

Neix QUIONE, un processador quantic analogic unic al mon

L'ICFO construeix QUIONE, una maquina quantica capac de detectar atoms individuals en un gas quantic d'estronci.

April 22, 2024

La fisica quantica necessita techniques de deteccio d'alta precisio per aprofundir en les propietats microscopiques dels materials. Dels processadors quantics analogics que han anat sorgint, els anomenats [microscopis de gasos quantics](#) han demostrat ser eines potents per aconseguir comprendre els sistemes quantics a nivell atomic. Aquests dispositius produeixen imatges de [gasos quantics](#) amb una resolucio molt alta: permeten detectar cadascun dels atoms.

Ara, els investigadors de l'ICFO (Barcelona) **Sandra Buob**, **Jonatan Hoschele**, **Dr. Vasiliy Makhlov** i **Dr. Antonio Rubio-Abadal**, dirigits per la investigadora [ICREA de l'ICFO Leticia Tarruell](#), expliquen com han construït el seu propi microscopi de gasos quantics, anomenat QUIONE en honor a la deessa grega de la neu. **El microscopi de gasos quantics del grup es l'unic que capta imatges d'atoms individuals de gasos quantics d'estronci al mon.**

Mes enlla de l'espectacularitat de les imatges on es poden distingir atoms individuals,

L'objectiu de QUIONE es la simulacio quantica. Com explica la Prof. ICREA Leticia Tarruell: $\frac{1}{2}$ La simulacio quantica es pot utilitzar per reduir sistemes molt complicats a models m s simples per despres comprendre preguntes obertes que els ordinadors actuals no pod n respondre, com per que alguns **materiais condueixen electricitat sense perdues** fins i tot a temperatures relativament altes $\frac{1}{2}$. La investigacio del grup de l'ICFO en aquest ambit a rebut suport a nivell nacional (premi de la Reial Societat Espanyola de Fisica, i projectes i beques de la Fundacio BBVA, la Fundacio Ramon Areces, la Fundacio La Caixa i la Fundacio Cellex) i europeu (incloent-hi un projecte ERC). El projecte QUIONE compta amb l cofinancament de la Generalitat de Catalunya, a traves de la Secretaria de Politiques Digitals del Departament d'Empresa i Treball, en el marc de l'aposta del Govern catala per l'impuls de les tecnologies quantiques.

. La singularitat d'aquest experiment recau en el fet que han aconseguit portar **gas d'estronci al regim quantic**, col·locar-lo en una **xarxa optica** on els atoms poguessin interactuar per col·lisions i despres aplicar les techniques d'imatge d'atoms individuals. Aquests tres ingredients junts fan que el **microscopi de gas quantic d'estronci de l'ICFO sigui unic** a la seva especie.

Per que estronci?

Fins ara, aquests microscopis s'havien basat en atoms alcalins, com el liti i el potassi, que tenen propietats mes simples en termes del seu espectre optic en comparacio amb els atoms alcalinoterris com l'**estronci**. Això significa que, en aquests experiments, l'estronci ofereix mes ingredients amb que jugar.

De fet, en els darrers anys, les propietats uniques de l'estronci l'han convertit en un element molt popular per a aplicacions en els camps de **la computacio i la simulacio quantiques**. Per exemple, es pot utilitzar un nuvol d'atoms d'estronci com a **processador quantic atomic**, el qual podria resoldre problemes que van mes enlla de les capacitats dels ordinadors classics actuals.

Amb tot, els investigadors de l'ICFO van veure en l'estronci un gran potencial per a la simulacio quantica, i van posar fil a l'agulla per construir el seu propi microscopi de gasos quantics. Així va ser com va neixer QUIONE.

QUIONE, un simulador quantic de cristalls reals

Per fer-ho, primer van rebaixar la temperatura del gas d'estronci. Utilitzant la forca de diversos raigs laser, es pot disminuir la velocitat dels atoms fins arribar a un punt en que queden practicamente immobils, gairebe sense moure's, reduint la seva temperatura fins gairebe el zero absolut en tan sols uns mil·lisegons. Aleshores, les lleis de la mecanica quantica en regeixen el comportament i els atoms mostren noves caracteristiques com la **superposicio i l'entrellacament quantics**.

