

Image not found

Imágenes directas revelan las vibraciones cristalinas de un supersólido hecho de átomos y luz

Por primera vez, investigadores e investigadoras del ICFO, en colaboración con científicos de la UAB, han obtenido imágenes directas de un supersólido acoplado espín-orbita. El equipo ha observado fluidos cuánticos de átomos que forman franjas cuyo espaciado oscila en el tiempo, al igual que ocurre en un cristal. Estos resultados, publicados en *Science*, demuestran de forma inequívoca la naturaleza dual superfluida y cristalina de estos sistemas.

January 29, 2026

El siglo XX estuvo marcado por el descubrimiento de estados exóticos de la materia. En primer lugar, se observó que el helio líquido fluía sin fricción a temperaturas extremadamente bajas, una fase que hoy se conoce como superfluido. Poco después, también se descubrió que, bajo las condiciones externas adecuadas, algunos materiales pueden conducir electricidad sin resistencia; estos materiales fueron denominados superconductores. Más tarde, en la década de 1960, los científicos añadieron la idea de los supersólidos a la lista: en este estado de la materia, los átomos fluyen sin fricción como un superfluido, al tiempo que mantienen el orden espacial periódico característico de un cristal. Aunque los supersólidos fueron predichos hace años, solo recientemente han logrado realizarlos y explorar experimentalmente su naturaleza dual superfluida y cristalina. Aun quedan muchas preguntas abiertas sobre cómo y bajo qué condiciones estas propiedades se manifiestan en distintas plataformas. Ahora, investigadores del ICFO, el **Dr. Craig Chisholm**, la **Dra. Sarah Hirthe**, el **Dr. Vasiliy Makhalov**, el **Dr. Ramon Ramos**, y el **Dr. Remy Vatre**, dirigidos por la **Prof. ICREA Leticia Tarruell**, en colaboración con el Dr. Josep Cabedo y el Prof. Alessio Celi, físicos teóricos de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), han conseguido **demostrar de manera inequívoca la supersolidez en átomos de potasio ultrafríos acoplados a la luz**.

Por primera vez, investigadores e investigadoras del ICFO **han obtenido imágenes de los llamados supersólidos acoplados espín-orbita**, aportando **pruebas concluyentes tanto de sus propiedades sólidas como superfluidas**. Estas observaciones directas, ahora publicadas en *Science*, muestran una nube de átomos de potasio que forma espontáneamente **franjas** (una

estructura similar a la de un cristal) **cuyo espaciado oscila en el tiempo**, acercándose y alejándose repetidamente. Gracias a la colaboración con los teóricos de la UAB, el equipo logró explicar los resultados experimentales describiendo la nube atómica como una mezcla de átomos modificados que interfieren, un marco teórico que fue llamado modelo de mixtura.

¿Las estructuras cristalinas nunca son perfectamente estáticas?, explica la Profesora ICREA Leticia Tarruell, investigadora principal del estudio. Los átomos vibran ligeramente alrededor de sus posiciones, variando la distancia entre ellos. Un verdadero superlido debería compartir también esta característica, y eso es exactamente lo que hemos observado. El equipo también observó que, cuando el tamaño total de la nube se expande o se contrae, aparecen nuevas franjas o desaparecen las existentes, respectivamente, un comportamiento relacionado con su naturaleza superlida.

¿Es un condensado de Bose-Einstein acoplado espín-orbita un verdadero supersólido?

Naturalmente, para obtener estas imágenes, los investigadores primero tuvieron que crear el supersólido. Al enfriar una nube de átomos de potasio hasta temperaturas cercanas al cero absoluto, los átomos se ralentizaron hasta quedar casi inmóviles, formando finalmente un condensado de Bose-Einstein (una fase exótica de la materia en la que todos los átomos ocupan el estado de mínima energía, compartiendo una única función de onda cuántica y, en consecuencia, comportándose colectivamente).

A continuación, los investigadores enviaron dos haces láser desde direcciones diferentes para acoplar el estado de espín de los átomos con su momento. Esto dio lugar a un **condensado de Bose-Einstein acoplado espín-orbita**, en el que dos estados atómicos con distinto momento interfieren entre sí. Esta interferencia es lo que produjo un patrón de franjas en la nube, dando lugar al supersólido.

