

Nace QUIONE, el primer procesador cuantico atomico de Espana

Los investigadores del ICFO construyen QUIONE, un simulador cuantico capaz de observar atomos individuales en un gas cuantico de estroncio.

April 22, 2024

La fisica cuantica necesita tecnicas de deteccion de alta precision para profundizar en las propiedades microscopicas de los materiales. De los procesadores cuanticos analogicos que han ido surgiendo, los llamados [microscopios de gases cuanticos](#) han demostrado ser herramientas potentes para lograr comprender los sistemas cuanticos a nivel atomico. Estos dispositivos producen imagenes de [gases cuanticos](#) con una resolucion muy alta: permiten detectar cada uno de los atomos.

Ahora, los investigadores del ICFO (Barcelona, Espana) **Sandra Buob**, **Jonatan Hoschele**, el **Dr. Vasily Makhlov** y el **Dr. Antonio Rubio-Abadal**, dirigidos por la investigadora [ICREA del ICFO Leticia Tarruell](#), explican como han construido su propio microscopio de gases cuanticos, llamado QUIONE en honor a la diosa griega de la nieve. El microscopio de gases cuanticos del grupo es el unico que capta imagenes de atomos individuales de gases

cuanticos de estroncio en el mundo, así como el primero de este tipo en España.

Más allá de la espectacularidad de las imágenes en las que se pueden distinguir átomos individuales, el objetivo de QUIONE es la simulación cuántica. Como explica la Prof. ICREA Leticia Tarruell: ¿La **simulación cuántica** se puede utilizar para reducir sistemas muy complicados a modelos más simples para luego comprender preguntas abiertas que los ordenadores actuales no pueden responder, como por qué algunos **materiales conducen electricidad sin pérdidas** incluso a temperaturas relativamente altas. ¿La investigación del grupo de ICFO en este ámbito ha recibido apoyo a nivel nacional (premio de la Real Sociedad Española de Física, y proyectos y becas de la Fundación BBVA, Fundación Ramon Arece, Fundación La Caixa y Fundación Cellex) y europeo (incluyendo un proyecto ERC). La singularidad de este experimento recae en el hecho de que han logrado llevar **gas de estroncio** al **regimen cuántico**, colocarlo en una **red óptica** donde los átomos pudieran interactuar por colisiones y luego aplicar las técnicas de imagen de átomos individuales. Estos tres ingredientes juntos hacen que **el microscopio de gas cuántico de estroncio del ICFO sea único** en su especie.

¿Por qué estroncio?

Hasta ahora, estos microscopios se habían basado en átomos alcalinos, como el litio y el potasio, que tienen propiedades más simples en términos de su espectro óptico en comparación con los átomos alcalinotérreos como el **estroncio**. Esto significa que, en estos experimentos, el estroncio ofrece más ingredientes con los que jugar.

De hecho, en los últimos años, las propiedades únicas del estroncio lo han convertido en un elemento muy popular para aplicaciones en los campos de la **computación y la simulación cuánticas**. Por ejemplo, se puede utilizar una nube de átomos de estroncio como **procesador cuántico atómico**, el cual podría resolver problemas que van más allá de las capacidades de los ordenadores clásicos actuales.

Con todo, los investigadores del ICFO vieron en el estroncio un gran potencial para la simulación cuántica, y se pusieron manos a la obra para construir su propio microscopio de gases cuánticos. Así fue como nació QUIONE.

QUIONE, un simulador cuántico de cristales reales

Para ello, primero redujeron la temperatura del gas de estroncio. Utilizando la fuerza de varios rayos láser, se puede reducir la velocidad de los átomos hasta llegar a un punto en el que quedan casi inmóviles, sin apenas moverse, reduciendo su temperatura hasta casi el cero absoluto en tan solo unos milisegundos. Entonces, las leyes de la mecánica cuántica rigen su comportamiento y los átomos muestran nuevas características como la **superposición** y el **entrelazamiento cuánticos**.

Luego con la ayuda de láseres especiales, los investigadores activaron la red óptica, lo que mantiene los átomos ordenados en el espacio formando una cuadrícula. ¿Pued

¿Imaginate una huevera, donde los huecos individuales se rellenan con los huevos. Pero en lugar de huevos tenemos átomos y en lugar de una huevera tenemos la red óptica. Explica Sandra Buob, primera autora del artículo.

