

*Materia y antimateria**

Las cuatro coordenadas espacio-temporales de una partícula elemental forman un tetraedro asimétrico. Este tetraedro no tiene ni plano ni centro de simetría, por lo que no se le puede superponer, mediante movimientos de traslación o de rotación, al tetraedro correspondiente a su imagen reflejada en un espejo plano. Los dos esquemas no superponibles representan dos enantiómeros, el uno dextrógiro (+), el otro levógiro (—). Una partícula elemental y su antipartícula constituyen un par de enantiómeros. La formación de pares partícula-antipartícula por el bombardeo de un blanco con partículas de energía cinética suficiente es debida al arracimamiento parcial de las partículas.

Las leyes que presiden la formación de los universos y antiuniversos son en todo semejantes a las leyes que presiden el prelude de la aparición de la vida en los cuerpos celestes en los que la vida es posible.

Un simple espejo plano hace de nuestra imagen un ser extraño, que no solamente tiene el corazón a la derecha, el hígado a la izquierda, etc., sino que, además, está enteramente constituido de antimateria.

Si nos acercáramos al ser «de carne y hueso» correspondiente a nuestra imagen en el espejo, nos volatilizaríamos con él en una explosión incomparablemente más violenta que la producida por la bomba de hidrógeno.

El mito de Narciso es un contrasentido.

— I —

Hasta el verano de 1956 parecía que la invariancia por respecto a la *derecha* y a la *izquierda* estaba sólidamente establecida: nada parecía distinguir a los fenómenos físicos de sus imágenes en un espejo plano.

Si bien la simetría entre la *derecha* y la *izquierda* —o simetría de reflexión— ha sido objeto de numerosas discusiones en el pasado, las leyes de la física, sin embargo, habían declarado siempre una simetría completa

* Este artículo, escrito por su autor originalmente en francés, ha sido traducido al castellano por Emilio G. Estébanez.

entre la derecha y la izquierda, imágenes la una de la otra en un espejo.

La imposibilidad de discernir la derecha y la izquierda entraña la consecuencia de que cada experiencia lleva consigo una contra-parte exactamente simétrica por respecto a un espejo.

Se puede formular este principio de simetría-espejo en la física cuántica como la ley de la conservación de la paridad. La paridad, concepto matemático que no es posible definir en términos de física clásica, se manifiesta por la simetría de la función de onda por relación a las inversiones espaciales. Ahora bien, la paridad de una partícula desprovista de spin puede ser igual bien a $+1$, bien a -1 . La experiencia muestra así que el pion es una partícula «impar», es decir, que su paridad es -1 . Las partículas dotadas de una paridad igual a $+1$ se denominan partículas «pares».

Esto supuesto, si las leyes de la naturaleza poseen la simetría-espejo, se sigue que en un sistema físico aislado la paridad de las partículas no cambiará jamás de valor. Este principio de la conservación de la paridad era tenido por tan incuestionable como, por ejemplo, el principio de la conservación de la impulsión o del momento cinético. Hasta 1956, pues, todas las experiencias habían confirmado la conservación de la paridad, lo que, por lo demás, parecía perfectamente natural, ya que la derecha y la izquierda deben ser equivalentes en la naturaleza.

En 1956, Lee y Yang llegaron a la conclusión de que, contrariamente a la opinión universalmente admitida, no existía ningún dato experimental que avalara esta simetría en las interacciones débiles. La primera experiencia decisiva fue emprendida y llevada a buen término, en el espacio de escasos meses, por un grupo de investigadores dirigido por la Sra. Wu; en ella se confirmó la no-conservación de la paridad para la radioactividad β del cobalto-60. Este ^{60}Co se transforma en ^{60}Ni con emisión de un electrón y de un antineutrino: $^{60}\text{Co} \rightarrow ^{60}\text{Ni} + e^- + \bar{\nu}$. La experiencia ha demostrado que el proceso de desintegración de ^{60}Co no posee simetría de reflexión. El mundo de los físicos se encontró como electrificado por este descubrimiento, y al año siguiente se efectuaron un número impresionante de experiencias que han confirmado la no-conservación de la paridad: a Lee y a Yang se les ha concedido el premio Nobel de Física.

