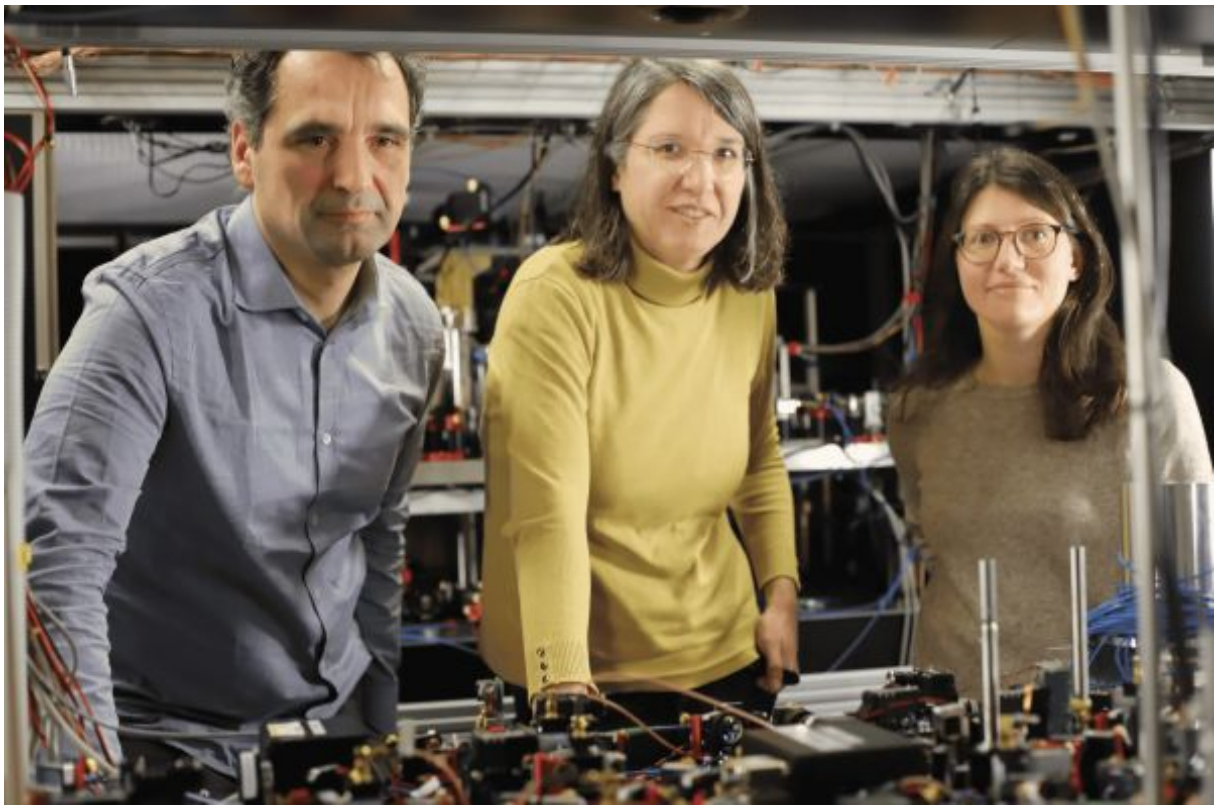


# Imagenes directas revelan las vibraciones cristalinas de un supersolido hecho de atomos y luz

## Por primera vez, investigadores e investigadoras del ICFO, en colaboracion con cientificos de la UAB, han obtenido imagenes directas de un supersolido acoplado espin-orbita. El equipo ha observado fluidos cuanticos de atomos que forman franjas cuyo espaciado oscila en el tiempo, al igual que ocurre en un cristal. Estos resultados, publicados en Science, demuestran de forma inequivoca la naturaleza dual superfluida y cristalina de estos sistemas.

January 29, 2026

El siglo XX estuvo marcado por el descubrimiento de estados exoticos de la materia. En primer lugar, se observo que el helio liquido fluia sin friccion a temperaturas extremadamente bajas, una fase que hoy se conoce como superfluido. Poco despues, tambien se descubrio que, bajo las condiciones externas adecuadas, algunos materiales

pueden conducir electricidad sin resistencia; estos materiales fueron denominados superconductores. Mas tarde, en la decada de 1960, los cientificos anadieron la idea de los supersolidos a la lista: en este estado de la materia, los atomos fluyen sin friccion como un superfluido, al tiempo que mantienen el orden espacial periodico caracteristico de un cristal. Aunque los supersolidos fueron predichos hace anos, solo recientemente han logrado realizarlos y explorar experimentalmente su naturaleza dual superfluida y cristalina. Aun quedan muchas preguntas abiertas sobre como y bajo que 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 colaboracion con el Dr. Josep Cabedo y el Prof. Alessio Celi, fisicos teoricos de la Universitat Autonoma de Barcelona (UAB), han conseguido **demostrar de manera inequivoca la supersolidez en atomos de potasio ultrafrios** acoplados a la luz.

