

## Imatges directes revelen les vibracions cristal·lines d'un supersolid fet d'atòms i llum

Per primera vegada, investigadors i investigadores de l'ICFO, en col·laboració amb científics de la UAB, han obtingut imatge directa d'un supersolid acoblat espin-orbita. L'equip ha observat fluids quàntics d'atòms que formen franges amb un espai que oscil·la en el temps, tal com passa en un cristall. Aquests resultats, publicats a *Science*, demostren de manera inequívoca la naturalesa dual superfluida i cristal·lina d'aquests sistemes.

January 29, 2026

El segle XX va estar marcat pel descobriment d'estats exòtics de la matèria. En primer lloc, es va observar que l'heli líquid fluïa sense fricció a temperatures extremadament baixes, una fase que avui es coneix com a superfluid. Poc després, també es va descobrir que, sota les condicions externes adequades, alguns materials poden conduir electricitat sense resistència; aquests materials van rebre el nom de superconductors. Mes tard, a la dècada de

1960, els científics van afegir la idea dels supersòlids a la llista: en aquest estat de la matèria, els àtoms flueixen sense fricció com un superfluid, alhora que mantenen l'ordre espacial periòdic característic d'un cristall.

Tot i que els supersòlids van ser predits fa anys, ha estat recentment que han començat a realitzar-los experimentalment, així com a explorar la seva naturalesa dual superfluida i cristal·lina. Encara queden moltes preguntes obertes sobre com i sota quines condicions aquestes propietats es manifesten en les diferents plataformes. Ara, investigadors de l'ICFO el **Dr. Craig Chisholm**, la **Dra. Sarah Hirthe**, el **Dr. Vasily Makhlov**, el **Dr. Ramon Ramos**, i el **Dr. Remy Vatre**, dirigits per la **Prof. ICREA Leticia Tarruell**, en col·laboració amb el Dr. Jose Cabedo i el Prof. Alessio Celi, físics teòrics de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), han aconseguit **demostrar de manera inequívoca la supersòlidesa en àtoms de potassi ultrafreds** acoblats a la llum.

**Per primera vegada**, investigadors i investigadores de l'ICFO **han obtingut imatges dels** anomenats **supersòlids acoblats espin-orbita**, aportant **proves concloents tant de les seves propietats sòlides com superfluides**. Aquestes observacions directes, ara publicades a Science, mostren un núvol d'àtoms de potassi que forma espontàniament **franges** (una estructura similar a la d'un cristall) **amb un espaiat que oscil·la en el temps**, acostant-se i allunyant-se repetidament. Gràcies a la col·laboració amb els teòrics de la UAB, l'equip ha aconseguit explicar els resultats experimentals descrivint el núvol atòmic com una barreja d'àtoms modificats que interfereixen, a través de l'anomenat model de mixtura  $s=1/2$ . Les estructures cristal·lines mai no són perfectament estàtiques  $s=1/2$ , explica la professora ICREA Leticia Tarruell, investigadora principal de l'estudi.  $s=1/2$  Els àtoms vibren lleugerament al voltant de les seves posicions, variant la distància entre ells. Un supersòlid autèntic també hauria de compartir aquesta característica, i això és exactament el que hem observat  $s=1/2$ . L'equip també va observar que, quan la mida total del núvol s'expandeix o es contrau, apareixen noves franges o desapareixen les existents, respectivament, un comportament relacionat amb la seva naturalesa su

### **Es un condensat de Bose-Einstein acoblat espin-orbita un veritable supersòlid?**

Naturalment, per obtenir aquestes imatges, els investigadors primer van haver de crear el supersòlid. En refredar un núvol d'àtoms de potassi fins a temperatures properes al zero absolut, els àtoms es van anar alentint fins a quedar gairebé immobils, formant finalment un condensat de Bose-Einstein (una fase exòtica de la matèria en que tots els àtoms ocupen l'estat d'energia mínima, compartint una única funció d'ona quàntica i, en conseqüència comportant-se col·lectivament

. A continuació, els investigadors van enviar dos feixos laser des de direccions diferents per acoblar l'estat d'espin dels àtoms amb el seu moment. Això va donar lloc a un **condensat de Bose-Einstein acoblat espin-orbita**, en el qual dos estats atòmics de moments diferents interfereixen entre si. Aquesta interferència és el que va produir un patró de franges al núvol,

donant lloc al supersolid.