Concluyamos. Antes de descubrir la no-conservación de la paridad, conocíamos dos clases distintas de simetría: la simetría por reflexión y la simetría de carga (si todas las partículas fueran reemplazadas por sus antipartículas, las leyes de la naturaleza no deberían cambiar). Ahora bien, nos encontramos con que la simetría en la naturaleza reviste una forma más sutil: las leyes no cambian si, en vez del fenómeno, consideramos su imagen por reflexión, a condición de que substituyamos todas las partículas por sus antipartículas. Así, por ejemplo, la imagen por reflexión de un protón representa un antiprotón (y no un protón, como se pensaba en la época en que aún se creía en la conservación de la paridad). En la experiencia con el ^{60}Co , la imagen por reflexión representa la desintegración del anticobalto-60, a saber, la desintegración del núcleo que contiene los antiprotones y los antineutrones, con emisión de positones en lugar de negatones. La reflexión no restituye la materia, sino la antimateria.

Brevemente, para guardar la simetría es necesario pasar de la materia a la antimateria, e inversamente en el caso de la reflexión en un espejo plano. Este principio tiene una validez absoluta: rige todas las leyes de la naturaleza.

Hasta 1968 todos los esfuerzos por explicar este extraño principio de la naturaleza han fracasado. Y han sido esfuerzos serios, habida cuenta que se trataba de un problema capital de la física teórica contemporánea: de la solución de este problema depende la comprensión en profundidad de las relaciones existentes entre materia y antimateria.

Justamente en 1968 se ha disipado el misterio: *la materia evoluciona en el espacio-tiempo, la antimateria en el anti-espacio-tiempo*¹.

— II —

El plano del *espacio* y el plano del *tiempo* gravitan sobre nosotros cada vez que queremos ordenar nuestras sensaciones y seguir la evolución de los fenómenos cuya existencia ellas nos revelan.

Podemos siempre imaginarnos un cuerpo sólido que nos sirva de cuerpo de referencia para señalar la posición de cualquier punto del espacio, por ejemplo un conjunto de tres reglas rectangularmente dispuestas entre sí y convenientemente graduadas, las cuales materializarían un sistema de coordenadas cartesianas. Igualmente, el tiempo puede definirse en relación con el movimiento de los astros por los ciclos de sistemas periódicos llamados relojes. Con estas reglas y estos relojes se puede en todo momento atribuir unas coordenadas precisas a cualquier punto material o señalar exactamente la posición u orientación en el espacio de un cuerpo sólido; más generalmente, se pueden representar todos los fenómenos por magnitudes bien localizadas en el espacio y en el tiempo. Esta descripción se realiza enteramente con la ayuda de ecuaciones diferenciales y de derivadas parciales, las cuales permiten seguir la localización y la evolución en el curso del tiempo de todas las magnitudes que definen el estado del mundo físico.

Encontramos así de nuevo la representación habitual de los fenómenos en la física clásica: se concibe otra vez el espacio y el tiempo como dos planos inmutables en los que se localizan exactamente y se desarrollan inexorablemente todos los aspectos sucesivos del mundo físico.

El desarrollo de las ideas relativistas ha inferido un duro golpe a nuestras concepciones clásicas sobre el espacio y el tiempo.

El gran público se ha interesado mucho por la teoría llamada, con bastante mal acierto, de la relatividad; a propósito de ella se han dicho muchas inexactitudes e incluso tonterías. No se puede comprender bien esta teoría a no ser que se siga con todo detalle su descripción matemática: querer explicarla en lenguaje ordinario es tanto como querer llevar una contabilidad sin cifras.

1. C. - S. DONGOROZI: *Familia*, 104, n. 11, 16 (1968).

Desde el punto de vista que aquí nos interesa, su aportación esencial estriba en haber mostrado que existen entre el espacio y el tiempo de los físicos unas relaciones totalmente insospechadas hasta entonces y por completo contrarias a nuestros hábitos de pensar. Las variables de espacio y tiempo definidas por los metros y los relojes de dos observadores en movimiento relativo el uno respecto del otro no están ligadas entre sí de la forma que hasta ahora se admitía sin discusión: dependen las unas de las otras de una manera que no es conforme a nuestras intuiciones usuales: el tiempo y el espacio son relativos al estado de movimiento del observador, el cual transporta consigo su propio tiempo y su propio espacio.

El espacio y el tiempo no adquieren existencia a no ser que se les pueda atribuir propiedades físicas: sin materia y sin energía se desvanecen.

Las nuevas concepciones relativas a la interconexión de espacio y tiempo se han impuesto a los físicos en virtud de la necesidad de explicar hechos experimentales: por sí mismos, los físicos no habrían aceptado de buena gana ideas tan sorprendentes y contrarias a sus intuiciones usuales; ha sido el estudio de fenómenos reales lo que les ha conducido a ello.