**Por primera vez**, investigadores e investigadoras del ICFO **han obtenido imagenes de** los llamados **supersolidos acoplados espin-orbita**, aportando **pruebas concluyentes tanto de sus propiedades solidas como superfluidas**. Estas observaciones directas, ahora publicadas en Science, muestran una nube de atomos de potasio que forma espontaneamente **franjas** (una estructura similar a la de un cristal) **cuyo espaciado oscila en el tiempo**, acercandose y alejandose repetidamente. Gracias a la colaboracion con los teoricos de la UAB, el equipo logro explicar los resultados experimentales describiendo la nube atomica como una mezcla de atomos modificados que interfieren, un marco teorico que fue llamado modelo de mixtura.

i¿½Las estructuras cristalinas nunca son perfectamente estaticasi¿½, explica la Profe ora ICREA Leticia Tarruell, investigadora principal del estudio. i¿½Los atomos vibran liger mente alrededor de sus posiciones, variando la distancia entre ellos. Un verdadero super olido deberia compartir tambien esta caracteristica, y eso es exactamente lo que hemos observadoi¿½. El equipo tambien observo que, cuando el tamano total de la nube se expande o se contrae, aparecen nuevas franjas o desaparecen las existentes, respectivam nte, un comportamiento relacionado con su naturaleza supe

**¿Es un condensado de Bose-Einstein acoplado espin-orbita un verdadero supersolido?**

Naturalmente, para obtener estas imagenes, los investigadores primero tuvieron que crear el supersolido. Al enfriar una nube de atomos de potasio hasta temperaturas cercanas al cero absoluto, los atomos se ralentizaron hasta quedar casi inmoviles, formando finalmente un condensado de Bose-Einstein (una fase exotica de la materia en la que todos los atomos ocupan el estado de minima energia, compartiendo una unica funcion de onda cuantica y, en consecuencia, comportandose colectivamente).

A continuacion, los investigadores enviaron dos haces laser desde direcciones diferentes para acoplar el estado de espin de los atomos con su momento. Esto dio lugar a un

**condensado de Bose-Einstein acoplado espin-orbita**, en el que dos estados atomicos con distinto momento interfieren entre si. Esta interferencia es lo que produjo un patron de franjas en la nube, dando lugar al supersolido.

i¿½La mayor parte del trabajo previo entorno a los supersolidos se habia realizado con gas s cuanticos magneticos, mientras que otras plataformas, como los condensados e Bose-Einstein acoplados espin-orbita, habian permanecido en gran medida inexploradasi? ½, senala la Prof. Tarruell. Como explica la investigadora, durante anos se debatio s un condensado de Bose-Einstein acoplado espin-orbita podia convertirse en un verda ero supersolido, es decir, si de el podia emerger realmente una estructura cristalina con su ica dinam

ca. i¿½En experimentos anteriores se podia inferir indirectamente la aparicion de un atron cristalino, pero **nosotros queriamos verlo con nuestros propios ojos**i¿½, comenta la Dr . Sarah Hirthe, una de las primeras coautoras del articulo. De hecho, las primeras imagen s directas de este tipo de supersolido han zanjado el debate en torno a los condensados e Bose-Einstein acoplados espin-orbita, estableciendolos como una **nueva y excelente plataforma para estudiar la supersolidez**. i¿½El potasio fue esencial para amplificar el patron y permitirnos observar directamente su dinamica. En experimentos anteriores, los cual s usaban otras especies atomicas, el contraste de las franjas era demasiado bajo para ver e con claridad y por eso solo podia inferirsei¿½, anade la investigad

## Un atisbo de futuros estados exoticos de la materia

El equipo ya esta pensando en ir un paso mas alla y aplicar los conocimientos adquiridos para crear lo que denominan un «liquido supersolido». Esta fase hipotetica de la mater a consistiria en gotas liquidas estabilizadas por efectos puramente cuanticos (como las descubiertas por el mismo grupo del ICFO en 2017) que ademas contendrian una estructura cristalina interna. De hacerse realidad, los liquidos supersolidos se unirian a la familia de estados exoticos de la materia, cuya exploracion comenzo hace poco mas de un siglo.

