

El frío cálido

PUBLICADO EN FEBRERO DE 2018

Un equipo internacional coordinado por físicos brasileños demostró que en un sistema cuántico integrado por partículas que se mantienen a distintas temperaturas puede ocurrir un fenómeno no registrado en el mundo macroscópico: un cuerpo frío cede energía espontáneamente a otro cuerpo caliente. La partícula fría pierde calor y se enfría, mientras que la partícula caliente gana calor y se calienta. Cuando esto ocurre, se produce una inversión en el sentido natural del flujo de calor, algo a lo que los científicos denominan flecha termodinámica del tiempo, que normalmente fluye de la materia caliente hacia la fría. Este efecto sorprendente se obtuvo mediante la manipulación –aplicando la técnica de resonancia magnética– de las propiedades de los núcleos de átomos de carbono y de hidrógeno en un sistema formado por cloroformo líquido (CHCl_3) diluido en acetona (los tres átomos de cloro que también forman parte de la molécula del compuesto no son importantes para el experimento). Durante una millonésima de segundo, los núcleos de carbono, que estaban más fríos, cedieron energía a los de hidrógeno, que se calentaron aún más. Los resultados de este trabajo se dieron a conocer en un artículo que desde noviembre de 2017 se encuentra disponible en la base de datos arXiv, y que le fue remitido a un periódico científico para su justipreciación.

Según el estudio de los físicos, la inversión de la flecha termodinámica del tiempo ocurre solamente en una condición específica: cuando se determina una correlación cuántica entre un estado del núcleo de los átomos de carbono y de hidrógeno –el espín, una propiedad magnética de las partículas– antes de introducirse alteraciones significativas en la temperatura de los componentes del sistema. Sin esa conexión

Un experimento cuántico hace posible que una partícula gélida le transfiera calor a otra caliente e invierte la flecha termodinámica del tiempo

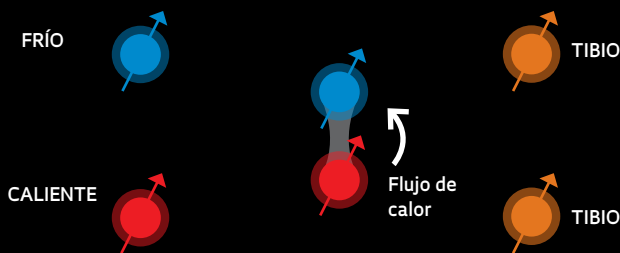


Cómo controlar el sentido de la energía

Las condiciones iniciales del sistema determinan la forma de transmisión del calor entre dos partículas con temperaturas distintas

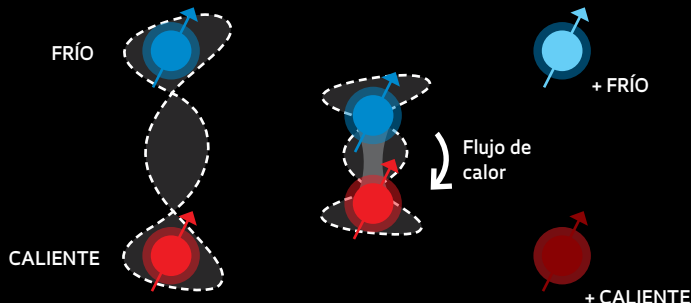
PARTÍCULAS SIN ASOCIACIÓN CUÁNTICA

En condiciones usuales, el calor se desplaza del átomo caliente hacia el frío. El sentido tradicional del calor se mantiene y ambas partículas moderan su temperatura



PARTÍCULAS QUE PRESENTAN CORRELACIÓN CUÁNTICA

En el nuevo experimento, el átomo frío se enfría y el átomo caliente se calienta. El calor fluye de la partícula fría a la partícula caliente. La flecha termodinámica del tiempo se invierte



FUENTE MICADEI, KAONAN, ET. AL.

cuántica entre los espines de ambos elementos, el sistema se comporta de la manera tradicional y las partículas más calientes ceden calor a las más frías.

