



TIEMPO Y (A)SIMETRÍA

Debo confesarlo: la física siempre me ha generado respeto. Mentiría si no admitiera que pensar en algunos de sus misterios me ha atormentado en más de una ocasión. Ya nos lo advertía en el instituto uno de los buenos profesores que tuve: «si cuando me acuesto pienso en el universo, no puedo dormir», decía. Hay, sin embargo, un concepto que me inquieta tanto como la inmensidad del todo que nos rodea y del que formamos parte. El tiempo. Resulta gratificante descubrir que en nuestro país, en el Instituto de Física Corpuscular de la Universitat de València, un grupo de científicos ha liderado una importante investigación internacional para descubrir directamente la ruptura de la simetría del tiempo en las leyes físicas.¹ Para saber qué quiere decir todo eso, conversamos con ellos. Conversamos, de nuevo, con la ciencia.

¿Qué les parece si empezamos por definir el concepto de simetría en física? No sé si se parecerá mucho a la noción geométrica que ahora mismo tengo en la cabeza.

JOSÉ BERNABEU: Es muy importante aclarar eso que dices. El gran público tiene la visión de la simetría en objetos, pero no es de eso de lo que hablamos en física. Nosotros nos referimos a la simetría de las leyes que gobiernen el comportamiento de los fenómenos de la naturaleza. Con las leyes físicas relacionamos las cantidades que somos capaces de medir. Estas cantidades que las leyes relacionan, que al mismo tiempo nos permiten avanzar en el conocimiento de la naturaleza, pueden transformarse con una operación matemática. Si después de transformar las cantidades la ley continúa siendo la misma, diremos que es simétrica.

¿Y qué importancia tienen, estas simetrías?

J. BERNABEU: En ciertos casos, que la ley sea simétrica automáticamente nos da una consecuencia observable, independientemente de la forma concreta de la ley. La presencia de la simetría puede implicar leyes de conservación, por ejemplo. Por eso este concepto, desde el advenimiento de la mecánica cuántica ahora hace cien años hasta nuestros días, ha ido adquiriendo más y más importancia.

¹ BERNABEU, J.; MARTÍNEZ-VIDAL, F. y P. VILLANUEVA-PÉREZ, 2012. «Time Reversal Violation from the Entangled $B^0 B^{-0}$ System». *Journal of High Energy Physics*, 8. DOI: <10.1007/JHEP08(2012)064>.

FERNANDO MARTÍNEZ VIDAL: Y no solamente en la mecánica cuántica. En la misma mecánica clásica la importancia de las simetrías es fundamental, ya que nos permite definir magnitudes y medirlas. La simetría no solamente nos dice qué propiedades tiene la ley física en cuestión, sino que además nos permite entender y conocer magnitudes asociadas que se conservan y que gracias a eso se pueden medir.

Estaba leyendo, justo antes de que llegaran, el póster dedicado a las simetrías que hay en el pasillo. Habla, entre otras cosas, de la asimetría entre materia y antimateria, que permite que todo exista.

PABLO VILLANUEVA: Se trata de un hecho realmente importante que se conoce desde ya hace muchos años. En las leyes de la física, tan importante es la simetría como la asimetría.

J. BERNABEU: De hecho la asimetría puede ser incluso más importante. El origen de la materia viene de la ruptura de la simetría. Romper una simetría cuando tiene una manera definida, no azarosa, da muchísima información. Más información que el hecho de que se mantenga regular.

En cambio, no ha sido hasta ahora, con su investigación, que se han encontrado evidencias directas de la ruptura de simetría del tiempo en las leyes físicas. ¿Por qué?

J. BERNABEU: Hay una razón que se entiende inmediatamente. Aquellas partículas elementales con que se descubrió, y después confirmó, la asimetría de materia/antimateria, y que son precisamente en las que esperamos la ruptura de simetría temporal, son partículas inestables que se desintegran en el tiempo. Si una partícula se desintegra es imposible poder utilizarla para poder hacer el sentido opuesto del movimiento. Esta razón, que parece tan clara, es efectivamente el impedimento básico por el que un test de la simetría por inversión temporal en partículas que se desintegran no había podido hacerse.

¿Y por qué no se hacía con partículas estables?