Los átomos en la huevera interactuaban entre sí, a veces experimentando el efecto túnel para moverse de un lugar al otro. Esta dinámica cuántica entre átomos imita la de los electrones en ciertos materiales. Por tanto, el estudio de estos sistemas puede ayudar a **comprender el complejo comportamiento de determinados materiales, la idea clave de la simulación cuántica.**

En cuanto el gas y la red óptica estuvieron a punto, los investigadores tomaron las imágenes con su microscopio y, finalmente, pudieron observar su gas cuántico de estroncio átomo a átomo. Llegados a este punto, la construcción de QUIONE ya había sido un éxito, pero sus creadores quisieron sacarle todavía más partido.

Así, además de las fotografías, tomaron videos de los átomos y pudieron observar que, si bien los átomos deberían permanecer quietos durante la toma de imágenes, a veces saltaban a un punto cercano de la red. Esto puede explicarse por el **efecto túnel**. Los átomos estaban saltando de un sitio a otro. Fue algo muy bonito de ver, ya que literalmente estábamos presenciando una manifestación directa de su comportamiento cuántico inherente. Compar

el grupo de investigación utilizó su microscopio de gases cuánticos para confirmar que el **gas de estroncio** era un **superfluido**, una fase cuántica de la materia que fluye sin viscosidad. Apagamos el láser de la red de repente para que los átomos pudieran expandirse en el espacio e interferir entre sí. Esto generó un patrón de interferencia, debido a la dualidad onda-partícula de los átomos en el superfluido. Cuando nuestro equipo lo captó, comprobamos la presencia de superfluidez en la muestra. Explica el Dr. Antonio Rubio-Aba

«Es un momento muy emocionante para la simulación cuántica», comparte la profesora ICREA Leticia Tarruell. «Ahora que hemos agregado el estroncio a la lista de microscopios de gases cuánticos disponibles, pronto podremos simular materiales más complejos y exóticos. Entonces se espera que surjan nuevas fases de la materia. Y también esperamos obtener mucha más potencia computacional para utilizar esta máquina de **ordenadores cuánticos analógicos**».

Sobre QUIONE y las Tecnologías Cuánticas en Barcelona

QUIONE es un programa creado por ICFO que tiene como objetivo utilizar procesadores cuánticos basados en átomos ultrafreos detectados y controlados individualmente para resolver problemas difíciles para los ordenadores clásicos. El programa incluye el procesador cuántico analógico QUIONE I, el microscopio de gases cuánticos mencionado en el estudio, y un procesador híbrido analógico-digital llamada QUIONE II, que actualmente se encuentra en construcción. QUIONE forma parte de los ocho grandes programas que la Generalitat de

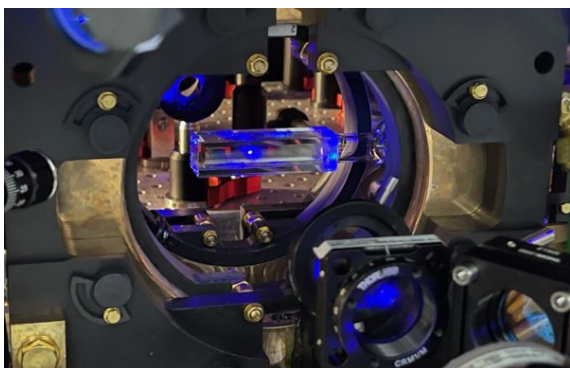
Cataluna, a través de la Secretaria de Políticas Digitales, cofinancia en el marco de su apuesta por el impulso de las tecnologías cuánticas.