Las consecuencias que dimanar de las nuevas relaciones admitidas entre las coordenadas de espacio y tiempo de distintos observadores son, al primer golpe de vista, bastante desconcertantes; por ejemplo, para un observador en reposo un reloj anda tanto más lentamente cuanto mayor es la velocidad con que es transportado ese reloj. Ciertamente tales efectos son en general muy pequeños, imperceptibles en la mayoría de las experiencias corrientes: sólo cuando las velocidades relativas son muy grandes, como la de la luz en el vacío, pueden notarse esos efectos. No obstante, estos efectos de relatividad, como se les llama, no son en manera alguna desdeñables: su existencia entraña necesariamente ciertas modificaciones de las leyes de la mecánica, y las diferencias que implican por relación a las leyes de la mecánica clásica resultan muy importantes para los cuerpos dotados de velocidades próximas a la velocidad de la luz en el vacío. Las partículas de la microfísica alcanzan a menudo velocidades de este orden, lo que permite verificar experimentalmente la existencia real de estos efectos de relatividad. Por otra parte, la velocidad de la luz en el vacío juega un papel primordial en esta teoría: es el límite superior de velocidad que puede alcanzar un cuerpo material.

Un cuerpo que se desplazara con la velocidad de la luz se contraería hasta el punto de que su espesor llegaría a ser nulo y su tiempo se detendría completamente.

El postular el espacio y el tiempo absolutos que, al margen de los hechos de observación, son puras concepciones abstractas y metafísicas del espíritu, se parece a la actitud del filósofo que, tratando de encontrar lo infinitamente pequeño, subdivide indefinidamente con su pensamiento un decímetro cúbico de materia, sin darse cuenta que al llegar a la trisección número 28 está ya ante el átomo.

En física relativista ya no cabe el considerar el espacio y el tiempo aisladamente ni el darles un carácter universal; nadie ha visto un lugar si no es en un cierto tiempo, ni un tiempo fuera de un cierto lugar: *el espacio en*

sí y el tiempo en sí deben descender al reino de las sombras: sólo su combinación conserva una existencia independiente; esta combinación tiene una significación física precisa: representa la forma de existencia de la materia y expresa cuantitativamente la unión indisoluble entre espacio y tiempo. Todo ocurre a la manera de una combinación entre dos elementos «químicos» —el espacio y el tiempo de la física clásica—, los cuales dan lugar a un compuesto con propiedades enteramente nuevas. Este compuesto «químicamente puro» es un continuo de cuatro dimensiones, *espacio-tiempo* de Einstein o universo de Minkowski, en el que cada observador cercena a su manera su espacio y su tiempo. En este continuo se localizarán siempre exactamente todos los «acontecimientos» cuyo conjunto constituye la historia del mundo físico. Todo el pasado, el presente y el futuro se inscribirán en este cuadro espacio-temporal y cada observador los verá sucederse en su propio presente siguiendo leyes rigurosas que se traducen por ecuaciones diferenciales.

Siendo el espacio y el tiempo solidarios, se unifica el plano del espacio y del tiempo, el cual sigue así ejerciendo su predominio; el determinismo físico permanece tan riguroso como en el pasado.

La materia se manifiesta únicamente a través de las deformaciones del espacio-tiempo.

La idea central de la relatividad generalizada consiste en la posibilidad de representar los fenómenos materiales y energéticos por simples variaciones en las características geométricas locales de un espacio-tiempo que ya no se considerará como homogéneo sino como afectado en sus diferentes puntos por curvaturas variables (o de torsiones que desempeñan el mismo papel). La métrica del espacio-tiempo cuatridimensional curvado da cuenta automáticamente de los efectos de la gravitación así como del singular comportamiento de la velocidad de las señales luminosas que establece el límite superior al uso lógico del concepto de velocidad.

Un reloj colocado en un campo de intensa gravitación se atrasa.

— III —

Las cuatro coordenadas espacio-temporales de una partícula elemental forman un tetraedro asimétrico: al no tener ni plano ni centro de simetría, este tetraedro no se puede superponer, mediante movimientos de traslación o de rotación, al tetraedro correspondiente a su imagen reflejada en un espejo plano: los dos esquemas no superponibles representan dos *enantiómeros*, el uno *dextrógiro* (+), el otro *levógiro* (—).

Una partícula elemental y su antipartícula constituyen un par de enantiómeros.

Entre el espacio-tiempo, forma de existencia de la materia, y el anti-espacio-tiempo, forma de existencia de la antimateria, se dan las mismas analogías y las mismas diferencias que entre la mano derecha y la mano izquierda.