Despres, amb l'ajuda de lasers especials, els investigadors van activar la xarxa optica, cosa

que manté els àtoms ordenats a l'espai formant una quadrícula. I pots imaginar-te una cèl·lula, on els buits individuals s'omplen amb els ous. Però en comptes d'ous tenim àtoms i en comptes d'una cèl·lula tenim la xarxa òptica i, explica Sandra Buob, primera autora de l'article,

els àtoms a l'ouera interaccionaven entre si, de vegades experimentant l'efecte túnel per moure's d'un lloc a l'altre. Aquesta dinàmica quàntica entre àtoms imita la dels electrons en certs materials. Per tant, l'estudi d'aquests sistemes pot ajudar a **comprendre el complex comportament de determinats materials, la idea clau de la simulació quàntica.**

Quan el gas i la xarxa òptica van estar a punt, els investigadors van realitzar les imatges amb el seu microscopi i, finalment, van poder observar el seu gas quàntic d'estronci àtom a àtom. Arribats a aquest moment, la construcció de QUIONE ja havia estat un èxit, però els seus creadors li van voler treure encara més partit.

Així, a més de les fotografies, van fer vídeos dels àtoms i van poder observar que, si bé els àtoms haurien de romandre quietes durant la presa d'imatges, de vegades saltaven a un punt de la xarxa proper. Això es pot explicar per l'**efecte túnel**. Els àtoms estaven i saltaven d'un lloc a l'altre. Va ser un procés molt bonic de veure, ja que literalment estavem presenciant una manifestació directa del seu comportament quàntic inherent i comen-

a Buob. Finalment, el grup de recerca va utilitzar el microscopi de gasos quàntics per confirmar que l'estronci era un **superfluid**, una fase quàntica de la matèria que flueix sense viscositat. Vam apagar el laser de xarxa de cop i volta perquè els àtoms poguessin expandir-se en l'espai i interferir entre si. Això va generar un patró d'interferència, a causa de la dualitat ona-partícula dels àtoms al superfluid. Quan el nostre equip el va captar, vam comprovar la presència de superfluidesa a la mostra i, explica el Dr. Antonio Rubio-Abadal, és un moment molt emocionant per a la simulació quàntica i comparteix la professora ICREA Leticia Tarruell. Ara que hem afegit l'estronci a la llista de microscopi de gasos quàntics disponibles, aviat podrem simular materials més complexos i exòtics. Aleshores s'espera que sorgeixin noves fases de la matèria. I també esperem obtenir molta més potència computacional per utilitzar aquesta maquinari **ordinadors quàntics analògics** i?

· -

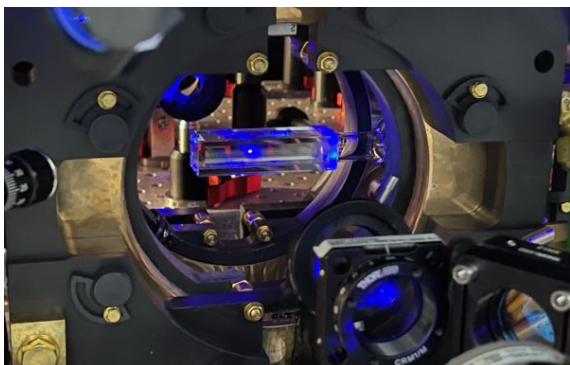
Sobre QUIONE i les Tecnologies Quàntiques