Por el momento, sin embargo, estas imagenes ya han marcado un hito en el campo al revelar una dinamica de las franjas indicativa tanto de un comportamiento superfluido como cristalino. Segun la Prof. Tarruell: i¿½Por primera vez, **hemos visto la estructura cristalina de un supersolido siendo verdaderamente dinamica, basicamente i¿½respirandoi¿½, com si estuviera viva**i¿½

**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 Seve o Ochoa CEX2019000910-S), theEUQuantERA projectDYNAMITE(funded y MICN/AEI/10.13039/501100011033 and by the European Union NextGenerationEU/PR R PCI2022-132919 (Grant No. 101017733)), Deutsche Forschungsgemeinschaft (Research U it FOR2414, Project No. 277974659), Generalitat de Catalunya (AGAUR SGR 2021-SGR-0144 at ICFO and 2021-SGR-00138 at UAB, CERCA program), Fundacio Cellex and Fundacio Mir-P ig. C.S.C., S.H., and R.R. acknowledge support from the European Union ( arie Sk?odowska-Curie-713729, Marie Sk?odowska Curie-101149245 Epiquant, and Marie Sk?odowska-Curie-101030630 UltraComp). V.B.M. acknowledges support from the Bea riu de Pinos Program and the Ministry of Research and Universities of the Government of C talonia (Grant No. 2019-BP-00228). J.C. acknowledges support from the Ministry of Economi Affairs and Digital Transformation of the Spanish Government through the QUANTUM EN A project call - Quantum Spain project, and A.C. acknowledges support from the UAB Tale t Research program during the early stages of this work.

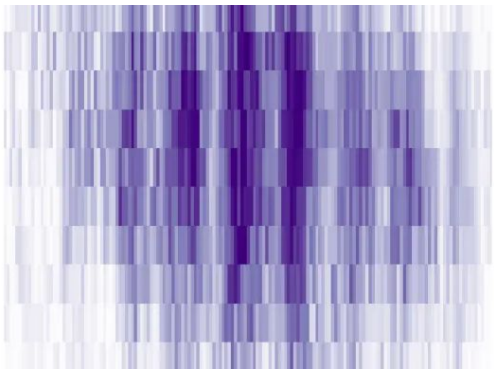
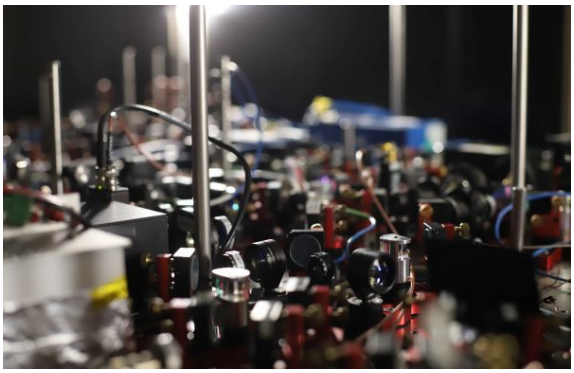
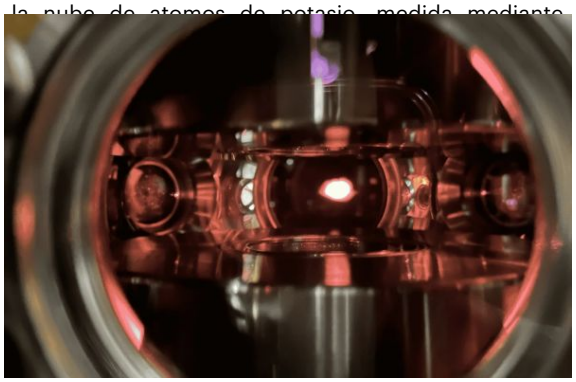


Imagen experimental in situ del perfil de densidad de la nube de atomos de potasio medida mediante



Mesa optica utilizada en el experimento. ©ICFO.



Atomos de potasio en la trampa magneto-optica, una etapa intermedia antes de la formacion de un condensado de Bose-Einstein. ©ICFO.