

CUANDO SE ROMPE LA SIMETRÍA
(When Symmetry Breaks Down)
Alberto Mejías¹

Ruptura de la simetría electrodébil: descifrar el enigma de cómo se rompe la simetría, puede determinar la dirección futura de la Física de las Partículas.

EDWARD WITTEN. NATURE. 2004

Resumen. Se considera el carácter fundamental del problema del mecanismo de ruptura de simetría y su concordancia con el modelo estándar, para el futuro desarrollo de la Física de las Partículas.

Descriptores: modelo estándar, simetría, ruptura de simetría, supersimetría, interacciones electrodébiles, principio antrópico.

Abstract. It is considered the fundamental character of the problem of the mechanism of symmetry rupture and its agreement with the standard model, for the future development of the Physics of Particles.

Keywords: standard model, symmetry, symmetry breaking, supersymmetry, electroweak interactions, anthropic principle.

La humanidad prehistórica no necesitó ningún equipo protésico para detectar los efectos de lo que ahora se llama interacciones electromagnéticas. La luz es bastante obvia en la vida diaria y otros efectos electromagnéticos, tales como electricidad estática, relámpagos y las características magnéticas de algunas rocas, tales co-

¹ Alberto R. Mejías E. es Licenciado en Matemática, egresado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de los Andes (ULA) Mérida- Venezuela. Es profesor jubilado de la Universidad de los Andes. alrame59@gmail.com

Alberto Mejías

mo magnetita, eran bien conocidos en la antigüedad. Pero se necesita bastante tecnología moderna para descubrir, incluso, la existencia de las interacciones débiles —intentemos entender esto.

Primero se tuvo indicios de interacciones débiles con el descubrimiento de la radiactividad en 1896. Algunos núcleos radiactivos decaen emitiendo 'partículas β ', que ahora se conocen como electrones o positrones de alta energía, acelerados, de alta velocidad. Tal decaimiento nuclear β , es la más accesible ventana hacia las interacciones débiles y era la única disponible hasta mediados del siglo XX, cuando los detectores de rayos cósmicos, los reactores nucleares y los aceleradores de partículas entraron en escena.

La electricidad, el magnetismo y la luz una vez, parecían ser tres asuntos mutuamente diferentes. Su interpretación unificada, lograda en el siglo IX, condujo a los científicos a describirlos colectivamente como fenómenos 'electromagnéticos'.

El electromagnetismo parece mucho más obvio que las interacciones débiles; pero en la interpretación moderna, basada en lo que se llama el 'modelo estándar' de la física de las partículas, los dos guardan un gran paralelismo. Por ejemplo, el electromagnetismo se describe por las ecuaciones MAXWELL y las interacciones débiles son descritas por un sistema de ecuaciones muy similar, aunque no lineal, (llamadas ecuaciones YANG-MILLS). Para dar otro ejemplo, una partícula elemental, llamada fotón, es la unidad básica cuántica del electromagnetismo y partículas similares, llamadas bosones W y Z , son las unidades básicas cuánticas de las interacciones débiles. Debido a esta estrecha relación entre las interacciones electromagnéticas y las débiles, actualmente, los físicos de las partículas, se refieren a ellas, colectivamente, como las interacciones 'electrodébiles'.

¿Si las interacciones débiles son tan similares al electromagnetismo, por qué aparecen tan diferentes en la experiencia ordinaria? Según el modelo estándar, la clave es 'ruptura de simetría'. Incluso si las leyes de la naturaleza tienen una simetría

Cuando se Rompe la Simetría

tría —en este caso, la simetría entre electromagnetismo e interacciones débiles o entre el fotón y los bosones W y Z — las soluciones de las ecuaciones correspondientes pueden carecer de esa simetría.

