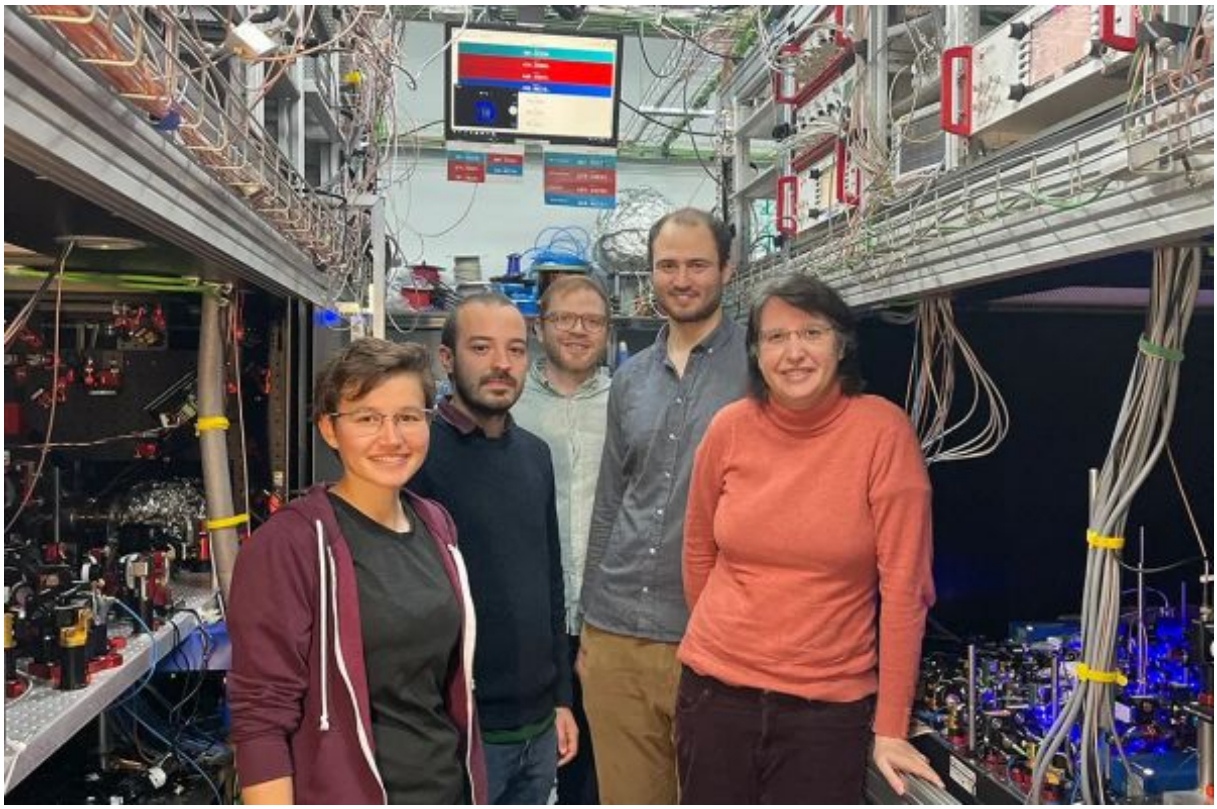


Nace QUIONE, el primer procesador cuantico atomico de Espana

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. Vasiliy Makhalov** 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, asi como el primero de este tipo en Espana.
Mas alla de la espectacularidad de las imagenes en las que se pueden distinguir atomos individuales, el objetivo de QUIONE es la simulacion cuantica. Como explica la Prof. ICREA Leticia Tarruell: i¿½La **simulacion cuantica** se puede utilizar para reducir sistemas muy complicados a modelos mas simples para luego comprender preguntas abiertas que los ordenadores actuales no pueden responder, como por que algunos **materiales conducen electricidad sin perdidas** incluso a temperaturas relativamente altas.i¿½ La investigacion d l grupo de ICFO en este ambito ha recibido apoyo a nivel nacional (premio de la Real Socied d Espanola de Fisica, y proyectos y becas de la Fundacion BBVA, Fundacion Ramon Arece , Fundacion La Caixa y Fundacion Cellex) y europeo (incluyendo un proyecto ERC . La singularidad de este experimento recae en el hecho de que han logrado llevar el **gas de estroncio** al **regimen cuantico**, colocarlo en una **red optica** donde los atomos pudieran interactuar por colisiones y luego aplicar las tecnicas de imagen de atomos individuales. Estos tres ingredientes juntos hacen que **el microscopio de gas cuantico de estroncio del ICFO sea unico** en su especie.

¿Por que estroncio?
Hasta ahora, estos microscopios se habian basado en atomos alcalinos, como el litio y el potasio, que tienen propiedades mas simples en terminos de su espectro optico en comparacion con los atomos alcalinoterreos como el **estroncio**. Esto significa que, en estos experimentos, el estroncio ofrece mas ingredientes con los que jugar.
De hecho, en los ultimos anos, las propiedades unicas del estroncio lo han convertido en un elemento muy popular para aplicaciones en los campos de la **computacion y la simulacion cuanticas**. Por ejemplo, se puede utilizar una nube de atomos de estroncio como **procesador cuantico atomico**, el cual podria resolver problemas que van mas alla de las capacidades de los ordenadores clasicos actuales.
Con todo, los investigadores del ICFO vieron en el estroncio un gran potencial para la simulacion cuantica, y se pusieron manos a la obra para construir su propio microscopio de gases cuanticos. Asi fue como nacio QUIONE.