UNA HELADERA CUÁNTICA

La correlación cuántica es una asociación similar pero más débil que el fenómeno al que se conoce como entrelazamiento, un tipo de conexión tan estrecha entre dos (o más) partículas que resulta imposible referirse a una de ellas sin mencionar a la otra. De todos modos, es lo suficientemente fuerte como para que el núcleo de un elemento químico comparta la información sobre el estado de su espín con el de otro elemento y viceversa. Este tipo de asociación cuántica se genera mediante el empleo de pulsos de radio aplicados sobre los átomos de carbono e hidrógeno.

Este experimento es comparable a una heladera cuántica microscópica. Todo lo que se encuentra dentro del refrigerador se enfría, siempre y cuando este aparato se encuentre conectado a una fuente externa de electricidad. “Para que

un cuerpo frío le ceda calor a uno caliente es necesario abastecer al sistema con energía extra”, explica el físico Roberto Serra, de la Universidad Federal del ABC (UFABC), uno de los autores del trabajo, que se realizó en el ámbito del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de Información Cuántica (INCT-IQ). En este experimento, que se llevó a cabo en un laboratorio del Centro Brasileño de Investigaciones Físicas (CBPF, por sus siglas en portugués), en Río de Janeiro, la energía extra se provee mediante la aplicación de diversos campos magnéticos sobre las moléculas de cloroformo. De este modo resulta factible volver más calientes en forma selectiva a los núcleos de los átomos de hidrógeno que a los de carbono. Esta preparación se hace de un modo especial que provoca que el calor fluya desde las partículas frías hacia las calientes.

El resultado de este trabajo pone en cuestión la endeble frontera existente entre la termodinámica clásica y la mecánica cuántica. De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, el paso

del tiempo conduce inexorablemente a un aumento del desorden, a una mayor entropía en el mundo macroscópico. En la naturaleza, la energía se degenera. Por eso, espontáneamente, el café caliente no se calienta en el pocillo, sino que el mismo se enfría. Sin embargo, en el límite en el que se considera a los átomos y a los electrones ocurren fenómenos raros: el orden del intercambio de calor puede invertirse y la entropía del sistema puede disminuir, dando la impresión de que el tiempo fluyó en sentido inverso, hacia el pasado. “Nuestro trabajo entra en el campo de la termodinámica de pequeños sistemas cuánticos”, comenta Kaonan Mícaidei, primer autor del artículo y alumno de doctorado en la UFABC.

La termodinámica clásica no considera la existencia de asociaciones iniciales entre partículas tales como átomos y electrones, o aquellas generadas por la correlación o el entrelazamiento cuántico. Sin embargo, esto es importante y puede ayudar a entender cómo disipan energía los microsistemas. “Este experimento resulta fundamental para comprender los fenómenos de la termodinámica relacionados con el desarrollo de la computación cuántica”, comenta Ivan Santos Oliveira, del CBPF, otro coautor del estudio. “Este experimento amplía el dominio de la validez de las leyes de la física”, analiza el físico teórico David Jennings, del Imperial College de Londres, en Inglaterra, quien no participó en el estudio.

El procesamiento de la información genera calor. Se estima que de un 20% a un 30% de toda la energía eléctrica que se produce en el mundo se utiliza para refrigerar las computadoras. Una de las motivaciones de los que participaron en el experimento consiste en poder limitar la disipación de la energía en las máquinas cuánticas. “La producción de un refrigerador cuántico constituye una etapa necesaria para llegar a construir un dispositivo cuántico más complejo”, sostiene Serra. ■ Victoria Florio

Proyecto

Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de la Información Cuántica (nº 08/ 57856-6); Modalidad Proyecto Temático; Investigador responsable Amir Caldeira (Unicamp); Inversión R\$ 1.977.654,30 (para la totalidad del proyecto)

Artículo científico

MICADEI, K. et al. Reversing the thermodynamic arrow of time using quantum correlations. *arXiv. Online*. 9 nov. 2017.