Por ejemplo, en un líquido, un átomo podría moverse con la misma probabilidad en cualquier dirección del espacio —no existen ejes coordenados preferidos. Pero si se enfría el líquido hasta que se congele, se formará un cristal, que tiene ejes distinguidos. Todas las direcciones en el espacio son igualmente probables como ejes cristalinos; pero, cuando el líquido se congela, siempre aparecerán algunos ejes distinguidos. La simetría entre las diversas direcciones en el espacio, se ha perdido o 'se ha roto espontáneamente'.

Análogamente, según el modelo estándar, inmediatamente después de la 'gran explosión' había una perfecta simetría entre el fotón y los bosones W y Z . A las altas temperaturas que había entonces, el electromagnetismo y las interacciones débiles eran igualmente obvios. Pero a medida que el universo se enfriaba, sobrevino una fase de transición, algo análoga a la que sucede al congelar un líquido, en la cual la simetría 'se rompió espontáneamente'. Los bosones W y Z ganaron masa, limitando las interacciones débiles a distancias nucleares y poniendo sus efectos fuera del alcance del ojo desasistido. El fotón permaneció sin masa, como resultado de lo cual, los efectos electromagnéticos pueden propagarse a distancias sobre la escala humana (y más allá) y son obvios en la vida diaria.

La mayoría de los aspectos del modelo estándar han sido ensayados y probados experimentalmente, con profusión. Por ejemplo, el momento magnético del electrón ha sido medido por debajo de la decima segunda cifra significativa, con resultados que están en armonioso acuerdo con la teoría. Muchas propiedades predichas, de los bosones W y Z , se han verificado hasta tres o cuatro dígitos. Más recientemente, el mecanismo por el cual el modelo estándar viola la simetría entre materia y antimateria, se ha investigado en laboratorios en California y Japón.

Alberto Mejías

La única faceta del modelo estándar que todavía no se ha podido ensayar experimentalmente es quizás la más básica: ¿cómo se rompe la simetría? Sin embargo, se tiene una idea muy clara de donde se puede encontrar tal información. Así como se puede utilizar masas atómicas y energías de enlace para estimar los puntos de fusión de cristales, se puede utilizar las masas de los bosones W y Z y otras características observadas de las partículas elementales para estimar la temperatura o la energía que los aceleradores de partículas necesitan alcanzar para explorar la ruptura de simetría electrodébil. Según estas estimaciones, la ruptura de simetría electrodébil se puede alcanzar en los más poderosos aceleradores de partículas existentes, el Tevatron de Fermilab en Chicago y el Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por su nombre en inglés), el nuevo acelerador del CERN, el laboratorio europeo de Física de las partículas cerca de Ginebra.

¿Qué se espera encontrar? En la versión (y el libro de texto) original del modelo estándar, la clave para la ruptura de la simetría electrodébil es una entidad llamada la partícula HIGGS. A altas temperaturas, las partículas HIGGS, como otras partículas, se mueven al azar. Pero, según que el universo se enfría, las partículas HIGGS se combinan en un 'condensado BOSE', un estado ordenado en el cual muchas partículas comparten la misma función de onda cuántica, conduciendo —en el caso del helio— a la superfluidez.

La simetría electrodébil se rompe por la 'dirección' del condensado BOSE (en un espacio abstracto que describe las fuerzas de las diversas partículas) de manera semejante a como la simetría rotacional se rompe por las direcciones de los ejes cristalinos. Aunque esta propuesta es simple y concuerda con los hechos conocidos, es poco probable que comprenda toda la historia. Un aparentemente artificial, ajuste de parámetros, se hace necesario para hacer la masa de la partícula HIGGS, suficientemente pequeña para que el modelo funcione.

Cuando se Rompe la Simetría

Numerosas propuestas alternativas, solucionan este problema particular, aunque introducen sus propios acertijos. Una idea, motivada por un fenómeno que ocurre en superconductores, es que la partícula HIGGS se presenta como un estado límite. Esto solucionaría el problema de conseguir su masa correcta, pero también requiere una multitud de nuevas partículas y fuerzas, que todavía no se han observado. Deberían ser perceptibles en el LHC. Hasta ahora, los modelos de este tipo han funcionado en medio de muchas dificultades, pero quizá la naturaleza sabe trucos que no conocen los humanos constructores de modelos.