QUIONE, un simulador cuantico de cristales reales
Para ello, primero redujeron la temperatura del gas de estroncio. Utilizando la fuerza de varios rayos laser, se puede reducir la velocidad de los atomos hasta llegar a un punto en el que quedan casi inmoviles, sin apenas moverse, reduciendo su temperatura hasta casi el cero absoluto en tan solo unos milisegundos. Entonces, las leyes de la mecanica cuantica rigen su comportamiento y los atomos muestran nuevas caracteristicas como la **superposicion** y el **entrelazamiento cuanticos**.
Luego con la ayuda de laseres especiales, los investigadores activaron la red optica, lo que mantiene los atomos ordenados en el espacio formando una cuadricula. i¿½Pued

s imaginarte una huevera, donde los huecos individuales se rellenan con los huevos. Pero n lugar de huevos tenemos atomos y en lugar de una huevera tenemos la red opticai¿½, exp ica Sandra Buob, primera autora del artic
lo. Los atomos en la huevera interaccionaban entre si, a veces experimentando el efecto t nel para moverse de un lugar al otro. Esta dinamica cuantica entre atomos 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 simulacion cuantica**.

En cuanto el gas y la red optica estuvieron a punto, los investigadores tomaron las imagenes con su microscopio y, finalmente, pudieron observar su gas cuantico de estroncio atomo a atomo. Llegados a este punto, la construccion de QUIONE ya habia sido un exito, pero sus creadores quisieron sacarle todavia mas partido.

Asi, ademas de las fotografias, tomaron videos de los atomos y pudieron observar que, si bien los atomos deberian permanecer quietos durante la toma de imagenes, a veces saltaban a un punto cercano de la red. Esto puede explicarse por el **efecto tunel**. i¿½Los atom s estaban i¿½saltandoi¿½ de un sitio a otro. Fue algo muy bonito de ver, ya que litera mente estabamos presenciando una manifestacion directa de su comportamiento cu ntico inherentei¿½, compar
e Buob. Finalmente, el grupo de investigacion utilizo su microscopio de gases cuanti os para confirmar que el **gas de estroncio** era un **superfluido**, una fase cuantica de la materia que fluye sin viscosidad. i¿½Apagamos el laser de la red de repente para que los atomos pudier n expandirse en el espacio e interferir entre si. Esto genero un patron de interferencia, debi o a la dualidad onda-particula de los atomos en el superfluido. Cuando nuestro equipo o capto, comprobamos la presencia de superfluidez en la muestrai¿½, explica el Dr. Ant nio Rubio-Aba
al. i¿½Es un momento muy emocionante para la simulacion cuanticai¿½, comparte la p ofesora ICREA Leticia Tarruell. i¿½Ahora que hemos agregado el estroncio a la lista de mi roscopios de gases cuanticos disponibles, pronto podremos simular materiales mas c mplejos y exoticos. Entonces se espera que surjan nuevas fases de la materia. Y tambien esperamos obtener mucha mas potencia computacional para utilizar esta maquina como **ordenadores cuanticos analogicos**i¿?

Sobre QUIONE y las Tecnologias Cuanticas en Barcelona

QUIONE es un programa creado por ICFO que tiene como objetivo utilizar procesadores cuanticos basados ??en atomos ultrafrios detectados y controlados individualmente para resolver problemas dificiles para los ordenadores clasicos. El programa incluye el procesador cuantico analogico QUIONE I, el microscopio de gases cuanticos mencionado en el estudio, y un procesador hibrido analogico-digital llamada QUIONE II, que actualmente se encuentra en construccion. QUIONE forma parte de los ocho grandes programas que la Generalitat de

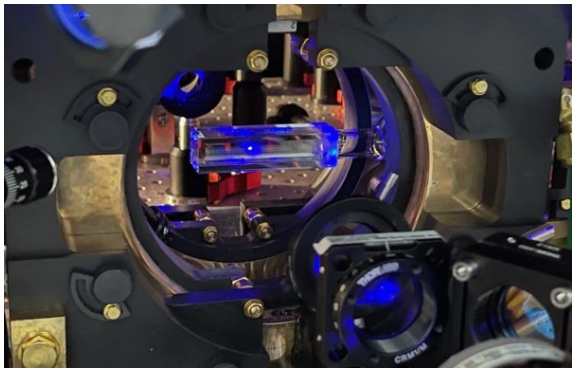
Cataluna, a traves de la Secretaria de Politicas Digitales, cofinancia en el marco de su apuesta por el impulso de las tecnologias cuanticas.