J. BERNABEU: Porque nunca se ha observado ruptura de materia/antimateria, hay simetría. Precisamente la ruptura se había observado en partículas inestables. Y lo que queríamos saber es si en estas partículas inestables podríamos hacer inversión temporal. En un momento de-

«LAS SIMETRÍAS ESTÁN EN LAS LEYES FÍSICAS, PERO ESO NO QUIERE DECIR QUE LO QUE YO VEO EN EL LABORATORIO REFLEJE ESTAS SIMETRÍAS»

FERNANDO MARTÍNEZ VIDAL

terminado, nos dimos cuenta de que hay ciertos sistemas en que en lugar de tener una partícula tenemos dos, entrelazadas, enmarañadas. Se trata de un fenómeno cuántico importantísimo, fundamento de toda la información cuántica de la que se habla en los últimos tiempos.

P. VILLANUEVA: Las partículas entrelazadas comparten la misma información. Eso nos sugirió la solución. Si una de estas se desintegra pero la otra continúa aún viviendo, hacemos el experimento de inversión temporal con la otra, que contiene la información complementaria y por tanto nos permite saber cuál es la original. Así ha sido como, después de muchos años de estudio, hemos llegado a detectar la ruptura de la simetría en la inversión temporal.

F. MARTÍNEZ VIDAL: En muchos casos identificar las simetrías no es fácil. Como muy bien ha dicho José, las simetrías están en las leyes físicas, pero eso no quiere decir que lo que yo veo en el laboratorio refleje estas simetrías. Muchas veces están completamente escondidas, es casi imposible identificarlas. Un ejemplo macroscópico que muestra perfectamente cómo puedes tener una ley física simétrica pero lo que observas es completamente antisimétrico: cojo esta tiza y la tiro al suelo [lo hace] y se rompe... [observa el resultado] en tres trozos. El proceso inverso, invertido temporalmente, ¿en qué consistiría?

En que los tres trozos se volviesen a unir, se elevaran y volviesen a la mesa.

F. MARTÍNEZ VIDAL: Exacto. Y eso claramente es irreversible. Ahora, ¿cuáles son las interacciones, los procesos

fundamentales, que controlan o determinan este proceso? Son la gravitación y el electromagnetismo. Las ecuaciones de estas leyes físicas, las de Newton y las de Maxwell, son completamente reversibles. Si tú cambias de t a $-t$, inviertes el movimiento, son exactamente las mismas. Aquí tenemos una paradoja. ¿Por qué siendo las leyes físicas simétricas, la tiza no vuela y se reconstruye? La razón fundamental es que lo que nosotros vemos, aquí o en el laboratorio, no solamente está controlado por las leyes físicas sino que también intervienen condiciones de contorno y aleatoriedad, que no arbitrariedad, de las leyes físicas.

J. BERNABEU: En sistemas complejos no solamente valen las leyes fundamentales de la física. Existe una segunda ley de la termodinámica que dice que, efectivamente, no solamente existen estas leyes de conservación de las simetrías que teníamos antes, sino que hay una cantidad que no se conserva. Eso es la entropía, que nos dice lo ordenado que está un sistema. De forma espontánea, cuando un sistema es complejo, la evolución siempre tiende automáticamente al desorden, a aumentar la entropía. El hecho de que eso tan solo tenga un sentido nada tiene que ver con la simetría de las leyes. A veces observamos situaciones que son irreversibles, pero el hecho de que sean irreversibles no quiere decir que haya ruptura de la simetría en la inversión temporal en las leyes de la física.

F. MARTÍNEZ VIDAL: La paradoja está aquí. Si tú miras con lupa el proceso observando los constituyentes que forman parte de este sistema complejo, las leyes dinámicas pueden ser, de hecho lo son, completamente simétricas en el tiempo. Pero el proceso global no lo es, por el incremento de entropía.

P. VILLANUEVA: Corregidme si me equivoco, pero ¿no es el tiempo el incremento de entropía? Si no hubiera una transformación de la entropía, es decir, un camino hacia el desorden, no podríamos medir el tiempo. De hecho por eso el tiempo siempre va hacia delante, no se puede volver atrás en el tiempo. Porque la magnitud física que es el tiempo es la entropía.

J. BERNABEU: Esta es la explicación de por qué el tiempo avanza. Los sistemas complejos se desordenan. Decir que el tiempo siempre transcurre en un sentido tiene mucho que ver. De hecho cuando hablamos de inversión temporal nos referimos a invertir el sentido del movimiento, no del tiempo. Si yo hago un movimiento al revés no estoy echando el tiempo atrás. Estoy cambiando el sentido del movimiento. El tiempo siempre transcurre en el mismo sentido. El otro sentido no tiene

significado.

ALEXANDRE MARTÍNEZ ORTS
Licenciado en Periodismo (Valencia)



De izquierda a derecha, Fernando Martínez Vidal, Pablo Villanueva y José Bernabeu, del Instituto de Física Corpuscular de la Universitat de València.