Acknowledgements

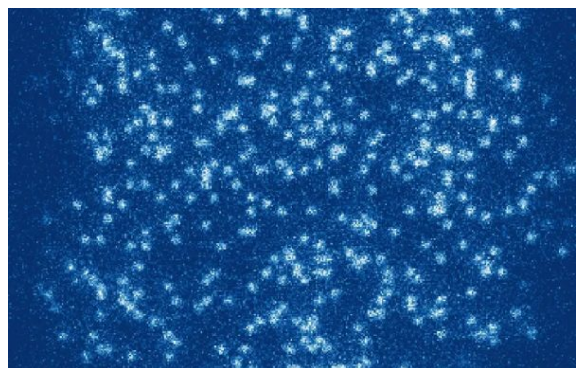
We acknowledge discussions with S. Blatt, A. Kaufman, V. Klüsener, A. Park, P. Schauss, A. Young, J. Zeiher, and the other members of the ICFO Quantum Gases Experimental group. We thank M. Miranda for the band-structure calculations and S. Hirthe for contributions to the reconstruction algorithm and for a careful reading of the manuscript. We acknowledge funding from the European Union [HORIZON-CL4-2022-QUANTUM-02-SGA through **PASQuanS2.1** (Grant Agreement No. 101113690); **DAALI** (Grant Agreement No. 899275); **ERC SuperComp** (Grant Agreement No. 101003295)], Ministry of Science and Innovation of Spain and State Research Agency MCIN/AEI/10.13039/501100011 (LIGAS project PID2020-112687GB-C21, DYNAMITE QuantERA project PCI2022-132919 with funding from European Union NextGenerationEU, Equipamiento Científico Técnico EQC2018-005001-P, EQC2019-005699-P, and EQC2019-005706-P, Severo Ochoa CEX2019-000910-S, and **PRTR-C17.I1 - Plan Complementario de Comunicaciones Cuánticas** -with funding from European Union NextGenerationEU and Generalitat de Catalunya), Fundació Cellex, Fundació Mir-Puig, and Generalitat de Catalunya (**iQuantica - Vall de la Mediterrània de les Ciències i les Tecnologies Quàntiques**; Government Agreement GOV/51/2022, promoted by Secretary of Digital Policies of the Government of Catalonia, AGAUR SGR 2021-SGR-0148 and CERCA program). S.B. acknowledges support from MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and **ESF** (Grant No. PRE2020-094414), J.H. acknowledges support from the European Union (**Marie Skłodowska-Curie Actions**, Grant No. 713729), V.M. acknowledges support from the **Beatriu de Pinós** Program and the Ministry of Research and Universities of the Government of Catalonia (Grant No. 2019-BP-00228), and A.R. acknowledges support from the MCIN/AEI/10.13039/501100011033 (**Juan de la Cierva** Formación Grant No FJC2020-043086-I).

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA:

S. Buob, J. Hoschele, V. Makhalov, A. Rubio-Abadal and L. Tarruell, *iQuantica*, A strontium quantum-gas microscope *iQuantica*.

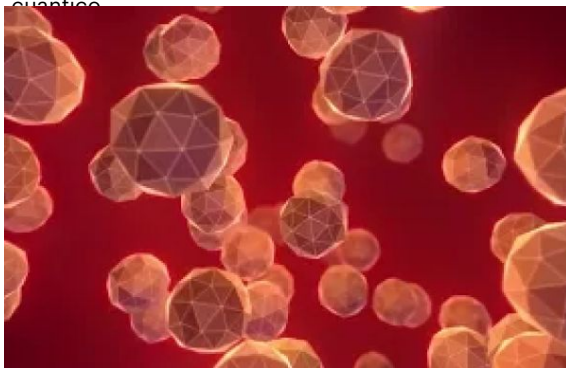


La nube de átomos de estroncio en medio de la celda de vidrio.



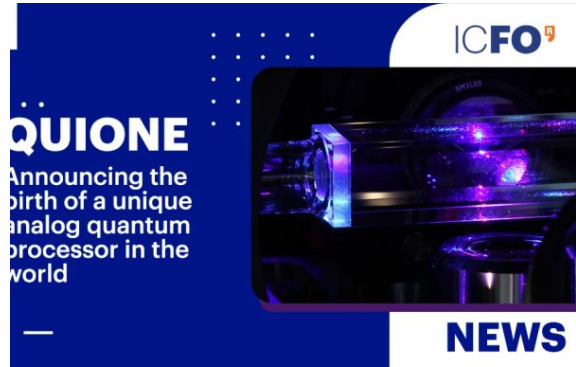


mapa grafico del laboratorio, con el simulador cuantico



QUIONE: un simulador cuantico

Instantanea de los atomos individuales de estroncio en la red optica.



Entrevista a los investigadores