La mayor parte del trabajo previo entorno a los supersólidos se había realizado con gases cuánticos magnéticos, mientras que otras plataformas, como los condensados de Bose-Einstein acoplados espín-orbita, habían permanecido en gran medida inexploradas, señala la Prof. Tarruell. Como explica la investigadora, durante años se debatía si un condensado de Bose-Einstein acoplado espín-orbita podía convertirse en un verdadero supersólido, es decir, si de él podía emerger realmente una estructura cristalina con su propia dinámica.

En experimentos anteriores se podía inferir indirectamente la aparición de un patrón cristalino, **pero nosotros queríamos verlo con nuestros propios ojos**, comenta la Dra. Sarah Hirthe, una de las primeras coautoras del artículo. De hecho, las primeras imágenes directas de este tipo de supersólido han zanjado el debate en torno a los condensados de Bose-Einstein acoplados espín-orbita, estableciéndolos como **una nueva y excelente plataforma para estudiar la supersolididad**. El potasio fue esencial para amplificar el patrón y permitirnos observar directamente su dinámica. En experimentos anteriores, los cual

s usaban otras especies atómicas, el contraste de las franjas era demasiado bajo para ver e con claridad y por eso solo podía inferirse $\frac{1}{2}$, añade la investigad

Un atisbo de futuros estados exóticos de la materia

El equipo ya está pensando en ir un paso más allá y aplicar los conocimientos adquiridos para crear lo que denominan un «líquido supersólido». Esta fase hipotética de la materia consistiría en gotas líquidas estabilizadas por efectos puramente cuánticos (como las [descubiertas por el mismo grupo del ICFO en 2017](#)) que además contendrían una estructura cristalina interna. De hacerse realidad, los líquidos supersólidos se unirían a la familia de estados exóticos de la materia, cuya exploración comenzó hace poco más de un siglo. Por el momento, sin embargo, estas imágenes ya han marcado un hito en el campo al revelar una dinámica de las franjas indicativa tanto de un comportamiento superfluido como cristalino. Según la Prof. Tarruell: $\frac{1}{2}$ Por primera vez, **hemos visto la estructura cristalina de un supersólido siendo verdaderamente dinámica, básicamente $\frac{1}{2}$ respirando $\frac{1}{2}$, como si estuviera viva**

Referencia:

C. S. Chisholm, S. Hirthe, V. B. Makhalov, R. Ramos, R. Vatre, J. Cabedo, A. Celi, L. Tarruell, Probing supersolidity through excitations in a spin-orbit-coupled Bose-Einstein condensate, Science (2026). DOI:

Acknowledgements:

We acknowledge funding from the European Union (ERC CoG-101003295 Super-Comp), the Spanish Ministry of Science and Innovation MCIN/AEI/10.13039/501100011033 (LIGA projects PID2020-112687GB-C21 at ICFO and PID2020112687GB-C22 at UAB, and Severo Ochoa CEX2019000910-S), the EU QuantERA project DYNAMITE (funded by MICN/AEI/10.13039/501100011033 and by the European Union NextGenerationEU/PRR PCI2022-132919 (Grant No. 101017733)), Deutsche Forschungsgemeinschaft (Research Unit FOR2414, Project No. 277974659), Generalitat de Catalunya (AGAUR SGR 2021-SGR-0144 at ICFO and 2021-SGR-00138 at UAB, CERCA program), Fundació Cellex and Fundació Mir-Pignatelli. C.S.C., S.H., and R.R. acknowledge support from the European Union (Marie Skłodowska-Curie-713729, Marie Skłodowska Curie-101149245 Epiquant, and Marie Skłodowska-Curie-101030630 UltraComp). V.B.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). J.C. acknowledges support from the Ministry of Economic Affairs and Digital Transformation of the Spanish Government through the QUANTUM ENA project call - Quantum Spain project, and A.C. acknowledges support from the UAB Talent Research program during the early stages of this work.

Image not found

Imagen experimental in situ del perfil de densidad de la nube de átomos de potasio medida mediante óptica de ondas de materia. Las franjas verticales muestran el orden espacial de los átomos en la trampa magneto-óptica, una estructura antes de la formación de un condensado de Bose-Einstein. ©ICFO.

Image not found

Mesa óptica utilizada en el experimento. ©ICFO.