Acknowledgements

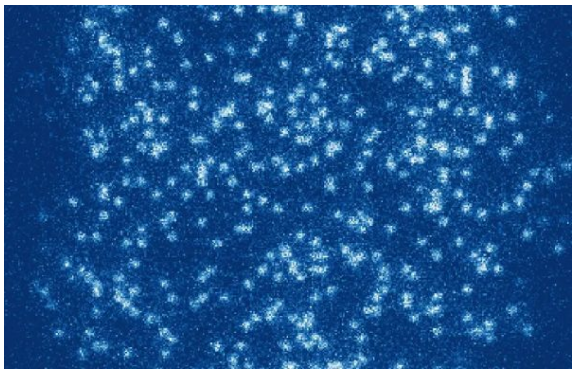
We acknowledge discussions with S. Blatt, A. Kaufman, V. Klüsener, A. Park, P. SchauSs, A Young, J. Zeiher, and the other members of the ICFO Quantum Gases Experimental group We thank M. Miranda for the band-structure calculations and S. Hirthe for contributions t the reconstruction algorithm and for a careful reading of the manuscript. We acknowledg 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 Agengy MCIN/AEI/10.13039/501100011 (LIGAS projec PID2020-112687GB-C21, DYNAMITE QuantERA project PCI2022-132919 with funding fro European Union NextGenerationEU, Equipamiento Cientifico Tecnico EQC2018-005001-P EQC2019-005699-P, and EQC2019-005706-P, Severo Ochoa CEX2019-000910-S, and **PRTR-C17.I1 - Plan Complementario de Comunicaciones Cuanticas** -with funding fro European Union NextGenerationEU and Generalitat de Catalunya), Fundacio Cellex, Fundaci Mir-Puig, and Generalitat de Catalunya (i¿½**Quantica - Vall de la Mediterrania de les Ciencies i les Tecnologies Quantiques**i¿½ Government Agreement GOV/51/2022, promoted y Secretary of Digital Policies of the Government of Catalonia, AGAUR SGR 2021-SGR-014 8 and CERCA program). S.B. acknowledges support from MCIN/AEI/10.13039/5011000110 3 and**ESF** (Grant No. PRE2020-094414), J.H. acknowledges support from the European Union (**Marie Sk?odowska-Curie Actions**, Grant No. 713729), V.M. acknowledges support from the **Beatriu de Pinos** Program and the Ministry of Research and Universities of the Government o Catalonia (Grant No. 2019-BP-00228), and A.R. acknowledges support from th MCIN/AEI/10.13039/501100011033 (**Juan de la Cierva** Formacion Grant No FJC2020-043086-I).

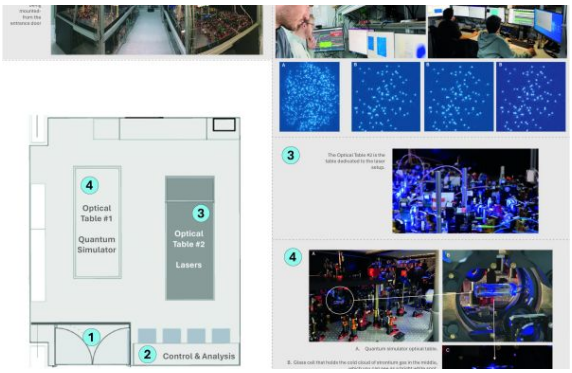
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA:

S. Buob, J. Hoschele, V. Makhalov, A. Rubio-Abadal and L. Tarruell, i¿½A stronti m quantum-gas microscopei¿½.

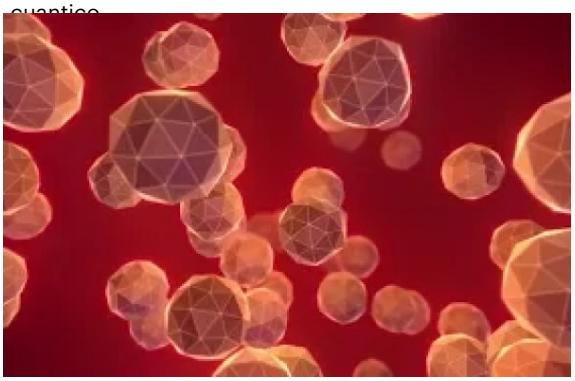


La nube de atomos de estroncio en medio de la celda de vidrio.



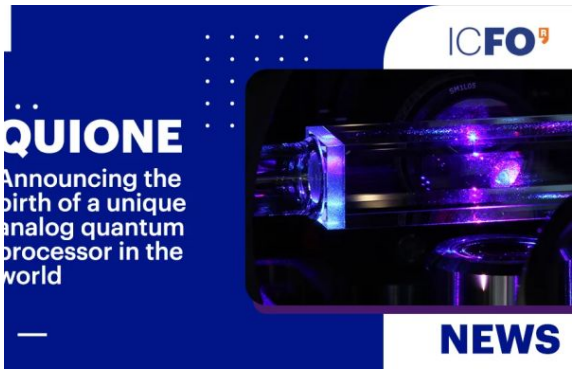


mapa grafico del laboratorio, con el simulador cuantico



QUIONE: un simulador cuantico

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



Entrevista a los investigadores