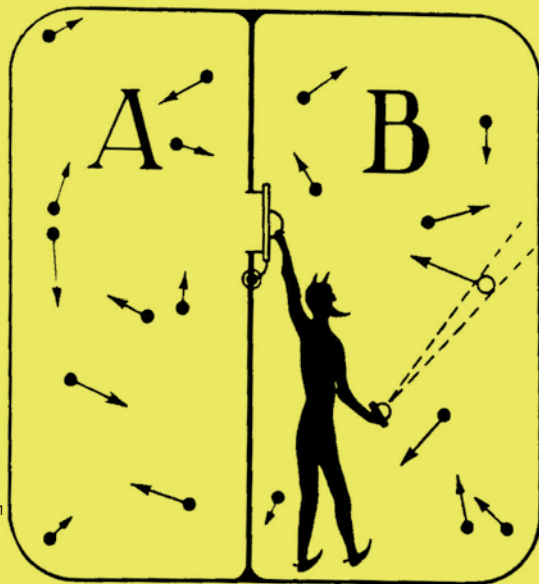


Una diablura cuántica

Científicos brasileños controlan el calor que generan los núcleos atómicos

Igor Zolnerkevic

PUBLICADO EN ENERO DE 2017



Un trabajo de 1975 del matemático ruso Alexander Lerner representa al demonio de Maxwell dentro de uno de los recipientes con las moléculas de gas que debería seleccionar

La generación aleatoria de calor en el mundo microscópico es uno de los principales obstáculos para el avance de la nanotecnología. A medida que los nanodispositivos se van volviendo cada vez más pequeños y más complejos, elaborados con piezas de tamaño comparable al de las moléculas o incluso el de los átomos, el riesgo de que generen peligrosas fluctuaciones cuánticas durante su funcionamiento aumentará. Estas fluctuaciones son abruptas e

imprevisibles variaciones de energía regidas por las leyes probabilísticas de la mecánica cuántica, con potencial para dañar los nanomecanismos. Un grupo de físicos brasileños encabezado por Roberto Serra, docente de la Universidad Federal del ABC (UFABC), presentó en un artículo publicado a comienzos de diciembre en *Physical Review Letters* una técnica capaz de atenuar la producción de dichas fluctuaciones de calor a nivel subatómico.

Las fluctuaciones de energía y de calor microscópicas perjudicarían a las nanomáquinas de manera parecida a lo que el calentamiento excesivo y descontrolado puede provocar

en un motor macroscópico convencional, como el de un coche. Durante la Revolución Industrial, una de las motivaciones de los científicos del siglo XIX para desarrollar la termodinámica clásica –el área de la física que estableció de qué manera la energía en forma de calor se convierte en energía mecánica y viceversa– consis-

tió en entender el funcionamiento de las válvulas de presión y los refrigeradores, dispositivos que volvieron más seguro y eficiente el funcionamiento de los motores de vapor y de combustión interna. Anticipando avances en la nanotecnología, Serra y sus colegas forman parte de una comunidad de físicos que viene desarrollando una teoría más general y detallada de la termodinámica: la llamada termodinámica cuántica fuera del equilibrio, que podrá asegurar el funcionamiento eficiente de dispositivos a escala molecular y atómica, que es donde los efectos cuánticos se hacen presentes.

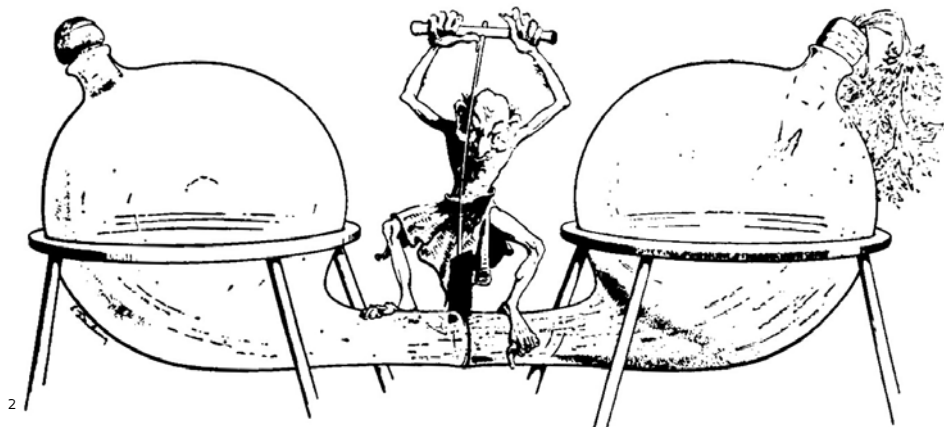
Para desarrollar una nueva técnica de control, Serra y sus colegas se inspiraron en el “demonio de Maxwell”, un ser fantástico imaginado por el físico y matemático escocés James Clerk Maxwell (1831-1879). Maxwell fue uno de los primeros que entendió que la temperatura de un determinado volumen de gas depende de la velocidad media con la que se mueven las moléculas que lo componen. Cuanto más veloces son sus moléculas, más caliente está el gas. En una carta datada en 1867 y remitida a su colega Peter Tait, Maxwell imaginó un ser microscópico e inteligente, capaz de medir y registrar las velocidades de todas las moléculas del gas. En ese experimento mental, dicho ser controlaba un grifo separando dos recipientes iguales, ambos conteniendo un gas mantenido a la misma temperatura. Abriendo y cerrando el grifo rápidamente, la criatura separaría las moléculas de gas, dejando a las menos veloces que el promedio –y por ende más frías– en uno de los recipientes y a las más ligeras en el otro.