Una idea más radical es 'supersimetría', una nueva estructura de la simetría de las partículas elementales, en la cual se incorporan variables cuánticas en la estructura del espacio-tiempo. La nueva simetría sorteja las interacciones de la partícula que harían la masa de la partícula HIGGS demasiado grande; pero, predice, otra vez, una multitud de nuevas partículas, que se pudieran descubrir en el LHC y, quizás, en el Tevatron.

La supersimetría es una idea sobre la ruptura de la simetría electrodébil que ha tenido éxitos realmente convincentes. Una relación entre diversas tasas de interacciones de la partícula, basadas en supersimetría está bien confirmada experimentalmente. Además, la mayoría de tentativas interesantes de unificación más completa de las fuerzas de la naturaleza ('teorías de gran unificación' y 'teorías de cuerdas') realmente funcionan sólo si se asume la supersimetría. Por otra parte, los modelos supersimétricos plantean numerosas cuestiones perturbadoras para las cuales los constructores humanos de modelos, todavía no tienen respuestas convincentes. Si la supersimetría se confirmara, entonces el aprendizaje de cómo la naturaleza se ocupa de esas cuestiones, probablemente nos dará pistas cruciales para una comprensión más profunda de la naturaleza.

Otras ideas sobre ruptura de simetría electrodébil van incluso más lejos. Una línea del pensamiento vincula este problema a dimensiones adicionales del espacio-

Alberto Mejías

tiempo, de tamaño subnuclear, pero observables en los aceleradores. Este enfoque es probablemente un tiro largo, pero la rentabilidad sería enorme —el descubrimiento de dimensiones adicionales podría permitir la ocasión para ensayos experimentales directos de la naturaleza cuántica de la gravedad y de los hoyos negros.

Finalmente, otra línea del pensamiento relaciona la ruptura de la simetría electrodébil a la energía oscura del universo, que los astrónomos han descubierto hace pocos años observando que la expansión del universo se está acelerando. Desde este punto de vista, se intenta relacionar la pequeñez relativa de la masa de la partícula HIGGS con la pequeñez de la energía oscura. Un enfoque considera al principio antrópico, según el cual la energía oscura y la masa de la partícula HIGGS toman valores diversos en diversas partes del universo y los humanos viven inevitablemente en una región en la cual esos valores son suficientemente pequeños como para permitir que la vida sea posible. Si es así muchas otras características del universo que se consideran generalmente fundamentales —tales como la masa y la carga del electrón — son también, probablemente, accidentes ambientales. Aunque se pueda esperar que esta línea del pensamiento no sea correcta, llegará a ser, inevitablemente, más popular si los experimentos demuestran que la ruptura de la simetría electrodébil está gobernada por el modelo estándar del libro de texto, con una partícula HIGGS y nada más.

Hasta ahora, ningunas de estas propuestas teóricas sobre la ruptura de la simetría electrodébil son completamente satisfactorias. Se espera que, para el final de esta década, los resultados experimentales en el Tevatron y el LHC determinarán la pista correcta. Pero la diversidad y el alcance de ideas en la ruptura de la simetría electrodébil sugieren que la solución a este enigma determinará la dirección futura de la Física de las Partículas.

Cuando se Rompe la Simetría

Referencias

GUNION, J. F. *et al.* **The HIGGS Hunter's Guide**. Perseus Books, New York, (1990).

KANE, G. **Supersymmetry: Unveiling The Ultimate Laws Of Nature**. Perseus Books, NEW YORK, (2001).

PESKIN, M. *Beyond The Standard Model* online. <http://arxiv.org/abs/hep-ph/9705479> (1997)

WITTEN, E. *When symmetry breaks down*. Nature. **429**. p. 507 (2004)