la otra). Su caso se hace más sorprendente aún al comprobar que parece estar casi desacoplada del mundo ordinario: a pesar de ser supuestamente infinita su manifestación medible es increíblemente pequeña.

Podemos entender cómo es esa energía pensando en la vibración de una cuerda de guitarra. Cuando un músico la pulsa, oímos un sonido fundamental superpuesto a sus armónicos, que van disminuyendo progresivamente en intensidad. Pues bien, imaginemos una cuerda tal que, aun sin nadie que la toque, vibrase espontáneamente, con todos sus armónicos en intensidad no decreciente, de modo que la suma de las energías de todos juntos fuese infinita. Pues algo así es el espacio vacío según la física actual: una superposición de infinitas vibraciones. Sin embargo, salvo en unas pocas situaciones, no podemos oír esa intensa música.

¿Cómo podría ese espacio vacío, entendido como mar de partículas virtuales, explicar que el universo acelere su expansión? La única manera es haciendo que las galaxias se repelan, pero esto parece raro pues la gravedad siempre es una fuerza atractiva, ¿podría repeler en algunos casos? La Relatividad General ofrece una vía de explicación, pues hay en ella dos fuentes de gravedad, o sea dos cosas que la generan y que aparecen como dos términos que se suman en sus ecuaciones básicas: una es la masa-energía (identificadas según la famosa fórmula $E = mc^2$) y otra la presión. Pues bien, ocurre que, si la suma de los dos es positiva, la gravedad atrae: así sucede con la materia usual que hay en el universo. Pero si es negativa, la gravedad repele y produce un efecto análogo a la constante Λ de Einstein.

Podríamos, pues, explicar la expansión acelerada que se ha observado, si el universo estuviese lleno de un tipo de materia no usual para el que esa suma fuese negativa. Para ello sería necesario que su presión lo fuese también, lo que puede sorprender porque la presión de un gas o de un líquido es positiva. Sin embargo, la cosa no es tan rara, el espacio sería algo así como el parche de un tambor cuya tensión tiende a contraerlo y por eso se empieza a pensar que la aceleración del universo nos está diciendo que el espacio es elástico. Pero nótese que una presión negativa no contraería el universo si fuese igual de negativa en todas partes (lo que cuenta son las diferencias de presión); en cambio la gravedad repulsiva generada por ella sí lo expandiría.

Pues bien, hay argumentos que indican que el mar de partículas virtuales que llena el espacio tiene exactamente esa propiedad: la suma de los términos de masa-energía y presión es negativa. Como consecuencia, habría atracción a escalas cortas, digamos hasta algunos millones de años-luz y repulsión a escalas largas. Cualitativamente, eso coincide con los datos recientes.

Pero no se ha conseguido todavía incluir ese efecto en un modelo matemático riguroso, pues no se sabe bien cómo tratar la energía del vacío en el marco de la Relatividad General. Además, incluso a un nivel menos matemático o simplemente más intuitivo, los números no cuadran: la fuerza l deducida del vacío cuántico conduce a una energía inmensamente mayor que la requerida para explicar las observaciones.

La energía del vacío se ha investigado hasta ahora por pura curiosidad intelectual, pero sus consecuencias podrían llegar a ser muy prácticas y, por eso, se empieza a especular mucho sobre ella. En 3001: Odisea final, la última novela de la serie Odisea, Arthur Clarke nos sitúa dentro de mil años en una civilización que ha resuelto el problema de la energía gracias a poder controlar la del vacío. Dicho con todas las cautelas y el aconsejable escepticismo, quizá Clarke no sea sólo un fantaseador sino también un visionario, tal como lo fue Julio Verne.

Así parece sugerirlo el que la NASA haya firmado recientemente un acuerdo de tres años con Jordan Maclay, que fue profesor de Ingeniería Eléctrica en Chicago, con el objeto de estudiar la posibilidad de aprovechar la energía del vacío, para lo que éste ha fundado la compañía Campos Cuánticos. Su proyecto, presentado en el Foro Internacional de Tecnología del Espacio que se celebró a final de enero en Nuevo México, tiene por objeto diseñar minúsculos pistones en cavidades del orden de una décima de micra que funcionen gracias al antes mencionado efecto Casimir. Otra empresa implicada, MEMS Optical, radicada en Alabama, espera poder construir prototipos de motores pequeños pero macroscópicos uniendo cientos o miles de esas cavidades.

Muy probablemente tendremos que volver a hablar de la energía del espacio vacío. Nuestras ideas sobre el cosmos, la materia, el espacio y el tiempo se podrían ver afectadas en aspectos muy fundamentales.