La formación de pares partícula-antipartícula por bombardeo de un blanco con partículas de energía cinética suficiente no es debida, como se admitía generalmente, a la conversión de la energía cinética en masa, sino al *arracimamiento* parcial de las partículas.

A medida que la velocidad de la partícula elemental crece se contrae el tetraedro espacio-temporal correspondiente a esta partícula y disminuye su componente temporal.

En la proximidad inmediata a los núcleos del blanco en que la densidad es considerable, este componente se contrae aún más.

Si durante su choque con un núcleo del blanco el tetraedro espacio-temporal correspondiente a la partícula se encuentra en una posición favorable, la coordenada del tiempo, muy contraída, se desplaza hacia la superficie del tetraedro opuesta a la cima en que se encontraba antes del choque, mientras las otras tres coordenadas son impulsadas, al modo de un paraguas vuelto del revés por el viento, hacia las posiciones correspondientes al enantiómero de la partícula inicial.

La figura 1 ilustra muy esquemáticamente el mecanismo de esta transformación ($x_4 = ict$).

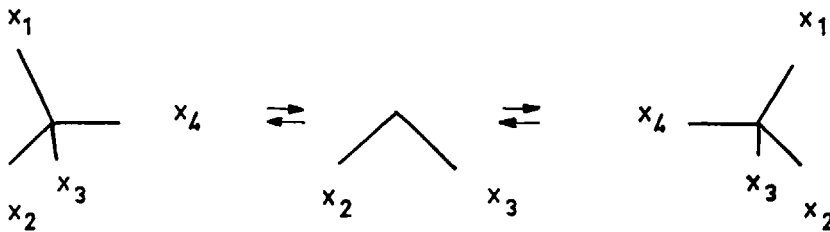


FIG. 1

El *arracimamiento* es solamente parcial, pues en el momento de chocar con los núcleos del blanco las partículas no tienen todas la orientación necesaria.

El proceso de inversión de la configuración es, naturalmente, reversible^{2, 4}.

No se trata de una inversión del sentido del tiempo, sino de una inversión de la configuración espacio-temporal en su conjunto: para un antiobservador situado en un antiuniverso el tiempo transcurre siempre desde el pasado hacia el futuro; tal observador no verá nunca, por ejemplo, una antitortilla transformarse en antihuevos.

2. C. - S. DONGOROZI: *Parallèles*, n. 33, 4 (1969).
3. C. - S. DONGOROZI: *Crónica*, 4, n. 41, 10 ((1969); 4, n. 48, 11 (1969).
4. C. - S. DONGOROZI: *Organon*, 7, 291 (1970).

— IV —

En todos los procesos conocidos, la creación (o la destrucción) de un barión viene acompañada por la creación (o la destrucción) de un antibarión, apareciendo (o desapareciendo) ambos siempre en el mismo lugar.

De lo que se sigue que toda creación de bariones y de antibariones debería dar como resultado una mezcla homogénea que contuviera cantidades iguales de las dos clases de materia.

¿Cómo es posible, pues, que los universos y los antiuniversos contengan siempre una sola clase de materia?

En ausencia de un agente físico asimétrico todo proceso de creación de bariones y antibariones sólo puede conducir a una mezcla racémica: los dos enantiómeros poseen energías libres de igual formación, por lo que la probabilidad de que nazca el uno o el otro es la misma.

Mas si el proceso de formación de los bariones y de los antibariones tiene lugar bajo la acción de un campo asimétrico, resulta favorecida la formación de uno de los enantiómeros.

Un campo asimétrico capaz de producir semejante efecto puede obtenerse por:

— la superposición de dos campos: eléctrico, magnético y de gravedad (hay tres posibilidades);

— ondas polarizadas circular o elípticamente.

Una diferencia que sea perceptible por los instrumentos actuales entre las cantidades de dos enantiómeros no puede obtenerse por cualquier proceso de formación de bariones y de antibariones realizado bajo la acción de un campo asimétrico. Mas si los procesos reversibles de creación y de aniquilación de los bariones y antibariones se repiten un gran número de veces bajo la influencia directriz de un campo asimétrico se puede obtener un producto que contenga solamente a uno de los enantiómeros.

Las leyes que presiden la formación de los universos y antiuniversos son en todo semejantes a las leyes que presiden el prelude de la aparición de la vida en los cuerpos celestes en los que la vida es posible^{5, 6}.

C.-S. DONGOROZI
*Instituto Oncológico de
Bucarest (Rumanía)*

5. C.-S. DONGOROZI: *Familia*, 105, n. 1, 6 (1969).

6. C.-S. DONGOROZI: *Rev. Roum. Biochim.* 6, 297 (1969).