PECADO TERMODINÁMICO

En un artículo publicado en la revista *Nature* en 1874, el físico irlandés William Thomson, más conocido como Lord Kelvin, bautizó a ese ser inteligente como demonio, para enfatizar que esta criatura, al calentar el gas de un recipiente al tiempo que enfriaba el del otro cometía el pecado de violar la segunda ley de la termodinámica.

Esta ley afirma que un cuerpo aislado, o un conjunto de cuerpos aislados, posee una propiedad llamada entropía, que siempre tiende a aumentar con el

En un artículo publicado en 1955 en *American Journal of Physics*, la figura imaginaria controla el flujo de las moléculas de gas desde el exterior de los recipientes



tiempo. Para un conjunto de partículas, la entropía es la cantidad posible de ordenamientos entre todas ellas en una determinada situación.

Al ordenar las moléculas de gas según su velocidad, el demonio estaría disminuyendo el número de ordenamientos posibles del sistema y, por ende, reduciendo su entropía. Después del artículo de Thomson, perduró entre los físicos la duda: ¿sería ese demonio una mera fantasía o ese experimento mental apuntaría una falla en la comprensión de las leyes de la termodinámica?

Más de un siglo después, en 1982, el físico estadounidense Charles Bennett, en ese entonces investigador de la empresa IBM, entendió que, para funcionar en la práctica, el demonio de Maxwell debería grabar la información de la velocidad de las moléculas del gas en un sustrato físico, como los bits de la memoria de una computadora. Sucede que escribir y borrar datos en una memoria es una tarea imposible de realizar sin generar calor, algo descubierto años antes por Rolf Landauer, otro investigador de IBM. Y la generación de calor siempre aumenta la entropía.

Cuando se evalúa el aumento y la disminución de calor en las dos etapas de este proceso, se verifica que la segunda ley de la termodinámica nunca es violada: el demonio puede disminuir la entropía en el interior de los recipientes del gas al seleccionar las moléculas, pero el calor generado para registrar la velocidad de las mismas en la memoria incrementa mucho más la entropía del sector

En un experimento con una molécula de cloroformo y pulsos electromagnéticos se reproduce el test mental postulado en el siglo XIX

externo de los recipientes. Los cálculos demostraron que la criatura sobrenatural de Maxwell obedecía a todas las leyes de la física y que su función podría estar a cargo, en la práctica, de un mecanismo automático, controlado por la memoria de una computadora.

Desde entonces, los científicos han creado en laboratorio mecanismos similares al imaginado por Maxwell, y cada vez menores. El trabajo actual de Serra y sus colaboradores es el primero en el cual se proyecta un demonio de Maxwell completamente cuántico. En un laboratorio del Centro Brasileño de Investigaciones Físicas (CBPF), en Río de Janeiro,

los investigadores dispararon un pulso de ondas electromagnéticas contra una solución de moléculas de cloroformo: cada una de éstas está formada por un átomo de carbono, uno de hidrógeno y tres de cloro (CHCl_3). El pulso se ajustaba para provocar fluctuaciones cuánticas en la energía de los núcleos de los átomos de carbono de las moléculas. Simultáneamente, los físicos emitieron ondas electromagnéticas adicionales con el objetivo de ajustar la interacción entre el núcleo de carbono de cada molécula con su núcleo de hidrógeno.

Los investigadores lograron usar el núcleo de hidrógeno como un demonio de Maxwell que almacenaba información sobre el estado del núcleo de carbono.

Dependiendo del nivel de energía del mismo, el núcleo de hidrógeno actuaba y restringía las fluctuaciones energéticas del vecino. La acción de los núcleos de hidrógeno hizo que las fluctuaciones de energía de los núcleos de carbono ocurrieran de manera tal de producir el mínimo de entropía posible. “Proyectamos este proceso mediante el empleo de una ecuación matemática que dedujimos, relacionando información, entropía y energía”, dice Serra. “La ecuación es muy general y podría aplicarse a cualquier sistema cuántico: con electrones y fotones, no sólo con núcleos atómicos.”

“Es un trabajo apasionante”, comenta Vlatko Vedral, físico de la Universidad de Oxford, en Inglaterra, quien participó en un experimento realizado en 2016 en el cual se usaron haces de láser para producir un demonio de Maxwell. “Probaron una fórmula que describe la producción de entropía en sistemas cuánticos y en condiciones genéricas. Aún no está claro por qué la entropía del Universo debe aumentar siempre, y este abordaje puede ayudar a entender los orígenes de la segunda ley de la termodinámica.” ■

Proyecto

Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología en Información Cuántica (n° 2008/ 57856-6); Modalidad Proyecto Temático; Investigador responsable Amir Caldeira (Unicamp); Inversión R\$ 1.977,654,30 (para todo el proyecto).

Artículo científico

CAMATI, P. A. et al. Experimental rectification of entropy production by Maxwell's demon in a quantum system. *Physical Review Letters*. v. 117. p. 240502. 5 dic. 2016.