La major part dels treballs previs entorn dels supersòlids s'havia dut a terme amb gasos quàntics magnètics, mentre que altres plataformes, com els condensats de Bose-Einstein acoblats espín-orbita, havien romàs en gran mesura inexplorades, assenyala la professora Tarruell. Com explica la investigadora, durant anys es va debatre si un condensat de Bose-Einstein acoblat espín-orbita podia convertir-se en un veritable supersòlid, és a dir si realment en podia emergir una estructura cristal·lina amb la seva rica dinàmica. En experiments anteriors es podia inferir indirectament l'aparició d'un patró cristal·lí, però **nosaltres volíem veure'l amb els nostres propis ulls**, comenta la Dra. Sarah Hirthe, una de les primeres coautoras de l'article. De fet, les primeres imatges directes d'aquest tipus de supersòlid han resolt el debat al voltant dels condensats de Bose-Einstein acoblats espín-orbita, establint-los com una **nova i excel·lent plataforma per estudiar la supersòlidesa**. El potassi va ser essencial per amplificar el patró i permetre'ns observar directament la seva dinàmica. En experiments anteriors, que utilitzaven altres espècies atòmiques, el contrast de les franges era massa baix per veure-les amb claredat, i per això només es podia inferir, afegeix la investigadora.

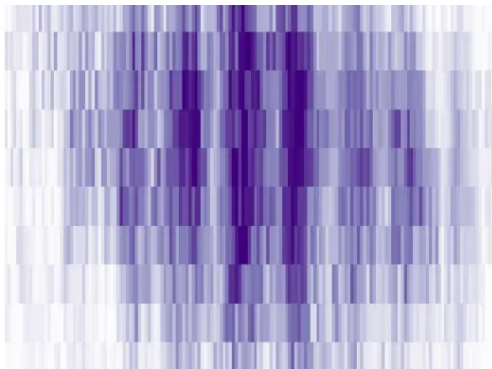
### Un cop d'ull a futurs estats exòtics de la matèria

L'equip ja està pensant a anar un pas més enllà i aplicar els coneixements adquirits per crear el que anomenen un «líquid supersòlid». Aquesta fase hipotètica de la matèria consistiria en gotes líquides estabilitzades per efectes purament quàntics (com aquelles [descobertes pel mateix grup de l'ICFO l'any 2017](#)) que, a més, contindrien una estructura cristal·lina interna. Si arribessin a fer-se realitat, els líquids supersòlids s'unirien a la família d'estats exòtics de la matèria, l'exploració dels quals va començar fa poc més d'un segle

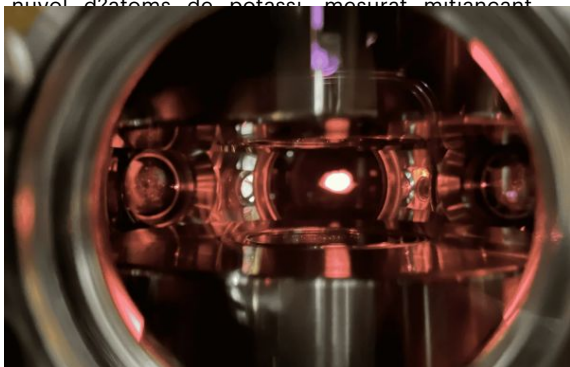
de moment, però, aquestes imatges ja han marcat una fita en el camp en revelar una dinàmica de les franges indicativa tant d'un comportament superfluid com cristal·lí. Segons la professora Tarruell: **Per primera vegada hem vist l'estructura cristal·lina d'aquest supersòlid essent realment dinàmica, bàsicament respirant, com si estigues viva?**

### Referència:

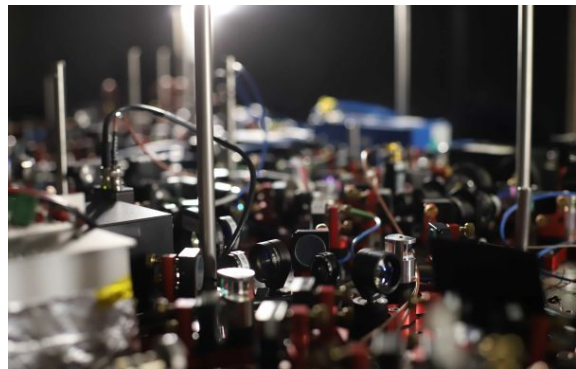
C. S. Chisholm, S. Hirthe, V. B. Makhlov, R. Ramos, R. Vatre, J. Cabedo, A. Celi, L. Tarruell, Probing supersolidity through excitations in a spin-orbit-coupled Bose-Einstein condensate, Science (2026). DOI:



Imatge experimental in situ del perfil de densitat del nuvol d'àtoms de potassi mesurat mitjançant



Àtoms de potassi a la trampa magneto-òptica, una etapa intermèdia anterior a la formació d'un condensat de Bose-Einstein. ©ICFO.



Taula òptica utilitzada a l'experiment. ©ICFO.