QUIONE és un programa creat per ICFO que té com a objectiu utilitzar processadors quàntics basats en àtoms ultrafreds detectats i controlats individualment per resoldre problemes difícils per als ordinadors clàssics. El programa inclou el processador quàntic analògic QUIONE I, el microscopi de gasos quàntics esmentat a l'estudi, i un processador híbrid analògic-digital anomenat QUIONE II, que actualment es troba en construcció. QUIONE forma part dels vuit grans programes que la Generalitat de Catalunya, a través de la Secretaria de Polítiques Digitals, cofinança en el marc de la seva aposta per l'impuls de les

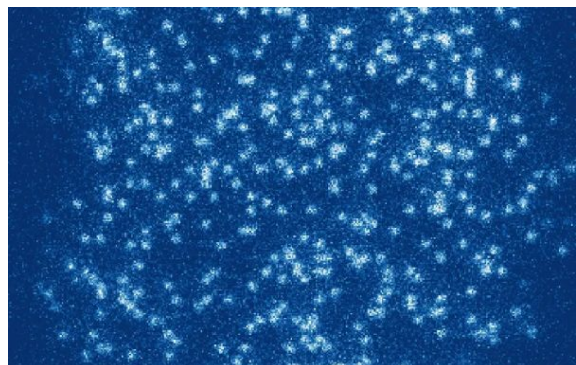
tecnologies quantiques.

Acknowledgements

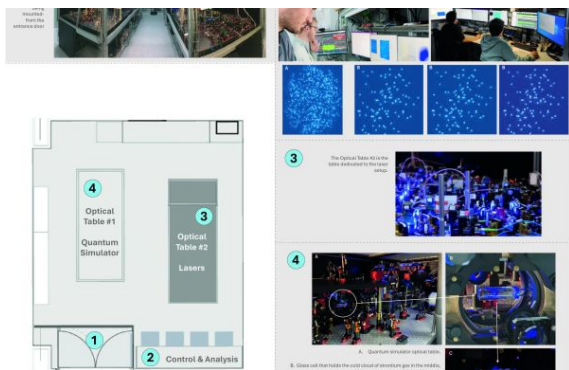
We acknowledge discussions with S. Blatt, A. Kaufman, V. Klüsener, A. Park, P. Schauss, A. Young, J. Zeiher, and the other members of the ICFO Quantum Gases Experimental group. We thank M. Miranda for the band-structure calculations and S. Hirthe for contributions to the reconstruction algorithm and 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).



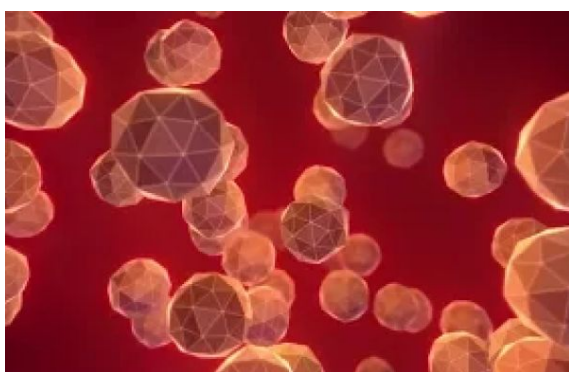
El nuvol d'àtoms d'estrónci al mig de la cel·lula de vidre



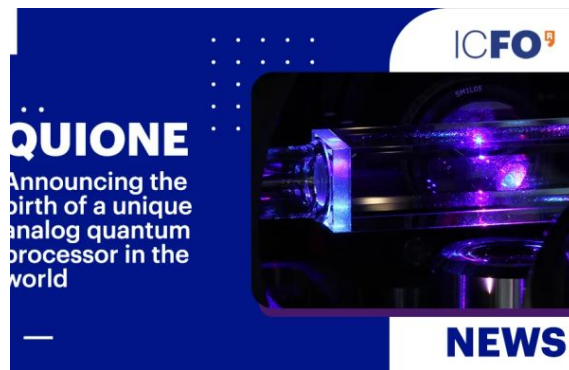
Instantània dels àtoms individuals d'estrónci a la xarxa òptica



mapa grafic del laboratori, amb el simulador quantic



QUIONE: un simulador quantic



Entrevistes als investigadors